



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Research Paper

Ascertaining Optimal Real-Time Reservoir Operation Policy Using Modern HOA Algorithm and Based on the SVM Method to Preserve the Water Right of Shadegan Wetland

Bahram Saham¹, Amirpouya Sarraf^{2*} and Babak Aminnejad²

¹Ph.D. Scholar, Department of Civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

²Assist. Professor, Department of Civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

Article information

Received: January 28, 2022

Revised: May 01, 2022

Accepted: May 03, 2022

Keywords:

Horse Herd Algorithm
Optimization
Real Operation
Simulation
Support Vector Machine

*Corresponding author:
sarraf@riau.ac.ir



Abstract

The most important goal in the planning and optimal operation of the reservoir system is to determine the various operating policies that can operate properly Under the drought condition and existing uncertainties. In this study, a combination of the Horse herd optimization algorithm (HOA) and WEAP simulator model was used to extract the optimal reservoir exploitation policies in the form of specific optimization and objective functions were calculated based on the results of the implementation of each scenario and the total operating period for Maroon and Jarreh reservoir dams. The results showed that the average error of the optimal rules extracted from the support vector machines relative to the output of the HOA algorithm in the validation stage is less than 17%, which indicates the high efficiency of this method in predicting the optimal pattern of the dam control curve in real-time. Moreover, evaluation of different scenarios showed that agricultural development in areas 1, 4, and 5 of Ramhormoz will be reduced by an average of 50% and also a 10% reduction in inflow to Marun and Jarreh dams will have negative effects on Shadegan wetland.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

It is crucial to manage and optimally usage of water resources, particularly in the agricultural sector as it accounts for the largest portion of water consumption. To avoid the costs and consequences of constructing dams to store and supply water, it is necessary to optimize dam reservoir operations to manage water resources. Conventional optimization methods are

inefficient in solving complex optimization problems. Therefore, new metaheuristic algorithms have been increasingly employed, showing promising performance for the optimization of multi-objective problems in dam reservoirs. It can be expected that after the integration of artificial intelligence methods such as SVM with the new and powerful HOA algorithm, there will be a significant relationship between the monthly flows entering the



reservoir, the volume of water storage in the reservoir, changes in the reservoir volume, and downstream needs (as independent variables) and optimal release rate variable (as the dependent variable). Therefore, the main goal of this research was to compare the amount of water released from the reservoir with the amount of input in drought conditions and to simulate it using WEAP software and convert it to real-time.

Material and Methods

To determine the water demand nodes of the Jarrahi Basin, the present study simulated the entire Maroon-Jarrahi system at monthly time steps for a period of sixty years using WEAP. Then, the multi-objective coupling of the Horse herd optimization algorithm (HOA) and WEAP simulation was adopted to extract optimal reservoir operation policies in the form of deterministic optimization. To cope with this drawback, a new method was developed by integrating the SVM and HOA approaches to implement the real-time optimization of the system. The optimal trade-off curve of the optimization objectives was plotted for four scenarios, including (1) utilizing the irrigation networks of Ramhormoz Construction Zones 1, 4, and 4, (2) a 10% reduction in the inflow of the Maroon and Jarrah dams, (3) transporting water from the Karun to the Shadegan ponds, and (4) reference scenario (business-as-usual).

Results

Table (1) reported the average evaluation indices, including the demand reliability of the Shadegan ponds in the four scenarios. It was found that the Maroon-Jarrahi system had a reliability of 77% in the business-as-usual scenario (i.e., reference scenario). This suggests that the system cannot supply the entire water demand of the Shadegan ponds. In the second scenario (a 10% reduction in the inflow of the dams) and the first scenario (using construction zones 1, 4, and 5, reliability was found to be 74 and 68%, respectively). The reliability difference between these two scenarios arises from the fact that the system is a river system and results in a nonlinear model. This suggests that the use of irrigation networks in the branch of the Allah River would be more effective. However, the reliability index was calculated to be 99% in the third scenario. Although the transport of water to the Shadegan ponds would be effective, it is infeasible due to the drought in the Karun basin. This was evaluated at the Farsiat station.

Table 1 Average percentages of Shadegan wetland supply needs with HOA algorithm

Objective Function	Stability	Vulnerability	Reversibility	Reliability	Scenario
%10 Yield Reduction	39	38	68	74	1
Land Development	36	34	65	88	2
Transferring Water	30	28	92	99	3
Reference	23	27	71	77	4

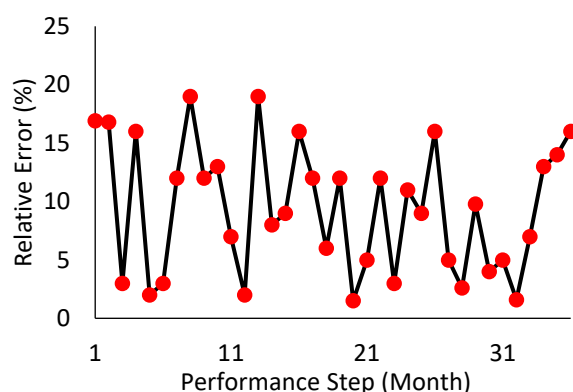


Fig. 1 Percentage of relative error of the support vector machine model in estimating the optimal release rate

An environmental demand reliability comparison of the Farsiat station in the fourth (reference) scenario and third scenario (water transport from the Karun to the Shadegan ponds) indicates a 50% difference, implying the inability of the Karun system in inter-basin water transport. Also, the drinking water demand of the system was supplied completely (100). Thus, it can be said that drinking water (priority 1) would be supplied properly to Behbahan, Ramhormoz, and Shadegan during in simulated period. The trained SVM was found to be efficient in estimating the optimal output under the

use of new datasets that were not used in the training phase. According to Fig. (1), the maximum average error was calculated to be nearly 17% for the 36 months.

Conclusions

According to the findings of this study, it can be concluded:

1. The SVM model developed in this research has the ability to quickly provide optimal exploitation policies in real time according to the new flow inputs to the dam during floods.
2. The integrated and meta-heuristic optimization algorithms used in this research have the ability to optimally manage water resources and optimize the use of the reservoir.
3. By considering the optimal policy, the percentage of supply and the reliability of supplying most of the needs (drinking, agriculture, environment, and industry) was done appropriately and acceptably.
4. The optimal release values or the optimal command curve resulting from the hybrid of the HOA algorithm and the WEAP simulator based on a certain series of inflows into the reservoir during the period of operation of the Maron and Jarrahi dams and the release from the above reservoirs to provide downstream uses in These conditions were optimized. Therefore, considering that the generalization of this model for other possible inputs to the tank will not be without problems, to solve this violation and use the optimization results in real-time, the intelligent SVM method was used and favorable results were obtained.
5. The average error rate of the optimal rules extracted from SVM compared with the HOA

output in the verification stage was less than 10%, which indicates the efficiency of this method in predicting the optimal pattern of the dam command curve in real-time.

6. The evaluation of different scenarios showed that agricultural development in the 1st, 4th, and 5th districts of Ramhormoz will be reduced by 50% on average, and a 10% reduction in the water entering the Maron and Jarreh dams will have negative effects on the Shadgan wetland. It is suggested that by adopting management strategies, in releasing water from reservoirs located upstream, valuable ecosystems such as wetlands, and the environmental needs of the river and wetlands should be considered. Because the current situation will lead to the destruction of the entire ecosystem of Shadegan Wetland and of course Jarrahi River as the main supplier of water to Shadegan International Wetland and ultimately create destructive environmental effects such as the development of dust centers in the region, economic and social crises.

Acknowledgement

The authors would like to thank the Khuzestan Water and Power Authority (KWPA) and the management of the Office of Applied Research for financial support for this research. Moreover, the authors would like to thank the deputy of Basic Studies of KWPA for providing the data.

Data Availability

The data can be sent by email by the corresponding author upon request

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

تعیین سیاست بهره‌برداری بهینه مخزن در زمان واقعی با استفاده از الگوریتم گله اسب مبتنی بر روش ماشین بردار پشتیبان بارویکرد حفظ حبابه تالاب شادگان

بهرام سهام^۱، امیرپویا صراف^{۲*} و بابک امین‌نژاد^۲^۱ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران^۲ استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۱۱/۰۸]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۰۲/۱۱]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۰۲/۱۲]

واژه‌های کلیدی:

الگوریتم گله اسب

بهره‌برداری واقعی

بهینه‌سازی

شبیه‌سازی

ماشین بردار پشتیبان

*نویسنده مسئول:

sarraf@riau.ac.ir



مهم‌ترین هدف در برنامه‌ریزی و بهره‌برداری بهینه سامانه مخزن، تعیین سیاست‌های مختلف بهره‌برداری است که بتوانند در شرایط خشک‌سالی‌ها و عدم قطعیت‌های موجود به‌طور صحیح عمل کنند. هدف اصلی این پژوهش تطبیق میزان رهاسازی آب مخزن و میزان ورودی در شرایط خشک‌سالی و شبیه‌سازی آن با نرم‌افزار WEAP و تبدیل آن به زمان واقعی بود. برای این منظور، از ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی گله اسب و مدل شبیه‌سازی WEAP برای استخراج سیاست‌های بهره‌برداری از مخزن در قالب بهینه‌سازی معین استفاده شد. و توابع هدفی بر اساس نتایج اجرای هر یک از سناریوها و با در نظر گرفتن کل دوره بهره‌برداری برای سدهای مخزنی مارون و جره محاسبه شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد میانگین خطای قوانین بهینه مستخرج از ماشین‌های بردار پشتیبان نسبت به خروجی الگوریتم بهینه‌سازی گله اسب در مرحله صحت سنجی کمتر از ۱۷٪ بود که نشان‌دهنده کارایی بالای این روش در پیش‌بینی الگوی بهینه منحنی فرمان سد در زمان واقعی است. همچنین ارزیابی سناریوهای مختلف نشان داد که توسعه کشاورزی در نواحی ۱، ۴ و ۵ رامهرمز به‌طور متوسط ۵۰٪ کاهش خواهد یافت و نیز کاهش ۱۰٪ آبدی ورودی به سدهای مارون و جره اثرات منفی بر تالاب شادگان خواهد گذاشت.

۱- مقدمه

آب تجدیدپذیر از سوی دیگر باعث شده است که برنامه-ریزان به فکر چاره و ارائه طرح‌های جامع‌تری جهت بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب موجود نظیر مخازن سدها باشند (Saber Chenari et al. 2016). لذا افزایش کارایی استفاده از منابع آب موجود در تأمین اهداف مختلف و کاربرد سیاست‌های بهره‌برداری بهینه از سدهای موجود در

مهم‌ترین هدف در برنامه‌ریزی بهره‌برداری از سامانه مخازن، تعیین سیاست‌های مختلف بهره‌برداری می‌باشد که بتوانند در شرایط خشک‌سالی‌ها و عدم قطعیت‌های موجود به‌طور صحیح عمل کنند. امروزه به‌خاطر افزایش روزافزون نیازهای آبی و تقاضای مداوم برای آب باکیفیت و به‌دلیل توزیع زمانی و مکانی نامناسب آن از یک سو و محدودیت منابع



چند مخزنی شامل سدهای گلستان و وشگیر به این نتیجه رسیدند که الگوریتم چرخه آب بهترین عملکرد را دارد. (Yaseen et al. (2019) به منظور به حداقل رساندن کاهش تأمین آب در مخازن سد گلستان و وشمگیر، عملکرد الگوریتم هیبریدی خفاش ازدحام (HB-SA)^۲ را با الگوریتم‌های تشکیل آن مقایسه نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که HB-SA بهتر از سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی است.

(Donyaii et al. (2020a) عنوان داشتند از آنجایی که بهره‌برداری از مخازن مسئله‌ای غیرخطی و پیچیده است، استفاده از هر روش بهینه‌سازی در این زمینه مناسب نیست. آن‌ها در پژوهشی مشابه، ضمن معرفی الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه نهنگ (MOWOA)^۳، عملکرد این الگوریتم را در مسئله بهره‌برداری بهینه از مخزن سد بوستان را با دو هدف کمینه‌سازی کمبودهای نیاز آبی اراضی پایین‌دست و کمینه‌سازی انحراف از حجم ایده آل کنترل سیل را بر اساس روش حل تعارض کالای و اشمورودینسکی (KSBS)^۴ ارزیابی نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که MOWOA نسبت به NSGA-II از عملکرد بهتری برخوردار بوده است (Donyaii et al. (2020b). (Donyaii et al. (2021) در پژوهشی دیگر ضمن معرفی سه الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری، جستجوی کلانگ و نهنگ، عملکرد آن‌ها در بهره‌برداری بهینه از سیستم تک مخزن سد گلستان را با هدف تأمین نیاز آبی اراضی پایین‌دست، بر اساس شاخص‌های مهمی هم‌چون اطمینان‌پذیری^۵، برگشت‌پذیری^۶ و آسیب‌پذیری^۷ مورد ارزیابی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که الگوریتم گرگ خاکستری دارای رتبه بهتری نسبت به دو روش دیگر بوده است.

مطابق با آنچه گفته شد، غالب پژوهش‌های انجام شده بر روی روش‌های بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن در قالب بهینه‌سازی معین انجام گرفته است. در این نوع از مطالعه‌ها یک سری معین از جریان ورودی به مخزن در طول دوره بهره‌برداری در نظر گرفته و رهاسازی از مخزن برای تأمین مصارف پایین‌دست در این شرایط بهینه می‌گردد. اشکال

قالب روش‌های نوین و فرا ابتکاری، امری ضروری می‌باشد (Donyaii et al. 2020b).

در علوم مهندسی، بسیاری از مسائل بهینه‌سازی طبیعتاً پیچیده‌تر و مشکل‌تر از آن هستند که با روش‌های مرسوم بهینه‌سازی، نظیر روش برنامه‌ریزی ریاضی و نظایر آن قابل حل باشند. لذا به همین منظور و به جهت رفع کاستی‌های موجود، گروهی از الگوریتم‌های تکاملی توسط پژوهشگران مختلف توسعه یافته‌اند که در اصل سعی در ترکیب اصول اولیه روش‌های کاوشی و یافتن روش مؤثر و کارتر را دارند (Azari and Arman 2020). روش‌های قدیمی‌تر بهینه‌سازی نظیر برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی پویا، مشکلاتی نظیر محدودیت خطی در نظر گرفتن مسئله، گسسته‌سازی مسئله و مشکل ابعادی داشتند. با ظهور روش‌های فراکاوشی، انقلابی در زمینه بهینه‌سازی صورت گرفت. این روش‌ها نه وابسته به نوع مسئله از نظر خطی و غیرخطی بودن هستند و نه نیازی به گسسته‌سازی مسئله دارند؛ همچنین دارای سرعت و دقت مناسب در مقایسه با سایر روش‌های موجود هستند (Rani and Moreira 2010). مرور کوتاهی بر مطالعات انجام یافته نشان می‌دهد که طی دهه گذشته استفاده از الگوریتم‌های جدید و ترکیبی در بهینه‌سازی برای مخازن، کارنامه قابل‌قبولی از خود برجای گذاشته و مورد اقبال قرار گرفته‌اند (Saber Chenari et al. 2016).

(Hojjati et al. (2013) در یک مطالعه موردی برای بهینه‌سازی یک سامانه دو مخزن شامل سدهای استور و پیرتقی واقع در حوضه آبریز قزل‌اوزن از الگوریتم‌های ژنتیک ساده و چندهدفه NSGA-II استفاده نموده و در نهایت با مقایسه نتایج حاصل، به این نتیجه رسیدند که الگوریتم NSGA-II جواب‌های مناسب‌تری نسبت به الگوریتم ژنتیک ارائه می‌دهد. (Nikoo et al. (2013) از ترکیب مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی کمی- کیفی تخصیص آب و بار آلودگی در سطح حوضه آبریز با روش ماشین بردار پشتیبان (SVM)^۱ برای تدوین قوانین بهره‌برداری در زمان واقعی استفاده کردند.

(Qaderi et al. (2018) ضمن مقایسه الگوریتم چرخه آب با الگوریتم‌های ژنتیک، جستجوی هارمونی، ازدحام ذرات و الگوریتم رقابتی استعماری در بهره‌برداری در یک سیستم

²Hybrid Bat swarm Algorithm

³Multi-Objective Whale Optimization Algorithm

⁴Kalai-Smorodinsky Bargaining Solution (KSBS)

⁵Reliability

⁶Reversibility

⁷Vulnerability

¹Support Vector Machine

استفاده از داده‌های واقعی ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه مورد مطالعه به جای داده‌های تصادفی، می‌توان انتظار داشت پس از تلفیق روش‌های هوش مصنوعی از جمله SVM با الگوریتم نوین و قدرتمند HOA ارتباط معناداری بین جریان‌های ماهیانه ورودی به مخزن، حجم ذخیره آب در مخزن، تغییرات حجم مخزن و نیازهای پایین دست (به عنوان متغیرهای مستقل) و متغیر میزان رهاسازی بهینه (به عنوان متغیر وابسته) به وجود خواهد آمد. لذا هدف اصلی این پژوهش تطبیق میزان رهاسازی آب مخزن و میزان ورودی در شرایط خشک‌سالی و شبیه‌سازی آن با نرم‌افزار WEAP و تبدیل آن به زمان واقعی بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مدل شبیه‌سازی از مخزن

در این پژوهش با استفاده از ماشین بردار گرسیون مقادیر آبدی ورودی سد مارون (دیسپاچینگ) و ایستگاه ایدنک در دوره بهره‌برداری سد مارون (۱۳۸۰ الی ۱۳۹۸) جمع‌آوری شده و با استفاده از رابطه موردنظر، سری آبدی ورودی به سد مارون برای یک دوره ۶۰ Yr آتی در مدل توسط نرم‌افزار WEAP شبیه‌سازی شد. در مدل WEAP با استفاده از ابزارهای موجود و با توجه به نقشه‌های پایه GIS، مسیر رودخانه‌ها، محل ایستگاه‌های هیدرومتری، محل سد، کانال‌های برداشت آب، گره مربوط به شهرها و مصارف و غیره رقومی شده و سپس اطلاعات بهره‌برداری مورد نظر در مدل وارد شد. همچنین سری‌های زمانی داده‌های ثبت شده هیدرولوژیکی و هواشناسی و اطلاعات مربوط به نیاز ماهیانه مصارف (کشاورزی و شرب) اطلاعات مخازن و محل‌های برداشت، حجم تبخیر از سطح مخزن و حجم نیازهای پایین دست و غیره به صورت فایل‌های متنی با پسوند CSV به مدل معرفی شدند. در این پژوهش از روش Tennant (1976) که از جمله روش‌های درجه‌بندی هیدرولوژیکی محسوب می‌شود، برای تخمین حداقل جریان محیط‌زیستی پایین دست استفاده شد (Sedighkia et al. 2015; Olsen et al. 2013; Shokoohi and Hong 2011; Mazvimavi et al. 2007).

جهت برآورد مقادیر نیاز محیط‌زیستی رودخانه مارون ابتدا مقادیر آبدی ماهانه طبیعی رودخانه مارون در دوره آماری مورد مطالعه برای نقطه انتهای رودخانه برآورد شده است. پس

چنین مدل‌هایی این است که جواب‌های بهینه قابل تعمیم برای سایر ورودی‌های محتمل به مخزن نیستند و در صورت تغییر جریان ورودی به مخازن به احتمال زیاد جواب‌های بهینه به دست آمده کارایی نداشته و باید بهره‌برداری از سیستم در قالب الگوریتم بهینه‌ساز مجدداً بهینه گردد. در چنین شرایطی یکی از راهکارها، استفاده از ورودی‌های جریان تصادفی در قالب بهینه‌سازی استوکاستیک است. اما در این روش نیز به دلیل تنوع سری‌های جریان ورودی برای جلوگیری از طولانی شدن زمان حل به ناچار باید از تعداد متغیرهای تصمیم به شدت کاسته شود که خود باعث خطاهایی در بهره‌برداری از سیستم در زمان واقعی خواهد شد. راهکار دیگر، استفاده از روش‌های هوشمند مانند ماشین‌های بردار پشتیبان برای به کار بردن نتایج حاصل از بهینه‌سازی سیستم در زمان واقعی است. در بسیاری از پژوهش‌های جدید، روش موسوم به ماشین‌های بردار گرسیون که بر اساس ماشین بردار پشتیبان توسعه یافته است، برای پیش‌بینی سری زمانی استفاده شده است (Azari and Arman 2020).

(Mirfendreski and Mosavi (2011) به منظور بهینه‌سازی منابع آب حوضه‌ای، به مقایسه مدل SVM و ترکیب الگوریتم بهینه‌ساز ازدحام ذرات و مدل شبیه‌ساز در حوضه اترک پرداختند. نتایج بررسی حاکی از عملکرد مطلوب مدل SVM در ارائه جواب‌های بهینه و همچنین کاهش زمان حل MODSIM بود. (Li et al. (2017) از ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی جریان روزانه حوضه یوتان چین استفاده نمودند. (Azari and Arman (2020) به بررسی بهره‌برداری بهینه منابع آب در زمان واقعی بر اساس الگوریتم NSGA-II و SVM به مطالعه سد گاوشان پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد میزان میانگین خطای قوانین بهینه مستخرج از SVM نسبت به خروجی الگوریتم بهینه‌سازی NSGA-II در مرحله صحت‌سنجی کمتر از ۱۰٪ است که نشان‌دهنده کارایی خوب این روش در پیش‌بینی الگوی بهینه منحنی فرمان سد در زمان واقعی است.

لذا با توجه به مطالعه‌های انجام پذیرفته با الگوریتم‌های فرا ابتکاری، در این پژوهش ترجیح داده شد برای بهینه‌سازی سیستم، به جای داده‌های تصادفی، از داده‌های واقعی ثبت‌شده استفاده شود. از این رو در پژوهش حاضر ضمن

بیشینه‌سازی درصد تأمین نیازهای محیط‌زیستی در نقاط پیشنهادی در ماه‌های مختلف بررسی شد. میزان رهاسازی از مخزن به‌عنوان متغیر تصمیم‌گیری مسئله بهینه‌سازی تعیین شد. توابع هدف مورد نظر این پژوهش به شرح رابطه‌های (۱) و (۲) و با توجه به اینکه در هر مدل بهینه‌سازی مقادیر کلیه متغیرهای تصمیم برای بیشینه یا کمینه‌سازی تابع هدف تحت مجموعه‌ای از محدودیت‌ها محاسبه می‌شوند (Tarazkar و از طرفی محدودیت معادله پیوستگی نیز از اساسی‌ترین روابط مدل‌سازی بهره‌برداری از مخزن است که می‌توان به‌صورت روابط (۳) تا (۶) تعریف نمود (Noori 2015). در اولین تابع، به بیشینه‌سازی تأمین نیازهای کل در ماه‌های مختلف سال و در دومین تابع، بیشینه‌سازی درصد تأمین نیازهای محیط‌زیستی در نقاط پیشنهادی در ماه‌های مختلف مدنظر بود.

$$F_1 = \text{Maximize}(\sum_{z=1}^m \sum_{d=1}^k \sum_{t=1}^n (COV_{zdt})) = \text{Maximize}(\sum_{z=1}^m \sum_{d=1}^k \sum_{t=1}^n (\frac{TDW_{zdt}}{MD_{zdt}})) \quad (1)$$

$$F_2 = \text{Maximize}(\sum_{p=1}^i \sum_{t=1}^n (COV_{pt})) = \text{Maximize}(\sum_{p=1}^i \sum_{t=1}^n (\frac{TDW_{pt}}{MD_{pt}})) \quad (2)$$

مخزن در ابتدا و انتهای دوره t است. مقادیر a ، b ، c و d هم ضرایب معادله سطح حجم مخزن هستند. همچنین در سرریز از مخزن قیدهایی را در محاسبات اعمال می‌کند، طوری‌که در رابطه (۷) S_{max} حجم بیشینه مخزن است (Noori 2015).

$$Sp_1 = \begin{cases} S_t + Q_t - Re_t - Loss_{(t)} - S_{max} \\ \text{if } S_t + Q_t - Re_t - Loss_{(t)} > S_{max} \\ 0 \\ \text{if } S_t + Q_t - Re_t \leq S_{max} \end{cases} \quad (7)$$

در تمام مراحل بهره‌برداری از مخزن باید حجم رهاسازی از مخزن علاوه بر مثبت بودن، بین مقادیر حداقل و حداکثر حجم موردنیاز پایین‌دست قرار داشته باشد که به‌صورت رابطه (۸) تعریف می‌شود (Mousavi et al. 2016).

$$De_{min,t} \leq Re_t \leq De_{max,t} \quad (8)$$

که، $De_{min,t}$ و $De_{max,t}$ به‌ترتیب حداقل و حداکثر حجم آب موردنیاز پایین‌دست طی ماه t هستند. رهاسازی از مخزن تابع جریمه $P2$ اعمال می‌شود که به‌صورت رابطه (۹) تعریف می‌شود (Mousavi et al. 2016). جریان ورودی ماهانه کل، از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۸ و یا ۱۸ yr معادل month

از برآورد مقادیر آبدی جهت برآورد نیاز محیط‌زیستی رودخانه از حالت عادلانه با درصدهای ۱۰ (پاییز و زمستان) و ۳۰ (بهار و تابستان) استفاده شد. درنهایت با ضرب کردن درصدهای فوق در مقادیر متوسط آبدی ماهانه در انتهای رودخانه‌ی مارون، میزان حداقل جریان محیط‌زیستی رودخانه به‌دست آمد. در ادامه محدودیت‌های مسئله بهینه‌سازی مخزن تعریف‌شده و درنهایت با اجرای الگوریتم HOA و مدل شبیه‌سازی WEAP مقادیر رهاسازی بهینه مخزن سدها با در نظر گرفتن سناریوهای تعریف‌شده تعیین می‌شوند.

۲-۲- توابع هدف و تأمین نیازهای ماهانه و کل

در این پژوهش از یک الگوریتم چندهدفه استفاده شد. به این صورت که در هدف اول، بیشینه‌سازی درصد تأمین نیازهای کل در ماه‌های مختلف در کنار هدف دوم، یعنی

که، COV_{zdt} درصد تأمین نیاز d در دوره t در منطقه z ، TDW_{zdt} حجم کل آب تحویلی به نیاز d در دوره t در منطقه z ، MD_{zdt} حجم کل آب موردنیاز، به نیاز d در دوره t در منطقه z ، COV_{pt} درصد تأمین نیاز محیط‌زیستی نقطه p در دوره زمانی t ، TDW_{pt} حجم کل آب اختصاص یافته به گره محیط‌زیستی p در دوره زمانی t و MD_{pt} حجم کل آب مورد نیاز محیط زیستی در محل گره p در دوره زمانی t است (Deb et al. 2002).

$$A_{(t)} = aS_{(t)}^3 + bS_{(t)}^2 + eS_{(t)} + d \quad (3)$$

$$\bar{A}_{(t)} = (A_{(t)} + A_{(t+1)}) / 2 \quad (4)$$

$$Loss_{(t)} = \bar{A}_{(t)} \times Ev_{(t)} \quad (5)$$

$$S_{(t+1)} = \bar{S}_{(t)} \times Q_{(t)} - Re_{(t)} - Sp_{(t)} - Loss_{(t)} \quad (6)$$

که، $S_{(t)}$ و $S_{(t+1)}$ به‌ترتیب حجم مخزن در ابتدا و انتهای دوره t ، $Q_{(t)}$ جریان ورودی به مخزن در طول دوره t ، $SP_{(t)}$ مقدار سرریز از مخزن در طول دوره t ، $EV_{(t)}$ میزان تبخیر از سطح مخزن در طول دوره t ، $Lost_{(t)}$ میزان تلفات ناشی از تبخیر سطح مخزن در طول دوره t و $\bar{A}_{(t)}$ متوسط سطح

۳-۲- الگوریتم HOA

۳-۲-۱- گام‌های اصلی هوش اجتماعی و فردی اسب‌ها

این الگوریتم فراابتکاری به دلیل تعدد پارامترهای کنترل بر اساس رفتار اسب‌ها در سنین مختلف، عملکرد بسیار خوبی در حل مسائل پیچیده در ابعاد بالا دارد. این الگوریتم الهام گرفته از رفتار گله‌داری اسب‌ها و با تقلید از شش ویژگی مهم از عملکردهای اجتماعی اسب‌ها در سنین مختلف ایجاد شده است (شکل ۱).

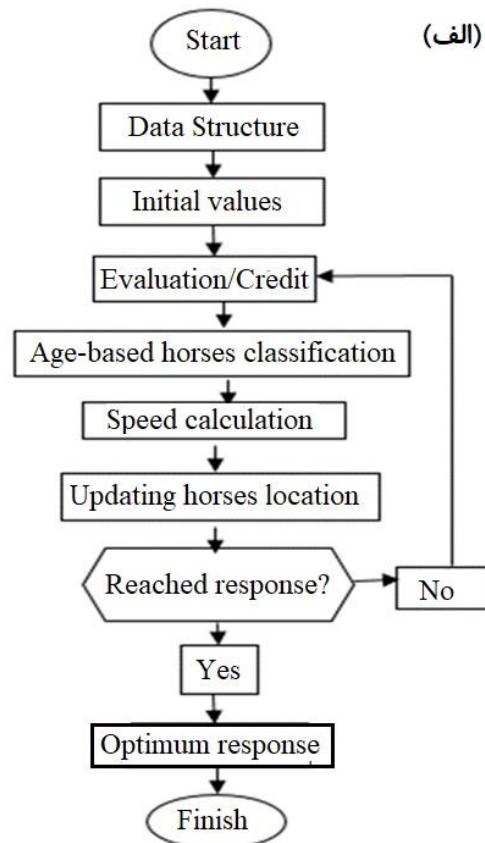
۲۱۶، به مخازن یعنی جمع تمامی ورودی‌ها به مخازن سدهای مارون و جره در مدل شبیه‌ساز وارد شد. لذا با توجه به اینکه دو گره نیاز شامل نیاز کشاورزی و محیط‌زیستی در ساختار مدل شبیه‌ساز - بهینه‌ساز تعریف شد De_{min} معادل MCM ۲۳۰ (حجم مرده مجموع مخازن) و میزان De_{max} معادل MCM ۱۶۷۹ (حجم مخازن در آستانه سریز) در نظر گرفته شد.

$$P_2 = \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^T \left(\frac{Re_i - De_{min}}{De_{min}} \right) \text{if } Re_i < De_{min} \\ \sum_{i=1}^T \left(\frac{Re_i - De_{max}}{De_{max}} \right) \text{if } Re_i > De_{max} \\ 0 \text{if } De_{min} \leq Re_i \leq De_{max} \end{array} \right\} \quad (9)$$

(ب)

1. Principal structure: Introduce useful variables and other parameters
2. Primary data: Present uniform randomized distribution of horses in a practical space
3. Check the body fitness: Assess the horse expenditure based on location and its goal performance
4. Determining age: Calculating horses age (α , β , γ , and σ)
5. Speed: Applying speed for each horse based on age
6. Determining new locations: Update the horse locations in the search space
7. Repetition: Repeat step 3 to reach desirable optimum and stopping the operation

(الف)



شکل ۱- الف- فلوچارت الگوریتم HOA و ب- شبکه‌کد

Fig.1 a) flowchart of HOA algorithm, and b) Pseudocode

می‌شود مطابق با رابطه (۱۰) است (MiarNaeimi et al. 2021).

$$X_m^{Iter.AGE} = \vec{V}_m^{Iter.AGE} + X_m^{(Iter-1).AGE}, \quad (10)$$

رفتار اسب‌ها به‌طور کلی شامل چریدن (G)، رعایت سلسله‌مراتب (H)، جامعه‌پذیری (S)، تقلید (I)، مکانیسم دفاعی (D) و پرسه زدن (R) است. بنابراین، این الگوریتم از شش رفتار کلی ذکر شده اسب‌ها در سنین مختلف الهام گرفته است. حرکتی که برای اسب‌ها در هر تکرار اعمال

افزایش سرعت حل مسئله و همچنین جلوگیری از به دام انداختن بهینه محلی با استفاده از مکانیسم مرتب‌سازی در یک ماتریس گسترده استفاده می‌کند. ماتریس گسترده با استفاده از روابط (۱۱) و (۱۲) با در کنار هم قرار دادن موقعیت‌ها (X) و هزینه هر موقعیت ($C(X)$) به دست می‌آید (MiarNaeimi et al. 2021).

$$X = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,d} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,d} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m,1} & x_{m,2} & \dots & x_{m,d} \end{bmatrix}, C(X) = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_m \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$GlobalMatrix = [XC(X)] = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,d} & c_1 \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,d} & c_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_{m,1} & x_{m,2} & \dots & x_{m,d} & c_m \end{bmatrix} \quad (12)$$

تا توانایی کاربردی آن در حوزه منابع آب نیز مورد آزمون قرار گیرد.

۲-۴- روش SVM

در بهره‌برداری واقعی از سیستم مخازن، بهره‌برداران معمولاً از منحنی‌های فرمان پیروی می‌کنند که با استفاده از آن می‌توانند در شرایط مختلف، تصمیم نسبتاً صحیحی را برای بهره‌برداری از مخازن اتخاذ نمایند. در حالت کلی یادگیری در این روش به دو شکل نظارت‌شده و نظارت‌نشده انجام می‌شود. در بسیاری از روش‌های یادگیری نظارت‌شده مجموعه‌ای از بردارهای ورودی مانند $X=\{x_n\}$ و بردارهای خروجی متناظر با آن‌ها $X=\{y_n\}$ داده می‌شود. هدف این است که ماشین قادر باشد با استفاده از این داده‌های آموزشی برای ورودی X جدید، خروجی Y را پیش‌بینی نماید (Candela and Hansel 2002). ابتدا طبق رابطه (۱۳) تابع ϕ (Heidari et al 2017). در این تابع X مجموعه ورودی‌هاست که شامل بردارهای ورودی X_i است. H فضای مشخصه است که شامل مجموعه بردارهای Z می‌باشد. در فضای مشخصه یک تابع خطی بر داده‌ها برازش داده می‌شود. در صورتی که داده‌ها در فضای ورودی اولیه به شکل خطی جدا پذیر نباشند ماشین بردار پشتیبان فضای اولیه را به فضای مشخصه با ابعاد بالاتر تبدیل می‌کند. این تبدیل توسط تابع تصویر کننده (کرنل)^۱ غیرخطی k انجام می‌شود. در فضای

که $AGE = \alpha, \beta, \gamma, \sigma$ ، $X_m^{Iter.AGE}$ موقعیت m th اسب، AGE دامنه سنی، Iter تکرار فعلی و $\vec{V}_m^{Iter.AGE}$ بردار سرعت را نشان می‌دهد. همچنین δ بیانگر محدوده سنی yr ۰-۵، γ دامنه ۵-۱۰ yr، β دامنه ۱۰-۱۵ yr و α اسب‌های بزرگ‌تر را نشان می‌دهد.

۲-۳-۲- راهبرد اکتشاف و بهره‌برداری

به کارگیری شش عامل در حرکت اسب‌ها باعث می‌شود که الگوریتم HOA تعادل خوبی بین مراحل اکتشاف و بهره‌برداری به دست آورد و از پیچیدگی محاسباتی در حل مسئله بکاهد. در این راستا، HOA از یک راه حل مناسب برای

که، X و $C(X)$ به ترتیب موقعیت‌ها و هزینه هر موقعیت را نشان می‌دهند. d و m نیز به ترتیب تعداد ابعاد مسئله و تعداد اسب هستند. d و m نیز به ترتیب تعداد ابعاد مسئله و تعداد اسب هستند. مهم‌ترین دستاورد این راهبرد بهره‌برداری با دقت بالا و سرعت کم در شرایطی است که احتمال وجود یک نقطه مطلوب زیاد است (در اطراف اسب‌های α) و کاوش با دقت کم و سرعت بالا در موقعیت‌هایی که احتمال وجود نقطه مطلوب کم است (در اطراف اسب δ و γ).

۲-۳-۳- عوامل تحلیل حساسیت الگوریتم HOA

اصولاً الگوریتم‌های فرا ابتکاری نظیر الگوریتم HOA برای حل مشکلات الگوریتم‌های ابتکاری ارائه شده‌اند. دو مشکل اصلی الگوریتم‌های ابتکاری، گیر افتادن آن‌ها در نقاط بهینه محلی و همگرایی زودرس به این نقاط است. در واقع الگوریتم‌های فرا ابتکاری، یکی از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی هستند که دارای راهکارهای برون رفت از نقاط بهینه محلی بوده و قابلیت کاربرد در طیف گسترده‌ای از مسائل را دارند (Merikh Beyat 2015). لذا با توجه به توانایی‌های این الگوریتم در حل مسائل پیچیده و چندبعدی که نتایج خوبی در حوزه‌های مطالعاتی و کاربردی گوناگون نیز به دنبال داشته است از این رو در این مطالعه نیز با به کارگیری این الگوریتم فرا ابتکاری و ترکیب آن با روش ماشین SVM به بهینه یابی در حوزه منابع آب پرداخته شد

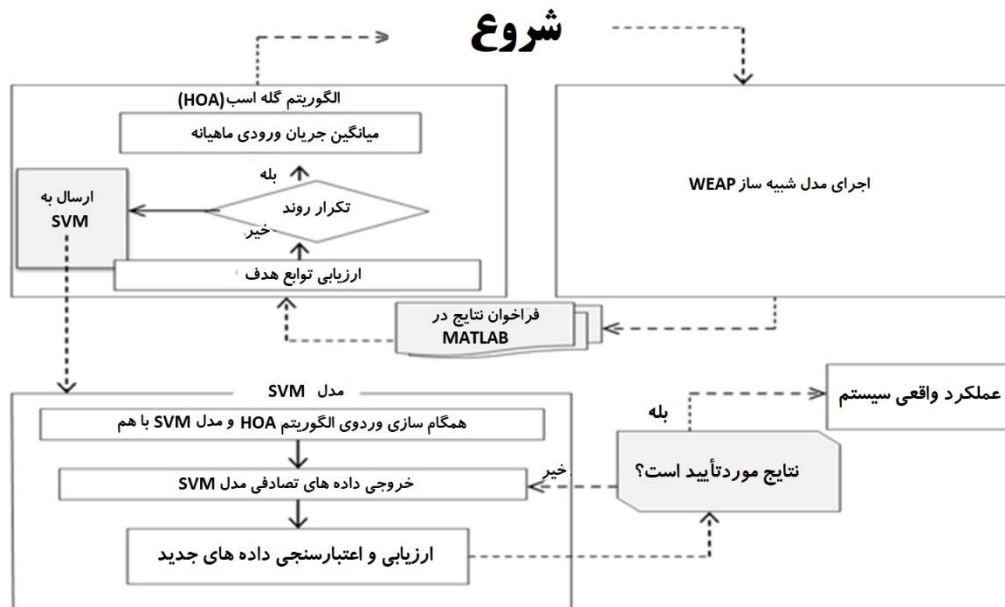
¹Kernels

فلوچارت مراحل کار در شکل (۲) نشان داده شده است (Azari and Arman 2020).

$$f(Z) = w.z + b \quad (۱۳)$$

$$\phi: X \rightarrow Z = \phi(x) \quad (۱۴)$$

مشخصه یک تابع خطی و مطابق رابطه (۱۴) محاسبه شد. در این پژوهش برای بررسی نتایج حاصل از کوپل نتایج بهینه‌سازی با الگوریتم HOA، و SVM کدنویسی در فضای نرم‌افزار MATLAB صورت گرفت. جهت درک بهتر نحوه عمل مدل ترکیبی الگوریتم HOA و ماشین بردار پشتیبان



شکل ۲- فلوچارت مراحل ترکیب نتایج الگوریتم HOA با SVM و شبیه‌ساز WEAP

Fig. 2 Flowchart of the steps of combining HOA algorithm results with SVM support vector machines and a load simulator

تابع غیر خطی k به صورت رابطه (۱۵) می‌شود و حاصل ضرب داخلی توابع ϕ است. یکی از توابع کرنل پرکاربرد که در این تحقیق از آن استفاده شده تحت عنوان تابع گوسی به صورت رابطه (۱۶) تعریف می‌شود. پس از مرحله تبدیل غیر خطی، ماشین‌های SVM در این فضای مشخصه جدید یک ابر صفحه جداساز بهینه با حداکثر حاشیه اطمینان را جستجو می‌کنند. در پیش‌بینی سری زمانی در ماشین بردار پشتیبان رابطه (۱۷) باید کمینه گردد (Heidari et al. 2017).

تابع غیر خطی k به صورت رابطه (۱۵) می‌شود و حاصل ضرب داخلی توابع ϕ است. یکی از توابع کرنل پرکاربرد که در این تحقیق از آن استفاده شده تحت عنوان تابع گوسی به صورت رابطه (۱۶) تعریف می‌شود. پس از مرحله تبدیل غیر خطی، ماشین‌های SVM در این فضای مشخصه جدید یک ابر صفحه جداساز بهینه با حداکثر حاشیه اطمینان را جستجو می‌کنند. در پیش‌بینی سری زمانی در ماشین بردار پشتیبان رابطه (۱۷) باید کمینه گردد (Heidari et al. 2017).

$$K(x_i, x_j) = \Phi(x_i) \cdot \Phi(x_j) = z_i \cdot z_j \quad (۱۵)$$

$$K(x_i, x_j) = e^{-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}} \quad (۱۶)$$

$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2 + \frac{c}{m} \sum_{i=1}^m l(y_i, f(z)) \quad (۱۷)$$

$$l(y_i, f(z)) = |y - f(z)|_{\varepsilon} \max\{0, |y - (z)|_{\varepsilon}\} \quad (۱۸)$$

رابطه (۱۸) می‌تواند به شکل رابطه (۱۹) بیان شود که باید با توجه به محدودیت‌های رابطه (۲۰) بهینه گردد:

$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^m (\xi_i + \xi_i^*) \quad (۱۹)$$

$$\text{Subject to } \begin{cases} y_i - wx_i - b \leq \varepsilon + \xi_i \\ wx_i + b - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^* \\ \xi_i, \xi_i^* \geq 0 \end{cases} \quad (۲۰)$$

که ξ_i و ξ_i^* متغیرهای کمبود، y_i مقدار سری زمانی مشاهداتی و $w x_i + b$ مقدار سری زمانی پیش‌بینی شده است. m تعداد داده‌های مورد استفاده در مرحله آموزش است

که، $l(y_i, f(z))$ تابع هزینه بر اساس مقدار تخطی از خطای مجاز ε است که از رابطه (۱۸) به دست می‌آید. ترم

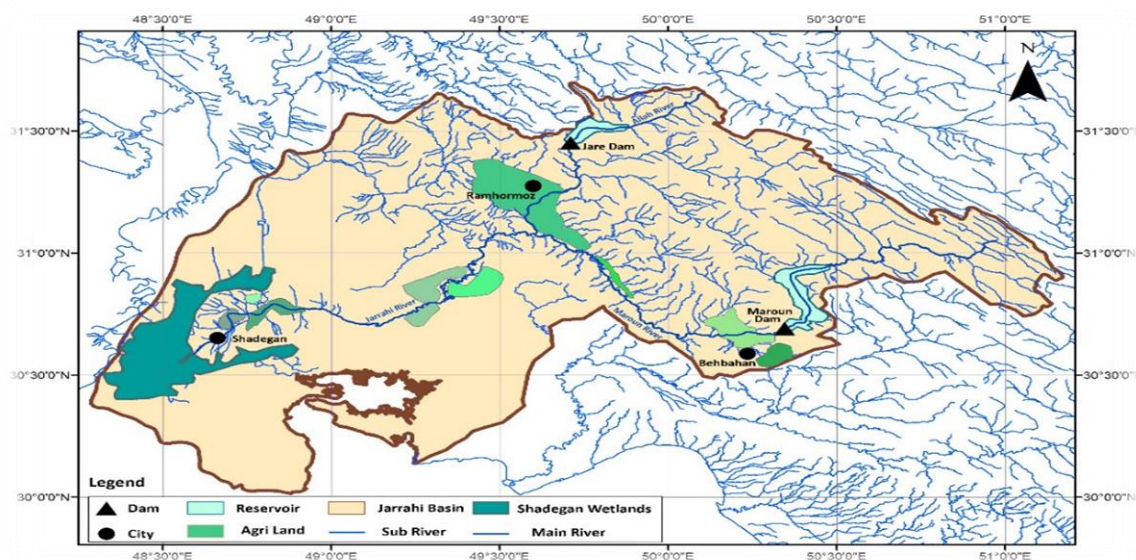
۲-۵- موقعیت حوضه رودخانه جراحی

رودخانه جراحی یکی از رودخانه‌های حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان بوده و قسمت اعظم آن در استان خوزستان واقع شده است. طول رودخانه جراحی از محل تلاقی دو رودخانه اعلا و مارون تا مصب آن در خور موسی ۲۱۰ km و از سرچشمه رودخانه مارون تا مصب ۵۲۰ km، از بین مصرف‌کنندگان حوضه آبریز جراحی تالاب شادگان از موقعیت خاص و اهمیت بالایی برخوردار است. در منتهی‌الیه مسیر رودخانه جراحی در ابتدای خلیج فارس در جنوب غربی ایران واقع شده است (شکل ۳).

و C یک پارامتر تنظیمی تحت عنوان ضریب تابع هزینه است. در نهایت پس از تعیین ضرایب و تابع کرنل مناسب پیش‌بینی سری زمانی توسط رابطه (۲۱) صورت می‌گیرد (Azari and Arman 2020).

$$y = \sum_{i=1}^n (\alpha_i^+ - \alpha_i^-) K(x_i, x) + b \quad (21)$$

که، b مقدار عرض از مبدأ یا مقدار اریب مدل و α_i ضرایب لاگرائز و $\alpha_i^+ - \alpha_i^-$ وزن تابع کرنل در هر لایه i در کل فضای مشخصه است.



شکل ۳- محدوده حوزه آبخیز جراحی
Fig. 3 Jarrahi catchment area

دشت رامهرمز، کنترل سیلاب رودخانه و تولید انرژی برقی به میزان ۹ Mw است. این سد به‌عنوان پنجمین سد خاکی استان خوزستان از لحاظ جنس و ابعاد (بعد از سدهای کرخه، مارون، مسجدسلیمان و گتوند علیا) است. سد مارون نیز در ۱۹ km شمال شرقی بهبهان بر روی رودخانه مارون واقع شده است. رودخانه مارون یکی از رودخانه‌های اصلی استان خوزستان بوده و وسعت حوضه آبریز آن ۳۸۲۴ km² است. هدف از احداث این سد کنترل سیلاب‌های مخرب، تأمین آب مورد نیاز اراضی کشاورزی پایین دست (دشت‌های بهبهان - جایزان - خلف آباد - شادگان) و تولید انرژی برق به میزان ۱۵۰ Mw می‌باشد. مشخصات سد و نیروگاه مارون و جره رامهرمز در جدول (۱) ارائه شده است (Sima et al. 2012).

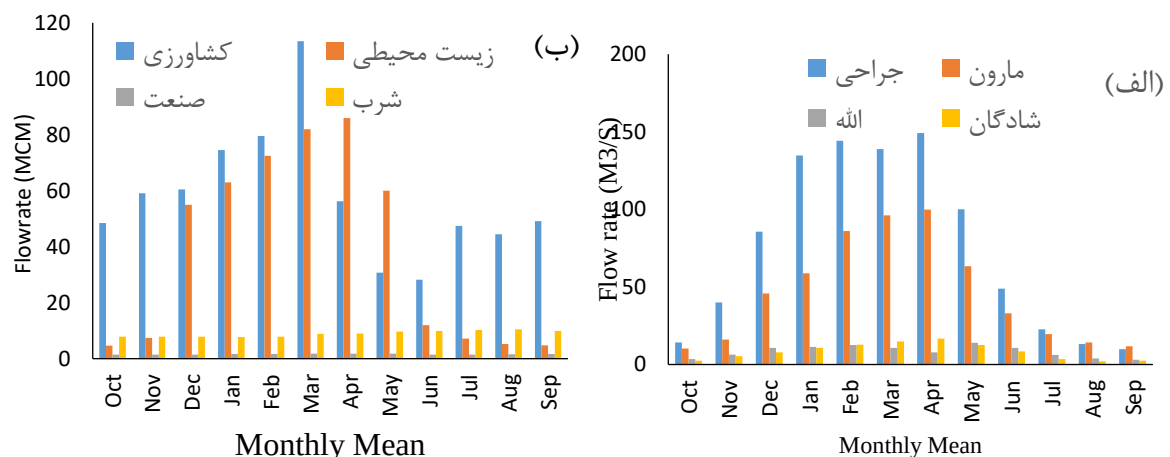
رودخانه جراحی به همراه رودخانه زهره از دو زیر حوضه مستقل و جدا از یکدیگر که در مجاورت هم واقع شده‌اند تشکیل گردیده است. این دو زیر حوضه به دلیل مشابهت‌هایی که با یکدیگر دارند در مطالعات و گزارش‌های متعددی در قالب یک واحد دیده شده‌اند. از نظر تقسیم‌بندی هیدرولوژیکی، حوضه آبریز جراحی- زهره بخشی از حوضه آبریز خلیج فارس بوده و در تقسیم بندیهای وزارت نیرو با کد ۲۴ مشخص شده است. زیر حوضه جراحی با مساحت ۲۵۳۴۹ km² از سمت غرب و شمال به حوضه آبریز رودخانه کارون محدود بوده و از سمت شرق، حوضه آبریز رودخانه زهره آن را محدود می‌نماید. سد مخزنی جره در ۳۵ km شمال شرق رامهرمز در نزدیکی روستای جره بر روی رود زرد احداث شده است. هدف از اجرای این سد تأمین آب ۲۲۰۰۰ ha از اراضی

جدول ۱- مشخصات سد و نیروگاه مارون و جره رامهرمز

Table.1 Properties of hydropower plants

Jarrha Ramhormoz Reservoir Dam	Maroon Reservoir Dam	Property
Yellow River	Maroon River	Water provide source
Floods, agriculture, drinking and energy	Floods, agriculture, drinking and energy	purpose of building the dam
101	1578	Average annual revenue (MCM)
114	175	Height of foundation (m)
431	505	Normal level (m)
240	1200	Reservoir volume at normal level (MCM)
30	200	Dead Volume (MCM)
101	723	Adjustable Flow Volume (MCM)
108	150	Nominal capacity of power plant (MW)

بعد از جمع‌آوری داده‌های لازم، میانگین آبدهی ماهیانه رودخانه جراحی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری و همچنین میانگین ماهیانه نیازهای آبی مختلف درحوضه جراحی



شکل ۴: الف - میانگین آبدهی ماهیانه رودخانه جراحی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری، ب- میانگین نیازهای آبی مختلف در حوضه جراحی (۱۳۹۸-۱۳۸۰)

Fig. 4 a) Average monthly discharge of Jarahi river at hydrometric stations b) Average monthly different water needs in Jarahi basin (2001-2019)

تأثیر انتقال آب از کارون به تالاب شادگان قبل از فارسیات، ۴- سناریو مرجع (شرایط موجود)، می‌باشند که در جدول (۲) ارائه شده است. در سناریوی بهینه، اجراهای مکرر الگوریتم نشان داد که برای رسیدن به نتایج بهتر، باید حداقل دو برابر تعداد متغیرهای تصمیم وجود داشته باشد که در این پژوهش تعداد جمعیت اولیه در مدل در حدود ۵۰ انتخاب شد. انتخاب تعداد جمعیت بیش‌تر زمان اجرای مدل را به‌شدت افزایش می‌دهد. پارامترهای مهم دیگری برای بهینه‌سازی مانند ماکزیمم، مینییمم، متوسط و انحراف معیار وجود دارند که به‌طور مناسبی گزارش شدند. در تمامی تکرارهای الگوریتم بهینه‌ساز، تولید متغیرهای جدید بر اساس متغیرهای قبلی در کسری از ثانیه انجام شده و تأثیر زیادی بر زمان اجرای مدل کوپل شده شبیه‌سازی-

۳- یافته‌ها و بحث

نتایج بهینه‌سازی حاصل از سناریوهای مدیریتی تعریف شده پس از کالیبراسیون مدل و کسب اطمینان از مقادیر ورودی به مدل شامل منابع (آبدهی رودخانه‌ها و رواناب‌ها) و مصارف (نیازهای شرب، زیست‌محیطی، کشاورزی و صنعت) مدل برای یک دوره ۶۰ yr در گام زمانی ماهانه از سال آبی ۱۳۹۶-۱۴۵۶ (مهر ۱۳۹۶ تا شهریور ۱۴۵۷) برای سناریوهای موردنظر پس از شبیه‌سازی (تکرار سری‌های زمانی ۶۰yr اخیر در آینده) محاسبه شده است. چهار سناریوی متفاوت در این مطالعه مد نظر قرار گرفت که به ترتیب شامل: ۱- بهره‌برداری از نواحی (۱، ۴ و ۵) رامهرمز و تأثیر آن بر جریان ورودی به تالاب، ۲- کاهش ۱۰٪ آبدهی ورودی به سدهای مخزنی مارون و جره، ۳-

بهینه‌سازی نداشت. - چون قسمت اعظم زمان اجرای مدل توجه حل هم‌زمان معادلات بیلان در مدل WEAP، هر بار کوپل شده مربوط به اجرای شبیه‌ساز در هر تکرار است که با اجرای آن زمان زیادی نیاز داشت.

جدول ۲ نتایج حاصل از بهینه‌سازی منابع آب حوضه جراحی الگوریتم HOA (%)

Table 2 Results of HOA Algorithm Jarrahi Basin Water Resource Optimization (%)

Niar supply function	Maximum	Average	Minimum	Standard deviation	Number of algorithm executions
Agriculture (F1)	303	148	103	0.2	50
environmental (F2)	402	152	112	3.3	50
Algorithm execution time (Seconds)	57.8	57.7	56.6	0.00	-

طبق جدول (۳) میانگین شاخص‌های ارزیابی از جمله اعتمادپذیری نیاز تالاب شادگان در ۴ سناریو بررسی و منعکس شد. طبق نتایج می‌توان بیان کرد که سیستم در حالت فعلی (سناریو مرجع) اعتمادپذیری سامانه مارون-جراحی ۷۷٪ می‌باشد که نشان از کمبود توانایی سامانه در تأمین نیاز ۱۰۰٪ تالاب می‌باشد. همچنین در سناریوهای کاهش ۱۰٪ آبدی ورودی به سدها اعتمادپذیری ۷۴٪ و در سناریو بهره‌برداری از نواحی ۱، ۴ و ۵ میزان اعتمادپذیری ۶۸٪ بود. دلیل تفاوت بین مقادیر کاهش ۱۰٪ و بهره‌برداری از نواحی سه‌گانه رامهرمز و تأثیر بیش‌تر نسبت به آبدی دو رودخانه‌ای بودن سیستم است که مدل را از حالت خطی خارج می‌کند و نشان می‌دهد بهره‌برداری از شبکه‌ها در شاخه الله تأثیر بیش‌تر دارد. ولی در سناریو انتقال آب از کارون شاخص اعتمادپذیری ۹۹٪ می‌باشد که مطلبی مشهود است.

بر همین اساس نتایج نشان داد که در تکرارهای پایین‌تر میزان تابع اطمینان‌پذیری و آسیب‌پذیری، هر دو تغییرات محسوسی دارند. اما در تکرارهای بالاتر دامنه تغییرات تابع اطمینان‌پذیری ثابت شد. در نهایت پس از انجام بهینه‌سازی، منحنی تبادل بهینه بین اهداف بهینه‌سازی که تابع حداکثرسازی اطمینان‌پذیری و تابع حداکثرسازی تأمین نیاز محیط‌زیستی می‌باشند به دست آمد. مطابق با روش الگوریتم HOA، در هر تکرار بهترین جواب‌ها بر اساس ارزش‌گذاری توابع هدف و فرآیند نخبه‌گرایی انتخاب می‌شوند و تحت عنوان مجموعه بهینه جهت انتقال به مرحله بعد ذخیره می‌گردند. نقاط ترسیم‌شده در گراف پرتو (شکل ۶) همان جواب‌های بهینه خروجی سد مارون و مدل SVM مدل بوده و محورهای این گراف توابع هدف مورد نظر می‌باشند.

جدول ۳- میانگین شاخص‌های درصد تأمین نیاز تالاب شادگان با الگوریتم HOA

Table.3 Average percentages of Shadegan wetland supply needs with HOA algorithm

Objective Function	Stability	Vulnerability	Reversibility	Reliability	Scenario
%10 Yield Reduction	39	38	68	74	1
Land Development	36	34	65	88	2
Transferring Water	30	28	92	99	3
Reference	23	27	71	77	4

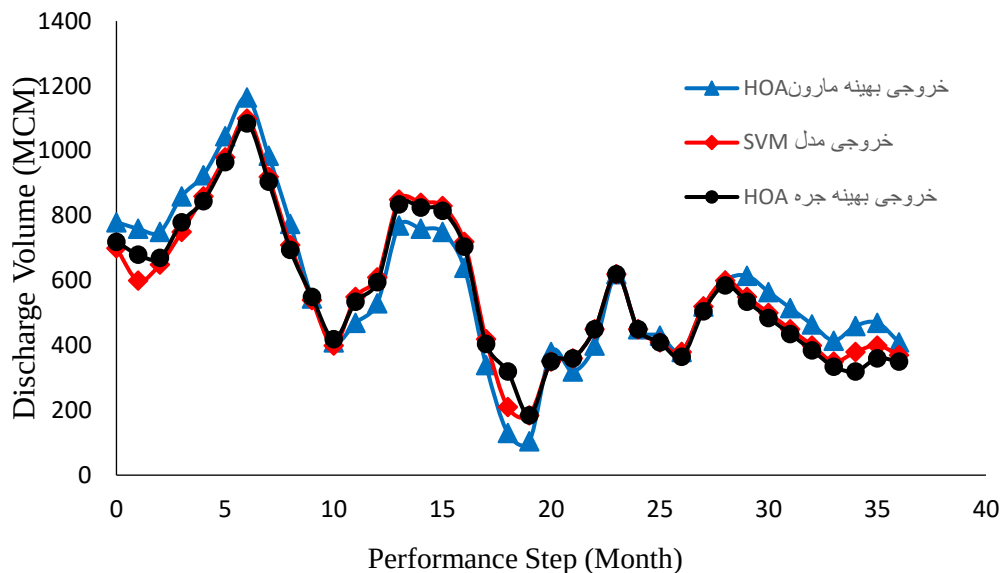
انتقال آب بین حوضه‌ای می‌باشد. با توجه به اینکه نیاز شرب به اولویت اول در سیستم در تمام سناریوها به‌صورت ۱۰۰٪ تأمین شده است از این‌رو همین امر نشان می‌دهد که در طول دوره شبیه‌سازی هیچ‌گونه مشکلی در تأمین نیاز شرب مردم شهرهای بهبهان، رامهرمز، شادگان، به‌وجود نمی‌آید.

در شکل (۵) توانایی ساختار آموزش دیده در پیش‌بینی رهاسازی بهینه از سدهای مارون و جره در ماه‌های مختلف با

اما مسئله مهم‌تر تأثیر انتقال آب از کارون به تالاب است که با مشکلات خشکسالی حوضه کارون قطعاً این سناریو عملی نخواهد بود. لذا این موضوع در مقطع فارسیات مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی اعتمادپذیری تأمین نیاز محیط‌زیستی فارسیات در جدول (۳) در سناریو مرجع و انتقال آب از کارون به تالاب کاهش ۵۰٪ اعتمادپذیری در مقطع فارسیات مشاهده می‌شود که نشان از عدم توانایی سامانه کارون جهت

رویکردی تلفیقی و فرا ابتکاری برای تدوین قوانین بهره‌برداری در زمان واقعی بهره گرفته و به بهره‌برداری تلفیقی بهینه کمی- کیفی تخصیص آب و بار آلودگی در سطح حوضه سد - زاینده‌رود دست یافتند (Nikoo et al. 2013).

استفاده از داده‌های ورودی به مخازن مذکور، میزان ذخیره مخزن و تغییرات آن در ابتدای ماه و نیاز آبی مصارف در ماه حاضر را نشان می‌دهد. این گراف همان جواب‌های بهینه خروجی سد مارون و مدل SVM مدل بوده و محورهای این گراف توابع هدف مورد نظر می‌باشند. در پژوهشی از

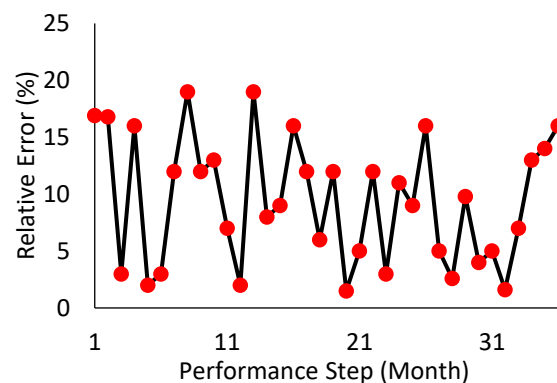


شکل ۵- صحت‌سنجی مدل SVM در تخمین میزان رهاسازی سدهای مارون و جره در دوره آماری مهرماه (۱۳۹۶-۱۳۹۹)
Fig. 5 Validation of SVM model in estimating the release rate of Maroon and Jarreh dams in the statistical period of October (2017-2016)

محاسبه و بیش‌ترین میزان میانگین درصد خطا حدود ۱۷٪ بوده است.

توانایی‌های الگوریتم‌های تلفیقی با مدل SVM در مطالعات چندی نیز تأیید شده است. از این‌رو یافته‌های این پژوهش نیز با پژوهش‌های چندی هم‌راستا بوده و با آنها همپوشانی دارد. (Azari and Arman 2020) با تلفیق روش SVM و الگوریتم NSGA-II برای بهره‌برداری بهینه از سیستم در زمان واقعی استفاده و نشان دادند که میزان میانگین خطای قوانین بهینه مستخرج از ماشین‌های بردار پشتیبان نسبت به خروجی الگوریتم بهینه‌سازی NSGA-II در مرحله صحت‌سنجی کم‌تر از ۱۰٪ است. همچنین Bazargan lari et al. (2011) نیز از همین رویکرد در استخراج میزان برداشت بهینه از آب زیرزمینی پیروی نموده و نتایج رضایت بخشی برای استفاده از نتایج حاصل در زمان واقعی گرفتند

نتایج کلی حاصل از این مطالعه نشان داد که مدل توسعه داده شده بر اساس ترکیب مدل‌های HOA و WEAP و صحت‌سنجی جواب‌های بهینه در جبهه پارتو و منحنی فرمان بهره‌برداری بر اساس مدل SVM نشان داد که با در نظر



شکل ۶- درصد خطای نسبی مدل SVM در تخمین میزان رهاسازی بهینه

Fig. 6 Percentage of relative error of the support vector machine model in estimating the optimal release rate

در شکل (۶) میزان خطای نسبی مدل توسعه داده شده و همچنین تخمین مقدار رهاسازی بهینه از سدهای مارون و جره نمایش داده شده است. این نمودار کارایی مدل ماشین بردار پشتیبان آموزش داده شده برای تخمین خروجی بهینه در حالت استفاده از سری داده‌های جدید را نشان می‌دهد. بر اساس نمودار مذکور، میانگین درصد خطا برای ۳۶ ماه

۱۰٪ بود که نشان‌دهنده کارایی این روش در پیش‌بینی الگوی بهینه منحنی فرمان سد در زمان واقعی است.

۶- ارزیابی سناریوهای مختلف نشان داد که توسعه کشاورزی در نواحی ۱، ۴ و ۵ رامهرمز به‌طور متوسط ۵۰٪ کاهش خواهد یافت و نیز کاهش ۱۰٪ آبدهی ورودی به سدهای مارون و جره اثرات منفی بر تالاب شادگان خواهد گذاشت.

پیشنهاد می‌شود با اتخاذ راهکارهایی مدیریتی، در رهاسازی آب از مخازن واقع در بالادست بوم‌سازگان بارزش نظیر تالاب‌ها، نیازهای محیط‌زیستی رودخانه و تالاب توامان در نظر گرفته شود. چراکه ادامه وضع موجود منجر به نابودی کل بوم‌سازگان تالاب شادگان و البته رودخانه جراحی به-عنوان تأمین‌کننده اصلی حق‌آبه تالاب بین‌المللی شادگان خواهد شد و درنهایت ایجاد اثرات مخرب محیط‌زیستی ازجمله توسعه کانون‌های ریزگرد در منطقه، بحران‌های اقتصادی و اجتماعی ایجاد می‌گردد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مسئولین شرکت آب و برق خوزستان و مدیریت اداره تحقیقات پیشرفته برای حمایت مالی این پژوهش تشکر می‌شود. همچنین، از معاونت مطالعات پایه شرکت KWPA برای فراهم‌نمودن داده‌ها سپاسگزاری می‌شود.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل قابل‌ارسال است

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

- Azari, A. and Arman, A. (2020). Optimal utilization of water resources in real time based on nsga-ii algorithms and support vector machines (Case study: Gavoshan Dam), *Irrig. Sci. Eng.*, 43(1), 189-204 [In Persian] DOI: 10.22055/jise.2018.23042.1639.
- Candela, J. Q. and Hansen, L. K. (2002). Time

گرفتن سیاست بهینه، درصد تأمین و اطمینان‌پذیری تأمین اکثر نیازها به‌طور مناسب و قابل قبولی است. نتیجه نهایی این تحقیق نشان داد میانگین خطای قوانین بهینه مستخرج از مدل SVM نسبت به خروجی الگوریتم بهینه‌سازی HOA در مرحله صحت سنجی کم‌تر از ۱۷٪ است که نشان‌دهنده کارایی مناسب این روش تلفیقی در پیش‌بینی الگوی بهینه منحنی فرمان سد در زمان واقعی است.

۴- نتیجه‌گیری

مطابق یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد:

- ۱- مدل SVM توسعه داده شده در این پژوهش، این قابلیت را دارد که با توجه به ورودی‌های جدید جریان به سد در زمان سیلاب، سریعاً سیاست‌های بهره‌برداری بهینه را در زمان واقعی فراهم کند.
- ۲- الگوریتم‌های تلفیقی و فراابتکاری بهینه‌سازی استفاده شده در این پژوهش قابلیت مدیریت بهینه منابع آب و بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن را دارد.
- ۳- با در نظر گرفتن سیاست بهینه، درصد تأمین و اطمینان-پذیری تأمین بیش‌تر نیازها (شرب، کشاورزی، محیط‌زیستی و صنعت) به‌طور مناسب و قابل قبولی انجام گرفت.
- ۴- مقادیر رهاسازی بهینه یا منحنی فرمان بهینه حاصل از هیبرید الگوریتم HOA و شبیه‌ساز WEAP براساس یک سری معین از جریان ورودی به مخزن طی دوره بهره‌برداری از سدهای مارون و جره و رهاسازی از مخازن فوق جهت تأمین مصارف پایین‌دست در این شرایط بهینه گردید. لذا به جهت اینکه تعمیم این مدل برای سایر ورودی‌های محتمل به مخزن خالی از اشکال نخواهد بود برای رفع این نقض و استفاده از نتایج بهینه‌سازی در زمان واقعی از روش هوشمند SVM استفاده شد و نتایج مطلوبی بدست آمد.
- ۵- میزان میانگین خطای قوانین بهینه مستخرج از SVM نسبت به خروجی HOA در مرحله صحت سنجی کم‌تر از

series prediction based on the relevance vector machine with adaptive kernels. *IEEE International Conference on acoustics, speech, and signal processing (ICASSP)*, Orlando, FL, USA. DOI: 10.1109/ICASSP.2002.5743959

Deb, K., Pratap, A., Agrawal, S. and Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective



- genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Trans. Evolution. Comput., 6(2), 182-197. DOI: 10.1109/4235.996017
- Donyaii, A., Sarraf, A. and Ahmadi, H. (2020a). Multi-objective optimal utilization policy of Boostan dam reservoir using whale and NSGA-II algorithms based on game theory and shannon entropy method. Iran. Water Res. J., 14(4), 99-111 [In Persian]. DOI: 10.1109/4235.996017
- Donyaii, A., Sarraf, A. and Ahmadi, H. (2020b). Water reservoir multi-objective optimal operation using grey wolf optimizer. Shock Vibrat. J., Article ID 8870464. DOI: 10.1155/2020/8870464. [In Persian].
- Donyaii, A., Sarraf, A. and Ahmadi, H. (2021). Optimization of reservoir dam operation using gray wolf, crow search and whale algorithms based on the solution of the nonlinear programming model. J. Water Soil Sci., 24(4), 159-175 [In Persian]. <https://www.sid.ir/paper/388904/en>
- Heidari, Z., Farasati, M. and Ghobadian, R. (2017). Applicability of support vector machine in simulating wetting pattern under trickle irrigation. J. Water Soil Sci., 22(2), 373-382 [In Persian] DOI: 10.29252/jstnar.22.2.373
- Hojjati, A., FaridHoseini, A. R., Ghahreman, B. and Alizadeh, A. (2013). The comparison of the application of heuristic methods in optimization of multiobjective water resources systems. Water Environ. Eng. 1(2), 9-14 [In Persian].
- Li, X., Sha, J., Li, Y. M. and Wang, Z. L. (2017). Comparison of hybrid models for daily stream flow prediction in a forested basin. J. Hydro Inform., 20(1), 191-205, DOI: 10.2166/hydro.2017.189.
- MiarNaeimi, F., Azizyan, G. and Rashki, M. (2021). Horse herd optimization algorithm: A nature-inspired algorithm for high-dimensional optimization problems. Knowledge-Based Syst. 213, 106711. DOI: 10.1016/j.knsys.2020.106711
- Mirfendreski, G. and Mosavi, S. J. (2011). Supported vector machines for super-modeling in order to optimize the allocation of basin water resources, In 6th National Congress on Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran [In Persian].
- Mousavi, S. M. R., Khoisheh, M., Ghamgsar, A. and Qalandari, M. J. (2016). Classification of sonar data using graywolf optimization algorithm. Electro. Indust. Quart., 7(1), 45-62 [In Persian].
- Mazvimavi, D., Madamombe, E. and Makurira, H. (2007). Assessment of environmental flow requirements for river basin planning in Zimbabwe. Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C., 32(15), 995-1006. DOI: 10.1016/j.pce.2007.07.001
- Nikoo, M. R., Karimi, A., Kerachian, R. and Bashi-Azghadi, S. N. (2013). Long-term optimum water and waste load allocation rules in river-reservoir groundwater systems: Application of SVR simulation model. Water Environ. Eng., 1(1), 1-11. [In Persian].
- Noori, M. (2015). Multi-reservoir multi-objective water resources systems management using optimization model terms of climate change. Ph.D Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, I.R. Iran [In Persian].
- Olsen, M., Trolborg, L., Henriksen, H. J., Conallin, J., Refsgaard, J. C. and Boegh, E. (2013). Evaluation of a typical hydrological model in relation to environmental flows. J. Hydrol., 507, 52-62. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.10.022
- Qaderi, K., S. Akbarifard, M. R. Madadi and B. Bakhtiari. (2018). Optimal operation of multi-reservoirs by water cycle algorithm. Proceed. Instit. Civil Eng: Civil Eng., 171(4), 179-190. DOI: 10.1680/jwama.16.00034 [In Persian].
- Rani, D. and Moreira, M. M. (2010). Simulation-optimization modeling: a survey and potential application in reservoir systems operation. Water Resour. Manag., 24(6), 1107-1138. DOI: 10.1007/s11269-009-9488-0
- Saber Chenari, K., Abgari, H., Erfaniyan, M., Ghaderi, M. and Salmani, H. (2016). Optimization reservoir operation policy with approach reduces probability of inflow using genetic algorithm (The case study: Mahabad Reservoir Dam). Watershed Manag. Res., 111, 34-43 [In Persian].
- Shokoohi, A. R. and Hong, Y. (2011). Determining the minimum ecological water requirements in Perennial rives using morphological parameters. J. Environ. Stud., 37(58), 117-128. DOI: 20.1001.1.10258620.1390.37.58.13.3



- Sedighkia M, Ayyoubzadeh S. A. and Hajiesmaeli M. (2015). Investigation on the necessities of instream flow needs assessment in the rivers using hydro-ecological methods (Case study: Delichai river in Tehran, Iran). *Ecohydrol.*, 2(3), 289-300 DOI: [10.22059/IJE.2015.57298](https://doi.org/10.22059/IJE.2015.57298) [In Persian].
- Sima, S., Shafieejood, M., Tajrishy, M. and Abrishamchi, A. (2012). Simulation of overhaul of Marun multi-purpose dam with downstream environmental considerations. The First International Conference on Dams & Hydropower, Tehran, Iran.
- Tennant, D. L. (1976). Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation, and related environmental resources. *Fish.*, 1(4), 6-10. DOI: [10.1577/1548-8446\(1976\)001](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1976)001).
- Tarazkar, M. H., Zibae, M. and Soltani, G. (2016). Optimization of operation role curve of Doodzan Dam reservoir under drought conditions. The 10th Biennial Conference of Iran's Agricultural Economics. Tehran, Iran [In Persian].
- Yaseen, Z. M., Allawi, M. F., Karami, H., Ehteram, M., Farzin, S., Ahmed, A. N., Koting, S. B., Mohd, N. S., Binti Jaafar, W. Z., Afan, H. A. and El-Shafie, A. (2019). A hybrid bat-swarm algorithm for optimizing dam and reservoir operation. *Neural. Comput. Appl.*, 31(12), 8807-8821. DOI: [10.1007/s00521-018-3952-9](https://doi.org/10.1007/s00521-018-3952-9)

How to cite this paper:

Saham, B., Sarraf, A. and Aminnejad, B. (2022). Ascertaining optimal real-time reservoir operation policy by means of modern HOA algorithm and based on the SVM Method to preserve the water right of Shadegan Wetland. *Environ. Water Eng.*, 8(4), 874–890. DOI: [10.22034/jewe.2022.326920.1719](https://doi.org/10.22034/jewe.2022.326920.1719)

