



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: ۲۴۷۶-۳۶۸۳

Research Paper

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

Bahram Saham^۱, Amirpouya Sarraf^{۲*} and Babak Aminnejad^۳

^۱Ph.D. Scholar, Department of Civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

^۲Assist. Professor, Department of Civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

Article information

Received: January ۲۸, ۲۰۲۲

Revised: May ۰۱, ۲۰۲۲

Accepted: May ۰۳, ۲۰۲۲

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 were 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 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 ۱۷%, 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 ۱, ۴, and ۵ of Ramhormoz will be reduced by an average of ۵۰% and also a ۱۰% 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 use 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. Therefore, the purpose of this research is to use the real data of the hydrometric stations of the studied basin instead of random data. 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 reservoir volume and downstream needs (as independent variables) and optimal release rate variable (as dependent variable) will occur. Therefore, the main goal of this research was to compare the amount of water released from the reservoir and the amount of input in drought conditions and simulate it with 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

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

Objective Function	Stability	Vulnerability	Reversibility	Reliability	Scenario
٪۱۰ Yield Reduction	۳۹	۳۸	۶۸	۷۴	۱
Land Development	۳۶	۳۴	۶۵	۸۸	۲
Transferring Water	۳۰	۲۸	۹۲	۹۹	۳
Reference	۲۳	۲۷	۷۱	۷۷	۴

An environmental demand reliability comparison of the Farsiat station in the fourth (reference) scenario and third scenario (water

optimization objectives was plotted for four scenarios, including (۱) utilizing the irrigation networks of Ramhormoz Construction Zones ۱, ۴, and ۴, (۲) a ۱۰٪ reduction in the inflow of the Maroon and Jarreh dams, (۳) transporting water from the Karun to the Shadegan ponds, and (۴) reference scenario (business-as-usual).

Results

Table (۱) 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 ۷۷٪ 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 ۱۰٪ reduction in the inflow of the dams) and the first scenario (using construction zones ۱, ۴, and ۵, reliability was found to be ۷۴ and ۶۸٪, 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 ۹۹٪ 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.

transport from the Karun to the Shadegan ponds) indicates a ۵۰٪ difference, implying the inability of the Karun system in inter-

هدف پژوهش را در انتهای مقدمه بیاورید: [A.A. ۱] Commented

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.

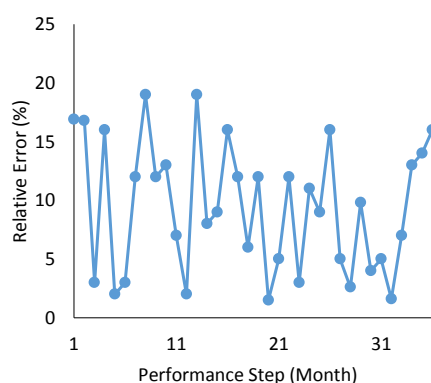


Fig. 1 Percentage of relative error of the support vector machine model in estimating the optimal release rate

The capabilities of integrated vector algorithms have also been validated in several studies. Therefore, the findings of this study are in line with several studies and overlap with them. (Azari and Arman 2020) by combining the support vector machine method and the NSGA-II algorithm for optimal real-time operation of the system and showed that the average error rate of the optimal rules extracted from the backup machines relative to the output of the NSGA-II optimization algorithm in phase Validation is less than 10%.

Conclusions

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

1. Based on the inflow to the reservoir (at the beginning of the month), the volume of water storage in the reservoir (at the beginning of the

month) and the changes in the reservoir storage and downstream needs in the current month, the optimal release rate is obtained in real time. New dam flow systems quickly adjusted optimal operation policies to allow for optimal real-time system management.

2. Optimal release values or optimal command curves obtained from the hybrid of HOA algorithm and WEAP simulator are based on a certain series of inlet flow to the reservoir during the laying period of Maroon and Jarreh dams and release from the above reservoirs to provide downstream uses in this Conditions optimized. Therefore, since the generalization of this model for other possible inputs to the reservoir will not be without problems, to eliminate this violation and use the optimization results in real time, the intelligent backup machine method was used and the desired results were obtained.

3. Based on the results, he stated that the system in its current state (reference scenario), the reliability of the Maron-Jarahi system is 77%, which shows that 100% of the available facilities in the system are required for wetlands. Also, in the scenarios of 10% reduction of water entering the dams, the reliability was 74%, and in the scenario of using areas 1, 4, and 5, the reliability was 68%. The reason for the difference between the 10% reduction and exploitation of the three areas of Ramahram and more than the irrigation of two rivers is the system, which takes the model out of the linear state and shows the exploitation. It is more effective than the networks in the branch of Allah

It is suggested that by adopting management strategies, in releasing water from reservoirs located upstream, valuable ecosystems such as wetlands, 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 Jarahi 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: 2476-3682

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، امیریویا صراف^{۲*} و بابک امین‌نژاد^۲

^۱دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

^۲استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

اطلاعات مقاله

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



چکیده

مهم‌ترین هدف در برنامه‌ریزی 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 شبیه‌ساز WEAP برای استخراج سیاست‌های بهینه 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 پیش بینی الگوی بهینه منحنی فرمان سد در زمان واقعی است. هم‌چنین ارزیابی سناریوهای مختلف نشان داد که توسعه کشاورزی در نواحی ۴، ۱ 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.

۱- مقدمه

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 آب

مهم‌ترین هدف در برنامه‌ریزی بهره‌برداری از سامانه مخزن، تعیین سیاست‌های مختلف بهره‌برداری می‌باشد که بتوانند در شرایط خشک‌سالی‌ها و عدم قطعیت‌های موجود به‌طور صحیح



تجدید پذیر از سوی دیگر باعث شده است که برنامه‌ریزان به فکر چاره و ارائه طرح‌های جامع‌تری جهت بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب موجود نظیر مخازن سدها باشند (Saber Chenari et al. ۲۰۱۶). لذا افزایش کارایی استفاده از منابع آب موجود در تأمین اهداف مختلف و کاربرد سیاست‌های بهره‌برداری بهینه از سدهای موجود در قالب روش‌های نوین و فرا ابتکاری، امری ضروری می‌باشد (Donyaii et al. ۲۰۲۰b).

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 کارا تر را دارند (Azari ۲۰۲۰ and Arman). 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 داری سرعت و دقت مناسب در مقایسه با سایر روش‌های موجود هستند (Rani ۲۰۱۰ and Moreira). مرور کوتاهی بر مطالعات انجام یافته نشان می‌دهد که طی دهه گذشته استفاده از الگوریتم‌های جدید و ترکیبی در بهینه‌سازی برای مخازن، کارنامه قابل قبولی از خود برجای گذاشته و مورد اقبال قرار گرفته‌اند (Saber Chenari et al. ۲۰۱۶).

در 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 داری سرعت و دقت مناسب در مقایسه با سایر روش‌های موجود هستند (Rani ۲۰۱۰ and Moreira). مرور کوتاهی بر مطالعات انجام یافته نشان می‌دهد که طی دهه گذشته استفاده از الگوریتم‌های جدید و ترکیبی در بهینه‌سازی برای مخازن، کارنامه قابل قبولی از خود برجای گذاشته و مورد اقبال قرار گرفته‌اند (Saber Chenari et al. ۲۰۱۶).

از خود برجای گذاشته و مورد اقبال قرار گرفته‌اند (Saber Chenari et al. ۲۰۱۶).
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. ۲۰۱۳). 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. ۲۰۱۸). ضمن مقایسه الگوریتم چرخه آب با الگوریتم‌های ژنتیک، جستجوی هارمونی، ازدحام ذرات و الگوریتم رقابتی استعماری در بهره‌برداری در یک سیستم چند مخزنی شامل سدهای گلستان و وشگیر به این نتیجه رسیدند که الگوریتم چرخه آب بهترین عملکرد را دارد. (Yaseen et al. ۲۰۱۹). به منظور به حداقل رساندن کاهش تأمین آب در مخازن سد گلستان و وشگیر، 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.

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. ۲۰۲۰b).

در پژوهشی دیگر ضمن معرفی سه الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری، جستجوی کلاغ و نهنگ، عملکرد آن‌ها در بهره‌برداری بهینه از سیستم تک مخزن سد گلستان را با هدف تأمین نیاز آبی اراضی پایین دست، بر اساس شاخص‌های مهمی هم‌چون اطمینان‌پذیری^۵، برگشت‌پذیری^۶ و آسیب‌پذیری^۷ مورد ارزیابی قرار داده و به

^۱Reliability

^۲Reversibility

^۳Vulnerability

^۱Support Vector Machine

^۲Hybrid Bat swarm Algorithm

^۳Multi-Objective Whale Optimization Algorithm

^۴Kalai-Smorodinsky Bargaining Solution (KSBS)



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 این‌رو در پژوهش حاضر ضمن استفاده از داده‌های واقعی ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه مورد مطالعه به‌جای 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 پایین‌دست (به‌عنوان متغیرهای مستقل) و متغیر میزان رهاسازی بهینه (به‌عنوان متغیر وابسته) به وجود خواهد آمد. لذا هدف اصلی این پژوهش تطبیق میزان رهاسازی آب مخزن و میزان ورودی در شرایط خشک‌سالی و شیب‌سازی 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 رگرسیون مقادیر آبدهی ورودی سد مارون (دیسپاچینگ) و ایستگاه ایدنک در دوره بهره‌برداری سد مارون (۱۳۸۰ الی ۱۳۹۸) جمع‌آوری شده و با استفاده از رابطه موردنظر، سری آبدهی ورودی به سد مارون برای یک دوره ۶۰ YI 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 رقمی 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 پایین‌دست و غیره به‌صورت فایل‌های متنی با پسوند CSV به مدل معرفی شدند. در این

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 چنین مدلی 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 به‌ناچار باید از تعداد متغیرهای تصمیم به‌شدت 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 به‌کار بردن نتایج حاصل از بهینه‌سازی سیستم در زمان واقعی است. در بسیاری از پژوهش‌های جدید، روش موسوم به ماشین‌های بردار رگرسیون که بر اساس ماشین بردار پشتیبان توسعه یافته است، برای پیش‌بینی سری زمانی استفاده شده است (Azari and Arman ۲۰۲۰).

(Mirfendreski and Mosavi ۲۰۱۱) به‌منظور بهینه‌سازی منابع آب حوضه‌ای، به مقایسه مدل SVM و ترکیب الگوریتم بهینه‌ساز ازدحام ذرات و مدل شبیه‌ساز در حوضه اثرک پرداختند. نتایج بررسی حاکی از عملکرد مطلوب مدل SVM در ارائه جواب‌های بهینه و همچنین کاهش زمان حل MODSIM بود. (Li et al. ۲۰۱۷) از ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی جریان روزانه حوضه یوتان چین استفاده نمودند. (Azari and Arman ۲۰۲۰) 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



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 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 انتخاب شد (۲۰۱۶ Tarazkar et al.). از طرفی محدودیت معادله پیوستگی نیز از اساسی‌ترین روابط مدل‌سازی بهره‌برداری از مخزن است که می‌توان به‌صورت روابط (۳) تا (۶) تعریف نمود (Noori ۲۰۱۵). 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.

پژوهش از روش (Tennant ۱۹۷۶) که از جمله روش‌های درجه‌بندی هیدرولوژیکی محسوب می‌شود، برای تخمین حداقل جریان محیط‌زیستی پایین‌دست استفاده شد (Sedighkia et al. ۲۰۱۵; Olsen et al. ۲۰۱۳; Shokoohi and Hong ۲۰۱۱; Mazvimavi et al. ۲۰۰۷).

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 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. در نهایت 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 در نهایت با اجرای الگوریتم HOA و مدل شبیه‌سازی WEAP مقادیر رهاسازی بهینه مخزن سدها با در نظر گرفتن سناریوهای تعریف‌شده تعیین می‌شوند.

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

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

که، $S_{(t)}$ و $S_{(t+1)}$ به ترتیب 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 ، $Loss_{(t)}$ میزان تلفات ناشی از تبخیر سطح مخزن در طول دوره t و $\bar{A}(t)$ متوسط سطح 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، طوری که در رابطه (۷)، S_{max} حجم بیشینه مخزن است (Noori ۲۰۱۵).

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

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 مورد نیاز، به نیاز d در دوره t در منطقه z ، 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 محیط‌زیستی در محل گره p در دوره زمانی t است (Deb et al. ۲۰۰۲).

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

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

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

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



(حجم مرده مجموع مخازن) و میزان De_{max} معادل MCM ۱۶۷۹ (حجم مخازن در آستانه سریز) در نظر گرفته شد.

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

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).

در تمام مراحل بهره‌برداری از مخزن باید حجم رهاسازی از مخزن علاوه بر مثبت بودن، بین مقادیر حداقل و حداکثر حجم موردنیاز پایین دست قرار داشته باشد که به صورت رابطه (۸) تعریف می‌شود (Mousavi et al. ۲۰۱۶).

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

که، $De_{max,t}$ و $De_{min,t}$ به ترتیب حداقل و حداکثر حجم آب موردنیاز پایین دست طی ماه t هستند. رهاسازی از مخزن تابع جریمه P_2 اعمال می‌شود که به صورت رابطه (۹) تعریف می‌شود (Mousavi et al. ۲۰۱۶). جریان ورودی ماهانه کل، از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۸ و یا ۱۸ yr معادل ۲۱۶ month، به مخازن یعنی جمع تمامی ورودی‌ها به مخازن سدهای مارون و چره 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

(ب)

۱. Principal structure: Introduce useful variables and other parameters
۲. Primary data: Present uniform randomized distribution of horses in a practical space
۳. Check the body fitness: Assess the horse expenditure based on location and its goal performance
۴. Determining age: Calculating horses age (α , \square , γ , and σ)
۵. Speed: Applying speed for each horse based on age
۶. Determining new locations: Update the horse locations in the search space
۷. Repetition: Repeat step ۳ to reach desirable optimum and stopping the operation

(الف)

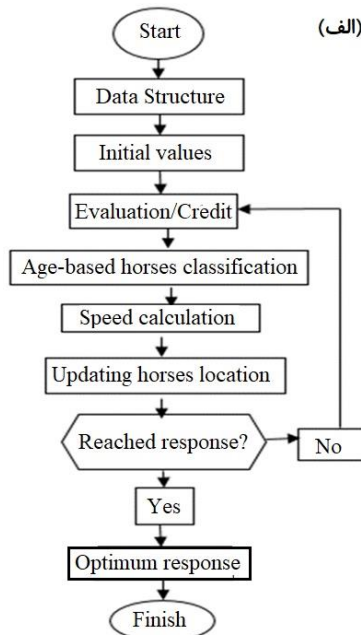


Fig. 1 a) flowchart of HOA algorithm, and b) Pseudocode

رفتار اسبها به‌طورکلی 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 می‌شود مطابق با رابطه (۱۰) است (MiarNaeimi et al. ۲۰۲۱).

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

که α , \square , γ , σ 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 γT - δ ، γ دامنه $10-5$ yr، β دامنه $15-10$ yr و α اسبهای بزرگتر را نشان می‌دهد.

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

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

که، X و $C(X)$ به‌ترتیب موقعیت‌ها و هزینه هر موقعیت را نشان می‌دهند. d و m نیز به‌ترتیب تعداد ابعاد مسئله و تعداد اسب هستند. d و m نیز به‌ترتیب 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).

۲-۳-۴- 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

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. درواقع الگوریتم‌های فرا ابتکاری، یکی از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی هستند که دارای راهکارهای برون‌رفت از نقاط بهینه محلی بوده و



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 $\frac{1}{2} \|w\|^2$ در اصل با کمینه کردن وزن‌های لایه‌ها که اعداد حقیقی می‌باشند سعی می‌کند مدل را تا حد امکان ساده‌سازی کند (Heidari et al. ۲۰۱۷).

$$l(y_i, f(z)) = |y - f(z)|_\varepsilon \max\{0, |y - (z)|_\varepsilon\} \quad (18)$$

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

$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^m (\xi_i^* + \xi_i) \quad (19)$$

$$\text{Subject to } \begin{cases} y_i - wx_i - b \leq \varepsilon + \xi_i^* \\ wx_i + b - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^* \\ \xi_i, \xi_i^* \geq 0 \end{cases} \quad (20)$$

که ξ_i^* و ξ_i متغیرهای کمبود، y_i مقدار سری زمانی مشاهداتی و $wX_i + b$ مقدار سری زمانی پیش‌بینی شده است. m تعداد داده‌های مورد استفاده در مرحله آموزش است 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 ۲۰۲۰).

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

که، b مقدار عرض از مبدأ یا مقدار اربب مدل و α_i ضرایب لاگرانژ و $\alpha_i^+ - \alpha_i^-$ وزن تابع کرنل در هر لایه i در کل فضای مشخصه است. جهت درک بهتر نحوه عمل مدل ترکیبی الگوریتم HOA و ماشین بردار پشتیبان فلوچارت مراحل کار در شکل (۲) نشان داده شده است (Azari and Arman ۲۰۲۰).

بردارهای ورودی مانند $X = \{x_n\}$ و بردارهای خروجی متناظر با آن‌ها $X = \{x_n\}$ 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 ۲۰۰۲). ابتدا طبق رابطه (۱۳) تابع ϕ (Heidari et al. ۲۰۱۷). 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 برآزش 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) غیرخطی k انجام می‌شود. در فضای 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 کدونوسی در فضای نرم‌افزار MATLAB صورت گرفت.

$$f(Z) = w.z + b \quad (13)$$

$$\phi: X \rightarrow Z = \phi(x) \quad (14)$$

تابع غیرخطی 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 غیرخطی، ماشین‌های SVM در این فضای مشخصه جدید یک ابر صفحه جدا ساز بهینه با حداکثر حاشیه اطمینان را جستجو می‌کنند. در پیش‌بینی سری زمانی در ماشین بردار پشتیبان رابطه (۱۷) باید کمینه گردد (Heidari et al. ۲۰۱۷).

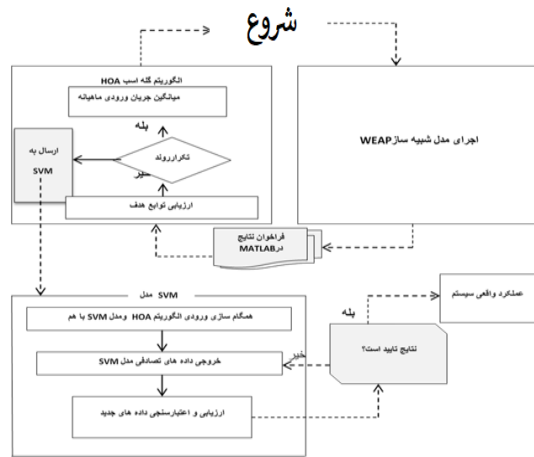
$$K(x_i, x_j) = \Phi(x_i) \cdot \Phi(x_j) = z_i \cdot z_j \quad (15)$$

$$K(x_i, x_j) = e^{-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}} \quad (16)$$

$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2 + \frac{c}{m} \sum_{i=1}^m l(y_i, f(z)) \quad (17)$$

م^۱ Kernels





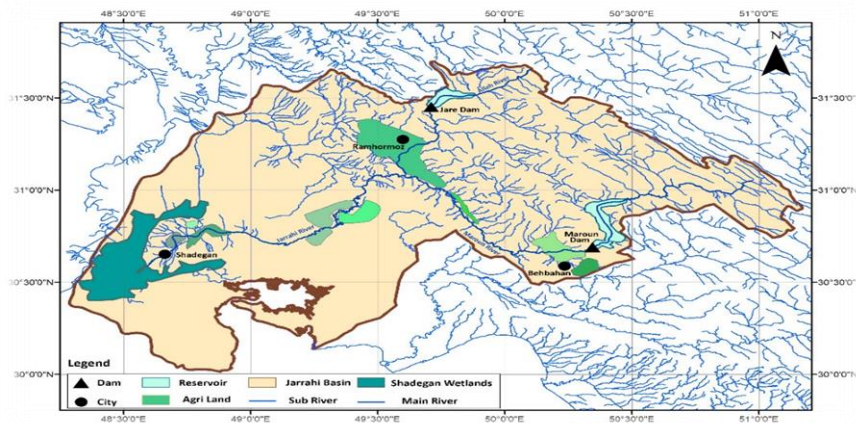
شکل ۲- فلوجارت مراحل ترکیب نتایج الگوریتم HOA با SVM و شبیه ساز WEAP

Fig. ۲ Flowchart of the steps of combining HOA algorithm results with SVM support vector machines and a load simulator

از سرچشمه رودخانه مارون تا مصب ۵۲۰ km، از بین مصرف-کنندگان 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).

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



شکل ۳- محدوده حوزه آبخیز جراحی

Fig. ۳ Jarrahi catchment area

رودخانه جراحی به همراه رودخانه زهره از دو زیر حوضه تشکیل شده است. این دو زیر حوضه به دلیل مشابهت‌هایی مستقل و جدا از یکدیگر که در مجاورت هم واقع شده‌اند که با یکدیگر دارند در مطالعات و گزارشات متعددی در قالب



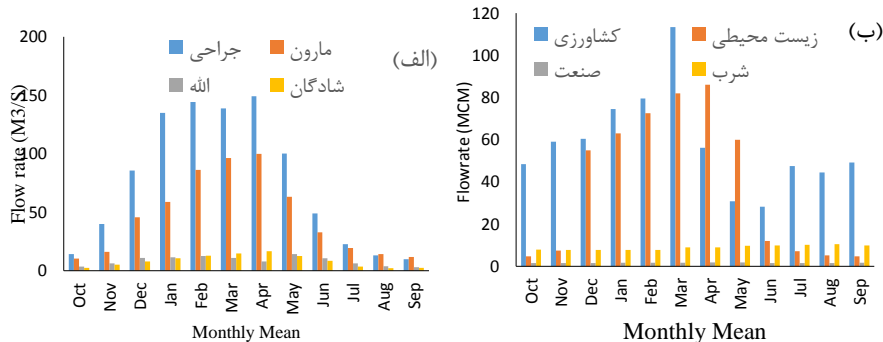
یک واحد دیده شده‌اند. از نظر تقسیم‌بندی هیدرولوژیکی، حوزه آبخیز جراحی- زهره بخشی از حوزه آبخیز خلیج فارس بوده و در تقسیم بندیهای وزارت نیرو با کد ۲۴ مشخص شده است. زیر حوضه جراحی با مساحت 25349 km^2 از سمت غرب و شمال به حوضه آبریز رودخانه کارون محدود بوده و از سمت شرق، حوضه آبریز رودخانه زهره آن را محدود می‌نماید. سد مخزنی جره در 35 km شمال شرق رامهرمز در نزدیکی روستای جره بر روی رود زرد احداث شده است. هدف از اجرای این سد تأمین آب 22000 ha از اراضی دشت رامهرمز، کنترل سیلاب رودخانه و تولید انرژی برقی به میزان 9 Mw است. این سد به‌عنوان پنجمین سد خاکی

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
۱۰۱	۱۵۷۸	Average annual revenue (MCM)
۱۱۴	۱۷۵	Height of foundation (m)
۴۳۱	۵۰۵	Normal level (m)
۲۴۰	۱۲۰۰	Reservoir volume at normal level (MCM)
۳۰	۲۰۰	Dead Volume (MCM)
۱۰۱	۷۲۳	Adjustable Flow Volume (MCM)
۱۰۸	۱۵۰	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. ۵ a) Average monthly discharge of Jarahi river at hydrometric stations b) Average monthly different water needs in Jarahi basin (۲۰۰۱-۲۰۱۹)

۳- یافته‌ها و بحث

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 به شدت افزایش می‌دهد. پارامترهای مهم دیگری برای بهینه‌سازی مانند ماکزیمم، مینیمم، 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- بهینه‌سازی نداشت. چون قسمت اعظم زمان اجرای مدل کوپل شده مربوط به اجرای شبیه‌ساز در هر تکرار است که با توجه حل هم‌زمان معادلات بیلان در مدل WEAP، هر بار اجرای آن زمان زیادی نیاز داشت.

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 ساله در گام زمانی ماهانه از سال آبی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ تا ۱۴۵۶-۱۴۵۷ (مهر ۱۳۹۶ تا شهریور ۱۴۵۷) برای سناریوهای موردنظر پس از شبیه‌سازی (تکرار سری‌های زمانی ۶۰ ساله در آینده) محاسبه شده است. چهار سناریوی متفاوت در این مطالعه مد نظر قرار گرفت که به ترتیب شامل: بهره‌برداری از نواحی (۱، ۴ و ۵) رامهرمز و تأثیر آن بر جریان ورودی به تالاب، کاهش ۱۰٪ آبدهی ورودی به سدهای مخزنی مارون و جره، تأثیر انتقال آب از کارون به تالاب شادگان قبل از فارسیات، سناریو مرجع (شرایط موجود)، می‌باشند که در

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

Table ۲ Results of HOA Algorithm Jarrahi Basin Water Resource Optimization (%)

Niar supply function	Maximum	Average	Minimum	Standard deviation	Number of algorithm executions
Agriculture (F1)	۳۰۳	۱۴۸	۱۰۳	۰.۲	۵۰
environmental (F2)	۴۰۲	۱۵۲	۱۱۲	۳.۳	۵۰
Algorithm execution time (Seconds)	۵۷.۸	۵۷.۷	۵۶.۶	۰.۰۰	-

خروجی سد مارون و مدل SVM مدل بوده و محورهای این گراف توابع هدف مورد نظر می‌باشند

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٪ آبدهی 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

بر همین اساس نتایج نشان داد که در تکرارهای پایین‌تر میزان تابع اطمینان پذیری و آسیب‌پذیری، هر دو تغییرات محسوسی دارند. اما در تکرارهای بالاتر دامنه تغییرات تابع اطمینان پذیری 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



تأثیر بیش‌تر نسبت به آبدهی 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

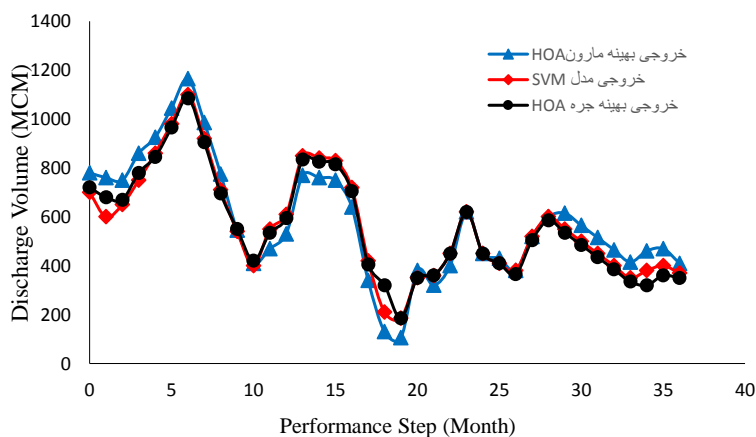
جدول ۳- میانگین شاخص‌های درصد تأمین نیاز تالاب شادگان با الگوریتم HOA

Table ۳ Average percentages of Shadegan wetland supply needs with HOA algorithm

Objective Function	Stability	Vulnerability	Reversibility	Reliability	Scenario
Yield	۳۹	۳۸	۶۸	۷۴	۱
Land Development	۳۶	۳۴	۶۵	۸۸	۲
Transferring Water	۳۰	۲۸	۹۲	۹۹	۳
Reference	۲۳	۲۷	۷۱	۷۷	۴

در شکل (۵) توانایی ساختار آموزش دیده در پیش‌بینی رهاسازی بهینه از سدهای مارون و جره در ماه‌های مختلف با 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 رویکردی تلفیقی و فرا ایتکاری 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. ۲۰۱۳).

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 انتقال آب بین حوضه‌ای می‌باشد. با توجه به اینکه نیاز شرب به اولویت اول در سیستم در تمام سناریوها به صورت 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.

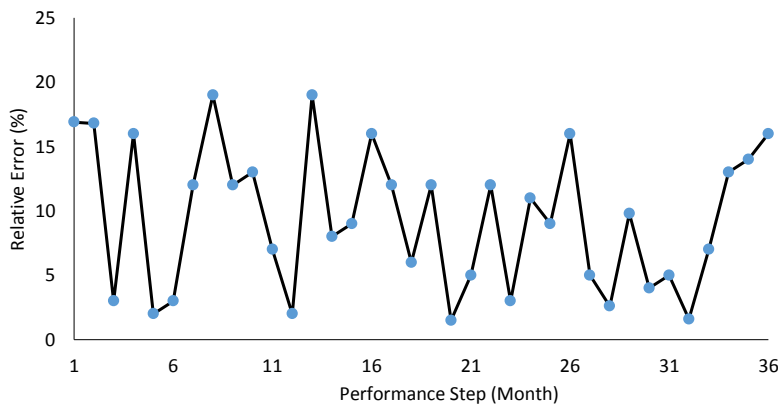


شکل ۵- صحت‌سنجی مدل SVM در تخمین میزان رهاسازی سدهای مارون و جره در دوره آماری مهرماه (۱۳۹۶-۱۳۹۹)



Fig. ۶ Validation of SVM model in estimating the release rate of Maroon and Jarreh dams in the statistical period of October (۲۰۱۷-۲۰۱۶)

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



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

Fig. ۷ Percentage of relative error of the support vector machine model in estimating the optimal release rate

میانگین خطای قوانین بهینه مستخرج از SVM نسبت به خروجی HOA در مرحله صحت سنجی کم تر از ۱۰٪ بود که نشان دهنده کارایی این روش در پیش بینی الگوی بهینه منحنی فرمان سد در زمان واقعی است.

۲- الگوریتم های تلفیقی و فرآینکاری بهینه سازی استفاده شده در این پژوهش قابلیت مدیریت بهینه منابع آب و بهینه سازی بهره برداری از مخزن را دارد. لذا به جهت اینکه تعمیم این مدل برای سایر ورودی های محتمل به مخزن خالی از اشکال نخواهد بود برای رفع این نقض و استفاده از نتایج بهینه سازی در زمان واقعی از روش هوشمند SVM استفاده شد و نتایج مطلوبی بدست آمد.

۳- مقادیر رهاسازی بهینه یا منحنی فرمان بهینه حاصل از هیبرید الگوریتم HOA و شبیه ساز WEAP براساس یک سری معین از جریان ورودی به مخزن طی دوره بهره برداری از سدهای مارون و جره و رهاسازی از مخزن فوق جهت تأمین مصارف پایین دست در این شرایط بهینه گردید لذا با

یافته های این پژوهش نیز با پژوهش های دیگر هم راستا بوده و با آنها هم پوشانی دارد. (Azari and Arman, ۲۰۲۰) با تلفیق روش SVM و الگوریتم NSGA-II برای بهره برداری بهینه از سیستم در زمان واقعی استفاده و نشان دادند که میزان میانگین خطای قوانین بهینه مستخرج از ماشین های بردار پشتیبان نسبت به خروجی الگوریتم بهینه سازی NSGA-II در مرحله صحت سنجی کم تر از ۱۰٪ است. همچنین (Bazargan lari et al., ۲۰۱۱) 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.

۴- نتیجه گیری

مطابق یافته های این پژوهش می توان نتیجه گیری کرد:

۱- مدل SVM توسعه داده شده در این پژوهش، براساس ورودی های لحظه ایی به سد در زمان سیلاب، سریعاً سیاست های بهره برداری بهینه را در زمان واقعی فراهم می کند و میزان



ریزگرد در منطقه، بحران‌های اقتصادی و اجتماعی ایجاد می‌گردد.

سیاسگزاری

بدین‌وسیله از سازمان آب و برق خوزستان و مدیریت پژوهش‌های کاربردی برای حمایت و همکاری با این پژوهش تشکر می‌شود. همچنین، از معاونت مطالعات پایه شرکت KWPA برای فراهم‌نمودن داده‌ها سیاسگزاری 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.

در نظر گرفتن سیاست بهینه، درصد تأمین و اطمینان‌پذیری تأمین بیش‌تر نیازها (شرب، کشاورزی، محیط‌زیستی و صنعت) بطور مناسب و قابل‌قبولی انجام گرفت.

۴- 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.

پیشنهاد می‌شود با اتخاذ راهکارهایی مدیریتی، در رهاسازی آب از مخازن واقع در بالادست بوم‌سازگان با ارزش 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 به‌عنوان تأمین‌کننده اصلی حقایق تالاب بین‌المللی شادگان خواهد شد و در نهایت ایجاد اثرات مخرب محیط‌زیستی از جمله توسعه کانون‌های

این موارد خلاصه و با هم ادغام شوند: **Commented [A.A.۲]:** نتایج در ۳-۴ مورد و به صورت خلاصه و ساده با تأکید بر نتایج اصلی بازنویسی شوند.

[R Commented]: DOI کلید رفرنس‌ها را اضافه کنید

References

- Azari, A. and Arman, A. (۲۰۲۰). Optimal utilization of water resources in real time based on nsga-ii algorithms and support vector machines (Case study: Gavoshan Dam), *Irrig. Sci. Eng.*, ۴۳(۱), ۱۸۹-۲۰۴ [In Persian] DOI: ۱۰.۲۲۰۵۵/jise.۲۰۱۸.۲۳۰۴۲,۱۶۳۹.
- Candela, J. Q. and Hansen, L. K. (۲۰۰۲). Time 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: ۱۰.۱۱۰۹/ICASSP.۲۰۰۲.۵۷۴۳۹۵۹
- Deb, K., Pratap, A., agrawal, S. and Meyarivan, T. (۲۰۰۲). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Trans. Evolution. Comput.*, ۶(۲), ۱۸۲-۱۹۷. DOI: ۱۰.۱۱۰۹/۴۲۳۵,۹۹۶۰۱۷
- Donyaii, A., Sarraf, A. and Ahmadi, H. (۲۰۲۰a). 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.*, ۱۴(۴), ۹۹-۱۱۱ [In Persian]. DOI: ۱۰.۱۱۰۹/۴۲۳۵,۹۹۶۰۱۷
- Donyaii, A., Sarraf, A. and Ahmadi, H. (۲۰۲۰b). Water reservoir multi-objective optimal operation using grey wolf optimizer. *Shock Vibrat. J.*, Article ID ۸۸۷۰۴۶۴. DOI: ۱۰.۱۱۵۵/۲۰۲۰/۸۸۷۰۴۶۴. [In Persian].
- Donyaii, A., Sarraf, A. and Ahmadi, H. (۲۰۲۱). 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.*, ۲۴(۴), ۱۵۹-۱۷۵ [In Persian]. <https://www.sid.ir/paper/۳۸۸۹۰۴/en>
- Heidari, Z., Farasati, M. and Ghobadian, R. (۲۰۱۷). Applicability of support vector machine in simulating wetting pattern under trickle irrigation. *J. Water Soil Sci.*, ۲۲(۲), ۳۷۳-۳۸۲ [In Persian] DOI: ۱۰.۲۹۲۵۲/jstnar.۲۲,۲,۳۷۳
- Hojjati, A., FaridHoseini, A. R., Ghahreman, B. and Alizadeh, A. (۲۰۱۳). The comparison of the application of heuristic methods in optimization of multiobjective water resources systems. *Water Environ. Eng.* ۱(۲), ۹-۱۴ [In Persian].
- Li, X., Sha, J., Li, Y. M. and Wang, Z. L. (۲۰۱۷).



- Comparison of hybrid models for daily stream flow prediction in a forested basin. *J. Hydro Inform.*, ۲۰(۱), ۱۹۱-۲۰۵, DOI: ۱۰.۲۱۶۶/hydro.۲۰۱۷.۱۸۹.
- MiarNaeimi, F., Azizyan, G. and Rashki, M. (۲۰۲۱). Horse herd optimization algorithm: A nature-inspired algorithm for high-dimensional optimization problems. *Knowledge-Based Syst.* ۲۱۳, ۱۰۶۷۱۱. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.knosys.۲۰۲۰.۱۰۶۷۱۱>
- Mirfendreski, G. and Mosavi, S. J. (۲۰۱۱). Supported vector machines for super-modeling in order to optimize the allocation of basin water resources, In ۳th National Congress on Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran [In Persian].
- Mousavi, S. M. R., Khoisheh, M., Ghamgsar, A. and Qalandari, M. J. (۲۰۱۶). Classification of sonar data using graywolf optimization algorithm. *Electro. Indust. Quart.*, ۷(۱), ۴۵-۶۲ <https://www.sid.ir/paper/۲۲۹۵۵۷/en> [In Persian].
- Mazvimavi, D., Madamombe, E. and Makurira, H. (۲۰۰۷). Assessment of environmental flow requirements for river basin planning in Zimbabwe. *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C.*, ۳۲(۱۵), ۹۹۵-۱۰۰۶. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.pce.۲۰۰۷.۰۷.۰۰۱>
- Nikoo, M. R., Karimi, A., Kerachian, R. and Bashi-Azghadi, S. N. (۲۰۱۳). Long-term optimum water and waste load allocation rules in river-reservoir groundwater systems: Application of SVR simulation model. *Water Environ. Eng.*, ۱(۱), ۱-۱۱. <https://www.researchgate.net/publication/۲۳۶۷۴۲۲۷۰> [In Persian].
- Noori, M. (۲۰۱۵). 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., Troldborg, L., Henriksen, H. J., Conallin, J., Refsgaard, J. C. and Boegh, E. (۲۰۱۳). Evaluation of a typical hydrological model in relation to environmental flows. *J. Hydrol.*, ۵۰۷, ۵۲-۶۲. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.jhydrol.۲۰۱۳.۱۰.۰۲۲>
- Qaderi, K., S. Akbarifard, M. R. Madadi and B. Bakhtiari. (۲۰۱۸). Optimal operation of multi-reservoirs by water cycle algorithm. *Proceed. Instit. Civil Eng: Civil Eng.*, ۱۷۱(۴), ۱۷۹-۱۹۰. <https://doi.org/۱۰.۱۶۸۰/jwama.۱۶.۰۰۳۴> [In Persian].
- Rani, D. and Moreira, M. M. (۲۰۱۰). Simulation-optimization modeling: a survey and potential application in reservoir systems operation. *Water Resour. Manag.*, ۲۴(۶), ۱۱۰۷-۱۱۳۸. <https://doi.org/۱۰.۱۰۰۷/s۱۱۲۶۹-۰۰۹-۹۴۸۸-۰>
- Saber Chenari, K., Abgari, H., Erfaniyan, M., Ghaderi, M. and Salmani, H. (۲۰۱۶). Optimization reservoir operation policy with approach reduces probability of inflow using genetic algorithm (The case study: Mahabad Reservoir Dam). *Watershed Manag. Res.*, ۱۱۱, ۳۴-۴۳ [In Persian].
- Shokoohi, A. R. and Hong, Y. (۲۰۱۱). Determining the minimum ecological water requirements in Perennial rives using morphological parameters. *J. Environ. Stud.*, ۳۷(۵۸), ۱۱۷۷-۱۲۸. DOI: ۲۰,۱۰۰۱,۱,۱۰۲۵۸۶۲۰,۱۳۹۰,۳۷,۵۸,۱۳,۳
- Sedighkia M, Ayyoubzadeh S. A. and Hajjesmaeli M. (۲۰۱۵). Investigation on the necessities of instream flow needs assessment in the rivers using hydro-ecological methods (Case study: Delichai river in Tehran, Iran). *Ecohydrol.*, ۲(۳), ۲۸۹-۳۰۰. <https://www.researchgate.net/publication/۳۰۱۹۲۴۲۲۸> [Persian]
- Sima, S., Shafieejood, M., Tajrishy, M. and Abrishamchi, A. (۲۰۱۲). Simulation of overhaul of Marun multi-purpose dam with downstream environmental considerations. The First International Confirenc on Dams & Hydropower, Tehran, Iran.
- Tennant, D. L. (۱۹۷۶). Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation, and related environmental resources. *Fish.*, ۱(۴), ۶-۱۰. [https://doi.org/۱۰.۱۵۷۷/۱۵۴۸-۸۴۴۶\(۱۹۷۶\).۰۰۱](https://doi.org/۱۰.۱۵۷۷/۱۵۴۸-۸۴۴۶(۱۹۷۶).۰۰۱)
- Tarazkar, M. H., Zibae, M. and Soltani, G.



(۲۰۱۶). Optimization of operation role curve of Doodzan Dam reservoir under drought conditions. The ۱۰th 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. (۲۰۱۹). A hybrid bat-swarm algorithm for optimizing dam and reservoir operation. Neural. Comput. Appl., ۳۱(۱۲), ۸۸۰۷-۸۸۲۱. DOI: ۱۰.۱۰۰۷/s۰۰۵۲۱-۰۱۸-۳۹۵۲-۹

How to cite this paper:

Saham, B., Sarraf, A. and Aminnejad, B. (۲۰۲۲). Ascertain 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., ۸(۴), ۷۹۶-۸۰۹. DOI: [۱۰.۲۲۰۳۴/jewe.۲۰۲۲.۳۲۶۹۲۰.۱۷۱۹](https://doi.org/10.22034/jewe.2022.326920.1719)

