Research Paper

Prediction and Optimization of Storage of Mahabad Dam Reservoir Using Continuous Genetic Algorithm (CGA)

Ali Sardar Shahraki[1*], Somayeh Emami[2]

[1] Associate Professor, Department of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran Email: ls.shahraki@eco.usb.ac.ir
[2] Ph.D. in Hydraulic Structures, Department of Water Sciences and Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran Email: somayehemami70@gmail.com

10.22125/iwe.2024.425782.1768.

Received:
August 17, 2023
Accepted:
January 1, 2024
Available online:
December 26, 2024

Keywords:
Wo Continuous Genetic Algorithm, Optimization, Predicted Reservoir Storage, Mahabad Dam.

Abstract

Due to the severe water crisis in the Mahabad Dam, it is felt necessary for the continuous management of water resources, the necessity of forecasting and optimizing this dam. Planning to optimize the use of water resources is an optimization problem, which requires the use of complex, multi-variable and multi-constrained optimization methods. In this paper, a new method is proposed to predict reservoir dam storage. Continuous Genetic Algorithm (CGA) is a new method in the field of evolutionary computing that optimizes the optimal response of various problems and is applied in the Mahabad dam. This algorithm, in comparison with other algorithms, optimizes the speed of optimal response. In this research, annual optimization for Mahabad reservoir for the whole year was conducted to achieve the optimal policy using continuous genetic algorithm. The results of this research showed a minor error (2.4%) in the implementation of the algorithm. In addition, the application of continuous genetic algorithm to the annual optimization problem and its comparison with observational data suggests the very high success rate of the proposed method.

1. Introduction

Due to the severe water crisis in the Mahabad dam, for the integrated management of water resources, the need to predict and optimize this dam is felt. Planning for the optimal use of water resources is an optimization problem, the solution of which requires the use of complex, multi-variable, and multi-constrained optimization methods. The main factors of the life cycle in nature are water, soil, and plants, which are considered major and basic sources of balance in a catchment area, each of which has been assigned special management. The ever-increasing growth of the population along with the increase in society's need for water with the implementation of water resources development plans and projects in line with the control and protection of available water resources to provide water for urban, agricultural, and industrial needs, including the duties of the Ministry of Energy. The main factors of the life cycle in nature are water, soil, and crops, which are considered major and basic sources of balance in a catchment area, each of which has been assigned special management. The ever-increasing growth of the population along with the increase in society's need for water with the implementation of water resources development plans and projects in line with the control and protection of available water resources to provide water for urban, agricultural and industrial needs, including the duties of the Ministry of Energy.

2. Materials and Methods

For the optimal use of a reservoir, the value of the objective function and the desired variables should be optimized to meet the planned requirement. In reality, different purposes are usually defined for the operation of a reservoir, such as providing drinking water, agriculture, and industry in the downstream areas, generating electric energy, flood control, and recreation, which can be aligned or not aligned with each other.

Therefore, to consider all the above objectives at the same time, the defined system is considered to be multi-objective to optimally use the reservoir. To solve this problem, the use of evolutionary and meta-exploratory methods has been expanded. Evolutionary computing techniques, unlike conventional search algorithms, operate on a set of answers in the search space, and by using the cooperation and competition they create between the answers, they can very quickly Find the optimal solution for complex optimization problems. To solve this problem, the use of evolutionary and meta-exploratory methods has been expanded. Evolutionary computing techniques, unlike conventional search algorithms, operate on a set of answers in the search space, and by using the cooperation and competition they create between the answers, they can very quickly Find the optimal solution for complex optimization problems. In this study, a novel method for predicting the reservoir storage of the dam is presented. Continuous genetic algorithm (CGA) is a new method in the field of evolutionary computing that deals with finding the optimal answer to various optimization problems and has been applied in Mahabad dam. Compared to other different optimization algorithms, this algorithm has a suitable speed in finding the optimal solution. During this research, annual optimization was done for the whole year regarding the Mahabad Reservoir dam to reach the most optimal policy using continuous genetic algorithm.

3. Results

In this study, for the first time, the new method of continuous genetic algorithm was used to predict the reserve of Mahabad dam reservoir. This algorithm has a good speed in finding the optimal solution. The case study is Mahabad dam. The results showed that the proposed model (continuous genetic algorithm) is very optimal in predicting the dam storage values and has high convergence, speed and accuracy in finding the optimal solution. In the studied system, the initial population of 100 and the possible uniform selection obtained the best results. Also, the results show a high coefficient of 90% between the actual and predicted values by this model, as well as the very high speed and efficiency of the proposed method of predicting the storage of the Mahabad dam reservoir. In general, according to the results obtained from this research, it is possible to prove the superiority of the genetic algorithm in predicting the reserve of reservoirs of dams.

4. Discussion and Conclusion

The results of this study showed a low error (2.4%) in the implementation of the CGA algorithm. Also, the application of CGA algorithm to the problem of annual optimization and its comparison with observational data indicates a very high success of the proposed method.

5. Six important references

1) Emami, S., & Parsa, J. (2020). Comparative evaluation of imperialist competitive algorithm and artificial neural networks for estimation of reservoirs storage capacity. Applied Water Science, 10(7), 1-13.
2) Achite, M., Emami, S., Jehanzaib, M., Katipoğlu, O. M., & Emami, H. (2023). An election algorithm combined with support vector regression for estimating hydrological drought. Modeling Earth Systems and Environment, 1-11.
3) Afshar A, Emami M J, Masoumi F. (2014). Optimizing water supply and hydropower reservoir operation rule curves: An imperialist competitive algorithm approach. Engineering Optimization. 46(10): 170-181.
4) Chang Jian–Xia, Huang Qiang wang Yi–Min. (2005). Genetic algorithms for optimal reservoir dispatching. Journal Water Resource Managament. ASCE. 19: 321-331.
5) Fahmy H S, King J P, Wentzel M W, seton J A. 1994. Economic optimization of river management using algerthms. Paper No. 943034, ASAE 1994 Int. Summer Meating, Am. Soc of Agricultural Engrs. St. Joseph.
6) Ghafari Moghadam, Z., Moradi, E., Hashemi Tabar, M., Sardar Shahraki, A. 2021. An Analysis of the Water Crisis under Different Scenarios in the Agriculture Sector of Sistan Region: the Approach of Future Studies, Journal of Water Research in Agriculture, 35(2): 201-216.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال پانزدهم. شماره پنجاه و هشت. زمستان۱۴۰۳

پیش‌بینی و بهینه‌سازی ذخیره مخزن سد مهاباد؛ کاربرد الگوریتم فراتکاملی ژنتیک پیوسته (CGA)

تاریخ ارسال:۱۴۰۲/۰۵/۲۶
تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۱۰/۱۱

علی سردارشهرکی[1*]، سمیه امامی[2]

مقاله پژوهشی

چکیده

با توجه به بحران شدید آب در سد مهاباد برای مدیریت بهم پیوسته منابع آب، ضرورت پیش بینی و بهینه سازی این سد احساس می شود. برنامه‌ریزی به منظور بهره‌برداری بهینه از منابع آب یک مسئله بهینه‌سازی است که حل آن نیاز به کاربرد روش‌های توانمند بهینه‌سازی پیچیده، چند متغیره و چند محدودیتی است. در این نوشتار روشی نوین برای پیش‌بینی ذخیره مخزن سد ارائه شده است. الگوریتم ژنتیک پیوسته (CGA) روشی جدید در حوزه محاسبات تکاملی است که به یافتن پاسخ بهینه مسائل مختلف بهینه‌سازی می‌پردازد و در سد مهاباد کاربردی شده است. این الگوریتم در مقایسه با سایر الگوریتم‌های مختلف بهینه‌سازی سرعت مناسب در یافتن جواب بهینه دارد. طی این تحقیق بهینه‌سازی سالیانه برای تمام سال در مورد سد مخزنی مهاباد برای رسیدن به بهینه‌ترین سیاست با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیوسته صورت گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر خطای بسیار ناچیز (۲/۴ ٪) در اجرای الگوریتم بود. هم‌چنین اعمال الگوریتم ژنتیک پیوسته به مسئله بهینه‌سازی سالیانه و مقایسه آن با داده‌های مشاهداتی، حاکی از موفقیت بسیار بالای روش مطرح شده می‌باشد.

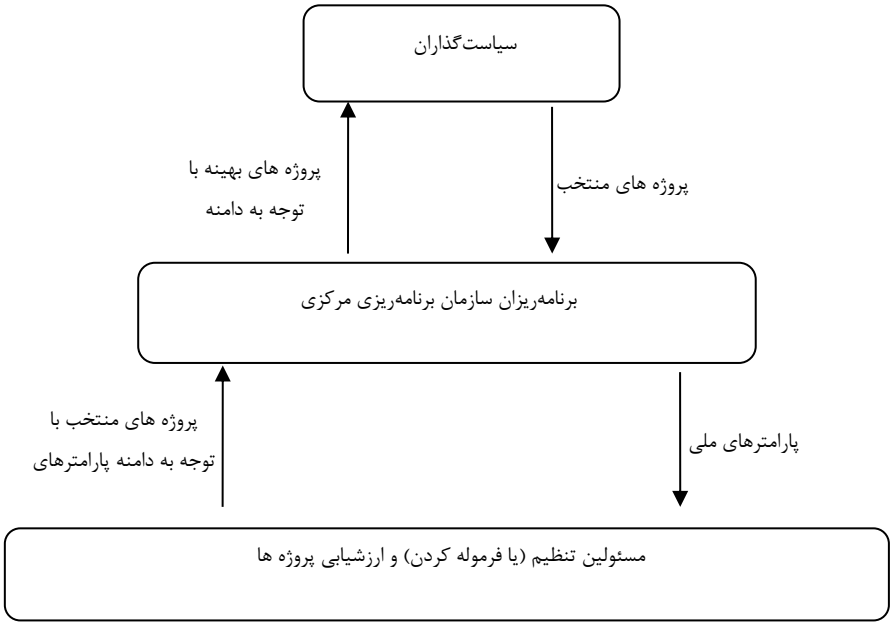
واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک پیوسته، بهینه‌سازی، پیش‌بینی ذخیره مخزن سد، سد مهاباد.

[1] دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران a.s.shahraki@eco.usb.ac.ir(نویسنده مسیول)
[2] دکتری سازه های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران somayehemami70@gmail.com

مقدمه

عوامل اصلی چرخه حیات در طبیعت آب، خاک و گیاه می‌باشند که جزء منابع عمده و اساسی تعادل در یک حوزه آبریز بشمار می‌آیند که هر یک از آنها بر عهده مدیریت خاصی قرارگرفته شده است. رشد روز افزون جمعیت همراه با افزایش نیاز جامعه به آب با اجرای طرح‌ها و پروژه‌های توسعه منابع آب در راستای مهار و حفاظت منابع آبی در دسترس به منظور تأمین آب مورد نیاز شهری، کشاورزی و صنعت از جمله وظایف وزارت نیرو می‌باشد (Emami and Parsa, 2020). شناسایی جامع منابع آب محدود بعنوان کلید توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور به شمار می‌رود. این موضوع از شکل-گیری منابع آب موجود در سرشاخه‌های موجود در حوضه‌های آبریز شروع و نقطه پایانی آنها در دریاچه‌ها، دریاها و کویرها می‌باشد (Sardar Shahraki et al., 2018). جهت بهره‌برداری از منابع آب در زمان حال و آینده به برنامه‌ریزی عملیاتی روزانه، ماهانه و سالانه نیاز بوده و نتیجه آن برنامه‌ریزی اثرات خود را در عرضه و تقاضای آب در بلندمدت نشان می دهد

.



شکل (۱): سلسله مراتب تصمیم گیری دولتی در مورد پروژه‌های منابع آب (Sardar Shahraki et al., 2018)

با رشد روزافزون جمعیت، توسعه کشاورزی و پیدایش صنعت در نواحی خشک و نیمه خشک، یکی از مشکلات اساسی نسل حاضر تأمین آب مطمئن بوده است. از جمله موضوعات مطرح شده برای انسان، دسترسی به آب شیرین و قابل استفاده است. این در حالی است که کاهش سطح سفره های زیرزمینی و از سوی دیگر بحرانی شدن وضعیت منابع آبی یکی از عمده ترین معضلات و مشکلات بخش کشاورزی می-باشد (Ghafari Moghdam et al., 2021). در زمینه عرضه و تقاضای آب رسیدن به تعادل نسبی یک اصل ضروری و اساسی بوده که با ایجاد نظام جامع مدیریت منابع آب تحقق می یابد. مدیریت منابع آب در سطح جهانی با هدف بکارگیری بهینه از منابع آبی و حداقل نمودن آثار تخریب کننده در استفاده از منابع آب با توجه به مفاهیم نقش آب در تعادل اکوسیستم ها،

توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست در برابر عوامل تخریب کننده مطرح شده است (Emami et al. 2023). از جمله مهم ترین شاخص های کیفی و کمی مدیریت پایدار منابع آب از دیدگاه شورای جهانی آب ایجاد تعادل میان عرضه و تقاضای آب، ایجاد تعادل میان زمین های قابل کشت و منابع آب در دسترس و بکارگیری مجدد از منابع آب در همه بخش های صنعتی می‌باشد (Pires et al. 2017).

در سال‌های اخیر افزایش جمعیت، نیاز روز افزون به آب، محدودیت منابع آب و توزیع غیر یکنواخت آن و مصرف بی‌رویه از این منابع محدود، سبب گردیده است (Ghafari Moghdam et al., 2022). برنامه-ریزی‌های مدیریتی به منظور پیش‌بینی و کنترل مصرف آب در آینده از اهمیت بیشتری برخوردار گردد. با پیش-بینی نمودن حجم مخزن سد علاوه بر مدیریت بهره-برداری منابع آب به منظور تأمین نیاز، می‌توان حوادث طبیعی نظیر سیل و خشکسالی را نیز پیش‌بینی و مهار نمود.از جمله سازه هایی که در حوزه منابع آب به منظور ذخیره و استفاده از منابع سطحی استفاده می گردد، مخزن سطحی است (Khairi et al., 2022). برای بهره‌برداری بهینه از یک مخزن باید مقدار تابع هدف و متغیرهای مورد نظر به منظور برآورده نمودن نیاز طرح شده، بهینه گردند. در حالت واقعی معمولا برای بهره-برداری از یک مخزن، اهداف متفاوتی نظیر تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت در مناطق پایین‌دست، تولید انرژی برقابی و کنترل سیلاب و تفریحات تعریف می-شوند که می‌توانند همسو یا ناهمسو با یکدیگر باشند. بنابراین به منظور در نظر گرفتن تمامی اهداف بالا به-طور هم‌زمان سیستم تعریف شده به منظور بهره‌برداری بهینه از مخزن به صورت چند هدفه در نظر گرفته می-شود.

روند یافتن جواب مسئله با توجه به پیچیدگی‌های حاکم بر مسائل منابع آب، به خصوص مسائل به شدت مقعر، گاه با مشکل روبرو است (Ghafari Moghdam et al., 2022). به منظور رفع این مشکل استفاده از روش‌های تکاملی و فراکاوشی گسترش یافته است. تکنیک‌های محاسبات تکاملی، بر خلاف الگوریتم‌های جستجوی متداول، روی یک مجموعه از جواب‌ها در فضای جستجو عمل می‌کنند و با استفاده از همکاری و رقابتی که بین جواب‌ها ایجاد می‌کنند، می‌توانند خیلی سریع جواب بهینه را برای مسائل بهینه سازی پیچیده پیدا کنند. این تکنیک‌ها به طور عمده از فرایند تکامل در طبیعت الهام گرفته شده‌اند که چهار مورد مشهور آن، الگوریتم ژنتیک، برنامه‌نویسی تکاملی، استراتژی تکاملی و برنامه‌نویسی ژنتیکی می‌باشند. الگوریتم‌های فراکاوشی بر گرفته از علوم کامپیوتر و روش‌های تصادفی هستند که با استفاده از یک فرآیند تکراری جستجوی فضای تصمیم، به ارائه جواب بهینه می-پردازند. الگوریتم‌های تکاملی نیز روش‌های جستجوی تصادفی هستند که حرکت در آن‌ها شبیه به تکامل بیولوژیکی ویا رفتار اجتماعی گونه‌های مختلف جانداران است (Achite et al. 2023). برای مثال، چگونه مورچه‌ها کوتاه‌ترین مسیر تا منبع غذایی را پیدا می نمایند و یا چگونه پرندگان به منابع غذایی در طول مهاجرت دست می‌یابند. کاربرد موفقیت آمیز انواع روش‌های الهام گرفته شده از طبیعت، هم‌چون نورد شبیه‌سازی شده، الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی در مسائل بسیار پیچیده مهندسی آن‌چنان ایده‌آل بوده است که سیستم‌هایطبیعی به عنوان منبع اساسی ایده‌های مدلسازی و ایجاد سیستم‌های مصنوعی مختلف مورد پذیرش وتوجه خاص قرار گرفته‌اند.

به‌طور کلی در حل مسائل بهینه‌سازی از الگوریتم‌های سنتی و تکاملی استفاده می‌گردد. در بسیاری از مسائل ممکن است تابع هدف منفصل و یا با کثرت ناگهانی همراه باشد که الگوریتم‌های سنتی قادر به حل اینگونه مسائل کوچک با تعداد متغیرهای محدود مؤثر می‌باشند (Kiani Ghalehsard et al., 2021)، و در شرایطی که تعداد متغیرهای تصمیم زیاد هستند کارآیی چندانی نخواهند داشت. لذا امروزه، به دلیل پیچیدگی‌ها و مشکلات مختلف در حل مسائل بهینه‌سازی تلاش‌های گسترده‌ای جهت استفاده از الگوریتم‌های تصادفی صورت گرفته است. گر چه این

الگوریتم‌ها بهینه مطلق را تضمین می‌نمایند، اما عموما می‌توان نسبت جواب نزدیک بهینه امیدوار بود. در زمینه پیش‌بینی از مخازن سدها مطالعات مختلفی انجام گرفته است. فهمی و همکاران (۱۹۹۴)، از الگوریتم ژنتیک برای یک سیستم مخزن استفاده کردند. آن‌ها نتایج را با مدل دینامیکی مقایسه کرده و نشان دادند که الگوریتم ژنتیک ازپتانسیل بالایی در کارکرد با سیستم حوزه‌های بزرگ برخوردار می‌باشد.

چانگ و چن (۲۰۰۵)، دو نوع الگوریتم ژنتیک را برای بهینه‌سازی مدل یک مخزن کنترل سیلاب به کار بردند و مشاهده شد که هر دو نوع الگوریتم ژنتیک بسیار کارآمد و مؤثرتر از روش‌های جستجوی اتفاقی هستند. واردلو و شریف (۲۰۰۰)، از الگوریتم ژنتیک در یک سیستم چند مخزنه غیر خطی با افق زمانی گسترده و یک مسأله ده مخزنه پیچیده را با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل کردند. ایشان نتایج حاصل را با برنامه‌ریزی پویا مقایسه کرده و نتیجه گرفتند که پاسخ‌های الگوریتم ژنتیک به جواب بهینه نزدیک‌تر است. چانگیان و یی مین (۲۰۰۵)، از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی مقدار رهاسازی آب در ۱۲ بازه زمانی استفاده کردند. ماکزیمم کردن مقدار تولید نیروی برقابی هدف مورد نظر آن‌ها بود.

ثمره هاشمی (۱۳۸۵)، ذخیره مخزن سد را با استفاده از جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک پیش‌بینی نموده و نتایج قابل قبولی را به دست آوردند. طلعت اهری و همکاران (۱۳۸۸)، برای پیش‌بینی مخزن سد جیرفت از الگوریتم اجتماع مورچگان استفاده کردند که حاصل از این تحقیق در مقایسه با نتایج روش الگوریتم ژنتیک ، قدرت الگوریتم اجتماع مورچه‌ها را به اثبات می‌رساند.

فرهمندآذر و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده از الگوریتم اجتماع مورچگان مسئله پیش‌بینی مخازن سدها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد روش پیشنهادی دقت کافی در پیش‌بینی مقادیر ذخیره سد دارد. صابر چناری و همکاران (۱۳۹۱)، مدل کوتاه مدت بهره‌برداری بهینه از منابع آب را با استفاده از الگوریتم جامعه ذرات ارائه و نتایج آن را با الگوریتم ژنتیک مورد مقایسه قرار دادند. تابع هدف مسئله، تأمین نیاز آبی پایین‌دست بر اساس برقراری رابطه پیوستگی انتخاب گردید. مقایسه نتایج نشان داد که الگوریتم جامعه ذرات با تعداد ارزیابی کم‌تر تابع هدف نسبت به الگوریتم ژنتیک با تعداد ارزیابی بیش‌تر تابع هدف، قابلیت بالاتری در رسیدن به جواب بهینه دارد.

اسدی‌پور و همکاران (۱۳۹۱)، پارامترهای منطق فازی برای بهینه‌سازی هیدروگراف خروجی مخزن سد کارون ۳ را با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین نمودند. تابع هدف در این مسأله به صورت مجموعه‌ای از اهداف مختلف کنترل سیل مانند، حداقل کردن پیک خروجی، حداقل سازی خرابی پایین‌دست، ذخیره سیلاب‌ها، و نگهداری سطح نهایی آب نزدیک به ذخیره مطلوب برای رفع نیاز آبی در آینده و نظایر آن منظور شد. مقایسه خروجی‌ها، بیانگر قابلیت مناسب روش پیشنهادی در بهینه‌سازی عملکرد مخزن است.

رجب پور و همکاران (۱۳۹۴)، به توسعه و کاربرد الگوریتم JPSO در بهینه‌سازی بهره‌برداری از سدها پرداختند. در این تحقیق کاربرد الگوریتم جدید توسعه داده شده در تابع پیچیده‌ی ریاضی اکلی و مسئله‌ی بهره‌برداری ساده و برقابی از آبگیر مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت و در نهایت نتایج آن با الگوریتم جامعه‌ی مورچگان مقایسه گردید. نتایج نشان دادند که الگوریتم پیشنهادی در حل تابع اکلی به بهینه مطلق رسید. هم-چنین نتایج مقایسه‌ی بین دو الگوریتم نشانگر توانایی بالایی الگوریتم JPSO در پیدا کردن جواب‌هایی نزدیک به پاسخ بهینه با صرف هزینه‌ی محاسباتی مناسب می-باشد.

مهدی پور و بزرگ حداد (۱۳۹۱)، با استفاده از الگوریتم مجموعه ذرات به بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدهای چند منظوره پرداختند و مقایسه‌ای میان این الگوریتم در محیط متلب و CP در محیط

لینگو[1] صورت گرفت که در زمان برابر، لینگو نه تنها قادر به ارائه جواب غیر غالب نبود بلکه در برخی موارد در مدت زمان محاسبات قادر به ارائه راه حل بهینه نیز نبود.

مودی (۱۳۹۹) در پژوهشی با عنوان نقش آب در توسعه پایدار با تأکید بر حوزه کشاورزی پرداخت. وی بیان داشت "فرهنگ عمومی" اساس هر گونه رشد، توسعه و تحول بنیادین در جامعه است و واژه "توسعه" از اصطلاحات کلیدی اقتصاد سیاسی و سیاست اجتماعی قرن بیستم میباشد که در یک معنای وسیع و گسترده به معنای فرایند تغییر اجتماعی در جهتتحول اقتصاد ملی بوده و "آب" یکی از منابع مهم در توسعه کشورها می باشد. پژوهش حاضر با هدف تبیین نقش آب در توسعه پایدار با تأکید بر حوزه کشاورزی به این نتیجه رسید که بامدیریت بهینه منابع آبی با کمک راهکارهایی نظیر استفاده از شیوه های نوین آبیاری و کشت متناسب با اقلیم، ضمن مصرف بهینه آب و تولید غذای سالم، نه تنها در بخش کشاورزی بلکه در درازمدت در تداوم و بقای جامعه ایرانی میتوان نقش به سزایی ایفا کرد.

کماسی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه ایی کشاورزی ارگانیک و نقش آن در توسعه کشاورزی پایدار را مورد بررسی قرار دادند. آنها اذعان داشتند در سال های اخیر بحث کشاورزی پایدار و به ویژه کشاورزی ارگانیک به عنوان یکی از بدیل های توسعه پایدار مطرح شده است. هدف پژوهش حاضر بررسی کشاورزی ارگانیک و نقش آن در توسعه پایدار کشاورزی می باشد. مقاله مذکور با استفاده از روش اسنادی و مطالعه کتابخانه ای، به بررسی مفهوم و اهمیت کشاورزی پایدار می پردازد، کشاورزی ارگانیک را توضیح می دهد و در نهایت به تشریح نقش کشاورزی ارگانیک در توسعه پایدار کشاورزی می پردازد و پیشنهادهایی در این زمینه ارایه می دهد.

بهرامی (۱۳۹۸) در مطالعه خود نقش سیستم های خاکورزی حفاظتی در توسعه پایدار کشاورزی و روستایی را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس مطالعه آنها، مصرف بی رویه سموم و کودهای شیمیایی در کشاورزی بر روی محیط زیست و به و یژه سلامت انسان ها اثر گذاشته و آلودگی منابع آب، خاک و غذا را به دنبال دارد. این مسئله موجب شده است تا صاحب نظران توسعه پایدار، مصرف انرژی در کشاورزی را به عنوان یکی از چالش های مهم تهدید کننده محیط زیست مورد توجه قرار دهند. مصرف انرژی در تولید محصولات زراعی و باغی رابطه مستقیمی با سیستم های خاکورزی کشاورزی دارد. هدف از انجام این مطالعه ارزیابی نقش سیستم های کشاورزی حفاظتی در توسعه پایدار کشاورزی بود که؛ سیستم کشاورزی حفاظتی کم خاکورزی در خصوص تولید گندم آبی در استان همدان بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان داد که سیستم کشاورزی حفاظتی کم خاکورزی گام مهمی در جهت استفاده بهینه از مصرف انرژی در تولید محصولات کشاورزی است.بر اساس نتایج، در صورت به کار گیری صحیح و دقیق سیستم کم خاکورزی حفاظتی، می توان گام مهمی در جهت دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی و روستایی برداشت.

علیایی و مرتضوی (۱۳۹۸) در مطالعه ایی واکاوی نقش تعاونی ها در مدیریت پایدار منابع آب در کشاورزی با تمرکز بر توسعه سامانه های نوین آبیاری را مورد بررسی قرار دادند. این امر ضمن تامین منابع کافی آب، افزایش تولید و کمک به اقتصاد کشور را در پی خواهد داشت. مدیریتپایدار منابع آب در بخش کشاورزی نیازمند ساز و کارهایی است که مداخله گری نظام مند تمامی کنشگران را میسرسازد. بررسی ها نشان می دهد امروزه مدلی که می تواند کشور را در شرایط تحریم به سمت تحقق عدالت اجتماعی وتوسعه همه جانبه سوق داده و در خیزش عظیم اقتصادی قرار بدهد، مدل تعاون است. تعاون بعنوان یکی از بخش هایسه گانه در اقتصاد کشور، میتواند با ارتقای مولفه

1- Lingo

های اعتماد، تجمیع امکانات، منابع و سرمایه ها و نیز توسعه مدیریت و فکر جمعی در قالب تعاونی ها سهم بسزایی در توسعه مدیریت و زیرساخت های مختلف منجمله بهبود وضعیت نظام آبیاری داشته باشد.

دوانی مطلق و همکاران (۱۴۰۰)، عملکرد الگوریتم گرگ خاکستری را به تنهایی و در حالت ترکیب با الگوریتم ژنتیک در مساله‌ی بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد طالقان ارزیابی کردند. تابع هدف به صورت حداقل‌سازی مجموع مجذور کمبودهای نسبی در تخصیص به آن در هر ماه و ماکزیمم کردن اعتمادپذیری، در طول دوره آماری ۱۱ ساله ی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ تعریف گردید. نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های ارزیابی عملکرد مدل‌ها نشان دادند از نظر شاخص‌های اطمینان‌پذیری زمانی و پایداری الگوریتم هیبریدی گرگ خاکستری – ژنتیک بهتر از الگوریتم گرگ خاکستری و الگوریتم ژنتیک می‌باشد.

طاهری و همکاران (۱۴۰۲)، اثر خشکسالی هواشناسی بر بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد آیدوغموش در شمال‌غربی ایران را تحت اثر تغییر اقلیم در آینده و با بهره‌گیری از الگوریتم‌های فراابتکاری کپک مخاطی– ژنتیک ارزیابی کردند. از سناریوهایSSP۲-۴.۵ و SSP۲-۸.۵ گزارش ششم IPCC و مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG برای ایستگاه هواشناسی سد آیدوغموش برای دوره پایه (۱۹۷۸-۲۰۱۴) و دوره‌های آینده (۲۰۲۲-۲۰۴۰) و (۲۰۷۰-۲۱۰۰) استفاده شد. نتایج سناریوی انتشار برتر SSP۲-۸.۵ نشان داد که بارندگی سالانه در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه به ترتیب ۸/۹ و ۱۴/۵ میلی‌متر کاهش خواهد یافت.

باجلانی و همکاران (۱۴۰۲)، برای بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های منابع آب سد دز از روش شبیه‌سازی-بهینه‌سازی با تلفیق مدل شبیه‌ساز WEAP و الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه گرگ خاکستری (MOGWO) استفاده کردند. نتایج نشان داد در سناریوی مرجع در بسیاری از سال‌های خشک درصد تأمین نیاز در ماه‌های بحرانی و کم آب نزدیک به صفر بود. این امر باعث ایجاد ناپایداری در سیستم و ایجاد خسارات جبران‌ناپذیر اقتصادی شده و تبعات اجتماعی زیادی به دنبال خواهد داشت. بهینه‌سازی سیستم بر اساس ساختار پیشنهادی در این تحقیق باعث بهبود درصد تامین نیاز در ماه‌های بحرانی شده به گونه‌ای که حداقل درصد تامین نیاز در این ماه‌ها به ۳۰ درصد می رسد و هیچ ماهی با درصد تامین نیاز صفر باقی نمی‌ماند. مدل پیشنهادی در این تحقیق می‌تواند با در نظر گرفتن ظرفیت‌های مجاز مخزن با رهاسازی بهینه جریان در فصول پرآب و ذخیره بخشی از جریان در مخزن و رهاسازی آن در فصول کم آب باعث مدیریت بهتر مخزن در مناطق خشک گردد.

یانگ و همکاران (۲۰۱۲)، یک الگوریتم PSO چند هدفه برای بهینه‌سازی سامانه‌های کارمایه گرمایی با در نظر گرفتن دو جنبه اقتصادی و زیست‌محیطی را مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. افشار و همکاران (۲۰۱۴)، بهینه‌سازی بهره‌برداری آب و برقابی را با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری انجام دادند.

موتلو (۲۰۱۶)، به بهینه‌سازی مخزن سد Adiguzel ترکیه، با استفاده از الگوریتم جستجوی فاخته[1] پرداخت. این تحقیق به منظور توسعه روش الگوریتم فاخته (CS)، به عنوان روشی جهت بهینه‌سازی سیستم عملیاتی مخازن سدها و ایجاد منحنی‌های بهینه انجام شد. نتایج مطالعه وی حاکی از آن بود که الگوریتم فاخته (CS)، عملکرد سیستم را بهبود می‌بخشد. امامی و پارسا (۲۰۲۰)، با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری (ICA) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) به تخمین ذخیره مخز سد شهرچای پرداختند. مقایسه نتایج برآورد شده با نتایج اندازه‌گیری شده با استفاده از معیارهای خطا نشان‌دهنده برتری الگوریتم ICA نسبت به شبکه عصبی مصنوعی است. کیم و همکاران (۲۰۲۲)، الگوریتم‌های یادگیری ماشین SVM، RF و ANN را برای پیش‌بینی میزان ذخیره‌سازی ماهانه مخازن

1- Cuckoo Search Algorithm

کشـــاورزی مورد آزمایش قرار دادند. پیش‌بینی نرخ ذخیره‌ســـازی یـک مـاهـه نشـــان داد کـه تـمـامی الگوریتم‌های SVM، RF و ANN بســیار قابل اعتماد می‌باشـند. نتایج مقایسـه زمان یادگیری نشـان داد که ســـرعت یادگیری به ترتیب در الگوریتم‌های SVM، RF و ANN در تمام یک تا سـه ماه بیش‌ترین سـرعت را داشـت. به طور کلی، عملکرد یادگیری الگوریتم های SVM و ANN بهتر از RF بود.

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در مسائل مختلف منابع آب با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی و بهینه‌سازی به عنوان روش‌های فراکاوشی صورت پذیرفته است. با توجه به اهمیت و ضرورت مدیریت منابع آب و اهمیت پیش‌بینی ذخیره مخازن سدها و کاربردهای موفق الگوریتم ژنتیک پیوسته در حل مسائل بهینه‌سازی، در تحقیق حاضر استفاده و کاربرد الگوریتم ژنتیک پیوسته در مسئله پیش‌بینی از مخزن سد مهاباد برای اولین بار مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

الگوریتم ژنتیک که تحت عنوان عمومی برنامه-ریزی تکاملی دسته‌بندی می‌شود. با الهام از تئوری تکامل طبیعی داروین ابداع شد و مکانیزم طبیعی و ژنتیک طبیعی اساس آن را تشکیل می‌دهد. این الگوریتم با استفاده از اصل بقای اعضای قوی‌تر، تجزیه و تحلیل این اعضا و به‌وجود آمدن اعضای بهتر یک روش جستجو را پایه‌گذاری می‌کند (کلی، ۱۹۹۹). روند جستجوی الگوریتم ژنتیک یک جستجوی هوشمندانه است و با سایر روش‌های جستجو که اساسا آن‌ها بر مبنای تصادف است متفاوت می‌باشد. این الگوریتم با به‌کارگیری شیوه‌هایی از احتمالات به‌طور متناسب به جستجوی جواب‌هایی که نزدیک به جواب بهینه مسئله هستند حرکت کرده و تعدادی از جواب‌های بسیار نزدیک به جواب بهینه برای مسأله را ارائه می‌کند. چارت الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است.

منطقه مورد مطالعه (سد مهاباد)

به منظور ارزیابی کارآیی مدل پیشنهادی در تعیین سیاست‌های بهینه بهره‌برداری و پیش‌بینی ذخیره مخازن سدها از اطلاعات سد مهاباد واقع در شهرستان مهاباد استفاده شده است. رودخانه مهاباد با سد مخزنی تقریبا۲۰۰ میلیون مترمکعب جدا از تأمین آب شرب شهر، نقش مهمی در توسعه کشاورزی مکانیزه دشت با اهمیت شهر ویران ایفا میکند .این رود از میان ارتفاعات سردشت و پیرانشهر می‌گذرد و از به‌هم پیوستن دو شاخه اصلی بیطاس و دهبکر به‌وجود می‌آید. پس از گذشتن از شمال‌غربی مهاباد در غرب سیمینه‌رود و شرق قادرچای وارد دریاچه ارومیه می‌شود. بر روی این رودخانه نیز سدی احداث گردیده که علاوه بر تولید برق آب مشروب شهر را نیز تأمین می‌کند. این رودخانه از جمله مهم‌ترین رودخانه های شهرستان مهاباد می-باشد که از این شهر می‌گذرد. سد مهاباد یکی از سدهای استان آذربایجان‌غربی با ارتفاع ۴۷/۵ متر و طول ۷۰۰ متر که در بر روی رودخانه مهاباد واقع شده است. سد مهاباد قبل از پیروزی انقلاب اسلامی ایران (۱۳۸۴) و توسط مهندسان یوگوسلاویایی ساخته شده است. نوع این سد، سنگریزه‌ای با هسته رسی مایل می‌باشد. این سد جزو ده سد پرآب کشور است و در حالت کلی مجموع حجم کل ورودی سالیانه ی آن معادل ۳۰۹/۳۰۴ میلیون مترمکعب است. موقعیت حوضه سد مهاباد بین حدود جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و ۴۵ درجه و ۷ دقیقه شرقی قرار دارد.

شکل(۲): موقعیت سد مهاباد بر روی نقشه

در نوشتار حاضر، هدف ارائه یک برنامه بهره‌برداری از مخزن سد مهاباد برای یک دوره‌ی مشخص از دوران بهره‌برداری مخزن سد و تأمین نیاز پایین‌دست می‌باشد. به شرطی که به‌طور هم‌زمان خسارات ناشی از عدم کافی بودن حجم مخزن برای تأمین نیازآبی پایین‌دست مخزن سد باشد. لذا هدف از ارائه پژوهش حاضر ارزیابی و بررسی مقایسه‌ای روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک پیوسته در پیش‌بینی و ارائه برنامه بهره‌برداری از مخزن سد در ماه‌های بهره‌برداری مشخص می‌باشد. پارامتر-های الگوریتم ژنتیک پیوسته که در عمل پیش‌بینی ذخیره سد مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل موارد زیر می‌باشند. تابع هدف مد نظر در این پژوهش به‌صورت رابطه‌زیر نظر گرفته شده است:

$$\begin{aligned} &Minimize \ : F(x) \\ &N_j(x) \le 0 \quad , \quad j = 1,2,3,\ldots,k \\ &M_j(x) = 0 \quad , \quad i = 1,2,3,\ldots,k \\ &X_1 \le X \le X_u \end{aligned} \qquad (۱)$$

در روابط بالا تابع $F(x)$، به عنوان تابع هدف، $N(x)$ و $M(x)$ محدودیت‌های مساوی و نامساوی مسئله می-باشند.در نوشتار حاضر تابع هدف نسبی مدل به‌صورت اختلاف مقدار جریان خروجی با نیاز پایین‌دست با توجه به برقراری رابطه‌ی پیوستگی ارایه شد. پس از تنظیم این تابع مینیمم آن به‌صورت رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

$$Minimize \quad F = \sum_{t=1}^{12}(R_t - D_t)^2 + \sum_{t=1}^{12}(S_t - S_{t+1} + R_t - E_t)^2 \quad t+1 \le 12$$

(۲)

در این رابطه، R_t مقدار خروجی از سد در هر ماه، D_t نیاز پایین دست در هر ماه، S_t مقدار ذخیره در هر ماه، I_t مقدار ورودی به مخزن سد در هر ماه، E_t مقدار تبخیر از سطح دریاچه سد در هر ماه می‌باشد.

به‌منظور انجام بهینه‌سازی مقادیر نیاز آبی پایین‌دست سد، میزان ورودی به سد با در نظر گرفتن ۹۰ درصد نیاز آبی پایین‌دست، ارتفاع تبخیر خالص ماهانه دریاچه بر اساس معادلات کالیبره شده، حداکثر میزان خروجی از سد بر اساس شرایط نرمال خروجی سد محاسبه گردید:

$$I_t = \overline{I_t} - 0.5(SD)_t$$

(۳)

که، I_t ورودی مخزن در هر ماه، $\overline{I_t}$ میانگین جریان ورودی ۷ ساله در ماه t، $(SD)_t$ انحراف معیار جریان

وردی در ماه t می‌باشد.

در رابطه ۲ بخش اول بیانگر اختلاف مقدار جریان خروجی با نیاز پایین‌دست می‌باشد و بخش دوم تابع شامل رابطه پیوستگی می‌باشد، که مقدار جریان ورودی I_t به ازاء احتمالات مختلف می‌تواند مورد بررسی واقع گردد. در واقع ساختار رابطه به گونه‌ای است که با محاسبه مقدار خروجی از سد، می‌توان مقادیر ذخیره مخزن سد را در هر ماه پیش‌بینی نمود.پس از تعریف تابع هدف، برای قسمت‌های مختلف الگوریتم ژنتیک پیوسته مثل جمعیت اولیه، سیاست جذب و ... باید مقادیر مناسب را انتخاب نمود، که البته انتخاب صحیح این مقادیر تأثیر مستقیمی در نحوه عملکرد و سرعت الگوریتم ژنتیک پیوسته در مسئله مدنظر خواهد داشت.

جدول (۱): مشخصات فنی سد مهاباد

نوع سد	خاکی سنگریزه ای با هسته رسی شیب‌دار
ارتفاع از پی	۴۷/۵ متر
ارتفاع از بستر رودخانه	۸۴ متر
طول تاج	۷۰۰ متر
حجم کل مخزن	۳۳۹/۳۰۴ میلیون مترمکعب
حجم مفید مخزن	۱۹۸/۲۰ میلیون مترمکعب
حداقل حجم بهره‌برداری	۵۰ میلیون مترمکعب
رقوم نرمال سطح آب	۱۳۵۸/۵۰
حداقل تراز قابل بهره‌برداری	۱۳۳۹/۵۰

آنالیز آماری داده‌های ورودی

داده‌های جریان ورودی به سد طی دوره آماری ۱۰ سال مورد استفاده رد تحقیق حاضر، از نظر همگنی و تصادفی بودن با استفاده از روش جرم مضاعف مورد بررسی آنالیز قرار گرفتند. نتایج تصادفی بودن داده‌ها که با استفاده از آزمون ران تست انجام شد در جدول ۲ ارائه شده است

.

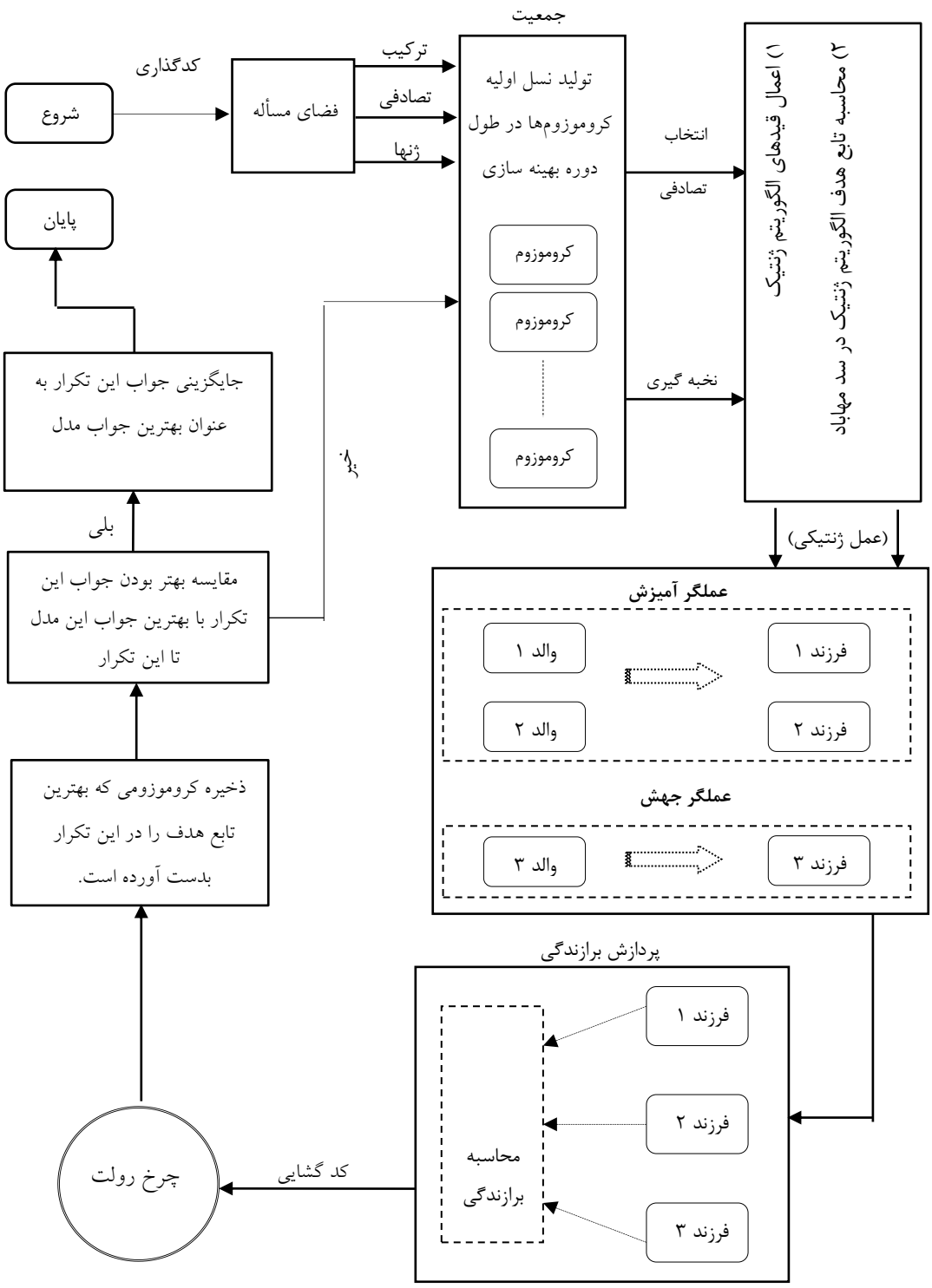
جدول (۲): نتیجه آزمون تصادفی بودن داده‌های سالانه

	حد مجاز	ازمون تصادفی بودن داده‌ها
مهاباد	±۱/۶۹	-۱/۲۲

در این تحقیق به منظور بررسی قابلیت الگوریتم ژنتیک پیوسته، از ۱۰ سال آمار ماهانه برای دوره آماری (۱۳۹۱-۱۴۰۱)، جهت انجام تجزیه و تحلیل مورد بررسی قرار گرفت. از ۷۵ درصد داده‌های موجود به منظور آموزش شبکه و از ۲۵ درصد داده‌ها برای صحت-سنجی مدل استفاده شد. وارد کردن داده‌ها به‌صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت مدل می‌شود. از این‌رو داده‌های ورودی به مدل به‌صورت زیر (رابطه ۷) نرمالیزه شدند.

$$\begin{cases} Y_i = \dfrac{X_{oi}}{X_{omax}}, & X_{oi} \geq 0 \\ Y_i = \dfrac{X_{oi}}{|X_{omin}|}, & X_{oi} < 0 \end{cases} \qquad (۴)$$

در این رابطه، Y_i مقادیر استاندارد شده، X_{oi} مقادیر مشاهداتی، X_{omin} مقادیر مینیمم مشاهداتی و X_{omax} ماکزیمم مقادیر مشاهداتی می‌باشند.



شکل (۳): فلوچارت مدل بهینه سازی الگوریتم ژنتیک

نتایج و بحث

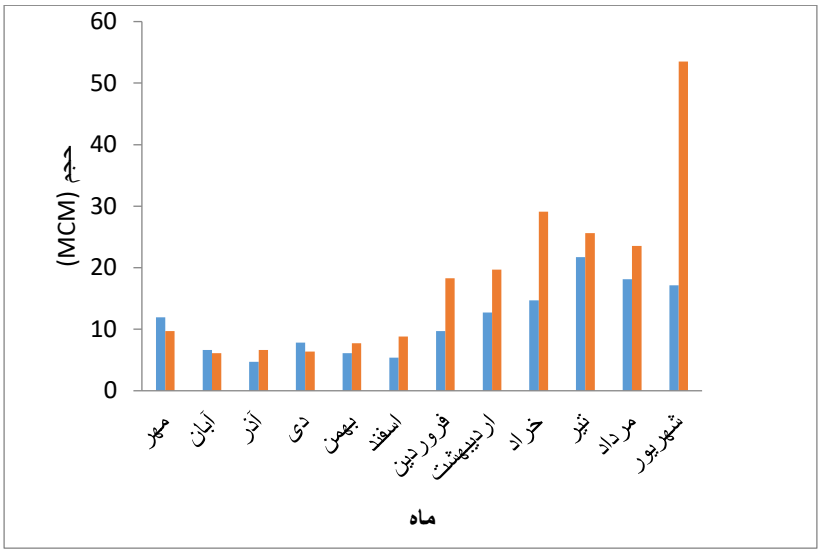
پس از معرفی تابع هدف و انجام تحلیل حساسیت و یافتن مقادیر بهینه پارامترهای مؤثر الگوریتم و به کارگیری آن‌ها در مدل، متغیرهای تصمیم مسئله که شامل ۲۴ متغیر بود محاسبه گردید.پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک پیوسته مطابق جدول (۳) می‌باشد.

جدول (۳): پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک پیوسته

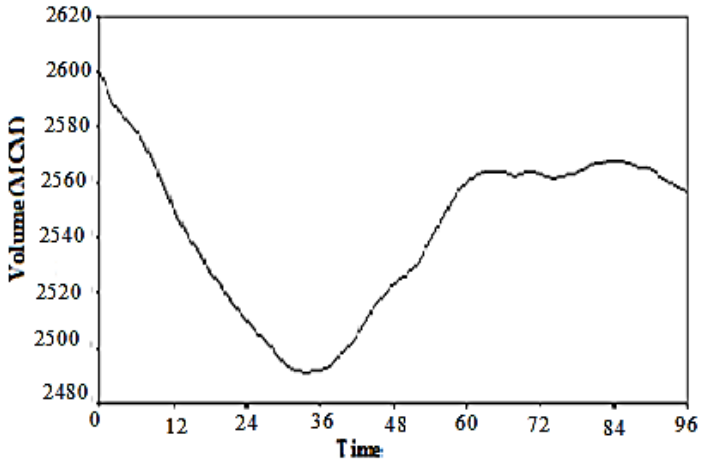
تعداد جمعیت اولیه	۱۰۰
درصد تولید نسل	۶۰
درصد جهش	۱۰
درصد انتقال به نسل بعدی	۳۰
روش انتخاب والدین	Cost weighting

در اجرای این تابع توسط الگوریتم ژنتیک پیوسته، متغیرهای مسأله که ۲۴ متغیر بود محاسبه گردید که متغیرهای ۱ تا ۱۲ مربوط به مقدار خروجی از سد در هر ماه‌های مختلف و متغیرهای ۱۳ تا ۲۴ نیز مربوط به مقدار ذخیره در ماه‌های مشابه می‌باشند.

نتایج خروجی بهینه‌سازی شده در مقایسه با دبی سالم رودخانه و تغییرات حجم مخزن در شکل‌های (۳ و ۴)، آورده شده است. در این تحقیق هیدروگراف‌های ثبت شده در دوره آماری ۱۰ ساله (۱۳۹۱-۱۴۰۱) مورد بررسی قرار گرفت و از میان آن‌ها ۲۵ هیدروگراف به عنوان نمونه‌های کامل با زمان پایه مناسب برای بهینه-سازی انتخاب گردید. زمان پایه این هیدروگراف‌ها از ۴۸ تا ۹۶ ساعت تغییر می‌کند. بیش‌ترین حجم سیلاب با حجمی معادل ۶۱۶/۵ میلیون متر مکعب و زمان پایه ۹۶ ساعت، و کم‌ترین حجم با حجمی معادل ۷۰/۵ میلیون متر مکعب و زمان پایه ۷۲ ساعت به وقوع پیوسته است.



شکل (۴): مقایسه دبی سالم رودخانه پایین دست حاصل از اجرای الگوریتم



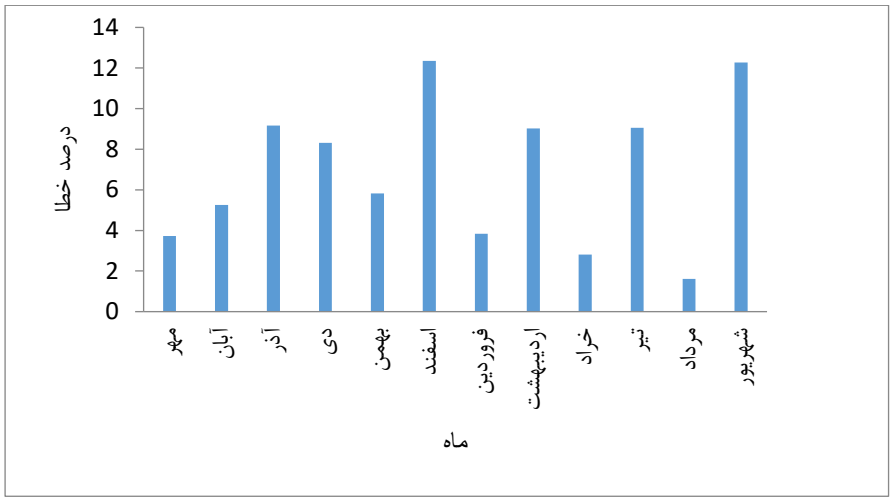
شکل (۵): منحنی تغییرات حجم مخزن سد مهاباد حاصل از اجرای الگوریتم

در جدول ۴ نیز نتایج حاصل از اجرای مدل الگوریتم ژنتیک پیوسته برای سد مهاباد در ماه‌های مختلف سال مشخص گردیده است.

جدول (۴): نتایج حاصل از اجرای مدل الگوریتم ژنتیک پیوسته

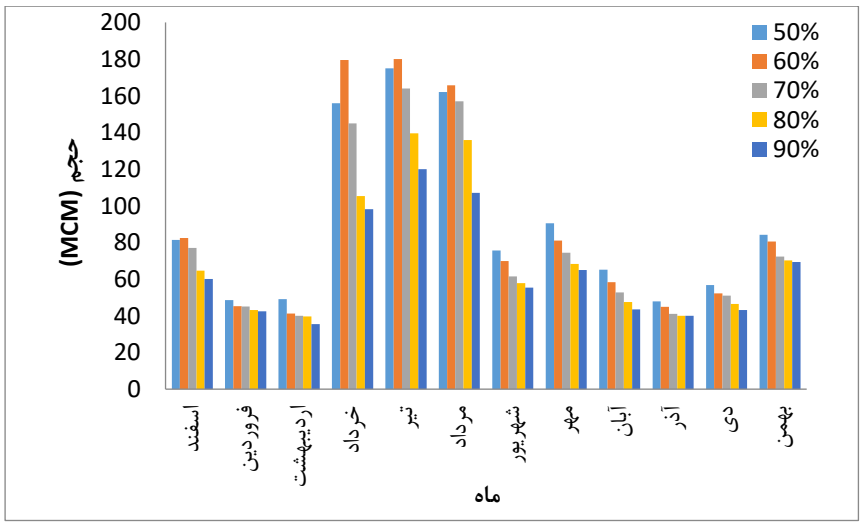
ماه	حجم خروجی بهینه حاصل از مدل ژنتیک(MCM)	نیاز آبی پایین‌دست حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک (MCM)
مهر	۱۴/۶	۱۱/۹۶
آبان	۸/۲۴	۶/۶۵۴
آذر	۶/۷	۴/۶۹
دی	۳۳/۷	۷/۸۵
بهمن	۶/۹۶	۶/۱۱
اسفند	۷/۸۲	۵/۳۸
فروردین	۹/۲۳	۹/۲۸
اردیبهشت	۱۶/۱۵	۱۲/۷۲
خرداد	۲۱/۱۲	۱۴/۶۹
تیر	۵۴/۲۹	۲۱/۷۴
مرداد	۲۴/۴۸	۱۸/۱۲۴
شهریور	۸۴/۲۳	۱۷/۱۴۸

در شـــکل ۶، خطای بین مقادیر مشـــاهداتی و پیش‌بینی شـده توسـط الگوریتم ژنتیک پیوسـته اراده شده است.



شکل(۶): خطای بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده

همان‌گونه که قبلا هم اشاره شد نتایج به ازای ورودی با احتمال ۹۰ درصد پیش‌بینی شده است، با استفاده از قابلیت‌های ژنتیک پیوسته می‌توان احتمالات مختلف را برای ورودی‌ها بررسی نمود، شکل (۷). همانطور که در شکل دیده می‌شود با تغییر در مقدار ورودی الگوریتم در مقدار خروجی تغییر قابل توجهی دیده نمی‌شود و نیاز پایین دست همین مقدار باقی می‌ماند و تغییر اصلی که الگوریتم ایجاد می‌کند بر روی مقدار ذخیره خواهد بود. طبق شکل مقدار ذخیره در ماه‌های منتهی به تابستان که مقدار نیاز پایین‌دست حداکثر می‌باشد، افزایش می‌یابد، و عکس این مورد در ماه‌های سیلابی مشاهده می‌شود که در این ماه‌ها همچون ماه‌های آذر و دی افزایشی در مقدار ذخیره سد صورت نمی‌گیرد.



شکل (۷): مقایسه‌ی مقدار ذخیره مخزن سد به ازای ورودی با احتمالات مختلف

ارائه معادلات جهت پیش‌بینی ذخیره مخزن سد مهاباد

به منظور تعیین معادله‌ای جهت تخمین ذخیره مخزن سد مهاباد، از رگرسیون خطی و غیر خطی استفاده شد. برای به‌دست آوردن بهترین معادله، توابع مختلفی برای *St* به‌عنوان متغیر وابسته در رابطه با متغیرهای مستقل به‌عنوان *(Dt ,Rt, It)*، ارائه شد. معادلات تخمین ذخیره مخزن سد مهاباد به شرح زیر می‌باشند:

$$S_t = 14.4D_t - 18.6R_t + 0.5I_t + 151 \quad (۵)$$

$$S_t = (D_t)0.39(I_t)0.97(R_t)^{(-0.97)} \quad (۶)$$

معادلات بالا، با ضریب تبیین R^2=۰/۸۵ به‌عنوان بهترین معادلات برای تخمین ذخیره مخزن سد مهاباد پیشنهاد گردیدند. مقادیر ذخیره مخزن سد، توسط الگوریتم ژنتیک پیوسته و با استفاده از معادلات (۸ و ۹)، نشان‌دهنده قدرت، کارایی بالا و انعطاف‌پذیری روش پیشنهادی برای حل مشکلات پیچیده منابع آبی است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای اولین بار جهت پیش‌بینی ذخیره مخزن سد مهاباد از روش نوین الگوریتم ژنتیک پیوسته بهره گرفته شد.این الگوریتم سرعت مناسبی در یافتن جواب بهینه دارد. مطالعه موردی سد مهاباد می‌باشد. نتایج حاصل نشان داد که در پیش‌بینی مقادیر ذخیره سد مدل پیشنهادی (الگوریتم ژنتیک پیوسته) بسیار بهینه بوده و در یافتن جواب بهینه از هم‌گرایی، سرعت و دقت بالایی برخوردار است. در سیستم مورد مطالعه جمعیت اولیه ۱۰۰ و انتخاب یکنواخت احتمالی بهترین نتایج را در برداشت. هم‌چنین نتایج حاصل نشانگر ضریب بالای ۹۰ درصد بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده توسط این مدل و هم‌چنین سرعت و کارآیی بسیار بالای روش پیشنهادی پیش‌بینی ذخیره مخزن سد مهاباد است. به‌طور کلی با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق می‌توان برتری الگوریتم ژنتیک را در پیش‌بینی ذخیره مخازن سدها به اثبات رساند.

منابع

اسدی‌پور ن، کرمی م، شاهی‌نژاد ب، ۱۳۹۱. به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک در تعیین پارامترهای منطق فازی برای بهینه‌سازی هیدروگراف خروجی مخزن سد. مجله پژوهش آب ایران. ۶ (۱۰).

باجلانی، ص.، شعبانلو، س.، یوسفوند، ف.، ایزدبخش، م. ع. و رجبی، ا. (۱۴۰۲). کاربرد الگوریتم چندهدفه گرگ خاکستری در بهره برداری بهینه از مخازن سدها در مناطق کم آب. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴(۲): ۲۹۹-۳۱۸.

ثمره هاشمی، م. و بارانی، غ. ع. (۱۳۸۵). استفاده الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی عملکرد سدها با بکارگیری نرم افزار مطلب ۷. اولین همایش منطقه ای بهره‌برداری از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده رود (فرصت‌ها و چالش‌ها). شهرکرد، ایران.

دوانی مطلق، ا.، صادقیان، م.ص.، جاوید، ا. ح. و عسگری، م. ص. (۱۴۰۰). بهینه سازی بهره برداری از مخزن سد طالقان با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری و هیبرید آن با الگوریتم ژنتیک. فصلنامه علمی تخصصی مهندسی آب, ۹(۲), ۱۶-۱.

رجب‌پور ر، طالب‌بیدختی ن، رخشنده‌رو غ ر، ۱۳۹۴. توسعه و کاربرد روش JSPO در بهینه‌سازی بهره‌برداری از آبگیرهای سدها. مجله‌ی مهندسی منابع آب. ۸: ۴۷-۵۹.

صابر چناری ک، عبقری ه، عرفانیان م، قلی‌زاده س، ۱۳۹۱. ارائه مدل کوتاه مدت بهره‌برداری بهینه از منابع آب با استفاده از الگوریتم جامعه ذرات و مقایسه آن با الگوریتم ژنتیک. پژوهش‌های آبخیزداری. ۹۷: ۶۳-۷۲.

طاهری، ا. س.، موسوی، س. ف. و کرمی، ح. (۱۴۰۲). بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری تحت شرایط خشکسالی هواشناسی (مطالعه موردی: سد آیدوغموش). فصلنامه علوم آب و خاک، ۲۷(۲): ۹۰-۷۱.

فرهمندآذر، ب.، طلعت اهری، س.، حسن‌زاده، ج. و فتحی، س. (۱۳۸۶). پیش‌بینی ذخیره مخزن سد با استفاده از روش بهینه‌سازی ACS. (۱۳۸۶). اولین همایش ملی سد و سازه‌های هیدرولیکی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران.

مهدی‌پور ا، بزرگ حداد ا، ۱۳۹۱. بهینه‌سازی بهره‌برداری از آبگیر سدهای چند منظوره با کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی مجموعه ذرات. مجله آب و فاضلاب. ۴: ۹۷-۱۰۵.

بهرامی، ع. (۱۳۹۸). نقش سیستم های خاکورزی حفاظتی در توسعه پایدار کشاورزی و روستایی.

علیایی، ا. و مرتضوی، ا. (۱۳۹۸). واکاوی نقش تعاونی ها در مدیریت پایدار منابع آب در کشاورزی با تمرکز بر توسعه سامانه های نوین آبیاری، چهارمین کنگره بین المللی توسعه کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری ایران، تبریز.

کماسی، ش.، حسن‌پور، ک. و کریمی، س. (۱۳۹۸). کشاورزی ارگانیک و نقش آن در توسعه کشاورزی پایدار، دومین کنفرانس بین المللی و ششمین کنفرانس ملی کشاورزی ارگانیک و مرسوم، اردبیل.

مودی، مهدیه، ۱۳۹۹، نقش آب در توسعه پایدار با تأکید بر حوزه ی کشاورزی، همایش ملی آب، فرهنگ و پژوهش‌های علوم انسانی، بیرجند.

Emami, S., & Parsa, J. (2020). Comparative evaluation of imperialist competitive algorithm and artificial neural networks for estimation of reservoirs storage capacity. Applied Water Science, 10(7), 1-13.

Achite, M., Emami, S., Jehanzaib, M., Katipoğlu, O. M., & Emami, H. (2023). An election algorithm combined with support vector regression for estimating hydrological drought. Modeling Earth Systems and Environment, 1-11.

Afshar A, Emami M J, Masoumi F. (2014). Optimizing water supply and hydropower reservoir operation rule curves: An imperialist competitive algorithm approach. Engineering Optimization. 46(10): 170-181.

Chang Jian–Xia, Huang Qiang wang Yi–Min. (2005). Genetic algorithms for optimal reservoir dispatching. Journal Water Resource Managament. ASCE. 19: 321-331.

Fahmy H S, King J P, Wentzel M W, seton J A. 1994. Economic optimization of river management using algerthms. Paper No. 943034, ASAE 1994 Int. Summer Meating , Am. Soc of Agricultural Engrs. St. Joseph.

Ghafari Moghadam, Z., Moradi, E., Hashemi Tabar, M., Sardar Shahraki, A. 2021. An Analysis of the Water Crisis under Different Scenarios in the Agriculture Sector of Sistan Region: the Approach of Future Studies, Journal of Water Research in Agriculture, 35(2): 201-216.

Ghaffari Moghadam, Z., HashemiTabar, M., Sardar Shahraki, A. 2022. Economic Model for Optimal Allocation of Water Resources with an Emphasis on Risk and Consistency Index in the Sistan Region: The Application of Interval Two-Stage Stochastic Programming Method, Environmental Energy and Economic Research, 6(3): 1-13.

Ghaffari Moghadam, Z., Moradi, E., Hashemi Tabar, M., Sardar Shahraki, A. 2022. Optimal Allocation of Water Resources in the Agricultural Sector by Using The Stackelberg-Nash-Cournot Model and emphasis on water market (Case Study: Sistan Plain Pipe Water Transfer Project), Iranian journal of Ecohydrology, 9(1): 273-289.

Goldberg D E. 1989. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Addison-Wesley, Reading, Mass.

Khairi, M., Safdari, M., Sardar Shahraki, A. 2022. An Integrated Investigation into the Socioeconomic Factors Threatening Crop Marketing: A Comparative Study on Faryab Province of Afghanistan and the Sistan Region of Iran, Environmental Energy and Economic Research, 6(2): 1-20.

Kiani Ghalehsard, S., Shahraki, J., Akbari, A., Sardar Shahraki, A. 2021. Assessment of the impacts of climate change and variability on water resources and use, food security, and economic welfare in Iran, Environment, Development and Sustainability, 23(10): 14666-14682.

Kim, S. J., Bae, S. J., Lee, S. J., & Jang, M. W. (2022). Monthly Agricultural Reservoir Storage Forecasting Using Machine Learning. Atmosphere, 13(11), 1887.

Mutlo Y. (2016). Optimization of Reservoir Operation Using Cuckoo Search Algorithm: Example of Adiguzel Dam, Denizli, Turkey. Mathematical Problems in Engineering. 2016 (2016), ID.1316038.

Pires, A., Morato, J., Peixoto, H., Botero, V., Zuluaga, L., & Figueroa, A. (2017). Sustainability Assessment of indicators for integrated water resources management. Science of the total environment, 578, 139-147.

Sardar Shahraki A., Shahraki J., Hashemi Monfared SA. 2018. An Integrated Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Method Combined with the WEAP Model for Prioritizing Agricultural Development, Case Study: Hirmand Catchment. ECOPERSIA. 6(4): 205-214.

Sardar Shahraki A., Shahraki J., Hashemi Monfared SA. 2018. Application of Fuzzy Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS) to Prioritize Water Resource Development Economic Scenarios in Pishin Catchment. International Journal of Business and Development Studies. 10(1): 77-94.

Wardlaw R, Sharif M. (2000). Evaluation of Genetic alporthm for optimal reservoir system operation. Journal of Water Resources Planning and Management. 125 (1).