Research Paper

Impact of the Water Consumption Management in the Downstream on the Optimal Operation of Reservoirs (case study: Jareh Dam)

Seyed Majied Mosavi[1], Hesam Seyed Kaboli[2*]

1. M.Sc. Student of Water Resources Engineering and Management, Department of Civil Engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran
2. Associate Prof. of Water Resources Engineering, Department of Civil Engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran

Received: 2017/07/29
Revised: 2020/08/14
Accepted: 2020/09/15

Use your device to scan and read the article online

DOI: 10.30495/wej.2021.15376.1918

Keywords:
Reservoir operation, Water efficiency, Optimization, Jareh Dam, Water consumption management.

Abstract

Introduction: Water consumption management and optimal operation of reservoirs are important challenges for sustainable development in arid and semi-arid regions of the world. Increasing water consumption productivity is recognized as an adaptive strategy for coping with drought conditions and increasing water demand due to population growth. Nonetheless, the impact of the increase in water consumption productivity on the operation of reservoirs is neglected in assessment as a management tool.

Methods:
In this research, the impact of the increased efficiency in agriculture water on Jareh-Dam operation as a case study has been assessed. For this purpose, an objective function has been developed based on the coefficient of water efficiency to optimize the water release and water storage in the Jareh-Dam. The operation reservoir is then compromised in both optimal and current conditions with considering the four scenarios of water efficiency.

Findings:
Results show that increasing in the coefficient of water efficiency up to 0.5 will result in an increase of 10 percent in the reliability and a 28 percent decrease in the vulnerability. Also, assuming the reservoir performance is constant compared to the base period, with a 17 percent increase in downstream consumption efficiency, a growth of 46.7 percent in the region's gross income is not far from expectation.

Citation: Mosavi SM, Seyed Kaboli H. Impact of the Water Consumption Management in the Downstream on the Optimal Operation of Reservoirs (case study: Jareh Dam). Water Resources Engineering Journal. 2021; 14(50): 89-102.

***Corresponding author:** Hesam Seyed Kaboli
Address: Department of Civil Engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran
Tell: +986142418500-2326
Email: hkaboli@jsu.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Sustainable development of water resources is a global challenge; however, this issue is of great importance in arid and semi-arid regions such as Iran. Lack of rainfall, limited fresh water resources and low-efficiency operation have compromised food and water security. Therefore, water consumption management is inevitable by increasing water efficiency and optimizing water resources operation. The main purpose of building dams in Iran is to provide agricultural water for food security. As a result, the optimal operation of reservoirs to supply agricultural water has been considered by water authorities. In a reservoir-river system, the objective functions are usually to minimize the difference between water supply and demand by considering temporal and spatial limitations. Consequently, reservoir operation policies are developed to achieve sustainable statuses to meet downstream requirements under different climatic conditions. In other words, objective functions and constraints in various problems should be defined based on socio-economic needs. The aim of this study is to provide a strategy to adopt to drought conditions and future increasing demand by managing water consumption. This study believes that by increasing the efficiency of water consumption along with optimizing the operation of reservoirs, the challenges created in most areas due to droughts and inconsistencies in water allocation can be largely eliminated. For this purpose, an optimization model has been developed by defining an objective function based on the downstream water efficiency coefficient and considering the specific constraints of a single-reservoir system. In this research, the developed model is solved using a Genetic Algorithm (GA) to achieve optimal solutions.

Materials and Methods

Case study

Jarreh dam reservoir was selected as the case study, which is located downstream of the Zard River Basin with an area of 889.2 square kilometers in southwestern Iran. Jarreh reservoir with a storage capacity of 231.56 million cubic meters has been constructed to irrigate 22,000 hectares of Ramhormoz plain lands. According to recorded historical data, the mean annual rainfall, mean annual temperature and mean annual inflow to the reservoir are 584 mm, 21.6 °C and 246 million cubic meters, respectively.

Developed model

The objective function was developed to minimize the water deficiency amount by taking into account the water efficiency coefficient. The effect of water efficiency on reservoir performance will be measured by changing this coefficient. This function is presented as follow:

$$\min: Z = \sum_{t}^{T} \left[\frac{R_t - [D_{at} + (1-\alpha) r_t + D_{et}]}{max[D_{at} + (1-\alpha) r_t + D_{et}]} \right]^2 \quad (1)$$

$$r_t = \left(\frac{D_{at}}{e} - D_{at} \right) \quad (2)$$

Where R_t is water release; D_{at} is net agricultural water demand; D_{et} is water environment requirement; r_t is return water; α is water efficiency coefficient; e is overall irrigation efficiency; t is number of periods; and T is total period. The return water (r_t) is the difference between gross and net agricultural water demand. The gross water demand is calculated based on regional irrigation efficiency, resulting from field visits. The value of $(1-\alpha)r_t$ indicates the effect of water efficiency, so that if $\alpha = 1$ means that the amount of water returned to the environment from the water allocated to irrigation is zero, and the water efficiency rate will be 100%. By reducing the value of α, the water efficiency decreases to zero. In this study, four possible scenarios based on the possibility of increasing irrigation efficiency in the region were considered for application in the model. The water efficiency coefficients of scenarios S1, S2, S3 and S4 are zero, 0.1, 0.3 and 0.5, respectively, which will increase irrigation efficiency by zero, 2.4, 8.39 and 75. 16 percent.

Findings

The results of the optimization model are presented in two states in order to investigate the effect of water efficiency on the optimal operation of the reservoir. The first state assumes that water efficiency will reduce water consumption. The second state assumes that increasing water efficiency leads to more production. Therefore, the first state indicates the effect of water efficiency on the optimal operation of the reservoir and the second state indicates the importance of water productivity in this area. The performance of the reservoir was simulated under different scenarios of water efficiency for 20 years (from 1373 to 1395). Then, reliability, resiliency and vulnerability indices were calculated for the given period. Comparison of reliability and vulnerability in scenarios S2 and S3 shows that reliability decreases with increasing water efficiency while vulnerability decreases sharply. This implies a reduction in the difference between demands and water releases in different months. However, reliability has also increased significantly with increasing water efficiency, and the same goes for resiliency. The effect of increasing irrigation efficiency on the region's economy and justifying investment in the development of the downstream irrigation network was investigated by calculating the region's gross income due to increasing irrigation efficiency. Accordingly, with the increase of irrigation efficiency by 2.4%, 8.39% and 16.75%, the gross income compared to the current situation (S1) will increase by 13%, 30.3% and 46.7%, respectively. The increase in gross income is due to the increase in agricultural production, which is due to the increase in water efficiency.

Conclusion

The optimization model developed in this research has made it possible to investigate the impact of each water efficiency scenario on the optimal operation of reservoirs. With increasing productivity coefficient to 0.5 (increasing irrigation efficiency from 30.4 to 47.6%), vulnerability in terms of agricultural water supply has decreased to 28% and reliability increases to 10%. This is even though the production of agricultural products and the gross income of the region have not decreased at all. On the other hand, increasing the average annual storage of the reservoir to 73.3 million cubic meters and reducing the average annual release of about 13 million cubic meters will increase the potential for drought management and water supply for future use. If the operation of the reservoir in scenarios S2 to S4 is assumed to be the same as conditions S1, the gross income of the region will also increase by 13 to 46.7%. This shows that under the current performance of the reservoir, only by increasing the irrigation efficiency by 2.4%, it can increase the gross income of the region by 13%, which is not far to reach.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

This research was supported by the grant from Jundi-Shapur university of technology.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Hesam Seyed Kaboli.
Methodology and data analysis: Seyed Majied Mosavi, Hesam Seyed Kaboli.
Supervision and final writing: Hesam Seyed Kaboli.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

اثر مدیریت مصرف آب در پایین‌دست بر روی بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها (مطالعه موردی: سد جره)

سید مجید موسوی[۱]، حسام سید کابلی*[۲]
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران
۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۶
تاریخ داوری: ۱۳۹۹/۰۵/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI: 10.30495/wej.2021.15376.1918

واژه‌های کلیدی:
بهره‌برداری از مخزن، ضریب بهره‌وری، بهینه‌سازی، سد جره، مدیریت مصرف آب.

چکیده

مقدمه: مدیریت مصرف آب و بهره‌برداری بهینه از مخازن، از چالش‌های مهم توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشند. همواره افزایش بهره‌وری آب مصرفی به عنوان یک راهکار سازگاری با شرایط خشکسالی و افزایش تقاضا به دلیل رشد روزافزون جمعیت شناخته می‌شود. با این حال بررسی تاثیر افزایش بهره‌وری مصرف آب بر روی بهره‌برداری از مخازن به عنوان یک ابزار مدیریتی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است.

روش: از این‌رو در این تحقیق تأثیر افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در بهره‌برداری بهینه از سد جره به عنوان یک منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا یک تابع هدف براساس ضریب بهره‌وری برای بهینه‌کردن میزان رهاسازی و ذخیره‌سازی آب در سد جره توسعه داده شد. سپس با در نظرگرفتن چهار سناریوی مختلف بهره‌وری آب شرایط بهره‌برداری از مخزن در دو وضعیت فعلی و بهینه بررسی گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که افزایش ضریب بهره‌وری تا ۰/۵ منجر به افزایش ۱۰ درصدی قابلیت‌اطمینان و کاهش ۲۸ درصدی آسیب‌پذیری خواهد شد. همچنین با ثابت فرض‌کردن عملکرد مخزن نسبت به دوره پایه، با افزایش ۱۷ درصدی راندمان مصرف پایین‌دست، رشد ۴۶/۷ درصدی در درآمد ناخالص منطقه دور از انتظار نیست.

* **نویسنده مسئول:** حسام سید کابلی
نشانی: گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران.
تلفن: ۰۶۱۴۲۲۴۱۸۵۰۰-۲۳۲۶
پست الکترونیکی: hkaboli@jsu.ac.ir

مقدمه

مصرف بهینه منابع آب با دیدگاه توسعه پایدار یک چالش جهانی به حساب می‌آید، اما این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. کمبود بارندگی و محدود بودن منابع آب شیرین از یک سو و بهره‌برداری با راندمان پایین از سوی دیگر باعث شده تا چالش امنیت غذایی و آب دوچندان شود. علاوه بر این در همین شرایط مدیریت منابع آبی به دلیل ارزش‌گذاری اقتصادی ناچیز آب نیز به خوبی صورت نمی‌گیرد. در این راستا، مدیریت کارا و بهره‌برداری شایسته ازامکانات موجود و همچنین مدیریت در مصرف، دارای اهمیت زیادی می‌باشد. این امر، دردوره‌های کمبود آب در مناطق مستعد خشکسالی و به‌خاطر تخصیص و ترخیص رقابتی آب، از نقطه‌نظر مدیریت بهره‌برداری اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. بنابراین مدیریت مصرف براساس افزایش بهره‌وری با هدف بهره‌برداری بهینه از منابع آب بسیار ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (۸).

هدف اصلی از احداث سدها در ایران همواره تأمین آب مورد نیاز کشاورزی در جهت تولید غذایی مطمئن بوده است. لذا بهره‌برداری بهینه از سدها با هدف تأمین آب مطمئن کشاورزی مورد توجه محققین و متولیان آب قرار گرفته است (۱). بهینه‌سازی در واقع به معنی هنر یافتن بهترین جواب در بین وضعیت‌های موجود می‌باشد که ساختار آن با توجه به ماهیت مسئله متفاوت می‌باشد. یک مدل بهینه‌ساز از روابط ریاضی شامل تابع هدف و قیود تشکیل شده است، که شکل این روابط بسته به نوع مسائل تعریف می‌شوند. در یک سیستم مخزن رودخانه معمولا توابع هدف کمینه‌کردن اختلاف عرضه و تقاضای آب با در نظرگرفتن محدودیت‌های زمانی و مکانی بوده که براین اساس سیاست‌های بهره‌برداری از مخازن برای رسیدن به شرایط پایدار در تامین نیازهای پایین‌دست در شرایط مختلف اقلیمی تدوین می‌گردد. قیود مسئله نیز بسته به ساختار سیستم مخزن رودخانه و محدودیت‌های اقتصادی–اجتماعی–زیست محیطی تعریف می‌شوند (۱۳).

در این میان الگوریتم‌های تکاملی یکی از انواع روش‌های حل مدل‌های بهینه‌ساز می‌باشند. این الگوریتم‌ها تا کنون پاسخ‌های مناسبی در حل مسائل بهینه‌سازی ارائه داده‌اند و از محدودیت‌های کمی از جمله مهم نبودن شکل ریاضی توابع هدف نیز برخوردار هستند (۴، ۱۰). تحقیقی در منطقه رامجانگا (Ramganga) هند جهت توسعه سیاست‌های بهره‌برداری از یک مخزن چندمنظوره نشان داد که سیاست‌های توسعه‌ای با هدف حداقل کردن آسیب‌های سیل و خشکسالی و بهینه‌کردن آزادسازی از مخزن جهت تأمین نیازها و تولید برق آبی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه سه مدل مبتنی بر قانون فازی (Fuzzy Rule Based) برای دوره موسمی بارندگی و سه مورد برای دوره غیرموسمی تهیه و آزمایش شد. نتایج محاسبه‌شده با استفاده از روش فازی (Fuzzy Mamdani-FM) و خوشه (Adaptive Neuro-Fuzzy Interactive System-ANFIS) با یکدیگر مقایسه شدند و مشخص شد که با خوشه (ANFIS) بهترین نتیجه بدست می‌آید، اما (FM) کاربرپسند است (۱۲). در مطالعه‌ای از الگوریتم ژنتیک (Genetic Algorithm-GA) برای بهینه‌سازی عملکرد مخزن چند‌منظوره واقع در ایالت ماهاراشاترا (Maharastra) هندوستان و به دست آوردن قوانین عملیاتی مخزن برای کارایی بهینه مخزن استفاده کردند. به حداقل رساندن مربع انحرافات در تقاضای آبیاری ماهانه همراه با مربع انحرافات در معادله‌ی بیلان به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است. نتایج نشان داد که حتی در جریان کم ، مدل GA اگر به مخزن اعمال گردد، می تواند تقاضای آبیاری پایین‌دست را برآورده کند و کارایی لازم را دارد (۱۱). در تحقیقی دیگر به مدل‌سازی تخصیص بهینه آب بر اساس ارزیابی امنیتی آب و کاربرد آن در منطقه‌ای در شمال چین پرداخته شد. در این مطالعه، یک مدل بهینه تخصیص آب بر اساس ارزیابی امنیت آب توسعه داده شد و برای بهبود مصرف آب در زهانگجیاکو (Zhangjiakou) در منطقه شمال چین تا سال ۲۰۲۰ به کار گرفته شده است. نتایج نشان داد که تخصیص بهینه آب با استفاده از این مدل، تقاضای آب خانگی و زیست‌محیطی و اقتصادی را برآورده می‌کند و منجر به افزایش مزایای مصرف آب در منطقه می‌شود (۱۵). در مطالعه‌ای یک مدل بهینه‌ساز جهت تخصیص بهینه آب در شبکه آبیاری پایین‌دست سد دورودزن ارائه شد. این مدل بهینه‌ساز با یک مدل تعادل خاک–آب یکپارچه به منظور تعیین سیاست‌های رها‌سازی بهینه‌ی مخزن و تعیین الگوی کشت بهینه ترکیب شده‌اند. مدل ارائه‌شده با استفاده از الگوریتم ژنتیکی (GA) حل گردید. نتایج این مدل منجر به ارائه الگوی بهینه درآمدی در شبکه آبیاری تحت شرایط اقلیمی با سطوح مختلف بارش، تبخیر و تعرق و جریان ورودی گردیده است و روش بهینه‌سازی با موفقیت در منطقه سد دورودزن همراه بوده است (۱۴). از استفاده از یک مدل الگوریتم ژنتیک چند بعدی برای بهینه‌سازی تعیین سیاست‌های تخصیص آب بر اساس منحنی ارزیابی قوانین عملیاتی مخزن تحت شرایط تغییر اقلیم آتی ارزیابی شد (۵). این مدل با ارزیابی سیاست‌های آبیاری فعلی (نتایج حاصل از قوانین بهینه‌ی فعلی) به ارائه سیاست‌های بهینه تحت شرایط تغییر اقلیم پرداخته است. توابع هدف به حداکثر رساندن قابلیت‌اطمینان از تقاضای آبیاری و به حداقل رساندن آسیب‌پذیری در برابر کمبودهای آبیاری در یک دوره پایه (۲۰۰۰ – ۱۹۸۷) و یک دوره آینده (۲۰۳۹–۲۰۲۶) است، که دومی تحت تأثیر تغییر آب و هوایی می‌باشد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی نشان‌دهنده کارایی بالای الگوریتم ژنتیک است. در تحقیقی به ارزیابی الگوریتم‌های تکاملی شامل: ازدحام ذرات Particle Swarm (Optimization-PSO)، ژنتیک و سیستم مورچگان پیوسته در بهره‌برداری بهینه از مخزن سد دورودزن پرداخته شد (۱۶). نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای تمامی الگوریتم‌ها دارای کارایی مناسبی می‌باشند. همچنین بهینه‌سازی بهره‌برداری از یک سیستم تک‌مخزنه با استفاده از الگوریتم بهینه‌ساز کوسه (Shark Optimization Algorithm-SOA) به منظور بررسی پتانسیل این الگوریتم برای بهره‌برداری از مخزن در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی موجود یعنی، الگوریتم ژنتیک (GA) و ازدحام ذرات (PSO) انجام شد (۷). در این مطالعه تابع هدف بر اساس حداقل سازی میزان کمبود نیازهای پایین‌دست می‌باشد. قیود مسئله نیز براساس ساختار سیستم تعریف شده‌اند که می‌توان به برقرار بودن معادله پیوستگی مخزن در یک دوره زمانی اشاره کرد. نتایج این تحقیق نیز نشان می‌دهد

که الگوریتم‌های تکاملی برپایه جستجوی تصادفی می‌توانند در تعیین سیاست‌های بهینه بهره‌برداری از مخزن به‌خوبی به‌کار روند.

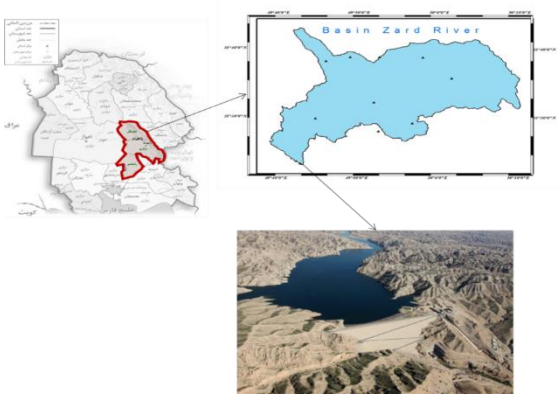
حل یک مسئله چند هدفه بهینه‌سازی با تعریف توابع هدف کاهش کمبود نیاز پایین‌دست و کاهش کمبود تولید برق در یک مطالعه انجام شد (۳). در این مطالعه با استفاده از یک اتوماسیون سلولی وزنی (Cellular Automata-CA) دو تابع هدف به یک تابع واحد تبدیل و حل گردید. عملکرد این روش همچنین با یک الگوریتم ژنتیکی مرتب‌سازی غیر مغلوب (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II - NSGA-II) به عنوان یکی از محبوب‌ترین الگوریتم‌های تکاملی چندهدفی مقایسه شد. نتایج حاکی از کارآیی روش پیشنهادی در مقایسه با (NSGA-II) بود. همچنین بهینه‌سازی عملکرد یک مخزن منفرد چند منظوره و یک سیستم چند مخزنه در رودخانه لونه (Lunhe) در چین ارزیابی شد (۶). در این مطالعه از بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) با استراتژی وزن اینرسی تصادفی (Adaptive Random Inertia Weight-ARIW)، که به آن الگوریتم ARIW-PSO گفته می‌شود، استفاده کردند؛ تا یک مدل بهینه‌سازی چندهدفی را به‌دست آورند. عملکرد الگوریتم ARIW-PSO با نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیکی (GA)، PSO معمولی و سایر روش‌های بهبودیافته PSO مقایسه شد. اعتبار مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای سیستم‌های چند مخزن بر اساس الگوریتم ARIW-PSO تأیید گردید. مطالعات بیان‌شده نشان می‌دهد که بسته به اهداف استفاده‌کنندگان و سیاست‌گذاران منابع آب و ساختارهای گوناگون سیستم‌های منابع آب، می‌توان مدل‌های بهینه‌ساز متفاوت را توسعه داد. به‌عبارتی توابع هدف و قیود در مسائل مختلف باید براساس نیازهای اقتصادی–اجتماعی–سیاسی خرد و کلان تعریف شوند. هدف این مطالعه ارائه یک راهکار سازگاری با شرایط خشکسالی و افزایش تقاضا بر مبنای مدیریت مصرف می‌باشد. این تحقیق باور دارد که با افزایش بهره‌وری آب مصرفی در کنار بهینه‌کردن آزادسازی از سدها می‌توان تا حد زیادی چالش‌هایی که امروزه در اکثر مناطق به دلیل خشکسالی‌ها و مغایرت در تخصیص و نیاز آب به وجود آمده را مرتفع کرد. با مدیریت مصرف منابع آبی می‌توان حجم آب بیش‌تری را ذخیره کرد، یا با تخصیص آن به پایین‌دست سطح وسیع‌تری را تحت پوشش مخازن قرار داد و درصد بیش‌تری از نیازها را تأمین کرد. بدین منظور مدل بهینه‌ساز با تعریف یک تابع هدف بر اساس ضریب بهره‌وری آب در پایین‌دست و در نظر گرفتن قیود خاص یک سیستم تک‌مخزنه توسعه داده شده است.

در بخش بعدی مقاله جزئیاتی در خصوص منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده ارائه شده است و در ادامه به تبیین مدل بهینه‌ساز پرداخته می‌شود. در پایان نیز نتایج بر مبنای چهار سناریوی ضریب بهره‌وری ارائه و عملکرد مخزن با شرایط پایه مقایسه می‌گردد. همچنین جهت مشخص‌شدن اثر بهره‌وری آب با ثابت فرض‌کردن عملکرد مخزن همانند شرایط پایه، میزان افزایش درآمد ناخالص منطقه ناشی از افزایش بهره‌وری آب محاسبه می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

در این تحقیق محدوده‌ی مطالعاتی شامل سد جرّه در پایین‌دست حوضه رودخانه رودزرد، با وسعتی در حدود ۸۸۹/۲ کیلومترمربع در جنوب‌غربی ایران واقع شده است. رودخانه زرد یکی از شاخه‌های مهم رودخانه اله بوده و با شبکه رودخانه‌ای متراکم در شهر باغملک (جانکی) شهرستان ایذه واقع گردیده است. شاخه‌ی اصلی و اولیه آن به‌نام ابوالعباس یا بولاوان نامیده می‌شود و از دامنه‌های شرقی سفیدکوه و کوه منگشت سرچشمه می‌گیرد و در بستری کوهستانی و از دره‌های تنگ و باریک ابتدا به شمال‌غربی امتداد می‌یابد تا در نزدیکی روستای رودزرد با رودخانه اعلا تلاقی می‌کند و رودخانه اله را تشکیل می‌دهد. از این نقطه به جنوب جریان می‌یابد و با رودخانه تلخ تلاقی می‌کند و وارد دشت رامهرمز می‌شود. طول رودخانه تا محل ایستگاه ماشین(نزدیک محل سد جرّه) ۷۷/۴ کیلومتر می‌باشد. سد جرّه با ظرفیت ذخیره‌سازی ۲۳۱/۵۶ میلیون مترمکعب(در تراز نرمال) در ۳۵ کیلومتری شمال‌شرق شهرستان رامهرمز در استان خوزستان قرار دارد و با هدف آبیاری ۲۲ هزار هکتار از اراضی دشت رامهرمز احداث شده است. متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۵۸۴ میلی‌متر، متوسط دمای سالیانه حدود ۲۱/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بر اساس آمار ثبت شده، متوسط جریان ورودی سالانه به سد ۲۴۶ میلیون‌متر مکعب بود. تقاضای تخصیص آب از سد جرّه به‌طور کلی در بخش کشاورزی و زیست‌محیطی دسته‌بندی می‌شود. نیاز سالیانه‌ای که سد بایستی تأمین کند در بخش کشاورزی ۲۹۴/۱۵ میلیون‌متر مکعب و زیست‌محیطی ۴۳/۹۵ میلیون‌متر مکعب می‌باشد. اراضی کشاورزی در این منطقه شامل دو قسمت، ساحل سمت راست و سمت چپ رودخانه با سطح زیر کشت کنونی تقریبی ۳۵۰۰۰ هکتار می‌باشد که در حال حاضر در حدود ۴۰ درصد توسط آب سد و مابقی توسط آب رودخانه اعلا و چاه‌های موجود در منطقه آبیاری می‌شوند. با توجه به روش آبیاری منطقه مورد مطالعه که به صورت سنتی و در کانال‌های خاکی صورت می‌گیرد، پرسشنامه‌هایی براساس نوع کشت، حجم آب مصرفی و طول دوره‌ی کشت جهت تعیین میزان راندمان مصرف تهیه شد. این پرسشنامه‌ها توسط زارعین و کارشناسان بخش کشاورزی تکمیل و براین اساس راندمان مصرف در این منطقه ۳۰/۴ درصد تعیین گردید. در شکل (۱) محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی سد جره

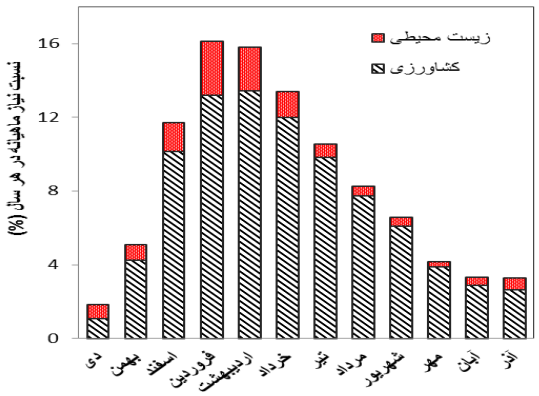
جدول (۱) نیازهای ماهانه کشاورزی و زیست‌محیطی منطقه مورد-مطالعه که براساس اهداف از پیش تعیین‌شده سد و پتانسیل کشاورزی ناحیه پایین‌دست سد برآورد شده است، به تفکیک ارائه می‌کند. شکل (۲) نیز نسبت توزیع نیاز ماهانه در یک سال را به تفکیک هر ماه ارائه می‌کند. بیشترین نیازها مربوط به فصل بهار و اوایل فصل تابستان (اسفند- تیر) با حدود ۶۷ درصد از نیاز سالانه می‌باشد. نیاز کشاورزی حدود ۸۷ درصد از کل نیاز سالانه بوده که بیانگر پتانسیل بالای منطقه در توسعه کشاورزی و اشتغال‌زایی می‌باشد.

جدول ۱- نیازهای پایین‌دست، رواناب ورودی و نسبت توزیع تبخیر ماهانه سد جره

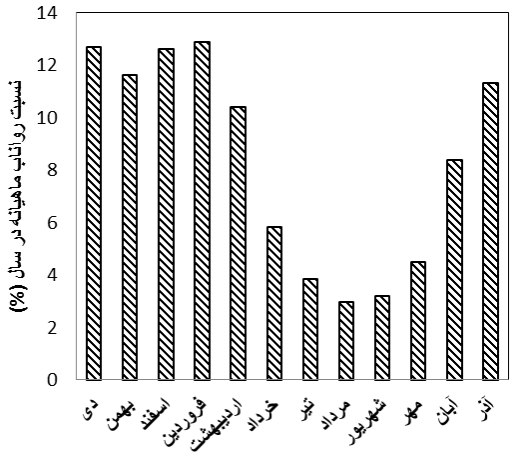
ماه	نیازها (Mm^3)			جریان ورودی مخزن (Mm^3)	تبخیر ماهانه (٪)
	کشاورزی	زیست محیطی	مجموع		
فروردین	۴۴/۶	۹/۹	۵۴/۵	۳۱/۷	۸
اردیبهت	۴۵/۳	۸/۱	۵۳/۴	۲۵/۶	۱۱
خرداد	۴۰/۵	۴/۸	۴۵/۳	۱۴/۳	۱۳
تیر	۳۳/۱	۲/۵	۳۵/۶	۹/۴	۱۴
مرداد	۲۶	۱/۹	۲۷/۹	۷/۳	۱۳
شهریور	۲۰/۶	۱/۵	۲۲/۱	۷/۹	۱۱
مهر	۱۳/۱	۰/۹	۱۴	۱۱/۱	۹
آبان	۹/۷	۱/۵	۱۱/۲	۲۰/۶	۶
آذر	۸/۸	۲/۲	۱۱	۲۷/۸	۵
دی	۳/۷	۲/۵	۶/۲	۳۱/۲	۴
بهمن	۱۴/۴	۲/۸	۱۷/۲	۲۸/۵	۴
اسفند	۳۴/۳	۵/۳	۳۹/۶	۳۱	۶

براساس آمار بلندمدت ثبت‌شده در ایستگاه ماشین میانگین ۲۰ ساله رواناب ماهانه ورودی به مخزن سد جره در جدول (۱) ارائه شده است. شکل (۳) نیز توزیع رواناب ورودی به مخزن را در هر ماه نسبت به آورد سالانه نشان می‌دهد. بیشترین رواناب ورودی مربوط به اواخر پاییز تا اوایل بهار (آبان- فروردین) با حدود ۶۹ درصد از کل رواناب سالانه می‌باشد. با توجه به شکل‌های (۲) و (۳) و اختلاف زمانی بین وقوع حداکثر نیازها و رواناب ورودی به مخزن، می‌توان دریافت که مدیریت بهینه مخزن در کاهش آسیب‌پذیری و توسعه پایدار بسیار حائز اهمیت خواهد بود.

میزان متوسط تبخیر سالانه با استفاده از آمار بلندمدت ایستگاه تبخیر-سنجی در محل سد حدود ۲۷۰۰ میلی‌متر به‌دست آمده است که توزیع آن در ماه‌های سال در جدول (۱) آمده است.



شکل ۲-توزیع نیاز ماهانه نسبت به کل نیاز سالانه



شکل ۳-توزیع رواناب ماهانه نسبت به آورد سالانه

مدل بهینه‌ساز توسعه داده‌شده

تابع هدف به‌طور کلی به صورت حداقل‌سازی میزان کمبودها و با قابلیت اعمال میزان بهره‌وری آب توسعه داده شد. بدین‌منظور ضریبی به‌عنوان ضریب بهره‌وری آب در تابع حداقل‌سازی کمبودها در نظرگرفته شده است تا با تغییر این ضریب بتوان اثر بهره‌وری آب را در شاخص‌های عملکردی مخزن مشاهده نمود. تابع هدف به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$\min: Z = \sum_{t}^{T}\left[\frac{R_t - [D_{at} + (1-\alpha)r_t + D_{et}]}{max[D_{at} + (1-\alpha)r_t + D_{et}]}\right]^2 \quad (۱)$$

$$r_t = \left(\frac{D_{at}}{e} - D_{at}\right) \quad (۲)$$

که در آن Z: حداقل‌سازی کمبود ماهانه، R_t: میزان رهاسازی، D_{at}: نیاز خالص کشاورزی، D_{et}: نیاز زیست محیطی، r_t: آب برگشتی، α: ضریب بهره‌وری آب، e: راندمان کلی، t: تعداد دوره‌ها (تعداد ماه‌ها ۱ ...۱۲) و T بیانگر کل دوره می‌باشد. آب برگشتی(r_t) تفاوت بین نیاز ناخالص و خالص کشاورزی می‌باشد که نیاز ناخالص براساس راندمان منطقه و بر مبنای مطالعات میدانی به‌دست آمده است. میزان $(1-\alpha)r_t$ نشان‌دهنده اثر بهره‌وری آب می‌باشد، به‌طوری که اگر $\alpha = 1$ باشد به

این معنی است که میزان آب برگشتی به محیط از آب تخصیص‌یافته به کشاورزی برابر صفر می‌باشد و میزان بهره‌وری ۱۰۰ درصد خواهد بود. با کاهش مقدار α میزان بهره‌وری آب کاهش یافته تا جایی که این مقدار برابر با صفر شود. در این تحقیق از چهار سناریوی بهره‌وری محتمل برمبنای امکان افزایش راندمان آبیاری در منطقه جهت اعمال در مدل در نظر گرفته شد. در سناریوهای S1، S2، S3 و S4 ضریب بهره‌وری به ترتیب برابر صفر، ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵ است که منجربه افزایش راندمان آبیاری به میزان صفر، ۲/۴، ۸/۳۹ و ۱۶/۷۵ درصد خواهند شد. بهینه‌سازی تحت سناریو S1 بیانگر بهره‌برداری بهینه در شرایط پایه یا بهره‌وری در حالت فعلی می‌باشد.

محدودیت‌های مسئله مربوط به معادله پیوستگی در مخزن در یک دوره زمانی، ظرفیت حداکثری مخزن، حداقل ذخیره مخزن، میزان سرریزی از مخزن و عدم تجاوز رهاسازی از نیاز پایین‌دست می‌باشد. قیود مسئله به شکل زیر تعریف می‌شوند:

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - R_t - SP_t - (E_t \times \overline{A}_t) \quad (۳)$$

$$S_{min} \le S_t \le S_{max} \quad (۴)$$

$$0 \le R_t \le D_{max} \quad (۵)$$

$$SP_t = \begin{cases} S_{t+1} - S_{max} & if \ \ S_{t+1} > S_{max} \\ 0 & if \ \ S_{t+1} \le S_{max} \end{cases} \quad (۶)$$

که در آن S_t: ذخیره ماهانه، Q_t: ورودی معلوم در هر دوره، SP_t: میزان سرریز، E_t: میزان تبخیر و $\overline{A}_t$: متوسط سطح مخزن می‌باشد. میزان E_t با استفاده از مقادیر نسبت توزیع ماهانه تبخیر در جدول (۱) و متوسط تبخیر سالانه در مدل اعمال شده است. میزان سطح آب مخزن (A_t) با استفاده از رابطه سطح–ذخیره مخزن (رابطه ۷) و متوسط سطح مخزن از رابطه (۸) بدست می آید:

$$A_t = a \times S_t + b \quad (۷)$$

$$\overline{A_t} = \frac{A_t + A_{t+1}}{2} \quad (۸)$$

که در آن A_t سطح آب در مخزن برحسب کیلومترمربع و S_t حجم ذخیره برحسب میلیون‌متر مکعب می باشد. a و b نیز پارامترهای ثابت بوده که برای سد جره این مقادیر به ترتیب برابر ۰/۰۳۲۵ و ۰/۵۴۹۳ می‌باشند. همچنین حداکثر (Smax) و حداقل (Smin) ذخیره مخزن سد جره به ترتیب برابر با ۳۵ و ۲۳۲ میلیون مترمکعب می‌باشد.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های بهینه‌سازی است که با الهام گرفتن از پروسه تکامل طبیعت و خصوصیات ژنتیکی موجودات طراحی شده است. الگوریتم ژنتیک حل یک مسأله را با مجموعه‌ای از جواب‌های تصادفی که جمعیت نامیده می‌شوند آغاز می‌کند. هر جمعیت از تعدادی کروموزوم تشکیل می‌شود و هر کروموزوم هم شامل ژن‌هایی است که این ژن‌ها می‌توانند اعداد باینری، حقیقی، نشانه‌ها و ... باشند. پس از تولید تصادفی نسل اول، کروموزوم‌های موجود در این نسل ارزیابی می‌شوند و براساس برازش به دست آمده از هر کروموزوم جمعیت نسل بعد به گونه‌ای تشکیل می‌شود که مسأله را به سمت حل بهینه هدایت کند. در واقع الگوریتم ژنتیک بر این اصل استوار است که کروموزوم‌های بهتر (یعنی آنهایی که برازش مناسب تر داشته‌اند) شانس بیشتری برای بقاء خواهند داشت (۲). در این پژوهش برای مدل الگوریتم ژنتیک، انتخاب والد در عملگر تزویج به صورت سعی و خطا، همچنین عملگر جهش نیز با استفاده از روش تصادفی صورت گرفته است. مدل بهینه–ساز الگوریتم ژنتیک با پیاده‌سازی در نرم افزار MATLAB حل شد.

روش جریمه

بحث دیگری که در اجرای الگوریتم ژنتیک وجود دارد چگونگی برخورد با محدودیت‌های مسأله می‌باشد، زیرا عملگرهای ژنتیک مورد استفاده در الگوریتم باعث تولید جواب‌های غیرموجّه می‌شود. استراتژی جریمه‌ای از متداول‌ترین تکنیک‌های مورداستفاده برای سر و کار داشتن با جواب‌های غیرموجّه می‌باشد که در آن ابتدا محدودیت‌های مسأله در نظر گرفته نمی‌شوند پس برای هر تخلّف از محدودیت‌ها یک جریمه اختصاص داده می‌شود که این جریمه در تابع هدف قرار می‌گیرد. به عبارتی روش جریمه جهت نگه‌داشتن تعداد معینی از جواب‌های غیرمجاز در هر نسل به‌کار می‌رود، به نحوی که جست‌وجوی ژنتیک را از هر دو ناحیه مجاز و غیرمجاز به سمت جواب بهینه هدایت می‌کند (۹). نکته‌ای که در روش جریمه وجود دارد این است که یک جواب غیرموجّه به سادگی حذف نمی‌شود زیرا ممکن است در ژن‌های آن اطلاعات مفیدی وجود داشته باشد که با اندکی تغییر به جواب بهینه تبدیل شود. مسأله اصلی در این روش چگونگی انتخاب یک مقدار مناسب برای مقدار جریمه می‌باشد تا در حل مسائل به ما کمک نماید. در این پژوهش برای تضمین ارضای قیدهای حجم مخزن از تابع جریمه زیر (PF) استفاده می‌شود:

$$\left\{ \begin{array}{l} if \quad S_t < S_{min} \quad or \quad S_t > S_{max} \Rightarrow \\ \quad PF = A' \times \left(\frac{S_{min} - S_t}{S_{max} - S_{min}} \right)^2 + B' \end{array} \right\} \quad (۹)$$

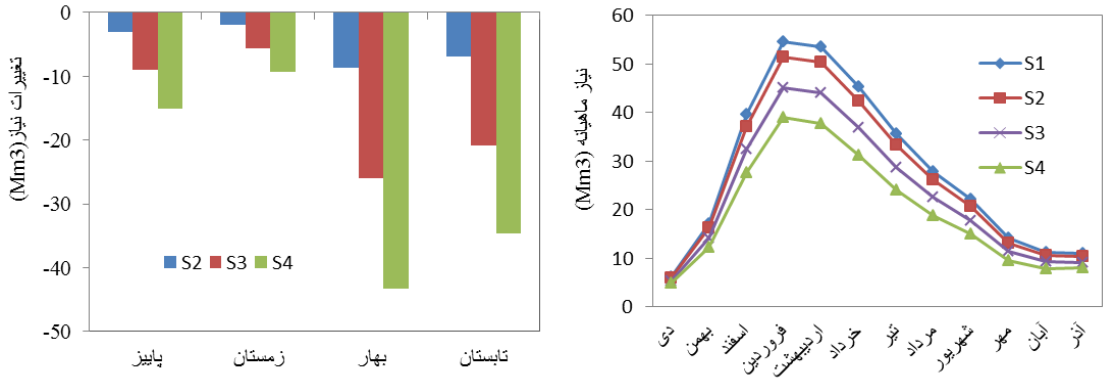
که در آن A' و B' مقادیر ثابت و مثبت می‌باشند که در تابع جریمه استفاده شده‌اند.

نتایج

جهت بیان اثر توام بهره‌وری آب در بهره‌برداری بهینه از مخزن، نتایج مدل بهینه‌ساز در دو حالت ارائه شده است. حالت اول با این فرض است که بهره‌وری آب منجر به کاهش مصرف آب در پایین‌دست خواهد شد؛ به‌عبارتی متوسط نیاز پایین‌دست در مدل با افزایش بهره‌وری کاهش پیدا خواهد کرد. حالت دوم نیز با این فرض است که کاهش مصرف آب به دلیل افزایش بهره‌وری منجر به مصرف بیشتر در پایین‌دست می‌شود؛ به‌عبارتی آب حاصل از مصرف بهینه به دلیل پتانسیل بالای کشاورزی در این منطقه منجر به افزایش سطح زیرکشت خواهد شد.

در حالت دوم شاخص‌های عملکری مخزن در هیچ یک از سناریوهای افزایش بهره‌وری (S2 تا S4) نسبت به حالت پایه (S1) تغییری نمی‌کند و تنها اثر بهره‌وری در تولید ناخالص منطقه بررسی می‌شود. بنابراین حالت اول بیانگر اثر بهره‌وری بر روی بهره‌برداری بهینه از مخزن خواهد بود و حالت دوم نشان‌دهنده اهمیت بهره‌وری آب در این منطقه می‌باشد.

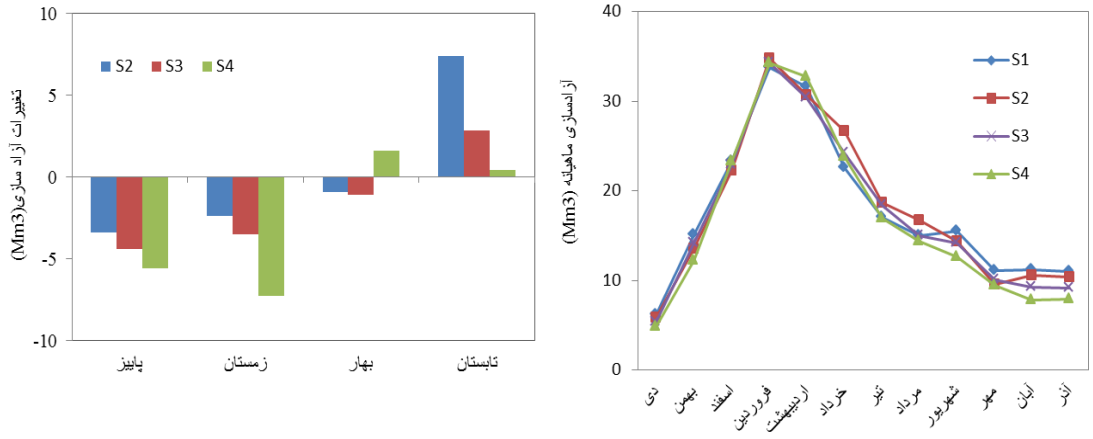
همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، میزان راندمان آبیاری کشاورزی منطقه موردمطالعه با توجه به خصوصیات روش آبیاری که به صورت سنتی و شیوه‌های مرسوم منطقه که در کانال‌های خاکی صورت می‌گیرد، همچنین با توجه به اطلاعات دریافتی از سازمان‌های مربوطه و پرسشنامه‌ای که تکمیل گردید در حدود ۳۰/۴ درصد برآورد گردید. براین اساس میانگین نیاز پایین‌دست در سناریوهای مختلف بهره‌وری به‌صورت شکل (۴) می‌باشد.



شکل ٤- نیاز ماهانه و تغییرات نیاز فصلی نسبت به شرایط پایه برای تمامی سناریوهای بهره‌وری آب

میزان متوسط نیاز سالانه در سناریوهای S2، S3 و S4 به ترتیب ۲۰/۴، ۶۱/۴ و ۱۰۲/۴ میلیون‌متر مکعب کاهش پیدا می‌کند. این موضوع نشان می‌دهد که با افزایش راندمان آبیاری تا حدود ۱۷ درصد می‌توان بیش از ۱۰۰ میلیون مترمکعب در مصرف آب صرفه‌جویی نمود بدون آن‌که تغییری در میزان تولید کشاورزی اتفاق بیافتد. فصول بهار و پاییز نیز بیش‌ترین کاهش را نسبت به حالت پایه دارند.

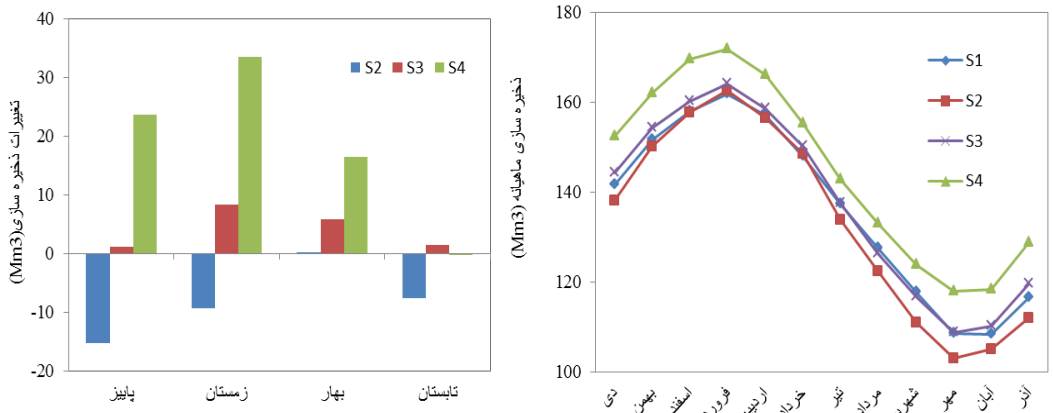
شکل (۵) مقادیر آزادسازی را برای ماه‌های مختلف و تغییرات آن را در سناریوهای مختلف نسبت به حالت پایه به تفکیک فصول نشان می‌دهد. آزادسازی سالانه حاصل از سناریوهای افزایش ضریب بهره‌وری (S2)، (S3) و (S4) به ترتیب ۰/۷۳ میلیون‌متر مکعب افزایش و ۶/۱ و ۱۳ میلیون‌متر مکعب کاهش خواهد داشت. با توجه به تغییرات قابل‌توجه نیاز پایین‌دست در سناریوهای مختلف بهره‌وری، میزان تغییرات آزادسازی کم می‌باشد. تفاوت آزادسازی در فصول مختلف نشان می‌دهد که در فصول سرد سال میزان آزادسازی تا حدود ۸ میلیون مترمکعب کاهش پیدا می‌کند و در مقابل در فصول گرم سال تا حدود ۶/۵ میلیون مترمکعب افزایش پیدا خواهد کرد. این موضوع در حالیست که رفتار مخزن در آزادسازی در سناریوهای مختلف متفاوت می‌باشد. با این وجود می‌توان نتیجه گرفت که به‌طور عام با افزایش بهره‌وری میزان آزادسازی کاهش می‌یابد.



شکل ٥- آزادسازی ماهانه و تغییرات آزادسازی فصلی نسبت به پایه برای تمام سناریوهای بهره‌وری

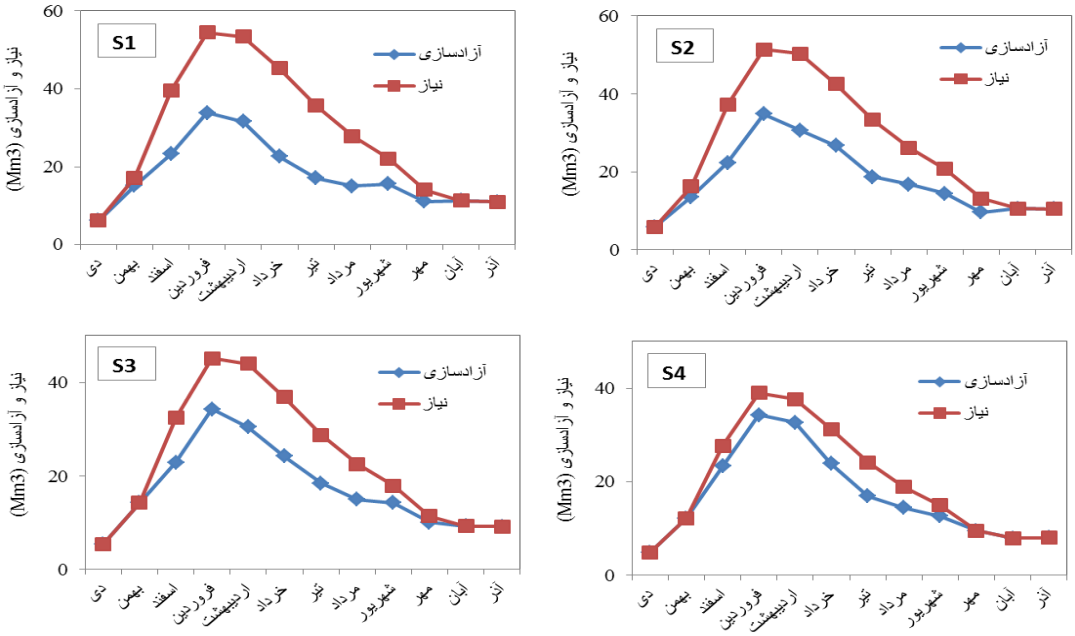
شکل (۶) مقادیر تغییرات ذخیره‌سازی مخزن به تفکیک ماه و فصل را تحت سناریوهای افزایش ضریب بهره‌وری نشان می‌دهد. به‌جز سناریو S2 بقیه سناریوهای بهره‌وری منجر به افزایش ذخیره مخزن شده‌اند. این درحالیست که افزایش ذخیره در ماه‌هایی اتفاق افتاده که میزان نیاز حداقل می‌باشد. میزان ذخیره سالانه حاصل از سناریوهای S2، S3 و S4 به‌ترتیب ۳۲/۲ میلیون مترمکعب کاهش و به میزان ۱۶/۶ و ۷۳/۳

میلیون مترمکعب افزایش خواهد داشت. در سناریوی S2 با توجه به افزایش ناچیز آزادسازی، میزان ذخیره‌سازی کاهش چشم‌گیری داشته است. این موضوع نشان می‌دهد که مدل نسبت به تغییرات نیاز پایین‌دست بسیار حساس می‌باشد و به دنبال کاهش اختلاف درون‌سالی نیازها و آزادسازی می‌باشد؛ که این موضوع با افزایش بیشتر بهره‌وری آب منجر به رفتار پایدارتر مخزن در تامین نیازها خواهد شد.

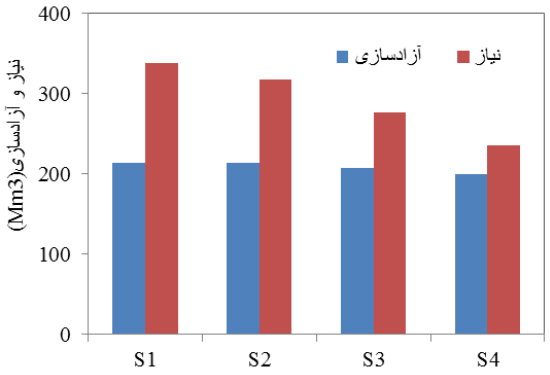


شکل ٦- ذخیره‌سازی ماهانه مخزن و تغییرات ذخیره‌سازی فصلی نسبت به پایه برای تمام سناریوهای بهره‌وری

برای مشخص‌شدن رفتار مخزن در تامین آب پایین‌دست، شکل (۷) جهت مقایسه میزان آزادسازی و نیازها ترسیم شده است. همان‌طور که شکل (۷) نشان می‌دهد با افزایش ضریب بهره‌وری میزان اختلاف آزادسازی و نیازها به حداقل خود نزدیک می‌شود. در ماه‌های سرد سال تمامی نیاز پایین‌دست تامین شده است، اما با افزایش نیازها میزان اختلاف بیشتر شده که در سناریوی S4 کم‌ترین مقدار می‌باشد. شکل (۸) نیز مقایسه تخصیص و نیاز سالانه را برای سناریوهای مختلف نشان می‌دهد. کسری تامین نیاز در سناریوی S1 تا S4 از میزان ۱۲۴/۵ میلیون مترمکعب به ۳۵/۳ میلیون مترمکعب کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۷- مقایسه نیاز و آزادسازی ماهانه برای هر یک از سناریوهای بهره‌وری



شکل ۸- مقایسه سناریوهای بهره‌وری از نظر نیاز و آزادسازی سالانه

جهت بررسی عملکرد مخزن تحت سناریوهای مختلف بهره‌وری آب، شبیه‌سازی مخزن برای ۲۰ سال (از سال ۱۳۷۳ تا سال ۱۳۹۵) رواناب ورودی به مخزن براساس ذخیره‌سازی بهینه انجام شد. سپس شاخص‌های اطمینان‌پذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری حاصل از نتایج شبیه‌سازی محاسبه گردید، که در جدول (۲) ارائه شده است. مقایسه قابلیت‌اطمینان و آسیب‌پذیری در سناریوهای S2 و S3 نشان می‌دهد اگر چه قابلیت اطمینان با افزایش ضریب بهره‌وری کمتر شده است اما آسیب‌پذیری به شدت کاهش پیدا کرده است، این موضوع دلالت بر کاهش نوسان‌های اختلاف نیازها و آزادسازی‌ها در ماه‌های مختلف دارد. همچنین نشان می‌دهد که مدل بهینه‌ساز به تغییرات نیاز ماهانه بسیار حساس بوده و رفتاری کاملا متفاوت نشان می‌دهد. با این‌حال با افزایش بیشتر بهره‌وری دیده می‌شود که قابلیت اطمینان نیز افزایش چشم‌گیری داشته است. برگشت‌پذیری نیز رفتاری مشابه قابلیت اطمینان دارد.

جدول ۲- میزان قابلیت اطمینان، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری

سناریو	قابلیت‌اطمینان (٪)	آسیب‌پذیری (٪)	برگشت‌پذیری (٪)
S1	۴۱/۲	۳۴/۷	۱۵/۶
S2	۳۰/۸	۲۸/۷	۱۳/۳
S3	۴۰	۱۷/۹	۱۹/۴
S4	۴۹/۶	۶/۷	۲۶/۵

برای نشان‌دادن اثر افزایش راندمان بر اقتصاد منطقه و توجیه سرمایه‌گذاری در شبکه آبیاری پایین‌دست، اثر افزایش راندمان مصرف بر اقتصاد منطقه نیز بررسی شد. با ثابت فرض کردن عملکرد مخزن در سناریوهای S2 تا S4 نسبت به شرایط پایه، افزایش راندمان باعث توسعه سطح زیر کشت و افزایش رشد اقتصادی خواهد شد. با در نظرگرفتن الگوی کشت منطقه و افزایش متوازن سطح زیرکشت، میزان افزایش درآمد ناخالص منطقه به ازای افزایش راندمان مصرف محاسبه شد (جدول-۳). بر این اساس درآمد ناخالص منطقه نسبت به حالت کنونی (S1) با افزایش راندمان به میزان ۲/۴، ۸/۳۹ و ۱۶/۷۵ به ترتیب ۱۳، ۳۰/۳ و ۴۶/۷ درصد افزایش خواهد یافت. میزان تغییر درآمد ناخالص منطقه براساس افزایش تولید محصولات غالب منطقه به ازای افزایش بهره‌وری آب بدست آمده است.

جدول ۳- میزان افزایش سطح زیر کشت و درآمد حاصل افزایش راندمان مصرف

سناریو	افزایش راندمان (٪)	افزایش سطح زیرکشت (هکتار)	افزایش درآمد ناخالص (٪)
S2	۲/۴	۱۷۳۰/۷	۱۳
S3	۸/۴	۴۰۴۳/۵	۳۰/۳
S4	۱۶/۷	۶۲۲۸/۶	۴۶/۷

بحث و نتیجه‌گیری

مدل بهینه‌ساز توسعه داده‌شده در این تحقیق، امکان بررسی تاثیر هر سناریوی افزایش بهره‌وری را بر روی بهره‌برداری بهینه از مخازن فراهم کرده است. با توجه به امکان افزایش راندمان آبیاری از ۳۰/۴ تا ۴۷/۶ درصد در منطقه با توسعه طرح‌های شبکه‌های آبیاری، در این مطالعه حداکثر ضریب بهره‌وری ۰/۵ درنظر گرفته شده است. با افزایش ضریب بهره‌وری تا ۰/۵، میزان آسیب پذیری پایین‌دست از نظر تامین نیاز آبی کشاورزی تا ۲۸ درصد کاهش داشته است و قابلیت اطمینان تا ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. این موضوع درحالیست که تولید محصولات کشاورزی و درآمد ناخالص منطقه هیچ‌گونه کاهشی نداشته است. از طرفی افزایش ضریب بهره‌وری تا ۰/۵ منجر به افزایش میانگین ذخیره‌سازی سالانه مخزن تا ۷۳/۳ میلیون مترمکعب شده است و این در حالیست که میزان میانگین آزادسازی سالانه حدود ۱۳ میلیون مترمکعب کاهش پیدا می‌کند. این موضوع می‌تواند منجر به افزایش پتانسیل مخزن در مدیریت خشکسالی ها و یا تامین آب بیشتر برای مصارف جدید در آینده شود.

مقایسه سناریوهای بهره‌وری آب با یکدیگر نشان می‌دهد که مدل به تغییر نیاز پایین‌دست با توجه به میزان افزایش ضریب بهره‌وری حساس بوده و الگوی متفاوتی را ارائه می‌کند. در سناریوی S2 برخلاف سناریوی S3 و S4 میزان ذخیره‌سازی و آزادسازی سالانه نسبت به حالت بهینه فعلی (S1) به ترتیب کاهش و افزایش پیدا می‌کند. افزایش ناچیز آزادسازی در مقابل کاهش قابل‌توجه ذخیره‌سازی و همراه‌شدن کاهش قابلیت اطمینان با کاهش آسیب‌پذیری در سناریوی S2 نسبت به سناریوی S1 نشان می‌دهد که درصد بیشتری از نیازهای ماه‌های شکست تامین شده است. این موضوع با افزایش ضریب بهره‌وری به ۰/۵ (S4) منجر به کاهش بیشتر ماه‌های شکست نیز خواهد شد و میزان کسری تامین آب سالانه پایین‌دست کاهش ۷۲ درصدی را تجربه خواهد کرد. درصورتی‌که بهره‌برداری از مخزن در سناریوهای S2 تا S4 همانند شرایط S1 فرض شود، با تخصیص آب ناشی از افزایش بهره‌وری مصرف آب، سطح زیر کشت محصولات کشاورزی افزایش یافته

و به دنبال آن درآمد ناخالص منطقه نیز افزایشی حدود ۱۳ تا ۴۶/۷ درصد را تجربه خواهد کرد. این موضوع نشان می‌دهد تحت عملکرد کنونی مخزن با افزایش حداقل ۲/۴ درصد به راندمان آبیاری که خیلی هم دور از دسترس به نظر نمی‌رسد، می‌تواند درآمد منطقه را به میزان ۱۳ درصد رشد داد. این رشد درآمدی می‌تواند تبعات مثبت اقتصادی–اجتماعی–فرهنگی را برای منطقه به ارمغان بیاورد.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط پژوهانه دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: حسام سیدکابلی؛ روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: حسام سیدکابلی و سید مجید موسوی؛ نظارت و نگارش نهایی: حسام سیدکابلی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Abash zade asl, M., Fakheri Frd, A., Hoseyn Zadeh Dalir, A., Mirniya, M K., Farsadi Zadeh, D. 2008. Optimization of reservoirs for agricultural demands (case study: Alavian dam). Agricultural Research, (8)1: 183–193. [In Persian].
2. Afshar, A., Shafie, M., & Bozorg Hadad, O. 2007. Investigating new structures from genetic algorithm in optimization Exploitation of tanks. Technology of Education Journal (TEJ), 1(2): 83–88.
3. Afshar, M. H., & Hajiabadi, R. 2019. Multi-objective optimisation using cellular automata: application to multi-purpose reservoir operation. Civil Engineering and Environmental Systems, 36(2–4).
4. Akbarifard, S., Ghaderi, K., Bakhtiyari, B. 2015. Optimal allocation of water resources using Water Cycle Algorithm (WCA) (Case study: Gorganrood basin), 11(36): 33-46. [In Persian].
5. Ashofteh, P.-S., Haddad, O. B., & Loáiciga, H. A. 2015. Evaluation of Climatic-Change Impacts on Multiobjective Reservoir Operation with Multiobjective Genetic Programming. Journal of Water Resources Planning and Management, 141(11), 04015030.
6. Chen, H. tao, Wang, W. chuan, Chen, X. nan, & Qiu, L. 2020. Multi-objective reservoir operation using particle swarm optimization with adaptive random inertia weights. Water Science and Engineering, 13(2),136–144.
7. Ehteram, M., Karami, H., Mousavi, S. F., El-Shafie, A., & Amini, Z. 2017. Optimizing dam and reservoirs operation based model utilizing shark algorithm approach. Knowledge-Based Systems, 122, 26–38.
8. Georgiou, P. E., & Papamichail, D. M. 2008. Optimization model of an irrigation reservoir for water allocation and crop planning under various weather conditions. Irrigation Science, 26(6), 487–504.
9. Karamouz, M., Ahmadi, A., Fallahi, M. 2008. System Engineering, Publications Amir Kabir University. [In Persian].
10. Kiafar, H., Sadraddini, A., Nazemi, A., & Sanikhani, H. 2011. Optimal water allocation for sufi-chay irrigation and drainage network in east Azarbaijan province of Iran using genetic algorithm. Iranian of Irrigation & Water Engeneering, 2(5): 52-61. [In Persian].
11. Kumar, D. N., Raju, K. S., & Ashok, B. 2006. Optimal Reservoir Operation for Irrigation of Multiple Crops Using Genetic Algorithms. Journal

of Irrigation and Drainage Engineering, 132(2), 123–129.
12. Mehta, R., & Jain, S. K., 2008. Optimal Operation of a Multi-Purpose Reservoir Using Neuro-Fuzzy Technique. Water Resources Management 2008 23:3, 23(3), 509–529.
13. Roozbahani, R., Schreider, S., & Abbasi, B. 2015. Optimal water allocation through a multi-objective compromise between environmental, social, and economic preferences. Environmental Modelling & Software, 64, 18–30.
14. Sadati, S. K., Speelman, S., Sabouhi, M., Gitizadeh, M., & Ghahraman, B. 2014. Optimal Irrigation Water Allocation Using a Genetic Algorithm under Various Weather Conditions. Water, 6(10), 3068–3084.
15. Xuan, W., Quan, C., & Shuyi, L. 2012. An optimal water allocation model based on water resources security assessment and its application in Zhangjiakou Region, northern China. Resources, Conservation and Recycling, 69, 57–65.
16. Zeynali, M., Mohammad Reza Pour, O., & Frooghi, F. 2015. Evaluation of Particle Swarm, Genetic and Continuous Ant Colony Algorithms In Optimal Operation of Doroodzan Dam Reservoir. Water and Soil Science, 25(3), 27–38. [In Persian].