Water Resources and Climate Change
University of Qom
Online ISSN: 3092-6769
https://wrcc.qom.ac.ir/

Analyzing the impact of subjective and objective approaches to criteria weighting in a multi-criteria decision-making framework

Parvin Golfam[1]

1. Corresponding Author, Ph.D., Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran. E-mail: P.Golfam@stu. qom.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 06 Aug 2025
Revised 09 Sep 2025
Accepted 22 Sep 2025
Published 28 Sep 2025

Keywords:
MABAC Multi-Criteria Decision-Making Method,
AHP Weighting Method,
Shannon-Entropy Weighting Method,
Dam Operation,
Environmental Impact Reduction.

ABSTRACT

Objective: The present study aims to compare the results of prioritizing strategies for mitigating the adverse impacts arising from the construction and operation of the Marun Dam and Hydropower Plant, based on the application of different weighting methods for a set of criteria and sub-criteria.

Method: To this end, the environmental impacts of the Marun Dam were first examined using field observations and previous studies. Subsequently, various alternatives for reducing the dam's environmental impacts, along with the evaluation criteria and sub-criteria, were proposed by a panel of experts. Two weighting approaches—namely the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Shannon's Entropy method—were then employed to calculate the criteria weights. Next, the strategies for mitigating the adverse effects of the Maroon Dam were prioritized using the Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC) method. This prioritization was carried out twice: once with the criteria weights derived from AHP, and again with those obtained from Shannon's Entropy method.

Results: The results indicate that under AHP, the sub-criterion "impact on water quality" holds the highest weight (0.37), whereas under Shannon's Entropy method, the sub-criterion "operation and maintenance costs" ranks first with a weight of 0.22. Moreover, the MABAC analysis reveals that the prioritization of alternatives remains consistent across both weighting methods. Specifically, "Alternative 1—monitoring and controlling water quality" achieved the highest rank in both cases, with scores of 0.18 (AHP) and 0.31 (Entropy).

Conclusion: The findings of this study highlight the importance of selecting an appropriate weighting method to identify the most critical criterion, underscoring its impact on the final prioritization outcomes. This is particularly important for long-term policymaking and sustainable resource management.

Cite this article: Golfam P. Analyzing the impact of subjective and objective approaches to criteria weighting in a multi-criteria decision-making framework. Water Resources and Climate Change. (2025); 1(3): 63-75. https://doi.org/10.22091/wrcc.2025.13737.1020.

Publisher: University of Qom.
© The Author(s) retain the copyright.

DOI: https://doi.org/10.22091/wrcc.2025.13737.1020

Introduction

Prioritizing strategic approaches to mitigate the adverse impacts associated with the construction and operation of civil infrastructure—particularly in water resources management projects—represents a multifaceted and demanding challenge. This complexity arises from the involvement of diverse stakeholders, each with distinct objectives, preferences, and evaluative criteria.

Consequently, the selection of appropriate methodologies for assigning weights to decision-making criteria and sub-criteria, as well as for ranking alternative solutions in accordance with the specific contextual constraints of the problem, plays a pivotal role in ensuring the robustness and credibility of the final decision-making process. Employing systematic, transparent, and context-sensitive prioritization frameworks is therefore essential to reconcile competing interests and to enhance the sustainability and effectiveness of such projects.

Method

The present study is designed to perform a comparative evaluation of strategic prioritization approaches aimed at minimizing the environmental consequences resulting from the construction and operation of the Marun Dam and its associated hydropower plant. Given the scale and complexity of such infrastructure projects, particularly in ecologically sensitive regions, the need for systematic and evidence-based decision-making frameworks becomes paramount. To this end, the environmental impacts of the Marun Dam were first identified and analyzed through a combination of field observations and a comprehensive review of prior research and technical reports.

Following this assessment, a panel of interdisciplinary experts—including specialists in hydrology, environmental engineering, and water resource management—collaboratively proposed a set of feasible mitigation strategies. These alternatives were evaluated against a structured hierarchy of criteria and sub-criteria, reflecting ecological, socio-economic, and technical dimensions relevant to the project context.

To quantify the relative importance of each criterion, two distinct weighting methodologies were employed: the Analytic Hierarchy Process (AHP), which incorporates expert judgment through pairwise comparisons, and the Entropy-Shannon method, which derives weights based on the inherent information content and variability of the data. Subsequently, the Multi-Attribute Approximate Border Area Comparison (MABAC) method—a robust multi-criteria decision-making (MCDM) technique—was applied to rank the proposed strategies under each weighting scheme.

By comparing the prioritization outcomes derived from the AHP-based and Entropy-based weighting approaches, this study provides critical insights into how the choice of weighting method can influence strategic decision-making in environmental management. The findings

contribute to the development of more transparent, adaptable, and context-sensitive frameworks for prioritizing mitigation strategies in large-scale water infrastructure projects.

Results

The results of the present study show that in the AHP method, the sub-criterion of the impact on water quality with a weight of 0.37 has the maximum weight, while in the Entropy-Shannon method, the sub-criterion of maintenance and operation costs with a weight of 0.22 is in the first place.

Also, the results of the MABAC multi-criteria decision-making method show that the prioritization of alternatives based on the input weights obtained from the AHP and Entropy-Shannon methods is the same, so that the first alternative, including monitoring and controlling water quality based on the weights of the criteria, was ranked first in both cases with a score of 0.18 and 0.31, respectively.

Conclusion

The results of the present study show the importance of determining the weighting method to select the most important criterion according to the nature of the problem and its impact on the final results of ranking the alternatives, especially for long-term policy-making.

For this reason, the selection of the appropriate method should be made according to the nature of the data and the preferences of the decision-makers in order to increase the accuracy and reliability of the results.

Declarations

Ethical Approval

The paper is not currently being considered for publication elsewhere. All authors have been personally and actively involved in substantial work leading to the paper, and will take public responsibility for its content.

Competing interests

Conflict of Interest – None

Availability of data and materials

Data will be made available on the request.

Authors Contributions

Parvin Golfam performed the calculations, approved the analytical methods, supervised the findings of this work, discussed the results, and contributed to the final version of the paper.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants in the present study.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

منابع آب و تغییر اقلیم
دانشگاه قم
شاپای الکترونیکی: ۶۷۶۹ ۳۰۹۲
https://wrcc.qom.ac.ir/

تحلیل اثرگذاری رویکردهای ذهنی و عینی در وزن‌دهی معیارها در چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره

پروین گلفام[1]✉

۱. نویسنده مسئول، دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران. رایانامه: P.Golfam@stu.qom.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۶

کلیدواژه‌ها:
روش تصمیم‌گیری چندمعیاره MABAC،
روش وزن‌دهی AHP،
روش وزن‌دهی آنتروپی-شانون،
بهره‌برداری از سد،
کاهش اثرات زیست‌محیطی.

چکیده

هدف: هدف از انجام پژوهش حاضر، مقایسه نتایج اولویت‌بندی راه‌کارهای کاهش اثرات نامطلوب حاصل از ساخت و بهره‌برداری از سد و نیروگاه برق‌آبی مارون براساس به‌کارگیری روش‌های مختلف وزن‌دهی به مجموعه معیارها و زیرمعیارها است.

روش: بدین‌منظور ابتدا، اثرات زیست‌محیطی سد مارون براساس وضعیت میدانی و مطالعات پیشین مورد بررسی قرار گرفت و سپس گزینه‌های مختلف برای کاهش اثرات زیست‌محیطی سد مارون و مجموعه معیارها و زیرمعیارها برای ارزیابی گزینه‌ها توسط گروه کارشناسان پیشنهاد شدند. سپس دو روش وزن‌دهی شامل روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش آنتروپی-شانون برای محاسبه وزن معیارها به‌کار گرفته شدند. سپس، راه‌کارهای کاهش اثرات نامطلوب سد مارون، یک‌بار براساس وزن معیارها حاصل از روش AHP و بار دیگر براساس وزن معیارها حاصل از روش آنتروپی-شانون با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره رتبه‌بندی مقایسه منطقه تقریبی مرزی چندشاخصه (MABAC) اولویت‌بندی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهند که در روش AHP، زیرمعیار اثر بر کیفیت آب با وزن ۰/۳۷ دارای بیشینه وزن است، در حالی با روش آنتروپی-شانون، زیرمعیار هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری با وزن ۰/۲۲ در جایگاه اول قرار دارد. هم‌چنین نتایج روش تصمیم‌گیری چندمعیار MABAC نشان می‌دهد اولویت‌بندی گزینه‌ها براساس ورودی وزن‌ها حاصل از روش‌های AHP و آنتروپی-شانون یکسان است، به‌نحوی که گزینه یک شامل پایش و کنترل کیفیت آب برمبنای وزن معیارها با روش AHP و آنتروپی-شانون به‌ترتیب با امتیاز ۰/۱۸ و ۰/۳۱ در هر دو حالت در جایگاه نخست قرار گرفت.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش، اهمیت تعیین روش وزن‌دهی برای انتخاب مهم‌ترین معیار با توجه به ماهیت مسأله و اثرگذاری آن بر نتایج نهایی رتبه‌بندی گزینه‌ها را به‌ویژه برای سیاست‌گذاری‌های بلندمدت نشان می‌دهد.

استناد: گلفام پروین. تحلیل اثرگذاری رویکردهای ذهنی و عینی در وزن‌دهی معیارها در چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره. *منابع آب و تغییر اقلیم*. ۱۴۰۴؛ ۱(۳): ۶۳-۷۵. http//doi.org/10.22091/wrcc.2025.13737.1020

ناشر: دانشگاه قم.
© نویسندگان.
شناسه دیجیتال: https://doi.org/10.22091/wrcc.2025.13737.1020

۱- مقدمه

در جهان امروز که تأمین امنیت آب از عامل‌های اصلی در دست‌یابی به اهداف توسعه پایدار به‌شمار می‌آیند، ساخت و بهره‌برداری از سدها نقش بسیار مهمی در این مسیر دارند. این نقش حیاتی به‌ویژه در مناطقی که با چالش‌های ناشی از کم‌یابی آب و اقلیم‌های گرم و خشک روبه‌رو هستند، اهمیت ویژه‌ای دارد زیرا منابع آب به آسانی در دسترس نبوده و بسیار آسیب‌پذیر هستند [۱]. ساخت سد، یکی از مهم‌ترین راه‌کارها برای غلبه بر چالش‌های ناشی از عرضه و تقاضای متغیر آب به‌شمار می‌آید [۲].

با وجود تأثیرات مطلوب و مثبت سدها در مدیریت منابع آب، اما بهره‌برداری از مخازن سدها همراه با مزایا و مخاطرات آنها، مسأله بسیار پیچیده‌ای است [۳]. حاتم‌خانی و همکاران بیان کردند که سدها و نیروگاه‌های برق‌آبی اثرات زیادی بر محیط زیست دارند که اغلب در محاسبات اقتصادی و برنامه‌ریزی طرح‌ها لحاظ نمی‌شوند و منجر به از دست رفتن منابع طبیعی می‌شود [۴]. هم‌چنین شواهد زیادی نشان می‌دهند که گرچه بسیاری از سدها با هدف توسعه اقتصادی ساخته شدند اما در برخی مواقع با گذشت سال‌ها به منابع مشکلات اقتصادی-اجتماعی تبدیل شده‌اند [۵ و ۶]. از این‌رو، پایش وضعیت سازه‌های نگهداری و انتقال آب در زمان بهره‌برداری، یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار است. شناخت اثرات نامطلوب سازه‌های آبی و اولویت‌بندی اقدامات مورد نیاز برای کاهش آنها با توجه به وسعت دامنه زمانی و مکانی نیازمند ابزاری قدرتمند است که بتواند شامل دیدگاه‌های همه ذی‌نفعان باشد.

تاکنون مطالعات متعددی برای اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شده است که در ادامه برخی از آنها آورده می‌شود.

ریباس[1] و پرزدیاز[2] از روش فازی AHP برای ارزیابی خطر فروپاشی سد سیمپلیسیو[3] در برزیل و اثرات اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی آن بر منطقه استفاده کردند [۷].

درویشی و همکاران با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره بهینه‌سازی چندمعیاره و حل سازشی[4] (VIKOR) اقدامات در برابر خطرپذیری زیست‌محیطی در سد بالارود در ایران را اولویت‌بندی کردند. نتایج نشان دادند که مهم‌ترین اقدام، جلوگیری از تخلیه فاضلاب‌های صنعتی و بهداشتی به رودخانه بود [۸].

گوانجی[5] و همکاران از روش AHP با مجموعه فازی متغیر برای ارزیابی اجتماعی و زیست‌محیطی شکست سد در چانگلونگ[6] استفاده کردند. نتایج نشان دادند که این روش دارای الگوریتمی دقیق برای انتقال شدت اثرات اجتماعی و زیست‌محیطی شکست سد بود [۹].

اسلامی و همکاران راه‌کارهای بهبود زیست‌محیطی سد نهب در ایران را با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره راه‌حل مصالحه ترکیبی[7] (COCOSO) ارزیابی و اولویت‌بندی کردند. بدین‌منظور ابتدا مجموعه معیارها و زیرمعیارها تعیین و با روش تعیین یک‌پارچه وزن معیارهای هدف[8] (IDOCRIW) وزن‌دهی شدند و سپس راه‌کارهای پیشنهادی توسط کارشناسان بررسی شدند. نتایج نشان دادند که معیار اجتماعی-فرهنگی دارای بیشینه وزن بود و گزینه جابه‌جایی دفع زباله‌های شهری در اولویت نخست قرار گرفت [۱۰].

حمیدی‌فر و همکاران، از چهار روش تصمیم‌گیری AHP، شباهت به گزینه ایده‌آل[9] (TOPSIS)، Fuzzy-VIKOR و COCOSO برای ارزیابی خطرپذیری و اولویت‌بندی گزینه‌های کنترل سیلاب در استان کهگیلویه و بویراحمد شامل سه سد کوثر، شاه‌قاسم و چمشیر استفاده

[1]- Ribas
[2]- Pérez-Díaz
[3]- Simplicio
[4]- Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje
[5]- Guanjie
[6]- Changlong
[7]- Combined Compromise Solution
[8]- Integrated Determination of Objective Criteria Weights
[9]- Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

کردند. نتایج نشان دادند که اثربخشی سدهای مخزنی، حوضچه‌های نگهداری و خاکریزها در اولویت‌های اول تا سوم قرار گرفتند [۱۱].

سینها[10] و نارولکار[11]، از سه روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS، ارزیابی مجموع جمع و ضرب وزنی[12] (WASPAS) و چندمعیاره بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی‌بر تحلیل نسبت[13] (MOORA) برای ارزیابی خطرپذیری وقوع سیل در مخازن سد استفاده کردند [۱۲]. لی[14] و همکاران، از روش وزن‌دهی ساده تجمیعی[15] (SAW) برای بهبود عملکرد سد آندونگ-ایمها[16] در کره جنوبی در برابر خشک‌سالی‌های ناشی از تغییرات اقلیمی استفاده کردند [۱۳].

مرور مطالعات پیشین نشان‌دهنده به‌کارگیری روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت سدها است. انتخاب هریک از روش‌های وزن‌دهی به معیارها، تأثیر مستقیم بر نتایج نهایی اولویت‌بندی گزینه‌ها دارد که در مطالعات پیشین کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در پژوهش حاضر، نخست وزن معیارها و زیرمعیارها توسط دو روش تصمیم‌گیری AHP و آنتروپی-شانون به‌صورت جداگانه محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره MABAC گزینه‌های پیشنهادی برای بهبود عملکرد سد مارون براساس نتایج روش‌های AHP و آنتروپی-شانون اولویت‌بندی می‌شود. بدین‌ترتیب اثر به‌کارگیری روش‌های وزن‌دهی با رویکردهای مختلف بر نتیجه نهایی رتبه‌بندی گزینه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش، گام‌های دو روش وزن‌دهی AHP و آنتروپی-شانون برای وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره MABAC برای اولویت‌بندی گزینه‌ها شرح داده خواهد شد.

۲-۱- روش وزن‌دهی AHP

روش ساعتی[17] و همکاران روش AHP را ارائه دادند [۱۴]. اصول بنیادین روش AHP شامل: (۱) اصل معکوس بودن، (۲) اصل همگنی، (۳) اصل وابستگی و (۴) انتظارات است. این روش برمبنای تقسیم مسأله به سه سطح هدف، معیارها و زیرمعیارها و گزینه‌ها قرار دارد که سبب تسهیل مسائل تصمیم‌گیری و ایجاد چارچوبی نظام‌مند برای حل مسأله شود [۱۵]. گام‌های روش AHP شامل مراحل زیر هستند:

(الف) ایجاد ساختار سلسله مراتبی

در این گام، گزینه‌ها و مجموعه معیارها و در صورت لزوم زیرمعیارها توسط گروه کارشناسان تعیین و ساختار تحلیل سلسله مراتبی ایجاد می‌گردد.

(ب) تشکیل ماتریس مقایسات زوجی

در این گام، ماتریس‌های مقایسه زوجی برای مقایسه بین معیارها براساس هدف مسأله براساس نظرات کارشناسان تشکیل می‌گردند. درایه‌های ماتریس مقایسات زوجی نشان‌دهنده اهمیت یا ترجیح نسبی یک معیار در مقایسه با سایر معیارها براساس اهمیت نسبی است [۱۶].

(پ) محاسبه وزن نسبی معیارها

برای محاسبه وزن نسبی معیارها روش‌های مختلفی وجود دارد. در این پژوهش، برای محاسبه بردار وزن از روش میانگین هندسی استفاده می‌شود. ابتدا میانگین هندسی عناصر هر سطر محاسبه شده و سپس بردار به‌دست‌آمده نرمالیزه شده و بردار وزن حاصل می‌شود.

[10]- Sinha
[11]- Narulkar
[12]- Weighted Aggregated Sum Product Assessment
[13]- Multi-Objective Optimization Based on Ratio Analysis
[14]- Lee
[15]- Simple Additive Weighting
[16]- Andong-Imha
[17]- Saaty

(ت) محاسبه نرخ ناسازگاری[18]

در گام آخر، به‌منظور سنجش ثبات و پایداری مقایسات زوجی بین معیارها، نرخ ناسازگاری طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$I.R = I.I/R.I.I \\ I.I = (\lambda_{max}- n)/ n\text{-}1 \quad (۱)$$

که در آن، λ_{max} = بیشـــینه بردار ویژه ماتریس و n = بعد ماتریس، $I.R$ = نرخ ناســازگاری، $I.I$ = شــاخص ســازگاری تصمیم و $R.I.I$ = شاخص ناسازگاری تصادفی هستند. در صــورتی که نرخ ناســازگاری از ۰/۱ کمتر باشــد، ماتریس سازگار بوده و وزن‌های نسبی معتبر هستند [۷].

۲-۲- روش وزن‌دهی آنتروپی-شانون

روش وزن‌دهی آنتروپی-شانون توسط شانون[19] با استفاده از مفهوم آنتروپی برمبنای عدم‌اطمینان از توزیع احتمال پیوسته ارائه شد [۱۷]. در این روش، اهمیت هر معیار به مقدار پراکندگی و کاهش عدم‌قطعیت‌ها بستگی دارد. رویکرد تعیین وزن معیارها در این روش بر تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری استوار است. گام‌های روش آنتروپی-شانون در ادامه شرح داده شده است.

(الف) تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

در این گام، ماتریس تصمیم‌گیری براساس ارزیابی عملکرد هر گزینه در برابر هر معیار براساس رابطه (۲) تشکیل می‌شود:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (۲)$$

که در آن، X = ماتریس تصمیم‌گیری؛ x_{ij} = درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری؛ n = تعداد معیارها، و m = تعداد گزینه‌ها هستند.

(ب) نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری

در این گام، درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری براساس رابطه (۳) نرمال‌سازی می‌شوند.

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}}. \quad (۳)$$

که در آن، $\tilde{x}_{ij}$ = درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری نرمال‌سازی‌شده هستند.

(پ) محاسبه درجه آنتروپی[20]

در این گام، درجه آنتروپی مطابق رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$\alpha_j = -\frac{1}{ln\, n}\sum_{j=1}^{n} \tilde{x}_{ij}.\, ln\, \tilde{x}_{ij}, \quad (۴)$$
$$\left(j=1,2,....,m; 0 \le \alpha_j \le 1\right)$$

که در آن، α_j = درجه آنتروپی است. درجه آنتروپی نشان‌دهنده مقدار پراکندگی هر معیار است و هرچقدر بیش تر باشد، عدم‌قطعیت ناشی از کمبود اطلاعات در مورد آن معیار بیش‌تر است.

(ت) محاسبه میزان انحراف هر معیار

در این گام، انحراف هر معیار براســاس رابطه (۵) محاســبه خواهد شد.

$$\beta_j = 1\text{-}\, \alpha_j \quad (۵)$$

که در آن، β_{ij} = مقدار انحراف هر معیار است.

(ث) محاسبه وزن معیارها

در گام آخر، وزن معیارها از رابطه (۶) محاسبه خواهد شد.

$$w_j = \beta_j \Big/ \sum_{i=1}^{m} \beta_j \quad (۶)$$

که در آن، wj = وزن نهایی هر معیار است.

۲-۳- روش تصمیم‌گیری چندمعیاره MABAC

پاکومار[21] و سیروویک[22] روش MABAC را ارائه دادند [۱۸]. رتبه‌بندی گزینه‌ها در روش MABAC برمبنای تعیین فاصله هریک از گزینه‌ها تا مرز ناحیه شباهت[23] است. در ادامه گام‌های روش MABAC توضیح داده می‌شود.

[18]- Inconsistency
[19]- Shannon-Entropy
[20]- Degree of Entropy
[21]- Pacumar
[22]- Cirovic
[23]- Similarities Area Boundary

(الف) تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری اولیه

در این گام، ماتریس تصمیم‌گیری اولیه براساس ارزیابی عملکرد هر گزینه براساس هر معیار توسط کارشناسان براساس رابطه (۷) تشکیل می‌گردد:

$$A = [a_{il}]_{n\times m} \qquad (۷)$$

که در آن، A = ماتریس تصمیم‌گیری اولیه و a_{ij} = درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری براساس امتیاز هر گزینه با توجه به هر معیار هستند.

(ب) نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری اولیه

در این گام، ماتریس تصمیم‌گیری اولیه مطابق رابطه (۸) نرمال‌سازی می‌شوند:

$$t_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-}$$
$$t_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^+}{x_i^- - x_i^+} \qquad (۸)$$

که در آن، t_{ij} = درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری نرمال‌سازی‌شده؛ x_i^- = کمینه مقدار درایه هر ستون ماتریس تصمیم‌گیری، و x_i^+ = بیشینه مقدار درایه هر ستون ماتریس تصمیم‌گیری هستند.

(پ) تشکیل ماتریس نرمال‌شده موزون

در این گام، در این گام، با استفاده از رابطه (۹) ماتریس نرمال‌شده موزون تشکیل می‌شود:

$$V_{ij} = W_i \times t_{ij} + W_i \qquad (۹)$$

که در آن، W_i = وزن هر معیار، و V_{ij} = درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری نرمال‌شده موزون، هستند.

(ت) تعیین ناحیه تقریبی مرزها[۲۴]

در این گام، با استفاده از میانگین‌گیری هندسی از امتیازات هر معیار، ماتریس ناحیه تقریبی مرزها براساس رابطه (۱۰) به‌دست می‌آید:

$$g_i = \left(\prod_{j=1}^{m} V_{ij}\right)^{1/m},\ G = [g_1, g_2, \ldots, g_n] \qquad (۱۰)$$

که در آن، g_i = میانگین هندسی، و G = ماتریس میانگین هندسی، هستند. بدین‌ترتیب سه ناحیه مختلف، یعنی ناحیه تقریبی مرز (G)، ناحیه تقریبی مرزی بالا[۲۵] (G^+)، و ناحیه تقریبی مرزی پایین (G^-) ایجاد می‌شود. به‌بیان دیگر، ناحیه G^+ ایده‌آل مثبت است، درحالی که ناحیه G^- ضدایده‌آل است.

(ث) محاسبه ماتریس فاصله گزینه‌ها تا ناحیه تقریبی مرزها

در این گام، فاصله گزینه‌ها تا ناحیه تقریبی مرزها با استفاده از رابطه (۱۱) به‌دست می‌آید. این فاصله از تفاضل درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری نرمال‌شده موزون از مقادیر ناحیه تقریبی مرزها حاصل می‌شود:

$$Q = V - G \qquad (۱۱)$$

که در آن، Q = ماتریس فاصله گزینه‌ها تا ناحیه تقریبی مرزها، و q_{ij} = درایه‌های ماتریس فاصله گزینه‌ها تا ناحیه تقریبی مرزها، هستند.

(ج) رتبه‌بندی گزینه‌ها

در این گام، با استفاده از رابطه (۱۲) امتیاز نهایی هرگزینه محاسبه و براساس آن، گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند:

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} q_{ij}.\ \ j=1.2.....n.\ \ i=1.2.\ ....\ m \qquad (۱۲)$$

که در آن، S_i = امتیاز نهایی هر گزینه است. هر اندازه میزان امتیاز نهایی هر گزینه بیش‌تر باشد، در اولویت بالاتری قرار خواهد گرفت.

۳- مورد مطالعاتی

مورد مطالعاتی در پژوهش حاضر، حوضه آبریز مارون واقع در استان خوزستان در جنوب غرب کشور ایران است. حوضه آبریز مارون با مساحت ۳۸۰۱ مترمربع، از زیرحوضه‌های عمان-خلیج فارس به‌شمار می‌آید. رودخانه مارون، از اتصال شاخه‌های شبلیز، لوداب و سقاوه تشکیل شده و پس از طی مسافت ۱۲۰ کیلومتر به دریاچه سد مارون می‌رسد. سد سنگریزه‌ای مارون در ۱۹ کیلومتری شمال شرق بهبهان بر روی رودخانه مارون با اهدافی شامل

[24]- Approximate Border Area Matrix
[25]- Upper Approximation Area

تأمین آب اراضی کشاورزی در دشت‌های بهبهان، جایزان، خلف‌آباد و شادگان، تولید انرژی برق‌آبی برای مصرف در بخش خانگی و کشاورزی و کنترل سیلاب ساخته شده است. کمینه و بیشینه ارتفاع از سطح دریا در این منطقه به‌ترتیب ۳۰۰ و ۳۴۸۹ متر است. میانگین دمای سالانه ۲۶ درجه سانتی‌گراد، متوسط تبخیر و بارندگی سالانه به‌ترتیب ۲۷۳۰ و ۵۲۰ میلی‌متر هستند.

بررسی مطالعات پیشین درباره اثرات محیطی سد مارون نشان دادند که ساخت و بهره‌برداری از سد مارون بر وضعیت زیست‌بوم طبیعی منطقه اثر گذاشته و سبب تخریب بخشی از پوشش گیاهی و زیست‌گاه‌های جانوری شده که نتیجه آن کاهش تنوع زیستی به‌ویژه در مناطق پایین‌دست شده است.

از سوی دیگر، ساخت سد سبب کاهش جریان ورودی به تالاب بین‌المللی شادگان و تهدید جدی برای پرندگان مهاجر شده است [۱۹].

هم‌چنین بررسی کیفیت آب و رسوب دریاچه سد مارون نشان داده است که فلزات سنگین و نیترات‌ها به‌دلیل افزایش ورود آلاینده‌ها از بخش‌های کشاورزی و صنعتی افزایش یافته و سبب کاهش چشم‌گیر کیفیت آب شده است [۲۰].

با توجه به نتایج پژوهش‌های فوق، در ادامه گزینه‌ها و مجموعه معیارهای اصلی و زیرمعیارهای مرتبط با هریک از آنها براساس نظرات کارشناسان آورده شده است.

۳-۱- گزینه‌های پیشنهادی

گروه کارشناسان در این پژوهش شامل سه کارشناس با تخصص‌های محیط زیست، مدیریت منابع آب و اقتصاد هستند.

به‌منظور کاهش اثرات نامطلوب ساخت و بهره‌برداری از سد مارون، کارشناسان براساس پژوهش‌های پیشین و شرایط میدانی منطقه، سه گزینه شامل: (۱) پایش و کنترل کیفیت آب، (۲) استفاده از تالاب‌های مصنوعی در مسیر خروجی آب با هدف بهبود کیفیت آب و (۳) ایجاد مناطق حفاظت‌شده در اطراف دریاچه سد و اجرای برنامه‌های احیای گونه‌های آسیب‌دیده را پیشنهاد دادند.

۳-۲- مجموعه معیارهای اصلی و زیرمعیارها

معیارهای اصلی در پژوهش حاضر معیارهای اثربخشی بر محیط زیست، اجتماعی، اقتصادی و فنی هستند. معیار اثربخشی زیست‌محیطی شامل زیرمعیارهای اثر بر کیفیت آب سطحی و اثر بر احیای تنوع زیستی، معیارهای فنی و اجرایی شامل قابلیت اجرا در شرایط اقلیمی و جغرافیایی منطقه، دسترسی به تجهیزات و انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات محیطی هستند. میزان مشارکت جوامع محلی و افزایش توانمندسازی ذی‌نفعان محلی زیرمعیارهای معیار اجتماعی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری زیرمعیارهای معیار اقتصادی هستند.

در پژوهش حاضر، زیرمعیارهای هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه بهره‌برداری و نگهداری منفی و سایر زیرمعیارها مثبت هستند.

۴- بحث و بررسی نتایج

در این بخش، ابتدا نتایج حاصل از روش‌های وزن‌دهی AHP و آنتروپی-شانون شرح داده خواهد شد. سپس، اولویت‌بندی‌های مختلف گزینه‌ها با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره MABAC براساس نتایج روش‌های مختلف وزن‌دهی معیارها در حوضه آبریز مارون آورده می‌شود.

۴-۱- نتایج روش AHP

ماتریس تجمیعی مقایسات زوجی معیارهای اصلی براساس تجمیع نظرات کارشناسان در جدول ۱ آورده شده است. هم‌چنین وزن معیارهای اصلی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- ماتریس تجمیعی مقایسات زوجی برای معیارهای اصلی

Table 1. Aggregate matrix of pairwise comparisons for the main criteria

(a) Aggregate matrix of pairwise comparisons

Main criteria	Main criteria			
	A	B	C	D
A	1	2.83	4.08	4.76
B	0.35	1	1.83	2.33
C	0.24	0.54	1	1.83
D	0.21	0.42	0.54	1

A = Environmental criteria, B = Social criteria, C = Economical criteria, D = Technical criteria

جدول ۲– وزن معیارهای اصلی

Table 2. Weights of main criteria

Main criteria	Weight
A	0.54
B	0.22
C	0.15
D	0.09

مطابق جدول ۲، معیار زیست‌محیطی با وزن ۰/۵۴ در رتبه نخست قرار دارد. پس از معیار زیست‌محیطی، به‌ترتیب معیارهای اجتماعی، اقتصادی و فنی با وزن‌های ۰/۲۲، ۰/۱۵ و ۰/۰۹ در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

مطابق روند فوق، ماتریس تجمیعی مقایسات زوجی برای هر گروه از زیرمعیارها تعیین و وزن زیرمعیارها محاسبه شدند. وزن زیرمعیارها و نرخ ناسازگاری آنها در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- وزن زیرمعیارها و نرخ ناسازگاری

Table 3. Weights of the sub-criteria and inconsistency ratio

Main criteria	Sub-riteria	Weight	CR
A	C1	0.69	0.00
	C2	0.31	
B	C3	0.59	0.00
	C4	0.41	
C	C5	0.56	0.00
	C6	0.44	
D	C7	0.43	0.1
	C8	0.29	
	C9	0.26	

C1 = Impact on surface water quality, C2 = Impact on biodiversity restoration, C3 = local community participation, C4 = Increasing the empowerment of local stakeholders, C5 = Initial investment costs, C6 = Operation and maintenance costs, C7 = Ability to implement in the climatic and geographical conditions of the region, C8 = Access to equipment, C9 = Flexibility against environmental changes.

جدول ۳ نشان می‌دهد که نرخ ناسازگاری مقایسات زوجی برای همه زیرمعیارها کم‌تر و یا مساوی ۰/۱ است و بنابراین، قضاوت کارشناسان نیازمند بازبینی نیست. هم‌چنین براساس جدول ۳، زیرمعیار اثر بر کیفیت آب با وزن ۰/۶۹ بیش‌ترین وزن را در میان سایر زیرمعیارها دارد و نشان‌دهنده لزوم تأمین کیفیت مناسب آب برای استفاده در بخش کشاورزی است.

در گام آخر، وزن نهایی زیرمعیارها از حاصل‌ضرب وزن هر معیار اصلی در وزن زیرمعیارهای مربوط به آن حاصل شد. به‌دلیل تعداد زیاد زیرمعیارها و طولانی بودن روند محاسبات، جزئیات مراحل محاسبات ارائه نشده است. وزن نهایی زیرمعیارها در شکل ۱ آورده شده است.

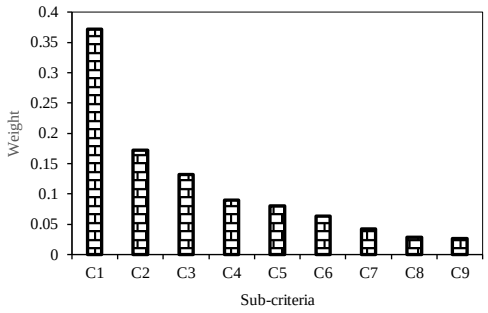


Figure 1. The final weight of sub-criteria obtained from AHP method

شکل ۱- وزن نهایی زیرمعیارها حاصل از روش AHP

مطابق شکل ۱، از میان زیرمعیارهای مختلف، زیرمعیار اثر بر کیفیت آب با وزن ۰/۳۷۲ مهم‌ترین زیرمعیار از نظر کارشناسان به‌شمار می‌آید. زیرمعیار اثر بر زیست‌بوم منطقه با وزن ۰/۱۷۱ در رتبه دوم قرار گرفته است. بنابراین، به‌طور کلی اثرات زیست‌محیطی حاصل از ساخت و بهره‌برداری از سد مارون یک، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند، زیرا سد مارون در منطقه‌ای خشک در ایران واقع شده است و کاهش کیفیت آب و از میان رفتن زیست‌بوم منطقه حتی ممکن است اثربخشی اهداف ساخت سد را به‌طرز چشم‌گیری کاهش دهد.

۴-۲- نتایج روش آنتروپی-شانون

در این بخش، نتایج روش آنتروپی-شانون ارائه خواهد شد. ماتریس تصمیم‌گیری اولیه و نرمال‌سازی‌شده تجمیعی برای معیارهای اصلی در جدول ۴ آورده شده است. هم چنین، درجه آنتروپی و میزان انحراف هر معیار در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۴- ماتریس تصمیم‌گیری اولیه و نرمال‌سازی‌شده تجمیعی برای معیارهای اصلی

Table 4. Aggregated initial decision-making matrix, and normalized decision-making matrix for main criteria

(a) Aggregated initial decision-making matrix

	Alternatives		
Sub-criteria	A1	A2	A3
A	74.33	62.66	50.33
B	51	67.66	61.66
C	59	63.66	37.33
D	79.33	61.66	55.33

(b) normalized decision-making matrix

	Alternatives		
Sub-criteria	A1	A2	A3
A	0.39	0.33	0.26
B	0.28	0.37	0.34
C	0.36	0.39	0.23
D	0.40	0.31	0.28

A1 = Monitoring and controlling water quality, A2 = Using artificial wetlands in the water outlet to improve water quality, A3 = Creating protected areas around the dam lake and implementing restoration programs for affected species.

جدول ۵- درجه آنتروپی و میزان انحراف هر معیار

Table 5. Degree of entropy and deviation rate of the degree for each criterion

(a) Degree of entropy

	Main criteria			
	A	B	C	D
Degree of entropy	0.98	0.99	0.97	0.98

(b) Deviation rate of the degree

	A	B	C	D
Degree of entropy	0.01	0.01	0.02	0.01

پس از محاسبه درجه آنتروپی و انحراف از معیار، وزن معیارهای اصلی محاسبه شد که در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶- وزن معیارهای اصلی از روش آنتروپی-شانون

Table 6. Weight of main criteria from Entropy-Shannon method

Main criteria	Weight
A	0.22
B	0.12
C	0.44
D	0.21

جدول ۶، وزن معیارهای اصلی از روش آنتروپی-شانون را نشان می‌دهد. مطابق جدول ۶، معیار اقتصادی با وزن ۰/۴۴ بیشینه وزن را دارا است. پس از آن، معیارهای زیست‌محیطی، معیار فنی و معیار اجتماعی به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۲۲، ۰/۲۱ و ۰/۱۲ در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار دارند.

تمام گام‌های فوق برای زیرمعیارهای هریک از معیارهای اصلی انجام و وزن زیرمعیارها محاسبه گردید. وزن زیرمعیارها از روش آنتروپی-شانون در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷- درجه آنتروپی، انحراف معیار و وزن زیرمعیارها

Table 7. Degree of entropy, deviation rate of the degree, and the weight of sub-criteria

Sub-criteria	Degree of entropy	Deviation rate of the degree	Weight
C1	0.97	0.02	0.85
C2	0.99	0.01	0.15
C3	0.99	0.01	0.11
C4	0.98	0.01	0.89
C5	0.98	0.1	0.48
C6	0.98	0.1	0.52
C7	0.98	0.1	0.28
C8	0.98	0.1	0.32
C9	0.98	0.1	0.40

مطابق جدول ۷، زیرمعیار افزایش توانمندی ذی‌نفعان محلی با وزن ۰/۸۹ بیشینه وزن را در میان مجموعه زیرمعیارها دارد.

وزن نهایی زیرمعیارها با اعمال وزن معیارهای اصلی از روش آنتروپی-شانون در شکل ۲ آورده شده است.

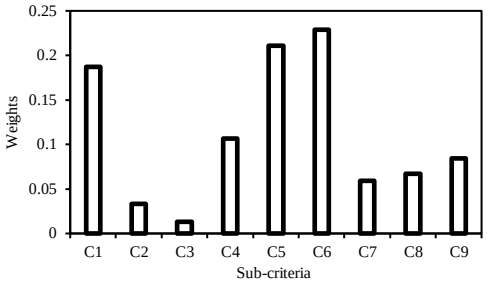


Figure 2. Final weight of sub-criteria from Entropy-Shannon method

شکل ۲- وزن نهایی زیرمعیارها از روش آنتروپی-شانون

مطابق شکل ۲، مهم‌ترین زیرمعیار، زیرمعیار هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری با وزن ۰/۲۲است. تأمین هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از سامانه تأمین‌کننده آب که از یک‌سو متناسب با عمر سامانه افزایش می‌یابد و از سوی دیگر باید الزامات تأمین وظایف سامانه را برآورد کند، همواره یکی از مهم‌ترین مسائل در بهره‌برداری از سازه‌های عمرانی به‌ویژه سازه‌های آبی است.

۴-۳- نتایج روش MABAC

در این بخش، نتایج روش MABAC براساس وزن نهایی زیرمعیارها حاصل از دو روش AHP و آنتروپی-شانون به‌صورت جداگانه محاسبه خواهد شد.

۴-۳-۱- رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس وزن‌های حاصل از روش AHP

ماتریس تصمیم‌گیری اولیه تجمیعی در جدول ۸ آورده شده است. هم‌چنین، ماتریس نرمال‌سازی‌شده تجمیعی در جدول ۹ آورده شده است.

جدول ۸- ماتریس تصمیم‌گیری تجمیعی

Table 8. Aggregated decision-making matrix

Sub-criteria	Alternatives		
	A1	A2	A3
C1	73.66	60.66	45.33
C2	50.66	67	64.66
C3	68.33	52.66	82.66
C4	37.33	36.33	80.00
C5	73.66	58.00	58.33
C6	55.33	66.00	85.00
C7	46.33	39.33	45.66
C8	70.66	43.33	33.66
C9	45.00	70.66	66.33

جدول ۹- ماتریس نرمال‌سازی‌شده تجمیعی

Table 9. Normalized aggregated matrix

Sub-criteria	Alternatives		
	A1	A2	A3
C1	1.00	0.54	0.00
C2	0.00	1.00	0.85
C3	0.52	0.00	1.00
C4	0.01	0.00	1.00
C5	1.00	0.00	0.02
C6	1.00	0.64	0.00
C7	0.00	1.00	0.09
C8	1.00	0.26	0.00
C9	0.00	1.00	0.83

ماتریس نرمال‌سازی‌شده تجمیعی وزن‌دهی‌شده در جدول ۱۰ آورده شده است. هم‌چنین، ناحیه مرز تقریبی برای هریک از زیرمعیارها در جدول ۱۱ و فاصله گزینه‌ها تا ناحیه مرز تقریبی در جدول ۱۲ ارائه شده است.

جدول ۱۰- ماتریس نرمال‌سازی‌شده تجمیعی وزن‌دهی‌شده

Table 10. Normalized weighted aggregated matrix

Sub-criteria	Alternatives		
	A1	A2	A3
C1	0.74	0.57	0.37
C2	0.17	0.34	0.31
C3	0.20	0.13	0.26
C4	0.09	0.09	0.18
C5	0.16	0.08	0.08
C6	0.12	0.10	0.06
C7	0.04	0.08	0.04
C8	0.05	0.03	0.02
C9	0.02	0.05	0.04

جدول ۱۱- ناحیه مرز تقریبی برای زیرمعیارها

Table 11. Border approximation area for sub-criteria

Sub-criteria	Border approximation area
C1	0.54
C2	0.26
C3	0.19
C4	0.11
C5	0.10
C6	0.09
C7	0.05
C8	0.03
C9	0.04

جدول ۱۲- فاصله گزینه‌ها از ناحیه مرز تقریبی

Table 12. Distance of the alternatives from Border approximation area

Sub-criteria	Alternatives		
	A1	A2	A3
C1	0.20	0.31	-0.16
C2	-0.09	0.07	0.05
C3	0.01	-0.05	0.07
C4	-0.02	-0.02	0.06
C5	0.05	-0.02	-0.01
C6	0.03	0.01	-0.03
C7	-0.01	0.02	0.01
C8	0.01	-0.01	-0.01
C9	-0.01	0.01	0.00

در نهایت، رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها در شکل ۳ آورده شده است.

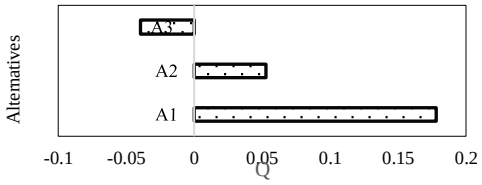


Figure 3. Ranking of the alternatives based on the weights of AHP method

شکل ۳- رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس وزن‌های روش AHP

شکل ۳، رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها با روش MABAC را براساس وزن‌های حاصل از روش AHP نشان می‌دهد. مطابق شکل ۳، گزینه اول یعنی پایش و کنترل کیفیت آب با امتیاز ۰/۱۷ در رتبه اول قرار دارد. گزینه‌های استفاده از تالاب‌های مصنوعی در مسیر خروجی آب با هدف بهبود کیفیت آب با امتیاز ۰/۰۵ و ایجاد مناطق حفاظت‌شده در اطراف دریاچه سد و اجرای برنامه‌های احیای گونه‌های آسیب‌دیده با امتیاز ۰/۰۳- در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. با توجه به آن که مهم‌ترین هدف ساخت سد مارون تأمین آب کشاورزی برای دشت‌های پایین‌دست سد مارون است، کنترل کیفیت آب نقش حیاتی در حفظ و بهبود کشاورزی منطقه با افزایش جمعیت آن است.

۴-۳-۲- رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس وزن‌های حاصل از روش آنتروپی-شانون

با توجه به آن که ماتریس تصمیم‌گیری اولیه یکسان هستند، بنابراین ماتریس نرمال‌سازی‌شده نیز مطابق جدول ۹ (در بخش ۴-۳-۱) است. ماتریس نرمال‌سازی‌شده تجمیعی وزن‌دهی‌شده در جدول ۱۳ آورده شده است.

جدول ۱۳- ماتریس نرمال‌سازی‌شده تجمیعی وزن‌دهی‌شده

Table 13. Normalized weighted aggregated matrix

Sub-criteria	Alternatives		
	A1	A2	A3
C1	0.38	0.29	0.19
C2	0.04	0.08	0.07
C3	0.03	0.02	0.04
C4	0.11	0.11	0.22
C5	0.44	0.22	0.22
C6	0.46	0.37	0.23
C7	0.06	0.12	0.06
C8	0.14	0.08	0.07
C9	0.09	0.18	0.16

ناحیه مرز تقریبی برای هریک از زیرمعیارها در جدول ۱۴ ارائه شده است. هم‌چنین، فاصله گزینه‌ها تا ناحیه مرز تقریبی در جدول ۱۵ آورده شده است.

جدول ۱۴- ناحیه مرز تقریبی برای زیرمعیارها

Table 14. Border approximation area for sub-criteria

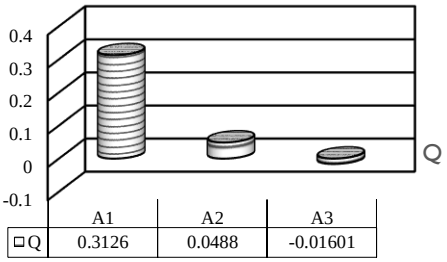
Sub-criteria	Border approximation area
C1	0.27
C2	0.06
C3	0.02
C4	0.13
C5	0.27
C6	0.34
C7	0.07
C8	0.09
C9	0.13

جدول ۱۵- فاصله گزینه‌ها از ناحیه مرز تقریبی

Table 15. Distance of the alternatives from Border approximation area

Sub-criteria	Alternatives		
	A1	A2	A3
C1	0.10	0.01	-0.08
C2	-0.02	0.02	0.01
C3	0.01	0.00	0.01
C4	-0.02	-0.02	0.08
C5	0.16	-0.05	-0.05
C6	0.11	0.03	-0.11
C7	-0.01	0.04	-0.01
C8	0.04	0.00	-0.02
C9	-0.04	0.04	0.03

در نهایت، رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها در شکل ۴ آورده شده است.



	A1	A2	A3
Q	0.3126	0.0488	-0.01601

Figure 4. Ranking of the alternatives based on the weights of Entropy-Shannon method

شکل ۴- رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس وزن‌های حاصل از روش آنتروپی-شانون

شکل ۴ رتبه‌بندی گزینه‌ها را با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره MABAC براساس وزن‌های حاصل از روش آنتروپی-شانون نشان می‌دهد. مطابق شکل ۴، گزینه اول یعنی پایش و کنترل کیفیت آب با امتیاز ۰/۳۱ در رتبه اول قرار گرفت. پس از آن، گزینه‌های استفاده از تالاب‌های مصنوعی در مسیر خروجی آب با هدف بهبود کیفیت آب و ایجاد مناطق حفاظت‌شده در اطراف دریاچه سد و اجرای برنامه‌های احیای گونه‌های آسیب‌دیده با امتیازهای ۰/۰۴ و ۰/۰۱- در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. مقایسه نتایج رتبه‌بندی با روش MABAC براساس وزن زیرمعیارهای به‌دست آمده از روش‌های AHP و آنتروپی-شانون نشان می‌دهد که گرچه امتیاز نهایی گزینه‌ها در دو حالت با یکدیگر متفاوت هستند اما اولویت‌بندی گزینه‌ها در دو حالت با یکدیگر به‌طور کامل یکسان هستند. این امر می تواند ناشی از عوامل مختلفی باشد. روش وزن‌دهی AHP یک روش وزن‌دهی ذهنی مبتنی‌بر مقایسات زوجی و قضاوت انسانی برای بیان ترجیح معیارها بر یکدیگر است. اما روش وزن‌دهی آنتروپی-شانون، یک روش وزن‌دهی عینی مبتنی‌بر پراکندگی داده‌ها و اطلاعات معیارها است. بنابراین، متفاوت بودن وزن معیارها و زیرمعیارها طبیعی است، زیرا روش AHP بر ترجیحات انسانی و روش آنتروپی-شانون بر داده‌های آماری استوار است. یکسان بودن اولویت‌بندی گزینه‌ها علی‌رغم تفاوت آنها در امتیاز نهایی ناشی از ویژگی‌ها و ساختار روش تصمیم‌گیری چندمعیاره MABAC است. روش MABAC برمبنای فاصله هر گزینه از ناحیه مرزی است. این فاصله‌ها به‌صورت مستقل از در ماتریس تصمیم‌گیری نرمال‌سازی‌شده لحاظ می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که روش تصمیم‌گیری MABAC دارای یک ساختار پایدار تصمیم‌گیری است که در برابر نوسانات وزن وزن‌دهی، مقاومت کرده و نتایج قابل اعتمادی را ارائه می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

تأمین آب برای اهداف مختلف از طریق ساخت و بهره‌برداری از سازه‌های آبی به‌ویژه سدها برای تأمین امنیت جامعه ضروری است. اما ساخت و بهره‌برداری از سدها متأثر از عوامل مختلف می‌تواند تبعات نامطلوبی به همراه داشته باشد بنابراین وضعیت آنها باید همواره مورد بررسی قرار گرفته و اقدامات بهبودبخشی صورت گیرد. با توجه به گستردگی مکانی و زمانی سدها و وجود گروه‌های مختلفی از ذی‌نفعان، اقدامات اصلاحی متنوعی نیز پیشنهاد می‌گردد که انتخاب مهم‌ترین آنها بسیار چالش برانگیز است.

یکی از مؤثرترین راه‌کارهای غلبه بر این چالش، به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره هستند. طیف وسیعی از روش‌های وزن‌دهی و تصمیم‌گیری وجود دارند که انتخاب آنها برای هر مسأله مورد تصمیم، به عوامل متعددی بستگی دارد. مهم‌ترین گام‌های روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، انتخاب روش تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها است. زیرا وزن معیارها و زیرمعیارها به‌عنوان ورودی در اغلب روش‌های تصمیم‌گیری، نقش کلیدی در اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها دارد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسنده اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده و این موضوع مورد تأیید ایشان است.

مشارکت نویسندگان

پروین گلفام محاسبات را انجام داد. روش‌های تحلیلی را تایید کرد، بر یافته‌های این پژوهش نظارت داشت، نتایج را بحث نمود و در نسخه نهایی مقاله مشارکت داشت.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسنده این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک هزینه خاصی دریافت نکرده است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به‌خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

References

[1] Saadatpour M. An adaptive surrogate assisted CE-QUAL-W2 model embedded in hybrid NSGA-II AMOSA algorithm for reservoir water quality and quantity management. Water Resources Management. 2020 Feb 17; 34(4): 1437-1451. https://doi.org/10.1007/s11269-020-02510-x.

[2] Deng X, Song C, Liu K, Ke L, Zhang W, Ma R, Zhu J, Wu Q. Remote sensing estimation of catchment-scale reservoir water impoundment in the upper Yellow River and implications for river discharge alteration. Journal of Hydrology. 2020 Mar 07; 585, 124791. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124791.

[3] Połomski M, Wiatkowski M. Impounding reservoirs, benefits and risks: A review of environmental and technical aspects of construction and operation. Sustainability. 2023 Nov 16; 15(22): 16020. https://doi.org/10.3390/su152216020.

[4] Hatamkhani A, Moridi A, Randhir TO. Sustainable planning of multipurpose hydropower reservoirs with environmental impacts in a simulation–optimization framework. Hydrology Research. 2023 Jan 1; 54(1): 31-45. https://doi.org/10.2166/nh.2022.084.

[5] Madani K, AghaKouchak A, Mirchi A. Iran's socio-economic drought: Challenges of a water-bankrupt nation. Iranian Studies. 2016 Dec 07; 49(6): 997-1016. https://doi.org/10.1080/00210862.2016.1259286.

[6] Del Bene D, Scheidel A, Temper L. More dams, more violence? A global analysis on resistances and repression around conflictive dams through co-produced knowledge. Sustainability Science. 2018 Apr 10; 13(4): 617–633. https://doi.org/10.1007/s11625-018-0558-1.

[7] Ribas JR, Pérez-Díaz JI. A multi-criteria fuzzy approximate reasoning approach for risk assessment of dam safety. Environmental Earth Sciences. 2019 Aug 09; 78, 514. https://doi.org/10.1007/s12665-019-8526-3.

[8] Darvishi S, Jozi S. A, Malmasi S, Rezaian S. Environmental risk assessment of dams at constructional phase using VIKOR and EFMEA methods (Case study: Balarood Dam, Iran). Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2019 Jan 22; 20(4). https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1558396.

[9] Guanjie H, Junrui Ch, Youn Q, Zenggung X, Shouyi L. Hierarchy process and its application to the social and environmental impact evaluation of dam breaks. Water Resources Management. 2020 Jul; 34: 2677–2697. https://doi.org/10.1007/s11269-020-02556-x.

[10] Eslami V, Ashofteh PS, Golfam P, Loáiciga HA. Multi-criteria decision-making approach for environmental impact assessment to reduce the adverse effects of dams. Water Resources Management. 2021 Aug 19; 35: 4085-4110. https://doi.org/10.1007/s11269-021-02932-1.

[11] Hamidifar H, Yaghoubi F, Rowinski PM. Using multi-criteria decision-making methods in prioritizing structural flood control solutions: A case study from Iran. Journal of Flood Risk Management. 2024 Apr 10; 17(3): 1-17. https://doi.org/10.1111/jfr3.12991.

[12] Sinha L, Narulkar SM. Optimal operation of multi-reservoir system utilizing DEA, AIDE Algorithm and flood control assessment by MCDM approach. Water Resources Management. 2025 Mar; 39: 1783-1802. https://doi.org/10.1007/s11269-024-04046-w.

[13] Lee YS, Kang SU, Choi SJ. Evaluation of dam operations during drought using multi-objective optimization and multi-criteria decision-making approaches. Journal of Korea Water Resources Association. 2025 Feb 28; 58(2): 169-182. https://doi.org/10.3741/JKWRA.2025.58.2.169.

[14] Saaty TL. *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. New York: McGraw-Hill; 1980.

[15] Pathan AI, Agnihotri PG, Said S, Patel D. AHP and TOPSIS based flood risk assessment: A case study of the Navsari City, Gujarat, India. Environmental Monitoring and Assessment. 2022 Jun 17; 194(7):1–37. https://doi.org/10.1007/s10661-022-10111-x.

[16] Saaty TL. A scaling method for priorities hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology. 1977 Jun; 15(3): 234-281. https://doi.org//10.1016/0022-2496 (77)90033-5.

[17] Shannon CE. A mathematical theory of communication. The Bell System Technical Journal. 1948; 27(3): 379-423. 27(4): 623-656.

[18] Pamučar D, Cirovic G. The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). Expert systems with applications. 2015 Apr 15; 42(6): 3016-3028. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.057.

[19] Saadaty M, Madadinia M, Pourveis Sh. Investigating the environmental impacts of the Marun Dam in Behbahan. The Second National Water Conference. 2011 Mar 11. https://civilica.com/doc/83589 [In Persian].

[20] Kianersi F, Mazravi M, Ahangarzadeh M, Houshmand H, Mortezavizadeh SA, Hekmatpour F, Nazemroaya S, Banitorfizadegan J, Saneai Dehkordi K, Abdevaise S. Water quality assessment of Maroon Dam Lake using WQI index. Iranian Scientific Fisheries Journal. 2024 May; 33(2): 113-123. https://doi.org/10.22092/ISFJ.2024.131722 [In Persian].