

A multi-criteria analytical framework for evaluating strategies to reduce electricity imbalances

Parvin Golfam¹ 

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

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 01 Dec 2025

Revised 14 Feb 2026

Accepted 27 Feb 2026

Published 29 Mar 2026

Keywords:

Electricity Imbalance,
Energy Supply Basket,
Shannon Entropy Weighting
Method,
ARAS Multi-Criteria Decision-
Making Method,
OCRA Prioritization Method.

ABSTRACT

Objective: Electricity is a cornerstone of sustainable development and national and regional security. However, power imbalances, driven by a range of factors, have emerged as a critical challenge, particularly in developing nations. Consequently, the adoption of long-term and pragmatic strategies is pivotal for mitigating such imbalances. This study aims to identify the optimal strategy to reduce power deficits in the Maroun basin using a robust Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) framework.

Method: Initially, a panel of domain experts was convened to define context-specific alternatives and establish evaluation criteria. The Shannon Entropy method was employed to determine the objective weights of these criteria. Subsequently, two distinct MCDM techniques—the Additive Ratio Assessment (ARAS) and the Operational Competitiveness Rating Analysis (OCRA)—were utilized to prioritize the alternatives and validate the results through cross-method comparison.

Results: The entropy weighting analysis revealed that "Investment" is the most influential criterion, securing a weight of 0.5386 according to expert consensus. In terms of alternative ranking, the integration of photovoltaic solar power with the existing Maroun hydroelectric plant emerged as the superior solution. This hybrid approach achieved the highest priority scores of 0.9877 and 0.7384 under the ARAS and OCRA methods, respectively.

Conclusion: These findings underscore the strategic importance of diversifying energy sources to address regional power imbalances. Furthermore, despite their differing logical frameworks, both MCDM models yielded consistent rankings, thereby confirming the robustness and reliability of the proposed decision-making process for selecting power balance mitigation scenarios.

Cite this article: Golfam P. A multi-criteria analytical framework for evaluating strategies to reduce electricity imbalances. *Water Resources and Climate Change*. (2026); 2(1): 13-24.
<https://doi.org/10.22091/wrcc.2026.14739.1029>.



Introduction

Electricity is a fundamental driver of sustainable development and a key component of national and regional security, enabling economic growth, improving living standards, and supporting critical infrastructure. Yet, in many developing countries, unequal access to electricity—due to inadequate infrastructure, financial constraints, and geographic disparities—has created a persistent power imbalance. This gap not only hinders social and economic progress but also deepens inequality and undermines stability. Implementing long-term, practical, and inclusive energy strategies can significantly help bridge this divide, ensuring reliable and equitable electricity access for all.

Method

This study aims to determine the best alternative to reduce the power imbalance in the Marun Basin by relying on multi-criteria analyses and providing reliable guidance to local decision-makers. In this regard, a group of relevant experts was first appointed, and options suitable for the regional conditions were identified and presented by them along with evaluation criteria.

The Entropy–Shannon method was used to weight the criteria in order to objectively determine the role of each criterion based on the available information. Then, to prioritize the options and compare the results, two multi-criteria methods, including Additive Ratio Compromise Assessment (ARAS) and Operational Competitiveness Ranking Analysis (OCRA), were used in two different approaches; using several different methods and approaches, in addition to increasing the validity and transparency of the analysis, allows for examining the robustness of the results and increasing confidence in the final recommendations. Ultimately, the aim is for the study results to provide policymakers and stakeholders with an operational and strategic basis for reducing the power imbalance in the Marun Basin.

Results

The results obtained from the Entropy–Shannon weighting method show that the investment criterion with a weight of 0.5386 has more than half of the total importance in evaluating the options from the experts' perspective; in other words, the collected information indicates that economic considerations and capital costs play a decisive role in the selection of solutions.

Furthermore, adding a solar photovoltaic power plant to the Maroon hydroelectric power plant is recognized as the first option in both multi-criteria methods; in the ARAS method, this option has obtained a high score of 0.9877, and in the OCRA method, a score of 0.7384. The difference in the values of the scores is due to the different scales and calculation mechanisms of the two methods; a high ARAS score indicates a very high utility compared to other options,

and the OCRA score also confirms the relative superiority of the same option with a different evaluation method.

The overall conclusion is that combining solar generation with hydro capacity, through resource diversification, enhances daily generation, reduces regional fluctuations, and increases grid reliability; this combination can lead to reduced need for fossil fuel-based peaking generators, improved supply stability, and reduced emissions.

It is recommended for policymakers and investors to prioritize such projects in capital planning and further economic-technical studies (such as sensitivity analysis, grid considerations, and storage) to realize operational and financial benefits.

Conclusion

The present results show that the application of two multi-criteria methods to rank electricity imbalance reduction scenarios, despite differences in evaluation logic and computational mechanisms, led to a single result. This convergence is important in several ways: first, each of the methods—with different assumptions, weightings, and aggregation formulas—provided similar results independently of the data and criteria, which is a strong indication of the stability of the result. Second, the agreement between the methods reduces the possibility of error or bias due to the choice of a particular method and strengthens the methodological validity of the study.

From a scientific perspective, the agreement of the results indicates the “reliability” of the analysis; that is, it shows that the findings are reliable beyond the sensitivity to a particular algorithm. From a practical and decision-making perspective, such convergence sends a clear message to policymakers and investors: the proposed prioritization is likely to be effective in practice and can be the basis for capital planning decisions and pilot implementation. However, to strengthen this conclusion, it is recommended that complementary studies such as sensitivity analysis, testing of different scenarios, detailed cost-benefit estimates, and wider consultation with local stakeholders be carried out to properly assess the technical, financial, and social aspects of implementation.

Overall, the convergence of the results of the two multi-criteria methods not only increases the confidence in the findings but also shows that the choice of this strategy has strong support from both scientific and practical perspectives and can be a reliable starting point for further actions at the regional level.

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. She approved the analytical methods. She supervised the findings of this work. Parvin Golfam 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.



ارائه یک چارچوب تحلیل چندمعیاره برای ارزیابی راهبردهای کاهش ناترازی برق

پروین گلغام^۱

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

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: برق یکی از عوامل حیاتی برای دستیابی به توسعه پایدار و امنیت ملی و منطقه‌ای است. با این حال، مسئله عدم تعادل قدرت ناشی از عوامل مختلف، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، به یک چالش نگران‌کننده تبدیل شده است. بنابراین، انتخاب راهبردهای بلندمدت و واقع‌بینانه می‌تواند تأثیرات قابل توجهی در کاهش عدم تعادل قدرت داشته باشد. هدف از این مطالعه، تعیین بهترین گزینه برای کاهش عدم تعادل قدرت در حوضه مارون براساس تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۱۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۸ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۹	روش: برای این منظور، ابتدا گروهی از کارشناسان تعیین شدند و گزینه‌های متناسب با شرایط منطقه‌ای و معیارهای ارزیابی آنها توسط کارشناسان ارائه شد. برای تعیین وزن معیارها، از روش آنترپی-شانون استفاده شد. همچنین، برای اولویت‌بندی گزینه‌ها و مقایسه نتایج، از دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل ارزیابی ضریب افزایشی سازگار شده ^۲ (ARAS) و تحلیل رتبه‌بندی رقابت پذیری عملیاتی ^۳ (OCRA) با دو رویکرد متفاوت استفاده شد.
کلیدواژه‌ها: ناترازی برق، سبد عرضه انرژی، روش وزن‌دهی آنترپی شانون، روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ARAS، روش اولویت‌بندی OCRA.	یافته‌ها: نتایج روش وزن‌دهی آنترپی-شانون نشان می‌دهند که معیارهای سرمایه‌گذاری با امتیاز ۰/۵۳۸۶، مهم‌ترین معیار در ارزیابی گزینه‌ها از نظر کارشناسان است. همچنین، افزودن نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی به نیروگاه برق آبی مارون با امتیاز ۰/۹۸۷۷ و ۰/۷۳۸۴ به ترتیب در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ARAS و OCRA رتبه اول را کسب کرد.
	نتیجه‌گیری: این امر نشان‌دهنده اهمیت تأمین برق از منابع متنوع برای کاهش عدم تعادل برق در مقیاس منطقه‌ای است. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهند که کاربرد دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای رتبه‌بندی سناریوهای کاهش عدم تعادل برق، علی‌رغم تفاوت در منطق ارزیابی، نتیجه یکسانی را به‌همراه داشته است.
	استناد: گلغام پروین. ارائه یک چارچوب تحلیل چندمعیاره برای ارزیابی راهبردهای کاهش ناترازی برق. <i>منابع آب و تغییر اقلیم</i> . ۱۴۰۵؛ ۱۳(۱): ۱۳-۲۴. http://doi.org/10.22091/wrcc.2026.14739.1029

2. Additive Ratio Compromise Assessment

3. Operational Competitiveness Ranking Analysis



۱- مقدمه

فتوولتائیک خورشیدی براساس دو روش تصمیم‌گیری بهترین سامانه انرژی تجدیدپذیر برتر بود [۲]. پالوویچ^۶ و همکاران، از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی^۷ (FAHP) با هدف ارزیابی پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق شامل معیارهای اقتصادی، فنی، زیست‌محیطی و اجتماعی-سیاسی در صربستان استفاده کردند. نتایج نشان دادند که انرژی برق‌آبی و زیست‌توده بالاترین پتانسیل را داشتند [۳].

اسماعیل^۸ و همکاران، از روش رتبه‌بندی زوجی تمام گزینه‌های ممکن^۹ (PAPRIKA) با هدف کربن‌زدایی بهینه انرژی هیبریدی برای هر نوع تقاضا در مصر استفاده کردند. نتایج نشان دادند که بهترین پیکربندی انرژی شامل یک مزرعه بادی با نه توربین بادی دو مگاواتی و یک ژنراتور گاز بود [۴].

عوض‌پور^{۱۰} و همکاران از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره بهترین-بدترین^{۱۱} (BWM) و VIKOR به ترتیب برای تعیین وزن شاخص‌ها و اولویت‌بندی فن‌آوری‌های تولید برق در ایران استفاده کردند. نتایج نشان دادند که نیروگاه سیکل ترکیبی در اولویت اول قرار گرفت [۵].

سدادی و بهشتی‌نیا احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر را با استفاده از رویکردی ترکیبی از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره تحت معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی اولویت‌بندی کردند. در این پژوهش از دو روش AHP و منطق دیجیتال^{۱۲} بهبود^{۱۳} (MDL) برای تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها و از روش‌های شباهت به گزینه ایده‌آل فازی^{۱۳} (FTOPSIS) و FVIKOR برای رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده کردند. در گام آخر، روش Copeland برای اجماع نهایی اولویت‌بندی‌های

یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در سال‌های آینده، استخراج، تولید، انتقال و توزیع انرژی در سایه افزایش جمعیت، گسترش صنایع، تغییر اقلیم و رشد اقتصادی است. بسیاری از حامل‌های انرژی سنتی نظیر سوخت‌های فسیلی به دلیل اثرات برگشت‌ناپذیر بر محیط زیست انسانی، گیاهی، جانوری خطرناک محسوب می‌شوند. توسعه منابع انرژی جایگزین سوخت‌های فسیلی نیز دارای چالش‌های متعددی بوده و نیازمند بررسی‌های دقیق با هدف تضمین کارآیی در بلندمدت هستند.

از سوی دیگر، معیارهای توسعه سامانه‌های تولید انرژی بسیار متنوع، گوناگون و گاه متناقض هستند. میزان توسعه‌یافتگی هر منطقه، قلمرو جغرافیایی، ترجیحات سیاسی، نیازهای اجتماعی، نگرش‌های زیست‌محیطی، تأمین فن‌آوری‌های مورد نیاز برای هر سامانه انرژی و نیز هزینه‌ها از عوامل بسیار مهم در سیاست‌گذاری‌های انرژی به‌شمار می‌آیند.

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌عنوان یکی از کاربردی‌ترین ابزار در ارزیابی ابعاد مختلف سیاست‌گذاری‌های انرژی به‌شمار می‌آید [۱]. بسیاری از در زمینه انرژی، از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره برای بررسی وضعیت فعلی یا برنامه‌ریزی آینده انرژی استفاده کردند که در ادامه برخی از آنها آورده می‌شود.

تایلان^۳ و همکاران، مناسب‌ترین سامانه تولید انرژی در عربستان سعودی را با سه روش تصمیم‌گیری چندمعیاره چندمعیاره بهینه‌سازی چندمعیاره و حل سازشی فازی^۴ (FVIKOR) و شباهت به گزینه ایده‌آل^۵ (TOPSIS) براساس نه معیار ارزیابی کردند. نتایج نشان دادند که سامانه

¹⁰- Avazpour

¹¹- Best-Worst Method

¹²- Modified Digital Logic

¹³- Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

³- Taylan

⁴- Fuzzy Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje

⁵- Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

⁶- Pavlović

⁷- Fuzzy Analytic Hierarchy Process

⁸- Ismail

⁹- Potentially All Pairwise Rankings of all possible Alternatives

هایبیا^{۲۰} و همکاران، از مجموعه فازی کسری^{۲۱} در ادغام با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ارزیابی مجموع جمع و ضرب وزنی^{۲۲} (WASPAS) برای ارزیابی سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر استفاده کردند. نتایج نشان دادند که انرژی زمین‌گرمایش به‌عنوان قابل اعتمادترین گزینه شناخته شد [۱۱].

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که تاکنون روش‌های تصمیم‌گیری متعددی برای رتبه‌بندی سامانه‌های انرژی به‌ویژه در مقیاس ملی به‌کار گرفته شده است. تمرکز این مطالعات به‌طور عمده بر بخش عرضه انرژی بوده است و مدیریت سمت تقاضای انرژی علی‌رغم اهمیت آن، مورد بررسی قرار نگرفته است. علاوه بر آن، در بیشتر مطالعات، از یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌تنهایی و یا ادغام رویکردهای مختلف استفاده شده است.

در پژوهش حاضر، نخست وزن معیارها از روش آنتروپی-شانون محاسبه می‌شود. سپس دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ARAS و OCRA برای تعیین برتری مدیریت سمت عرضه یا تقاضای انرژی براساس وزن حاصل از روش آنتروپی-شانون به‌صورت جداگانه در مقیاس حوضه آبریز به‌کار گرفته خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش، گام‌های روش وزن‌دهی آنتروپی شانون برای تعیین وزن معیارها و گام‌های دو روش رتبه‌بندی چندمعیاره شامل روش‌های ARAS و OCRA برای اولویت‌بندی گزینه‌ها شرح داده خواهد شد.

۲-۱- روش وزن‌دهی آنتروپی شانون

شانون^{۲۳} با استفاده از مفهوم آنتروپی و عدم اطمینان از توزیع احتمال پیوسته، روش وزن‌دهی آنتروپی شانون را ارائه داد [۱۲]. در روش آنتروپی شانون، وزن هر معیار

مختلف به‌کار گرفته شد. نتایج نشان دادند که نیروگاه خورشیدی در اولویت نخست قرار داشت [۶].

گلفام گزینه‌های توسعه ظرفیت تولید برق در نیروگاه برق‌آبی مارون را با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ارزیابی چندفاصله‌ای چندمعیاره^{۱۴} (TRUST) تحلیل کرد. نتایج نشان دادند که گزینه سوم شامل ترکیب سه نیروگاه برق‌آبی، خورشیدی و سیکل ترکیبی بهترین گزینه بود [۷]. توحیدی و همکاران، از چهار روش تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل ارزیابی براساس فاصله از میانگین راه‌حل^{۱۵} (EDAS)، AHP، TOPSIS و نظریه مطلوبیت چندشاخصه^{۱۶} (MAUT) برای رتبه‌بندی سه نیروگاه کهنوج، سمنگان و گهران در تأمین برق شرکت فولاد گل‌گهر استفاده کردند. نتایج نشان دادند که نیروگاه سمنگان در رتبه نخست و نیروگاه‌های کهنوج و گهران در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند [۸].

صادقی و العوفی^{۱۷}، پتاسیل فن‌آوری‌های انرژی پاک در دستیابی به اهداف توسعه پایدار را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP، و بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر تحلیل نسبت^{۱۸} (MOORA) براساس معیارهای انتقال انرژی، جغرافیایی، اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و محیطی بررسی کردند. نتایج نشان دادند که انرژی خورشیدی و بادی، گزینه‌های برتر در زمینه‌های ظرفیت تولید، اقتصادی بودن طرح و پذیرش اجتماعی بودند [۹].

اکبرلو و چراغعلی‌خانی، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره حذف و انتخاب، بیان واقعیت^{۱۹} (ELECTRE) برای رتبه‌بندی منابع انرژی تجدیدپذیر در استان مرکزی استفاده کردند. نتایج نشان دادند که فتوولتائیک خورشیدی و انرژی باد به‌ترتیب در رتبه‌های اول و دوم قرار گرفتند [۱۰].

19- ELimination and Choice Expressing REality

20- Habiba

21- Fractional Fuzzy Sets

22- Weighted Aggregated Sum Product Assessment

23- Shannon-Entropy

14- A mulTi-noRmalization mUlti-distance aSSessment

15- Evaluation Based on Distance from Average Solution

16- Multiple Attribute Utility Theory

17- Al-Oufi

18- Multi-Objective Optimization Based on Ratio Analysis

(ث) محاسبه وزن معیارها

در گام آخر، وزن نهایی معیارها مطابق رابطه (۵) محاسبه خواهد شد:

$$w_j = \gamma_j / \sum_{i=1}^m \gamma_j \quad (5)$$

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

۲-۲- روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ARAS

روش تصمیم‌گیری ARAS توسط زاوادسکاس^{۲۵} و تورسکیس^{۲۶} ارائه شد که براساس درک پدیده‌های پیچیده جهان، با استفاده از مقایسه‌های نسبی ساده است [۱۳]. گام‌های این روش در ادامه شرح داده می‌شود.

(الف) تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری اولیه

در این گام عمل‌کرد هر گزینه نسبت به هر یک از معیارها توسط کارشناسان امتیازدهی و ماتریس تصمیم‌گیری مطابق رابطه (۱) تشکیل می‌گردد.

(ب) محاسبه مقدار بهینه هر معیار

در این گام با توجه به مثبت و یا منفی بودن معیارها، مقدار بهینه هر معیار محاسبه می‌شود. مقدار بهینه هر معیار، برای معیارهای مثبت و منفی به ترتیب از روابط (۶) و (۷) محاسبه می‌شوند:

$$x_{oj} = \max_i x_{ij} \quad (6)$$

$$x_{oj} = \min_i x_{ij}^* \quad (7)$$

که در آن، x_{oj} = مقدار بهینه معیار j و $\max_i x_{ij}$ = بیشینه مقدار معیارهای مثبت و $\min_i x_{ij}^*$ = کمینه مقدار معیارهای منفی در یک ستون هستند.

براساس پراکندگی و کاهش عدم قطعیت‌ها محاسبه می‌شود. گام‌های روش آنتروپی شانون در ادامه شرح داده شده است.

(الف) تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

در این گام، ماتریس تصمیم‌گیری برای n معیار و m گزینه، براساس رابطه (۱) تشکیل می‌شود:

$$x = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

که در آن، x_{ij} = درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری، A_i = مجموعه گزینه‌ها و C_j = مجموعه معیارها هستند.

(ب) نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری

در گام دوم، ماتریس تصمیم‌گیری براساس رابطه (۲) نرمال‌سازی می‌شود:

$$\tilde{x}_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (2)$$

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

(پ) درجه آنتروپی^{۲۴}

در گام سوم، درجه آنتروپی که نشان‌دهنده مقدار پراکندگی هر معیار است، از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$\gamma_j = - \frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n \tilde{x}_{ij} \ln \tilde{x}_{ij}, \quad (3)$$

$$(j=1, 2, \dots, m; 0 \leq \gamma_j \leq 1)$$

که در آن، γ_j = درجه آنتروپی هر معیار است.

(ت) انحراف هر معیار

در این گام، انحراف هر معیار با رابطه (۴) محاسبه خواهد شد:

$$\delta_j = 1 - \gamma_j \quad (4)$$

که در آن، δ_j = مقدار انحراف هر معیار است.

26- Turskis

24- Degree of Entropy

25- Zavadskas

ایده آل هستند. گزینه دارای بزرگترین مقدار Q_i به عنوان بهترین گزینه انتخاب خواهد شد.

۳-۲- روش رتبه‌بندی OCRA

پارکان^{۲۷} و وو^{۲۸} روش تصمیم‌گیری چندمعیاره OCRA را پیشنهاد داد [۱۴].

مبنای این روش، استفاده از رویکردی شهودی برای ترکیب نظرات کارشناسان است که با در نظر گرفتن اهمیت نسبی معیارها، گزینه‌ها را به صورت مستقل از یکدیگر ارزیابی می‌کند. در ادامه، گام‌های روش OCRA ارائه خواهد شد.

(الف) تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری تجمیعی

ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری جاصل از تجمیع نظرات کارشناسان تشکیل می‌شود.

(ب) محاسبه رتبه‌بندی تجمیعی گزینه‌ها براساس معیارهای

هزینه

در این گام، رتبه‌بندی تجمیعی گزینه‌ها براساس معیارهای هزینه تعیین می‌شود.

عمل کرد نسبی گزینه i با توجه به معیارهای هزینه با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$\bar{I}_i = \sum_{k=1}^q w_k \frac{\max(x_i) - x_i}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (12)$$

که در آن، \bar{I}_i = عمل کرد نسبی گزینه i با توجه به معیارهای هزینه، q = تعداد معیارهای هزینه، $\max(x_i)$ = بیشینه مقدار هر معیار به ازای گزینه‌های مختلف، $\min(x_i)$ = کمینه مقدار هر معیار به ازای گزینه‌های مختلف و W_k = وزن k امین معیار هزینه، هستند.

(پ) ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده

در این گام، ماتریس تصمیم‌گیری اولیه با روش نرمال‌سازی خطی به ترتیب برای معیارهای مثبت و منفی براساس رابطه (۸) نرمال‌سازی می‌شود:

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}}; & j \in \Omega_{max} \\ \frac{1/x_{ij}^*}{\sum_{i=0}^m x_{ij}}; & j \in \Omega_{min} \end{cases} \quad (8)$$

که در آن، r_{ij} = درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده، Ω_{max} = مجموعه معیارهای مثبت و Ω_{min} = مجموعه معیارهای منفی، هستند.

(ت) ماتریس نرمال شده موزون

در این گام ماتریس نرمال شده موزون، از رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad (9)$$

که در آن، v_{ij} = درایه‌های ماتریس نرمال شده وزن دار است.

(ث) محاسبه عمل کرد بهینه هر گزینه

عمل کرد بهینه هر گزینه براساس رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^n v_{ij}; \quad i = \overline{0, m} \quad (10)$$

که در آن، S_i = عمل کرد بهینه هر گزینه است.

(ج) محاسبه درجه مطلوبیت برای هر گزینه

در این گام درجه مطلوبیت هر گزینه از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$Q_i = \frac{S_i}{S_0} \quad (11)$$

که در آن، Q_i = درجه مطلوبیت برای هر گزینه و عددی بین صفر تا یک، S_0 = شاخص عمل کرد کلی برای گزینه

که در آن $\bar{P}_i =$ رتبه‌بندی نهایی گزینه i است. هرچه مقدار \bar{P}_i برای یک گزینه بیش‌تر باشد، آن گزینه در اولویت بالاتری قرار خواهد گرفت.

۳- مورد مطالعاتی

حوضه آبریز مارون در جنوب غرب ایران، استان خوزستان با مساحت ۳۸۰۱ مترمربع واقع شده است. رودخانه مارون از ارتفاعات کهگیلویه و بویراحمد سرچشمه گرفته و وارد استان خوزستان می‌شود.

سد مخزنی و نیروگاه برق‌آبی مارون بر روی رودخانه مارون و در نزدیکی شهر بهبهان با هدف تأمین آب کشاورزی و برق مصرفی در مناطق مسکونی ساخته شده است.

نیروگاه برق‌آبی مارون با ظرفیت نصب‌شده ۱۵۰ مگاوات ساعت به‌عنوان منبع اصلی تولید برق در منطقه به شمار می‌آید [۱۵].

در سال‌های اخیر، رخدادهایی نظیر افزایش جمعیت و وقوع تغییر اقلیم، تأمین برق ساکنان از طریق نیروگاه برق‌آبی مارون را با چالش‌های جدی روبه‌رو ساخته است که نیازمند تدابیر فوری برای رفع آنها است.

در ادامه مجموعه گزینه‌های پیشنهادی توسط کارشناسان و معیارهای ارزیابی آنها شرح داده خواهد شد. در پژوهش حاضر، از نظرات سه کارشناس در زمینه‌های اقتصاد انرژی، مدیریت منابع آب و محیط زیست برای پیشنهاد گزینه‌ها و معیارها و تکمیل پرسش‌نامه‌های مربوط روش‌های تصمیم‌گیری استفاده شده است.

در سمت عرضه انرژی، کارشناسان افزودن نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی و در سمت تقاضا، استفاده از کولرهای گازی با بهره‌وری بالا به‌ویژه در فصل‌های گرم سال در استان خوزستان را پیشنهاد دادند.

مجموعه معیارهای ارزیابی برای گزینه‌ها شامل دو معیار فنی قابلیت اجرای نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی، تأمین تجهیزات مورد نیاز، یک معیار اجتماعی شامل درصد مشارکت ساکنان منطقه در طرح جایگزینی کولرهای گازی

(ب) محاسبه رتبه‌بندی خطی گزینه‌ها براساس معیارهای هزینه

در این گام، رتبه‌بندی خطی گزینه‌ها با توجه به مجموعه معیارهای هزینه از رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود:

$$\bar{I}_i = \bar{I}_i - \min(\bar{I}_i) \quad (13)$$

که در آن $\bar{I}_i =$ عمل‌کرد خطی گزینه i با توجه به معیارهای هزینه و $\min(\bar{I}_i) =$ کمینه مقدار عمل‌کرد نسبی گزینه i با توجه به معیارهای هزینه است.

(ت) محاسبه رتبه‌بندی تجمیعی گزینه‌ها براساس معیارهای سود

در این گام رتبه‌بندی تجمیعی گزینه‌ها براساس معیارهای سود تعیین می‌شود.

مقدار عمل‌کرد نسبی گزینه i با توجه به معیارهای سود با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود:

$$\bar{O}_i = \sum_{h=1}^b w_h \frac{x_i - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (14)$$

که در آن، $\bar{O}_i =$ عمل‌کرد نسبی گزینه i با توجه به معیارهای سود، $b =$ تعداد معیارهای سود و $w_h =$ وزن h امین معیار سود است.

(ث) محاسبه رتبه‌بندی خطی گزینه‌ها براساس معیارهای سود

در این گام، رتبه‌بندی خطی گزینه‌ها براساس معیارهای سود از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود:

$$\bar{\bar{O}}_i = \bar{O}_i - \min(\bar{O}_i) \quad (15)$$

که در آن $\bar{\bar{O}}_i =$ عمل‌کرد خطی گزینه i با توجه به معیارهای سود و $\min(\bar{O}_i) =$ کمینه مقدار عمل‌کرد نسبی گزینه i با توجه به معیارهای سود است.

(ج) محاسبه رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

در این گام رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها از رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود:

$$\bar{P}_i = \bar{I}_i + \bar{\bar{O}}_i - \min(\bar{I}_i + \bar{\bar{O}}_i) \quad (16)$$

خورشیدی، نقشی کلیدی در تضمین پایداری اقتصادی و فنی طرح‌های توسعه نیروگاه برق مارون دارند. این هزینه‌ها علاوه بر تأثیر مستقیم بر کارایی سامانه برق، بر بازگشت سرمایه‌گذاری اولیه و طول عمر تجهیزات نیز اثرگذار هستند.

جدول ۱- ماتریس تصمیم‌گیری

Table 1. The decision-making matrix

Criteria set	Alternatives	
	A1	A2
C1	76.33	68
C2	55	67.33
C3	59.66	44.33
C4	73	67.33
C5	39.66	62.00
C6	54.33	62.33

A1 = Adding the solar photovoltaic power plant to a hydro power plant, A2 = Replacing current gas air conditioners with energy-efficient gas air conditioners.

C1 = The feasibility of implementing the solar photovoltaic power plant, C2 = Provision of the required equipment for solar power plan, C3 = Participation of residents in the plan to replace gas air conditioners with energy-efficient gas air conditioners, C4 = Initial investment costs, C5 = Operation and maintenance costs of equipment in the electricity supply-side, C6 = Provision of the required costs in the electricity demand side.

جدول ۲- ماتریس نرمال‌سازی شده

Table 2. The normalized decision-making matrix

Criteria set	Alternatives	
	A1	A2
C1	0.5288	0.4711
C2	0.4495	0.5504
C3	0.5737	0.4262
C4	0.5201	0.4798
C5	0.3901	0.6098
C6	0.4657	0.5342

با نوع کولر گازی کم‌مصرف، سه معیار اقتصادی شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری تجهیزات در بخش تأمین برق و تأمین هزینه مورد نیاز در بخش تقاضای برق 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 روش وزن‌دهی آن‌تروپی-شانون شرح داده خواهد شد.

سپس، اولویت‌بندی‌های گزینه‌ها حاصل از دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ARAS و OCRA به صورت جداگانه براساس نتایج وزن‌دهی روش آن‌تروپی-شانون مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت.

۴-۱- نتایج روش آن‌تروپی-شانون

در این بخش، نتایج هریک از مراحل روش آن‌تروپی-شانون آورده خواهد شد.

ماتریس تصمیم‌گیری تجمیعی و ماتریس نرمال‌سازی برای معیارها به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شدند.

هم‌چنین، درجه آن‌تروپی و میزان انحراف هر معیار در جدول ۳ آورده شده است.

پس از محاسبه درجه آن‌تروپی و انحراف از معیار، وزن مجموعه معیارها محاسبه شد که در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴، وزن نهایی مجموعه معیارها از روش آن‌تروپی-شانون را نشان می‌دهد. مطابق جدول ۴، معیار هزینه بهره‌برداری و نگهداری تجهیزات نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی با امتیاز ۰/۵۳۸۶ مهم‌ترین معیار از نظر کارشناسان است.

این امر نشان می‌دهد که هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری از تجهیزات نیروگاه فتوولتائیک

۲-۴- نتایج اولویت‌بندی گزینه‌ها براساس روش‌های ARAS

و OCRA

در این بخش، اولویت‌بندی گزینه‌ها براساس دو روش تصمیم‌گیری ARAS و OCRA بر مبنای نتایج روش آنتروپی-شانون شرح داده خواهد شد.

۱-۲-۴- اولویت‌بندی گزینه‌ها براساس روش ARAS

در این بخش، نتایج روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ARAS براساس وزن معیارها حاصل از روش آنتروپی-شانون ارائه خواهد شد.

در نخستین گام، ماتریس تصمیم‌گیری مطابق جدول ۱ تشکیل و مقدار بهینه هر معیار با توجه به مثبت و منفی بودن آن محاسبه شد. مقدار بهینه هر معیار در شکل ۱ آورده شده است.

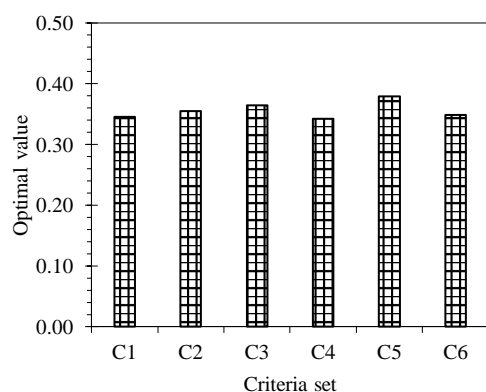


Figure 1. The optimal value of each criteria

شکل ۱- مقدار بهینه هر معیار

پس از محاسبه مقدار بهینه هر معیار، ماتریس نرمال‌سازی شده محاسبه شد که در جدول ۵ آورده شده است.

ماتریس نرمال‌سازی شده موزون در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۳- درجه آنتروپی و میزان انحراف هر معیار

Table 3. Degree of entropy and deviation rate of the degree

(a) Degree of entropy	
The criteria set	Degree of entropy
C1	0.9975
C2	0.9926
C3	0.9842
C4	0.9988
C5	0.9649
C6	0.9966
(b) Deviation rate of the degree	
Criteria set	Deviation rate
C1	0.0024
C2	0.0073
C3	0.0157
C4	0.0011
C4	0.0350
C6	0.0033

جدول ۴- وزن نهایی معیارها

Table 4. Final weight of criteria

The criteria set	Final weight of criteria
C1	0.0369
C2	0.1127
C3	0.2415
C4	0.0180
C5	0.5386
C6	0.0521

معیار مشارکت ساکنان حوضه آبریز مارون در طرح تعویض کولرهای گازی فعلی با کولرهای گازی کم‌مصرف با وزن ۰/۲۴۱۵ در جایگاه دوم قرار دارد.

این امر اهمیت بعد اجتماعی و فرهنگی در موفقیت سیاست‌گذاری‌های انرژی را نشان می‌دهد، زیرا بدون همراهی و پذیرش اجتماعی، بهترین برنامه‌های فنی و اقتصادی نیز با چالش روبه‌رو خواهند شد.

مطابق شکل ۲، گزینه اول یعنی افزودن نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی به نیروگاه برق آبی مارون به ترتیب با مقدار عمل کرد بهینه و درجه مطلوبیت ۰/۳۶۱۴ و ۰/۹۷۸۸ در جایگاه اول قرار گرفت.

افزودن نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی به نیروگاه برق آبی، هم افزایی فنی و اقتصادی را افزایش می دهد. در هنگام روز، استفاده از نور خورشید اوج تقاضای برق را تأمین می کند و نیروگاه برق آبی با ظرفیت ذخیره سازی و انعطاف پذیری تولید، نوسانات انرژی خورشیدی را پوشش می دهد.

این ترکیب متنوع از منابع انرژی تجدیدپذیر، پایداری تولید شبکه برق را بالا برده، هزینه نهایی تولید انرژی را کاهش می دهد.

همچنین، خطرپذیری کمتری نسبت به راه کارهای مدیریت سمت تقاضای برق دارد.

۴-۲-۲- اولویت بندی گزینه ها براساس روش OCRA

در این بخش، رتبه بندی گزینه ها براساس روش تصمیم گیری OCRA ارائه خواهد شد.

ماتریس های تصمیم گیری با توجه به معیارهای مثبت و منفی به ترتیب در جدول های ۷ و ۸ آورده شده است.

جدول ۷- ماتریس تصمیم گیری براساس معیارهای مثبت

Table 7. The decision-making matrix based on positive criteria

Criteria set	Alternatives	
	A1	A2
C1	76.33	68
C2	55	67.33
C3	59.66	44.33

جدول ۵- ماتریس نرمال سازی شده

Table 5. The normalized decision-making matrix

Criteria set	Alternatives	
	A1	A2
C1	0.3459	0.3082
C2	0.2900	0.3550
C3	0.3646	0.2709
C4	0.3156	0.3422
C5	0.3788	0.2424
C6	0.3482	0.3035

جدول ۶- ماتریس نرمال سازی شده موزون

Table 6. The normalized weighted decision-making matrix

Criteria set	Alternatives	
	A1	A2
C1	0.0128	0.0114
C2	0.0327	0.0400
C3	0.0881	0.0645
C4	0.0057	0.0062
C5	0.2040	0.1305
C6	0.0181	0.0158

در گام آخر، مقادیر عمل کرد بهینه و درجه مطلوبیت هر گزینه محاسبه شد که در شکل ۲ نشان داده شده است.

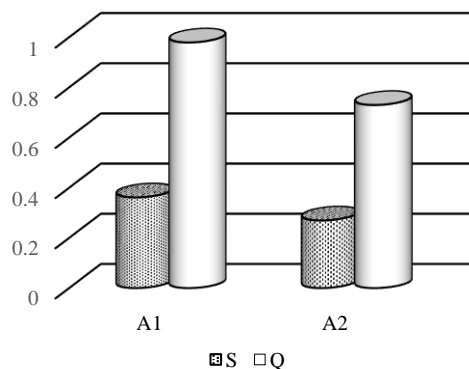


Figure 2. The optimality function and degree of utility of each alternative

شکل ۲- مقادیر عمل کرد بهینه و درجه مطلوبیت هر گزینه

جدول ۱۱- رتبه‌بندی گزینه‌ها

Table 11. Ranking of the alternatives

Alternatives	\bar{P}_i	Ranking
A1	0.7384	1
A2	0	2

مطابق جدول ۱۱، گزینه اول یعنی افزودن نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی به نیروگاه برق‌آبی مارون در روش OCRA نیز در رتبه اول قرار گرفت. این امر نشان‌دهنده آن است که تأمین منبع انرژی برای تولید برق از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

هرچند مدیریت تقاضای برق نقش بسیار مهمی در کاهش ناترازی برق دارد، اما تا زمانی که منبع انرژی تأمین نشود، کسری برق از میان نخواهد رفت و کاهش مصرف برق توسط مصرف‌کنندگان نیز اثر قابل توجهی بر کاهش ناترازی نخواهد داشت.

۵- نتیجه‌گیری

تأمین پایدار برق، یکی از مؤلفه‌های اصلی برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل است. این در حالی است که هنوز بسیاری از ساکنان در مناطق مختلف جهان از دسترسی به برق محروم هستند و پیش‌بینی می‌شود این تعداد در سال‌های آینده افزایش یابد.

بنابراین، تدوین راه‌بردهایی که بتوانند در بلندمدت دسترسی به برق را تضمین نماید از ملزومات سیاست‌گذاری پایدار در هر کشور است.

ناترازی برق به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه یکی از مهم‌ترین چالش‌های فعلی در صنعت برق است که رفع آن برای رشد اجتماعی-اقتصادی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

غلبه بر ناترازی برق بسیار چالش برانگیز است زیرا عوامل متعددی نظیر سیاست‌گذاری‌های کلان هر کشور، وضعیت اقلیمی و شرایط منطقه‌ای، هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای توسعه هر فن‌آوری، سیاست‌های مدیریت تقاضای برق بر رخداد آن مؤثر هستند. از این‌رو،

جدول ۸- ماتریس تصمیم‌گیری براساس معیارهای منفی

Table 8. The decision-making matrix based on negative criteria

Criteria set	Alternatives	
	A1	A2
C4	73	67.33
C5	39.66	62.00
C6	54.33	62.33

ماتریس رتبه‌بندی تجمیعی گزینه‌ها با توجه به معیارهای مثبت در جدول ۹ آورده شده است.

جدول ۹- ماتریس رتبه‌بندی تجمیعی براساس معیارهای مثبت

Table 9. The decision-making matrix based on positive criteria

Alternatives	Positive criteria			\bar{I}
	C1	C2	C3	
A1	0.0369	0	0.2415	0.5907
A2	0	0.1127	0	0.0181

ماتریس رتبه‌بندی تجمیعی گزینه‌ها با توجه به معیارهای منفی در جدول ۱۰ آورده شده است.

جدول ۱۰- ماتریس رتبه‌بندی تجمیعی براساس معیارهای منفی

Table 10. The decision-making matrix based on negative criteria

Alternatives	Negative criteria			\bar{O}
	C4	C5	C6	
A1	0	0.5385	0.0521	0.2785
A2	0.0181	0	0	0.1127

در گام آخر، رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها با توجه به مجموعه معیارهای مثبت و منفی به‌دست آمد که در جدول ۱۱، نشان داده شده است.

اتخاذ راهبردی که بتواند تمام ابعاد مسأله را تأمین کند دشوار است.

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ابزاری کارآمد برای حل مسائل چندبعدی است. اما رویکردهای متعددی در ارائه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره وجود دارد که در یک مسأله یکسان، هر یک می‌تواند پاسخی منحصر به فرد داشته باشد.

به کارگیری روش‌های مختلف تصمیم‌گیری و مقایسه نتایج آنها به‌ویژه در مسائل صنعت برق با ذی‌نفعان متعدد، می‌تواند به سیاست‌گذاری در انتخاب راه‌حل بهینه کمک شایانی انجام دهد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان 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. او روش‌های تحلیلی را تأیید کرد. پروین گلفام بر یافته‌های این پژوهش نظارت داشت. او نتایج را بحث نمود و نسخه نهایی مقاله را تهیه نمود.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان 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] Rezaei M. A multi-criteria decision-making approach for sustainable energy prioritization. *Environmental Energy and Economic Research*. 2021 Dec 10; 6(1): 1-19. <https://doi.org/10.22097/eeer.2021.292613.1207>.
- [2] Taylan O, Alamoudi R, Kabli M, Aljifri A, Ramzi F, Herrera-Viedma E. Assessment of energy systems using extended Fuzzy AHP, Fuzzy VIKOR, and TOPSIS approaches to manage non-cooperative opinions. *Sustainability*. 2020 Mar 31; 12(7): 2745. <https://doi.org/10.3390/su12072745>.
- [3] Pavlović B, Ivezić D, Živković M. A multi-criteria approach for assessing the potential of renewable energy sources for electricity generation: Case Serbia. *Energy Reports*. 2021 Nov 26; 7: 8624-8632. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.02.072>.
- [4] Ismail M, Alham MH, Ibrahim DK. A novel approach for optimal hybrid energy decarbonization using multi-criteria decision analysis: Abu Rudeis, Egypt as a case study. *Energy Conversion and Management*. 2023 May 30; 290: 117199. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117199>.
- [5] Avazpour M, Zarei J, Alinezhad, E. Evaluation and prioritization of electricity generation technologies in Iran using a multi-criteria decision-making approach. *System Engineering and Productivity*. 2025 Jul 13; 5(3): 179-198. <http://doi.org/10.22034/sep.2025.2063697.1333> [In Persian].
- [6] Sadady F, Beheshtinia MA. Providing a hybrid framework for prioritizing the construction of renewable power plants with sustainable development considerations. *Managerial Modelling in Sustainable Development*. 2025 Oct 06; 1(2): 1-28. <http://doi.org/10.22075/mmsd.2025.38868.1018> [In Persian].
- [7] Golfam P. Analyzing power plant capacity expansion alternatives with multi-criteria decision-making methods. *Water Resources and Climate Change*. (2025); 1(2): 57-70. <http://doi.org/10.22091/wrcc.2025.12973.1015> [In Persian].

- [8] Tohidi SA, Mousazadeh M, Mirzaei Ghazani M, Safaie, N. Selecting the most reliable electricity supplier for Gol Gohar steel factories: ranking of power plants using multi-criteria decision-making methods. *Iranian Energy Economics*. 2025 May 06; 1(4): <http://doi.org/10.22054/jiee.2025.82004.2114> [In Persian].
- [9] Sadeghi SK, Al-Oufi RGM. Multi-Criteria decision analysis of clean energy technologies. *Journal of Society and the Environment*. 2025 Apr 17; 2(2): 159-191. <http://doi.org/10.22080/jsn.2025.5690> [In Persian].
- [10] Akbarlou M, Cheraghlikhani A. Using multi-criteria decision-making method for evaluating and ranking renewable energy sources: A case study of Markazi province. *Strategic Planning for Energy and the Environment*. 2025 Mar 03; 44(1): 35-54. <http://doi.org/10.13052/spee1048-5236.4412>.
- [11] Habiba U, Zhang R, Sarwar MA, Gong Y. A robust fractional fuzzy decision support framework for sustainable energy planning. *Scientific Reports*. 2025 Aug 26; 15: 31503. <http://doi.org/10.1038/s41598-025-16874-w>.
- [12] Shannon CE. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*. 1948; 27: 379-423 and 623-656.
- [13] Zavadskas KM, Turskis Z. A new Additive Ratio ASsessment (ARAS) method in multi-criteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*. 2010 Apr 27; 16(2): 159-172, <http://doi.org/10.1038/s41598-025-16874-w>.
- [14] Parkan C, Wu ML. Comparison of three modern multicriteria decision-making tools. *International Journal of Systems Science*. 2010 Nov 26; 31(4): 497-517. <http://doi.org/10.1080/002077200291082>.
- [15] Golfam P, Ashofteh PS. Performance indexes analysis of the reservoir-hydropower plant system affected by climate change. *Water Resources Management*. 2022 Sep 5; 36: 5127-5162. <http://doi.org/10.1007/s11269-022-03295-x>.