Amirkabir Journal of Civil Engineering

Amirkabir J. Civil Eng., 52(12) (2021) 761-764
DOI: 10.22060/ceej.2019.16556.6270

Environmental risk assessment of Alborz Dam using Topsis and Fuzzy Topsis methods

Leila moradi [1,*] , Taher Rajaee [2], Maedeh Sadeghpoor [3]

[1] Masters student, Faculty of Engineering, University of Qom, Iran
[2] Associate Professor, Faculty of Engineering, Qom University, Iran
[3] Assistant Professor, Faculty of Engineering, Islamic Azad University of Qaemshahr, Iran

ABSTRACT: The purpose of this study was to evaluate the environmental risks of Alborz Dam on Bababrood River in Babol city, using multi-criteria decision making methods. Initially, environmental identification of the study area was carried out, Then a list of environmental risks identified in the construction and exploitation phase was prepared and presented to environmental experts familiar with the Alborz dam area in the form of a questionnaire. environmental risks scored by environmental experts based on three indicators, Severity of occurrence, Probability of occurrence, Then environmental risks ranking was performed using TOPSIS and Fuzzy TOPSIS methods. The most important risks of Alborz dam using TOPSIS method in the construction phase, respectively: Was Obtained, Destruction of forest within the dam with a score of 0.926, Displacement of reservoir residents with a score of 0.837 And in the phase of operation: Thermal stratification of dam reservoir with a score of 0.847, Landslide with a score of 0.751. Also, the most important risks of the Alborz dam using the Fuzzy Topsis method in the construction phase, respectively: Was Obtained, Displacement of reservoir residents with a score of 0.682, Demolition of forest within the dam with a score of 0.677, And in the phase of operation, respectively: Thermal stratification of dam reservoir with a score of 0.645, Landslide with a score of 0.630. Finally, one method of integration (average rating method) was used to resolve the conflict between the results.

Review History:
Received: 2019-06-16
Revised: 2019-09-24
Accepted: 2019-09-24
Available Online: 2019-10-23

Keywords:
Environmental risk assessment
multi-criteria decision-making
Topsis
Fuzzy Topsis
Alborz Dam.

1. INTRODUCTION

Environmental risk assessment studies have been identified to eliminate or mitigate the adverse consequences of large projects, including the construction of necessary dams. Using multi-criteria decision-making methods in dam environmental risk assessment, it makes the right decision making process and selects the best option from a set of options. A review of the research background has shown that many risk assessment projects have been carried out using multi-criteria decision making techniques. (Donjin *et al.*, 2005) in 73rd Annual Meeting of ICOLD[1] In an article they mentioned the safety assessment of dams and AHP have introduced an effective method in this evaluation [1]. (karamuz *et al.*, 2009) They identified the hazards to the Karaj Dam reservoir Then, based on Swot analysis, the existing conditions were evaluated for vulnerability [2]. (Rezaian *et al.*, 2016) Using TOPSIS and RAM-D Methods to Assess Environmental Risk of Pavehrood Dam in Zanjan during Construction [3]. (Malmasi *et al.*, 2017) To Rank the Environmental Risks of Kurdistan Azad Dam in Construction and Operation Phase, were used Topsis, Haw and Electre methods [4].

In the present study, the environmental risks of Alborz Dam in the construction phase were evaluated separately in three parts of physical environment, biological environment and economic, social and cultural environment and in the exploitation phase in two parts physical and biological environment. In order to rank the existing risks, a combination of TOPSIS and Fuzzy TOPSIS methods has been used.

2- METHODOLOGY

Case study

Alborz Reservoir Dam on the Babol River is 45 km southeast of Babol and 50 km southwest of Ghaemshahr. Alborz reservoir dam is a Rock-Fill type with clay core. design Flood deviation system, floods with a 1000-year return period and a peak discharge of 370 m^3 / s have been calculated [5].

After studying the environmental impact assessment of Alborz Dam, the background of research and potential risks in similar dam construction projects, Alborz Dam environmental risks were identified. Then the identified risks based on three indices, risk severity, probability of occurrence and risk importance, were assessed by a questionnaire by 10 environmental experts familiar with the field of dam and with a master's or doctorate degree.

After identifying the environmental risks of Alborz Dam and scoring them, multi-criteria decision making methods, TOPSIS and fuzzy TOPSIS were used to rank the environmental risks.

[1] International Commission on Large Dam

*Corresponding author's email: Leilamoradi.ce@gmail.com

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.

TOPSIS Method

In order to rank the environmental risks of Alborz Dam using TOPSIS method, all of the considered indices were weighted using Shannon entropy method. Then the ranking was done using TOPSIS model [6].

Steps of the Shannon Entropy Method:

$$Pij = \frac{aij}{\sum_{i=1}^{m} aij} \tag{1}$$

$$Ej = -k\sum_{i=1}^{m}[Pij \ln Pij], K = \frac{1}{\ln(m)} \tag{2}$$

$$dj = 1 - Ej \tag{3}$$

$$Wj = \frac{dj}{\sum_{j=1}^{n} dj} \tag{4}$$

Steps of the TOPSIS Method:

$$Aij = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$nij = \frac{aij}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} aij^{2}}} \tag{6}$$

$$V = N \times W_{n\times n} \tag{7}$$

8) Determine the ideal positive solution and the ideal negative solution:

Vj^{+}: (Ideal positive solution): The best values of any matrix V index.

Vj^{-}: (The ideal negative solution): Worst values of any matrix V index.

$$di^{+} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(Vij - Vj^{+})^{2}}, i = 1,2,...,m \tag{9}$$

$$di^{-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(Vij - Vj^{-})^{2}}, i = 1,2,...,m \tag{10}$$

$$Ci = \frac{di^{-}}{di^{-} + di^{+}} \tag{11}$$

12) Options are ranked based on the Ci value. The option with more Ci is a priority.

Fuzzy TOPSIS Method:

Steps of the Fuzzy TOPSIS Method:

$$\tilde{D} = \begin{array}{c} \\ A1 \\ A2 \\ . \\ . \\ . \\ Am \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \cdots & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \tag{13}$$

$$\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^{*}}, \frac{b_{ij}}{c_j^{*}}, \frac{c_{ij}}{c_j^{*}}\right) \quad and \tag{14}$$

$$c_j^{*} = \max c_{ij} \quad \text{(benefit criteria)}$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^{-}}{c_{ij}}, \frac{a_j^{-}}{b_{ij}}, \frac{a_j^{-}}{a_{ij}}\right) \quad and \tag{15}$$

$$a_j^{-} = \min a_{ij} \quad \text{(cost criteria)}$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(.)\tilde{w}_j, \tilde{w}_j = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \cdots, \tilde{w}_n) \tag{16}$$

$$CC_i = \frac{d_i^{-}}{d_i^{*}}, \quad i = 1,2,...,m \tag{17}$$

$$A^{-} = (v_1^{-}, v_2^{-}, ..., v_n^{-}) \ where$$

$$v_j^{-} = \min\{v_{ij1}\}, i = 1,2,...,m; j = 1,2,...,n \tag{18}$$

$$d_i^{*} = \sum_{j=1}^{n} d_v(v_{ij}^{-}, v_j^{*}), \ i = 1,2,...,m$$

$$d_i^{-} = \sum_{j=1}^{n} d_v(v_{ij}^{-}, v_j^{-}), \ i = 1,2,...,m$$

$$d = \sqrt{\frac{1}{3}\times((a-v_1)^{2} + (b-v_2)^{2} + (c-v_3)^{2})} \tag{19}$$

$$CC_i = \frac{d_i^{-}}{d_i^{-} + d_i^{*}}, \quad i = 1,2,...,m$$

20) Options are ranked based on the CCi value. The option with more CCi is a priority.

3. RESULTS AND DISCUSSION

At risk identification stage, 26 risk in the construction phase and 22 risk in the operational phase were determined. The results of expert ratings of risks were analyzed in Excel software and the geometric mean of each option was obtained.

Then, using TOPSIS Method, the risks were ranked based on three indicators of risk severity, probability of occurrence and importance of risk. The results are shown, The most important risks of Alborz dam using TOPSIS method in the construction phase, respectively: Was Obtained, Destruction of forest within the dam with a score of 0.926, Displacement of reservoir residents with a score of 0.837 And in the phase of operation: Thermal stratification of dam reservoir with a score of 0.847, Landslide with a score of 0.751. Also, ranking

was performed using fuzzy TOPSIS method. The results are shown, the most important risks of the Alborz dam using the Fuzzy Topsis method in the construction phase, respectively: Was Obtained, Displacement of reservoir residents with a score of 0.682, Destruction of forest within the dam with a score of 0.677, And in the phase of operation, respectively: Thermal stratification of dam reservoir with a score of 0.645, Landslide with a score of 0.630.

4. CONCLUSIONS

According to the results of the environmental risk identification stage, Alborz Dam had the most negative impact on the environment in the construction phase with 26 identified risks. Most of the risk factors in this phase are related to the process of construction of dam reservoir, excavation and embankment, Withdrawals from loan sources, blasting and so on.

According to the ranking, the most important risks in the construction phase are related to the biological environment and then the economic, social and cultural environment, and the most important risks during the operation phase occurred in the physical environment.

The TOPSIS method is a precise yet simple method that can be used for any number of options and criteria, positive and negative, qualitative and quantitative. But the uncertainties in this model are not taken into account, with the development of the fuzzy model the weaknesses of this method are eliminated.

REFERENCES

[1] Z. Dongjian, G. Chongshi, L. Peng, Safety synthesis assessment of river-way levee, in: 73rd Annual Meeting of ICOLD, Tehran, Iran, May, 2005, pp. 1-6.

[2] M. Karamouz, M. Dehghani, S.A. Asadollahi, A. Ahmadi, Assessment of Dams' Vulnerability with Strategic Management Approach: A Case Study, in: Second national congress of dam construction, Islamic Azad University of Zanjan 2009.

[3] S. rezaian, S.A. jozi, S. ataee, Assessing Environmental Risk Caused by Zanjan's Paverood Dam in its Construction Stage Using a combination of TOPSIS and RAM-D Methods, Journal of Engineering Geology, 10(2) (2016) 3445-3464.

[4] S. Malmasi, Z. Elahe Dad, Environmental risk assessment of dam construction projects using integrated multi-criteria decision making Case study: Azad Dam in Kurdistan province of Iran, (2017).

[5] M.a.G.R.W. Company, Environmental Impact Assessment Studies of Alborz Dam, 2002.

[6] C.-L. Hwang, Kwangsun Yoonet al. Multiple attribute decision making: methods and applications: a state-of-the-art survey, Springer-Verlag New York, 24 (1981) 113.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

L. Moradi, T. Rajaee, M. Sadeghpoor, Environmental risk assessment of Alborz Dam using Topsis and Fuzzy Topsis methods, Amirkabir J. Civil Eng., 52(12) (2021) 761-764.

DOI: 10.22060/ceej.2019.16556.6270

This page intentionally left blank

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۲ شماره ۱۲، سال ۱۳۹۹، صفحات ۳۰۹۱ تا ۳۱۰۸
DOI: 10.22060/ceej.2019.16556.6270

ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز با استفاده از روش‌های تاپسیس و تاپسیس فازی

لیلا مرادی [۱*]، طاهر رجایی [۲]، مائده صادقپور حاجی [۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران
[۲] دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران
[۳] استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قائمشهر، ایران

خلاصه: هدف از انجام این تحقیق ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز برروی رودخانه بابلرود واقع در شهرستان بابل، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه بود. در ابتدا به شناسایی محیط‌زیست محدوده مورد مطالعه پرداخته شد و سپس لیستی از ریسک‌های زیست‌محیطی شناسایی شده، در فاز ساختمانی و بهره‌برداری تهیه و در قالب پرسشنامه در اختیار کارشناسان محیط‌زیست و آشنا با حوزه سد البرز قرار داده شد. ریسک‌های زیست‌محیطی براساس سه شاخص شدت وقوع، احتمال وقوع و اهمیت ریسک، طبق طیف امتیازدهی لیکرت توسط کارشناسان امتیازدهی گردید، سپس با استفاده از روش‌های تاپسیس و تاپسیس فازی رتبه‌بندی ریسک‌های زیست‌محیطی انجام شد. مهمترین ریسک‌های سد البرز با استفاده از روش تاپسیس در فاز ساختمانی به ترتیب: تخریب جنگل در محدوده سد با امتیاز ۰/۹۲۶ ، جابه‌جایی ساکنان مخزن سد با امتیاز ۰/۸۳۷ و در فاز بهره‌برداری به ترتیب: لایه‌بندی حرارتی مخزن سد با امتیاز ۰/۸۴۷ ، زمین لغزش با امتیاز ۰/۷۵۱ ، همچنین مهمترین ریسک‌های سد البرز با استفاده از روش تاپسیس فازی در فاز ساختمانی به ترتیب: جابه‌جایی ساکنان مخزن سد با امتیاز ۰/۶۸۲ ، تخریب جنگل در محدوده سد با امتیاز ۰/۶۷۷ و در فاز بهره‌برداری به‌ترتیب: لایه‌بندی حرارتی مخزن سد با امتیاز ۰/۶۴۵ ، زمین لغزش با امتیاز ۰/۶۳۰ به دست آمد و در نهایت برای رفع تعارض بین نتایج از یکی از روش‌های ادغام (روش میانگین رتبه‌ها) استفاده شد.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۳۹۸-۰۳-۲۱
بازنگری: ۱۳۹۸-۰۷-۰۲
پذیرش: ۱۳۹۸-۰۷-۰۲
ارائه آنلاین: ۱۳۹۸-۰۸-۰۱

کلمات کلیدی:
ارزیابی ریسک زیست‌محیطی
تصمیم‌گیری چند شاخصه
تاپسیس
تاپسیس فازی
سد البرز

۱-مقدمه

عدم توجه به پیامدهای زیست‌محیطی بلند مدت پروژه‌ها در موارد زیادی مشکلات اساسی، برای زندگی انسان در پی داشته است. کاهش کیفیت محیط و زندگی انسان‌ها، نارضایتی عمومی و تخریب منابع طبیعی از این مشکلات بشمار می‌روند. به همین جهت مطالعات ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی برای حذف یا کاهش پیامدهای نامطلوب پروژه‌های بزرگ از جمله احداث سد ضروری تشخیص داده شده. استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره[۱] در ارزیابی ریسک زیست‌محیطی سد، باعث انجام فرآیند تصمیم‌گیری صحیح و انتخاب گزینه برتر از میان مجموعه‌ای از گزینه‌ها شده و با رتبه‌بندی گزینه‌ها، برای تصمیم‌گیر، فرصتی جهت مدیریت صحیح ریسک و انتخاب روش مناسب کنترل ریسک فراهم آورده. مروری بر ادبیات و سابقه بهره گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه نشان داده، پروژه‌های زیادی در قالب ارزیابی ریسک با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه انجام شده.

ماتالوچی[۲] ، (۲۰۰۲) در ششمین کنفرانس ارزیابی و مدیریت ریسک در پورتوریکو آمریکا[۳] (PSAM)، مقاله‌ی « متدولوژی ارزیابی ریسک برای سدها» ارائه شد که این مقاله به شرح و توضیح روش

1 Multi Criteria Decision Making

2 Matalucci

3 Probabilistic Safety Assessment and Management

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: L.moradi@stu.qom.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

RAM-D[1] پرداخت و ذکر کرد که این روش توسط آزمایشگاه ملی سندیا برای تجزیه و تحلیل ماموریت‌های سد، اتفاقات ناخواسته‌ای که باعث جلوگیری از توفیق سدها می‌شوند، ناسازگاری‌های بالقوه و ویژگی‌های آن‌ها، گزینه‌های کاهش خطرها و جایگزین‌های کاهش ریسک ایجاد شده است [۱]. هارالد[2] ، (۲۰۰۴) در مقاله ای به خلاصه‌ای از متدولوژی‌های ارزیابی ریسک سدها که در سطح جهانی و آمریکا رایج هستند، اشاره کردند و با استفاده از جدول های مختلف به مقایسه این روش‌ها پرداختند. در قسمت بعد به معرفی تکنیک‌های تصمیم‌گیری اشاره کردند و با بیان مطالعات موردی به شرح بیشتر موضوع پرداختند [۲]. دانجین[3] ، (۲۰۰۵) در هفتاد و سومین کنفرانس سالانه[4] (ICOLD) در مقاله‌ای به مباحثی در مورد ارزیابی ایمنی سد ها و سازه‌های آبی اشاره کردند و روش (AHP)[5] را یک روش موثر در این ارزیابی معرفی کردند. در ابتدا به عوامل موثر در ایمنی پروژه‌ها و سپس به تشکیل سلسله مراتبی و تعیین وزن معیارها پرداختند [۳]. رضایی‌فر و همکاران ، (۱۳۸۴) در پژوهشی که تحت‌عنوان رتبه‌بندی ریسک پروژه با استفاده از فرآیند تصمیم‌گیری چند شاخصه انجام شد، روش‌های مناسب تصمیم‌گیری چند شاخصه برای حل مسئله رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه را معرفی کردند. در این مطالعه با کاربرد این رویکرد در رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه واقعی صنعت انرژی در کشور به استفاده از روش (TOPSIS)[6] پرداختند [۴]. فرانسیسکو[7] ، (۲۰۰۷) در مقاله‌ای باعنوان «طراحی مدلی برای ارزیابی سدهای ذخیره شیرآبه» به ارائه روشی برای ارزیابی ریسک محیطزیستی سدهای شیرآبه پرداختند و متذکر شدند که شکست این گونه سدها با توجه به مواد زیان‌آور انباشته شده در آن‌ها فاجعه محیطزیستی برای پایین‌دست سد دارند. این مدل دارای سه گام بود:۱ - منحنی‌های رتبه‌بندی ویژگی‌های سد که در ریسک محیطزیستی نقش داشتند، ۲- وزن‌دهی به هر مشخصه، ۳- تعیین عناصر محیطزیستی که تحت تاثیر شیرآبه قرار داشتند، سپس شاخص ریسک محیطزیستی محاسبه شد و براساس آن میزان ریسک محیطزیستی برآورد شد [۵]. کارآموز ، (۱۳۸۸) در مقاله‌ای باعنوان «ارزیابی آسیب‌پذیری سدها با رویکرد مدیریت راهبردی مطالعه موردی: سد کرج » ابتدا مخاطرات وارده به مخزن سد را شناسایی کردند، سپس براساس مدل DSR به عوامل داخلی و خارجی تقسیم‌بندی کردند. در ادامه، آسیب‌های ناشی از مخاطرات وارده به مخزن را تعیین کردند، سپس براساس تحلیل SWOT [8] شرایط موجود از نظر آسیب‌پذیری بررسی کردند [۶]. جوزی و همکاران ، (۱۳۹۱) به منظور ارزیابی ریسک سد رودبار لرستان از روش تلفیقی تصمیم‌گیری چند شاخصه و مدل RAM-D استفاده کردند. ابتدا فهرستی از عوامل ریسک‌های محیطزیستی تهیه کردند و در قالب پرسشنامه در اختیار کارشناسان حوزه سد و محیطزیست قرار دادند و در نتیجه تعداد ۳۳ عامل ریسک شناسایی شد. نتایج حاصل از پرسشنامه‌ها با روش TOPSIS مورد تجزیه و تحلیل و اولویت‌بندی قرار گرفت و سپس با روش AHP ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌ها در ۶ گروه ریسک براساس شدت و احتمال وقوع با نرم‌افزار Expert Choice صورت گرفت. در مرحله بعد با توجه به تفاوت نتایج حاصل از دو روش TOPSIS و AHP به کمک روش‌های ادغام، نتایج حاصل را با هم تلفیق و در آخر تعداد ۱۰ ریسک برای سد رودبار لرستان در فاز ساختمانی به دست آوردند. سپس به کمک روش RAM-D این ریسک‌ها را ارزیابی کردند [۷]. درویشی و همکاران ، (۱۳۹۲) برای اولویت‌بندی عوامل ریسک از روش دلفی استفاده کردند. برای ارزیابی ریسک محیطزیستی نیز ابتدا با استفاده از روش آنالیز مقدماتی خطر[9] (PHA) ریسک‌های مهم را تعیین کردند و سپس با استفاده از روش‌های TOPSIS و مجموع ساده وزین[10] (SAW) اولویت بندی صورت گرفت [۸]. قاسم پور نیاری و فقائی ، (۱۳۹۳) در اولین کنفرانس ملی آلودگی‌های محیطزیست با محوریت زمین پاک در مقاله‌ای به منظور ارزیابی ریسک زیست‌محیطی سد عمارت در استان اردبیل از روش ویلیام فاین[11] استفاده کردند، به طوری که پس از شناسایی ریسک‌های موجود در منطقه و با توجه به شدت اثر، احتمال وقوع و پیامدهای احتمالی مواجهه آن با محیطزیست، کار ارزیابی و طبقه‌بندی ریسک‌ها را انجام دادند [۹]. جعفرزاده حقیقی‌فر و همکاران ، (۱۳۹۴) به منظور ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی سد جره رامهرمز، در مرحله اول به شناسایی حوادث و عوامل ریسک و

1 Risk Assessment Methodology for Dams
2 Harald
3 Donjiin
4 International Commission on Large Dam
5 Analytical Hierarchy Process
6 Technique for Order-Preference by Similarity to ideal Solution
7 Francisco

8 Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
9 [18] Preliminary Hazard Analysis
10 Simple Additive Weighting
11 Wiliam Fine Method

جنبه‌های مربوط به آن پرداختند، سپس سه شاخص شدت، احتمال وقوع و گستره آلودگی برای رتبه‌بندی ریسک‌ها انتخاب شدند. نمره‌دهی به این شاخص‌ها توسط گروه کارشناس و براساس جداول معیار روش EFMEA صورت گرفت. به منظور وزن‌دهی به معیارها از تکنیک آنتروپی شانون استفاده کردند و در نهایت ریسک‌های شناسایی شده را توسط روش TOPSIS اولویت‌بندی کردند [۱۰]. رضایان و همکاران ، (۱۳۹۵) برای ارزیابی ریسک محیط‌زیستی سد پاوه‌رود زنجان در مرحله ساختمانی از تلفیق روش‌های TOPSIS و RAM-D استفاده کردند [۱۱]. اله داد و همکاران ، (۱۳۹۶) برای ارزیابی ریسک زیست‌محیطی سد آزاد[1] واقع در کردستان ابتدا با استفاده از پرسشنامه دلفی و نظر کارشناسان خبره در این زمینه، عوامل ایجادکننده ریسک‌های ناشی از فعالیت‌های فاز ساختمانی و فاز بهره‌برداری سد آزاد را شناسایی کردند و برای هرکدام از این عوامل سه معیار اهمیت، شدت و احتمال وقوع تعریف کردند که با استفاده از روش آنتروپی وزن‌دهی صورت گرفت. جهت اولویت‌بندی ریسک‌ها از سه روش TOPSIS,HAW,ELECTRE از سری روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده کردند [۱۲].

در تحقیق حاضر ریسک های زیست محیطی سد البرز در فاز ساختمانی به‌طور مجزا در سه بخش محیط زیست فیزیکی، محیط زیست بیولوژیکی و محیط زیست اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی و در فاز بهره برداری در دو بخش محیط زیست فیزیکی و بیولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفته اند. هدف از این مقاله رتبه بندی ریسک های زیست محیطی سد البرز با استفاده از روش های تصمیم گیری چند شاخصه تاپسیس و تاپسیس فازی در دو مرحله ساختمانی و بهره برداری است. از آنجایی که در روش شباهت به گزینه ایده‌آل کلاسیک (TOPSIS)، برای تعیین وزن معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها از مقادیر دقیق و معین استفاده شده، در حالی که در بسیاری از مواقع تفکرات انسان با عدم قطعیت همراه است و این عدم قطعیت در تصمیم‌گیری تاثیرگذار است. در این گونه موارد بهتر است از روش‌های تصمیم‌گیری فازی استفاده شود که روش تاپسیس فازی (شباهت به گزینه ایده‌آل فازی) یکی از این روش‌ها است. از این‌رو در تحقیق حاضر به‌منظور رتبه بندی ریسک های موجود از تلفیق روش های تاپسیس و تاپسیس فازی استفاده شده است و در نهایت با توجه به نتایج به‌دست آمده از اولویت بندی به ارائه راهکارهای مدیریتی جهت کاهش ریسک ها پرداخته شده است.

۲-مواد و روش ها

۲-۱-معرفی منطقه مورد مطالعه

از نظر موقعیت جغرافیایی، سد مخزنی البرز برروی رودخانه بابل و پس از تلاقی شاخه‌های گزو و کرسنگ (چاخانی) در ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی بابل و ۵۰ کیلومتری جنوب غربی قائمشهر و در فاصله ۲۶۹ کیلومتری شمال شرقی تهران در ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی انتخاب و تعیین شده است. سد مخزنی البرز از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی بوده و سیستم انحراف آن، جهت احداث سد و سازه‌های جنبی شامل فرازبند، تونل‌های انحراف و نشیب‌بند است. سیلاب طراحی سیستم انحراف، سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله و حداکثر دبی لحظه‌ای ۳۷۰ مترمکعب در ثانیه محاسبه شده است. سازه‌های اصلی طرح، سد سنگریزه‌ای با هسته رسی قائم، با فرض برداشت کامل پی آبرفتی، به ارتفاع حدود ۷۸ متر می‌رسد. هدف اصلی سد، ذخیره آب و تامین نیازهای آبی حدود ۵۱۰۰۰ هکتار از اراضی تحت پوشش شبکه‌های مدرن و سنتی است و تولید برق از اهداف جانبی سد می‌باشد. حجم مخزن ۱۵۰ میلیون مترمکعب و رقوم نرمال آب ۳۰۱ متر از سطح دریا پیش‌بینی شده است. حجم رسوبات ۵۰ ساله ورودی به مخزن، حدود ۱۰ میلیون مترمکعب برآورد شده است (این مقدار، حجم رسوب ورودی از طریق رودخانه بابل است) که تراز متناظر با حجم مرده مخزن را به ۲۶۳/۵ متر بالاتر از سطح دریا می‌رساند [۱۳]. جدول ۱ مشخصات فنی و شکل ۱ موقعیت مکانی سد مخزنی البرز و شکل ۲ نقشه حوضه آبریز سد البرز با لایه های اطلاعاتی زیرحوضه ها، رودخانه ها و توپوگرافی را نشان می دهد.

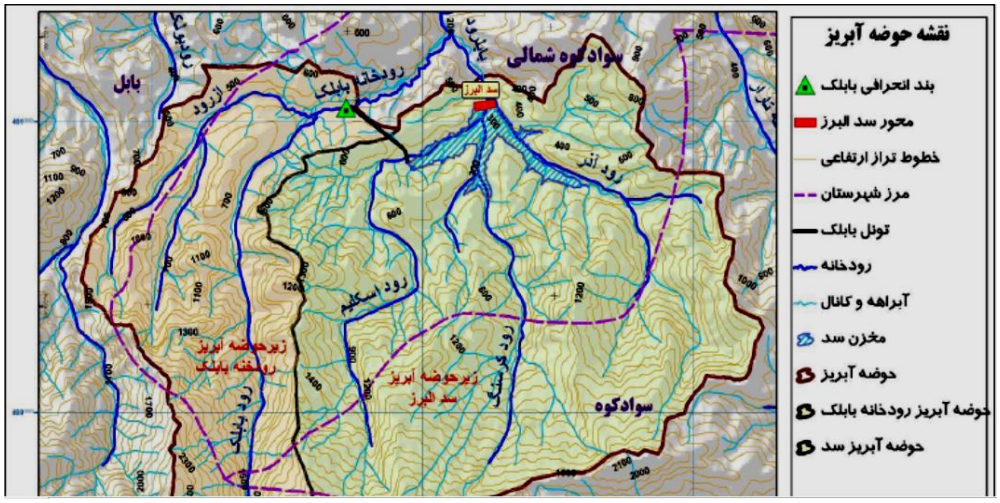
فرآیند ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز به ترتیب نشان داده شده در شکل ۳ و به شرح زیر انجام شد.

1 Azad dam

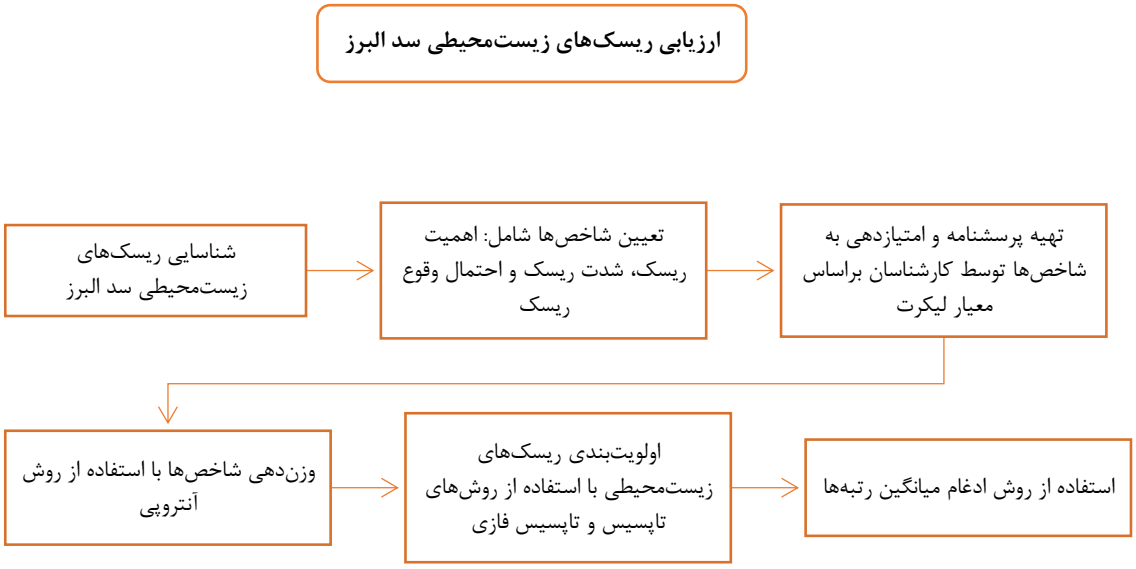
جدول ۱. مشخصات فنی سد البرز [۱۳]
Table 1. Technical specifications of Alborz Dam

نوع سد	سنگریزه‌ای با هسته رسی
ارتفاع سد از پی	۷۸ متر
رقوم نرمال آب	۳۰۱ متر بالاتر از سطح دریا
تراز تاج سد	۳۰۷ متر بالاتر از سطح دریا
طول تاج سد	۸۳۸ متر
عرض تاج	۱۲ متر
عرض پی	۴۵۰ متر
حجم کل مخزن	۱۵۰ میلیون متر مکعب
سطح کل مخزن در رقوم نرمال	۵/۱ کیلومتر مربع

شکل ۱. موقعیت مکانی سد مخزنی البرز
Fig. 1. Location of Alborz Reservoir Dam



شکل ۲. نقشه حوزه آبریز سد البرز
Fig. 2. Map of Alborz dam catchment area



شکل ۳. نمودار فرآیند ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز

Fig. 3. Diagram of Alborz Dam Environmental Risk Assessment Process

۲-۲-شناسایی ریسک‌های زیست‌محیطی

پس از بررسی پیشینه و مروری بر ادبیات تحقیق، استفاده از مطالعات ارزیابی اثرات زیست‌محیطی طرح البرز [۱۳] و همچنین بررسی ریسک‌های احتمالی در پروژه‌های مشابه سدسازی انجام شد. همچنین به منظور جمع‌آوری اطلاعات پایه، به شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران مراجعه شد. بدین ترتیب ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز در سه بخش محیط زیست فیزیکی، محیط زیست بیولوژیکی و محیط زیست اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در فاز ساختمانی و در دو بخش محیط زیست فیزیکی و بیولوژیکی در فاز بهره برداری شناسایی شد. ریسک های شناسایی شده در فاز ساختمانی و بهره برداری به ترتیب در جدول های ۲ و ۳ ارائه شده است.

۲-۳-تعیین شدت ریسک، احتمال وقوع و اهمیت ریسک‌های زیست‌محیطی مشخص شده

در این مرحله ریسک‌های شناسایی شده براساس سه شاخص شدت ریسک، احتمال وقوع و اهمیت ریسک به صورت پرسشنامه در اختیار ۱۰ نفر از کارشناسان محیط‌زیست و آشنا با حوزه سد و دارای مدرک فوق‌لیسانس یا دکتری، جهت امتیازدهی قرار گرفت. معیار امتیازدهی به شاخص‌ها طیف امتیازدهی لیکرت درنظر گرفته شد. جدول ۴ طیف امتیازدهی لیکرت را نشان می‌دهد.

نحوه امتیازدهی به سه شاخص شدت ریسک، احتمال وقوع و اهمیت ریسک توسط کارشناسان:

الف- شدت ریسک که میزان و بزرگی ریسک را مدنظر دارد، براساس لیکرت از ۱ تا ۹ تعیین شده است. عدد ۱ نشانگر شدت بسیار کم و عدد ۹ نشانگر شدت بسیار زیاد است.

ب- احتمال وقوع ریسک که نشان‌دهنده امکان به وقوع پیوستن یک خطر در یک دوره زمانی معین است، براساس لیکرت از ۱ تا ۹ درجه‌بندی شده که عدد ۱ نشانگر کمترین احتمال وقوع و عدد ۹ نشانگر بیشترین احتمال وقوع است.

ج- اهمیت ریسک که نشان‌دهنده حساسیت محیط پذیرنده و قابل‌توجه بودن ریسک می‌باشد، براساس لیکرت از ۱ تا ۹ درجه‌بندی شده که عدد ۱ نشانگر کمترین اهمیت و عدد ۹ نشانگر بیشترین اهمیت است.

پس از شناسایی ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز و امتیازدهی به این ریسک‌ها براساس شاخص‌های شدت ریسک، احتمال وقوع و اهمیت ریسک توسط کارشناسان، در نهایت کلیه پرسشنامه‌ها در محیط نرم‌افزار Excel مورد تحلیل قرار گرفته و میانگین هندسی هریک از این سه شاخص برای هریک از ریسک‌ها بدست آمده است. همچنین جهت تعیین وزن های هریک از شاخص ها از روش آنتروپی استفاده گردید و به منظور اولویت بندی ریسک های زیست محیطی

جدول ۲. ریسکهای زیستمحیطی سد البرز در فاز ساختمانی
Table 2. Environmental risks of Alborz dam in construction phase

محیط‌زیست فیزیکی	A_1- افزایش غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های آب رودخانه‌ها	A_7- افزایش رسوب رودخانه‌ها
	A_2- افزایش شوری آب رودخانه‌ها	A_8- افزایش غلظت گرد و غبار
	A_3- تشدید فرسایش سطحی خاک	A_9- افزایش آلودگی آب (فاضلاب خانگی) رودخانه‌ها
	A_4- افزایش ذرات ریز و بار معلق رودخانه‌ها	A_{10}- افزایش آلودگی صوتی
	A_5- کاهش خودپالایی رودخانه‌ها	A_{11}- افزایش غلظت آلاینده‌های هوا
	A_6- افزایش کدورت آب رودخانه‌ها	
محیط‌زیست بیولوژیکی	A_{12}- تخریب جنگل در محدوده سد	A_{17}- کاهش تولیدات اولیه گیاهان آبزی، کنارآبزی و جلبک‌های آبزی رودخانه‌ها
	A_{13}- کاهش میزان پلانکتون‌ها	A_{18}- مهاجرت جانوران (به‌ویژه پرندگان)
	A_{14}- تخریب لانه و آشیانه پرندگان و پستانداران	A_{19}- کاهش ظرفیت برد زیستگاه‌ها (آبی، دشتی و کوهستانی)
	A_{15}- ازبین رفتن جوامع کفزی رودخانه‌ها	A_{20}- کاهش جمعیت دوزیستان و خزندگان
	A_{16}- مرگ و میر ماهیان	
محیط‌زیست اقتصادی،اجتماعی، فرهنگی	A_{21}- افزایش بار ترافیکی جاده‌ها	A_{24}- بروز سوانح در کارگاه‌ها
	A_{22}- ازبین رفتن اراضی کشاورزی	A_{25}- جابه‌جایی ساکنان مخزن سد
	A_{23}- ایجاد چشم‌انداز نامطلوب	A_{26}- تاثیر بر گردشگری

جدول ۳. ریسکهای زیستمحیطی سد البرز در فاز بهرهبرداری
Table 3. Environmental risks of Alborz dam in the operation phase

محیط‌زیست فیزیکی	A_1- افزایش غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های آب رودخانه‌ها	A_7- افزایش رسوب رودخانه‌ها
	A_2- افزایش شوری آب رودخانه‌ها	A_8- افزایش غلظت گرد و غبار
	A_3- تشدید فرسایش سطحی خاک	A_9- افزایش آلودگی آب (فاضلاب خانگی) رودخانه‌ها
	A_4- افزایش ذرات ریز و بار معلق رودخانه‌ها	A_{10}- افزایش آلودگی صوتی
	A_5- کاهش خودپالایی رودخانه‌ها	A_{11}- افزایش غلظت آلاینده‌های هوا
	A_6- افزایش کدورت آب رودخانه‌ها	
محیط‌زیست بیولوژیکی	A_{12}- تخریب جنگل در محدوده سد	A_{17}- کاهش تولیدات اولیه گیاهان آبزی، کنارآبزی و جلبک‌های آبزی رودخانه‌ها
	A_{13}- کاهش میزان پلانکتون‌ها	A_{18}- مهاجرت جانوران (به‌ویژه پرندگان)
	A_{14}- تخریب لانه و آشیانه پرندگان و پستانداران	A_{19}- کاهش ظرفیت برد زیستگاه‌ها (آبی، دشتی و کوهستانی)
	A_{15}- ازبین رفتن جوامع کفزی رودخانه‌ها	A_{20}- کاهش جمعیت دوزیستان و خزندگان
	A_{16}- مرگ و میر ماهیان	

جدول۴. طیف امتیازدهی به شاخص‌ها [۱۴]
Table 4. Scoring range of indicators

میزان تاثیر	بسیار مهم	مهم	متوسط	کم	بسیار کم
امتیاز	۹	۷	۵	۳	۱

از روش های تصمیم گیری چند معیاره تاپسیس و تاپسیس فازی استفاده شد. جهت دستیابی به رتبه بندی واحد از روش میانگین رتبه ها استفاده شد. در ادامه جزئیات بیشتر از روش های بکار رفته ارائه شده است.

۴-۲-اولویت‌بندی ریسک‌ها با استفاده از روش TOPSIS

به‌منظور اولویت‌بندی ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز با استفاده از روش تاپسیس، ابتدا با استفاده از روش آنتروپی شانون، کلیه شاخص‌های درنظر گرفته شده وزن‌دهی گردید و سپس با استفاده از مدل TOPSIS که یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است اولویت‌بندی صورت گرفت.

۱-۴-۲- روش آنتروپی شانون

روش آنتروپی یکی از روش‌های تصمیم گیری چند شاخصه برای محاسبه وزن معیارها می‌باشد. گام‌های این روش به شرح زیر می‌باشد:

مرحله ۱- محاسبه Pij. رابطه (۱):

$$Pij = \frac{aij}{\sum_{i=1}^{m} aij} \qquad (۱)$$

مرحله ۲- محاسبه مقدار آنتروپی Ej. رابطه (۲):

$$Ej = -k\sum_{i=1}^{m}[Pij \ln Pij], K = \frac{1}{\ln(m)} \qquad (۲)$$

مرحله ۳- محاسبه مقدار عدم اطمینان dj. رابطه (۳):

$$dj = 1 - Ej \qquad (۳)$$

مرحله ۴- محاسبه وزن های Wj. Wjهای بدست آمده همان وزن های مورد نیاز از روش آنتروپی می‌باشد. رابطه (۴):

$$Wj = \frac{dj}{\sum_{j=1}^{n} dj} \qquad (۴)$$

۲-۴-۲- روش TOPSIS

مدل TOPSIS توسط هوانگ و یون[1] در سال۱۹۸۱ پیشنهاد شد و یکی از بهترین مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است. این تکنیک براین مفهوم استوار است که گزینه انتخابی، باید کمترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد [۱۵]. مراحل این روش به شرح زیر می‌باشد:

مرحله ۱- تشکیل ماتریس داده‌ها بر اساس m گزینه و n شاخص:

$$Aij = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

مرحله ۲- بی‌مقیاس سازی ماتریس تصمیم‌گیری (N). رابطه (۵):

$$nij = \frac{aij}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} aij^2}} \qquad (۵)$$

مرحله ۳- بدست آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون (V). رابطه (۶):

$$V = N \times W_{n\times n} \qquad (۶)$$

$W_{n\times n}$: ماتریس قطری وزن ها که از روش آنتروپی بدست آمده است.

مرحله ۴- تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی:

Vj^{+} (راه‌حل ایده‌آل مثبت): بهترین مقادیر هر شاخص ماتریس V

Vj^{-} (راه‌حل ایده‌آل منفی): بدترین مقادیر هر شاخص ماتریس V

1 Hwang & Yoon

جدول ۵. متغیر های زبانی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها
Table 5. Language variables to rank options

متغیر زبانی	اعداد فازی متناظر
بسیار کم	(۰،۰،۱)
کم	(۰،۱،۳)
تا حدودی کم	(۱،۳،۵)
مناسب	(۳،۵،۷)
تا حدودی زیاد	(۵،۷،۹)
زیاد	(۷،۹،۱۰)
بسیار زیاد	(۹،۱۰،۱۰)

جدول ۶. متغیر های زبانی برای ارزیابی اهمیت معیارها
Table 6. Language variables to assess the importance of criteria

متغیر زبانی	اعداد فازی متناظر
بسیار کم اهمیت	(۰،۰،۰/۱)
کم اهمیت	(۰،۰/۱،۰/۳)
تا حدودی کم اهمیت	(۰/۱،۰/۳،۰/۵)
بی‌تفاوت	(۰/۳،۰/۵،۰/۷)
تا حدودی با اهمیت	(۰/۵،۰/۷،۰/۹)
با اهمیت	(۰/۷،۰/۹،۱)
بسیار با اهمیت	(۰/۹،۱،۱)

در انتخاب ایده‌آل‌ها در این طرح، هر۳ شاخص اهمیت ریسک، شدت ریسک و احتمال وقوع ریسک، جنبه منفی دارند بنابراین براساس این مدل، بهترین مقادیر برای شاخص منفی کوچکترین عدد ماتریس و بدترین مقادیر برای شاخص منفی بزرگترین عدد ماتریس است.

مرحله ۵- محاسبه فاصله هر گزینه از راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی. رابطه (۷) و رابطه (۸):

$$Ej = -k\sum_{i=1}^{m}[Pij \ln Pij], K = \frac{1}{\ln(m)} \quad (۷)$$

$$di^{-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(Vij - Vj^{-})^{2}}, i = 1,2,...,m \quad (۸)$$

مرحله ۶- تعیین نزدیکی نسبی یک گزینه به راه‌حل ایده‌آل (Ci). رابطه (۹):

$$Ci = \frac{di^{-}}{di^{-} + di^{+}} \quad (۹)$$

مرحله ۷- رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس مقدار Ci، به صورت نزولی از Ci بیشتر به کمتر مرتب می‌شود.

۵-۲-اولویت‌بندی ریسک‌ها با استفاده از روش Fuzzy TOPSIS

جهت اولویت‌بندی ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز با استفاده از روش تاپسیس فازی ابتدا نتایج حاصل از امتیازدهی کارشناسان به پرسشنامه‌ها، توسط جدول های ۵ و ۶ به اعداد فازی مثلثی تبدیل و سپس طبق روش تاپسیس فازی رتبه‌بندی انجام شد.

۵-۲-۱-روش Fuzzy TOPSIS

این روش اولین بار در سال ۱۹۹۲ توسط چن و هوانگ[1] استفاده شد. در این حالت عناصر ماتریس تصمیم‌گیری یا وزن معیارها و یا هردوی آن ها توسط متغییرهای زبانی که توسط اعداد فازی ارائه شده‌اند، ارزیابی شده و بدین ترتیب بر مشکلات روش شباهت به گزینه ایده‌آل کلاسیک غلبه شده است [۱۶]. برای انجام عملیات به شیوه تاپسیس فازی می‌توان از روش‌های متفاوت بهره گرفت. تفاوت مدل‌های مختلف این روش در نوع عدد فازی استفاده شده، روش نرمالیزه کردن و روش رتبه‌بندی است. در این پژوهش از روش چن (۲۰۰۰) استفاده شده است. برای انجام محاسبات تکنیک تاپسیس به صورت فازی نخست باید از یک طیف زبانی مناسب برای گردآوری داده‌ها استفاده کرد. چن (۲۰۰۰) یک مقیاس زبانی هفت درجه را برای امتیازدهی به هر گزینه براساس هر معیار، پیشنهاد داده است. همچنین چن طیف مشابهی برای رتبه‌بندی معیارها پیشنهاد کرده است [۱۷]. در ادامه گام‌های این روش بیان شده است:

مرحله ۱- تشکیل ماتریس تصمیم: در ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری فازی ایجاد می‌شود که به تعداد گزینه‌ها سطر و به تعداد معیارها ستون دارد و اعداد داخل ماتریس نمراتی است که کارشناسان در معیارهای

1 Chen & Hwang

مختلف به گزینه‌ها می‌دهند. در این ماتریس A_i نشان‌دهنده گزینه i ام، C_j نشان‌دهنده شاخص jام و X_{ij} میزان عملکرد گزینه A_i با توجه به شاخص C_j می‌باشد.

$$\tilde{D}=\begin{array}{c} \\ A1 \\ A2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Am \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \cdots & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \qquad \tilde{x}_{ij}=(a_{ij},b_{ij},c_{ij}) \tag{۱۰}$$

مرحله ۲- نرمالایز کردن ماتریس تصمیم‌گیری فازی: درایه‌های ماتریس تصمیم بی‌مقیاس برای معیارهای مثبت و منفی به ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$\tilde{r}_{ij}=\left(\frac{a_{ij}}{c_j^*},\frac{b_{ij}}{c_j^*},\frac{c_{ij}}{c_j^*}\right) \quad and \quad c_j^*=\max c_{ij} \quad \text{(benefit criteria)} \tag{۱۱}$$

$$\tilde{r}_{ij}=\left(\frac{a_j^-}{c_{ij}},\frac{a_j^-}{b_{ij}},\frac{a_j^-}{a_{ij}}\right) \quad and \quad a_j^-=\min a_{ij} \quad \text{(cost criteria)} \tag{۱۲}$$

مرحله ۳- وزن‌دار کردن ماتریس: ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس شده موزون فازی از ضرب کردن ضریب اهمیت مربوط به هر معیار در ماتریس بی‌مقیاس شده فازی و طبق روابط زیر تشکیل می‌شود:

$$\tilde{v}_{ij}=\tilde{r}_{ij}(.)\tilde{w}_j \qquad ,\tilde{w}_j=(\tilde{w}_1,\tilde{w}_2,\ldots,\tilde{w}_n) \tag{۱۳}$$

مرحله ۴- محاسبه آلترناتیو ایده‌آل مثبت فازی و ایده‌آل منفی فازی:

$$CC_i=\frac{d_i^-}{d_i^-+d_i^*}, \qquad i=1,2,\ldots,m \tag{۱۴}$$

$$A^-=(\tilde{v}_1^-,\tilde{v}_2^-,\ldots,\tilde{v}_n^-) \quad where \quad \tilde{v}_j^-=\min\left\{v_{ij1}\right\}, i=1,2,\ldots,m; j=1,2,\ldots,n \tag{۱۵}$$

مرحله ۵- محاسبه فاصله از آلترناتیو ایده‌آل مثبت فازی و ایده‌آل منفی فازی:

$$d_i^*=\sum_{j=1}^{n} d_v(\tilde{v}_{ij},\tilde{v}_j^*), \quad i=1,2,\ldots,m \tag{۱۶}$$

$$d_i^-=\sum_{j=1}^{n} d_v(\tilde{v}_{ij},\tilde{v}_j^-), \quad i=1,2,\ldots,m \tag{۱۷}$$

$$d=\sqrt{\frac{1}{3}\times((a-v_1)^2+(b-v_2)^2+(c-v_3)^2)} \tag{۱۸}$$

مرحله ۶- محاسبه ضریب نزدیکی:

$$CC_i=\frac{d_i^-}{d_i^-+d_i^*}, \qquad i=1,2,\ldots,m \tag{۱۹}$$

مرحله ۷- رتبه‌بندی گزینه‌ها:

در این مرحله گزینه‌ها براساس شاخص شباهت بدست آمده رتبه‌بندی می‌شوند، به‌طوری که گزینه‌های با شاخص شباهت بیشتر در اولویت قرار دارند.

۳-نتایج

پس از شناسایی ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز، امتیازدهی به این ریسک‌ها براساس شاخص‌های شدت ریسک، احتمال وقوع و اهمیت ریسک توسط کارشناسان انجام شد بدین ترتیب نتایج حاصل در فاز ساختمانی در جدول ۷ که شامل۲۶ ریسک می‌باشد و در فاز بهره‌برداری در جدول۸ که شامل۲۲ ریسک می‌باشد آمده است. شایان ذکر است که کلیه ریسک‌های موجود به عنوان گزینه‌ها و با علامت $A_۱$ تا $A_{۲۶}$ در فاز ساختمانی و $A_۱$ تا $A_{۲۲}$ در فاز بهره‌برداری درنظر گرفته شده است. جهت اولویت‌بندی ریسک‌های زیست‌محیطی با استفاده از روش تاپسیس ابتدا شاخص‌های درنظرگرفته شده طبق روابط (۱) تا (۴) براساس روش آنتروپی شانون وزن‌دهی شد و نتایج حاصل در جدول های ۹ و ۱۰ به‌ترتیب در فاز ساختمانی و بهره‌برداری آمده است، سپس براساس روش تاپسیس طبق گام‌های

جدول ۷. نتایج نهایی تحلیل پرسشنامه‌ها در فاز ساختمانی
Table 7. Final results of questionnaire analysis in the construction phase

گزینه‌ها	شاخص‌ها			گزینه‌ها	شاخص‌ها		
	شدت	احتمال	اهمیت		شدت	احتمال	اهمیت
A_1	۴/۴۵	۶/۱۱	۵/۲	A_{14}	۵/۱	۵/۳	۵/۸
A_2	۳/۶۲	۴/۶	۴/۷۴	A_{15}	۵/۷۱	۵/۶۲	۶/۱۱
A_3	۴/۷۵	۵/۹۲	۴/۳	A_{16}	۴/۹۱	۵/۴۳	۶/۵
A_4	۵/۳	۶/۳۳	۵/۹۱	A_{17}	۳/۹۴	۴/۵۱	۴/۵
A_5	۴/۱۱	۴/۲۵	۴/۹۵	A_{18}	۵	۵/۴۳	۵/۵
A_6	۴/۵۱	۶/۱۲	۵/۴۳	A_{19}	۳/۸۱	۵/۱	۵/۴۳
A_7	۵/۴۳	۶/۳۳	۵/۲۵	A_{20}	۴/۰۱	۴/۵۱	۶/۰۱
A_8	۵/۱	۶/۲۲	۴/۶۳	A_{21}	۵/۸۱	۵/۴۳	۵/۹۶
A_9	۳/۱۳	۳/۹۱	۳/۶	A_{22}	۵/۷۶	۵/۵۲	۶/۸۲
A_{10}	۵/۴۳	۵/۷۱	۵/۱	A_{23}	۵/۴۳	۵/۱	۵/۲
A_{11}	۳/۸۱	۵/۲	۴/۷۴	A_{24}	۵/۶۲	۶/۰۱	۷
A_{12}	۶/۰۱	۷/۴۲	۷/۳	A_{25}	۶/۵	۶/۵	۷/۲۴
A_{13}	۳/۹۱	۴/۸۳	۴/۳	A_{26}	۵/۱	۵/۵۳	۶/۰۱

جدول ۸. نتایج نهایی تحلیل پرسشنامه‌ها در فاز بهره‌برداری
Table 8. Final results of questionnaire analysis in the operation phase

گزینه‌ها	شاخص‌ها			گزینه‌ها	شاخص‌ها		
	شدت	احتمال	اهمیت		شدت	احتمال	اهمیت
A_1	۵/۲	۵/۶۲	۶/۲۲	A_{12}	۵	۵/۳۵	۵/۳
A_2	۳/۵	۴/۲۲	۵/۷۲	A_{13}	۴/۹۴	۲/۵۳	۵/۸
A_3	۴/۱	۴/۶	۵/۱	A_{14}	۶/۵	۴/۲۱	۷
A_4	۵/۷	۵/۶۲	۵/۸۲	A_{15}	۴/۹۱	۴/۹۱	۵/۶۲
A_5	۶/۵	۵/۴۳	۶/۵	A_{16}	۴/۲۱	۴/۳۶	۴/۳۶
A_6	۶/۱۱	۴/۲۵	۶/۸۲	A_{17}	۳/۵۵	۴/۸۳	۴/۵
A_7	۵/۶	۴/۷	۶/۱	A_{18}	۵/۸۱	۴/۴۴	۶/۷۱
A_8	۵/۴۳	۵/۳۴	۶/۴۳	A_{19}	۳/۷۱	۳/۶۵	۴/۸۳
A_9	۴/۸۳	۴/۴۴	۶/۵۴	A_{20}	۴/۳۶	۴/۴۴	۵/۱
A_{10}	۳/۵	۴/۸۳	۵/۱۲	A_{21}	۶/۰۱	۴/۲۵	۷/۵۵
A_{11}	۴/۰۱	۴/۱	۳/۹۱	A_{22}	۳/۹	۴/۹۱	۵/۱

جدول۹. وزنهای بدست آمده از روش آنتروپی در فاز ساختمانی
Table 9. Weights obtained from entropy method in construction phase

شاخص‌ها	اهمیت (C_3)	احتمال (C_2)	شدت (C_1)
وزن‌ها	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۴

جدول ۱۰. وزنهای بدست آمده از روش آنتروپی در فاز بهرهبرداری
Table 10. Weights obtained from entropy method in operation phase

شاخص‌ها	اهمیت (C_3)	احتمال (C_2)	شدت (C_1)
وزن‌ها	۰/۳۲	۰/۴	۰/۳

ذکر شده از روابط (۵) تا (۹) مقدار Ci برای هر ریسک بدست آمد. ریسک‌های شناسایی شده جهت رتبه بندی براساس مقدار Ci به صورت صعودی به نزولی مرتب شدند در نتیجه ریسک های باCi بیشتر در اولویت قرار دارند.

نتایج نهایی مدل TOPSIS :

اولویت‌بندی ریسک‌های زیست‌محیطی سدس البرز با استفاده از روش تاپسیس به شرح زیر بدست آمد:

فاز ساختمانی:

A۲۵>A۱۲>A۴>A۲۴>A۲۲>A۱۵>A۱۰>A۲۱>A۷>A۲۶>A۸>A۱۶>A۶>A۲۳>A۱۴>A۱۸>A۱>A۳>A۱۹>A۲۰>A۱۱>A۲>A۱۷>A۱۳>A۵>A۹

فاز بهره برداری:

A۵>A۱۴>A۲۱>A۱۸>A۱>A۶>A۸>A۴>A۷>A۱۲>A۱۵>A۹>A۳>A۲۰>A۲۲>A۱۰>A۲>A۱۶>A۱۷>A۱۳>A۱۱>A۱۹

اولویت‌بندی انجام شده بیانگر مهم‌ترین ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز بر اساس سه شاخص شدت ریسک، احتمال وقوع و اهمیت ریسک در دو مرحله ساختمانی و بهره‌برداری می‌باشد. بنابراین مهم‌ترین ریسک‌های زیست‌محیطی در فاز ساختمانی به ترتیب: تخریب جنگل در محدوده سد با امتیاز ۰/۹۲۶، جابه‌جایی ساکنان مخزن سد با امتیاز ۰/۸۳۷، بروز سوانح در کارگاه‌ها با امتیاز ۰/۷۱۳، افزایش ذرات ریز و بار معلق رودخانه‌ها با امتیاز ۰/۶۵۷، ازبین رفتن اراضی کشاورزی با امتیاز ۰/۶۴۶، ازبین رفتن جوامع کفزی رودخانه‌ها با امتیاز ۰/۶۱۱، بدست آمد. همچنین مهمترین این ریسک‌ها در فاز بهره‌برداری به ترتیب: لایه‌بندی حرارتی مخزن سد با امتیاز ۰/۸۴۷، زمین لغزش با امتیاز ۰/۷۵۱، و تهدید حیات آبزیان (در صورت عدم رهاسازی آب) با امتیاز ۰/۷۴۹، کاهش خودپالایی رودخانه بابلرود با امتیاز ۰/۷۲۹، زلزله القایی سد مخزنی البرز با امتیاز ۰/۷۲۵، تجمع رسوب و مواد مغذی در مخزن سد با امتیاز ۰/۷۱۷ بدست آمد. در شکل ۴ و ۵ به ترتیب مهم‌ترین ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز در فاز ساختمانی و بهره‌برداری با استفاده از روش تاپسیس نشان داده شده.

پس‌از آن به منظور اولویت‌بندی ریسک‌های زیست‌محیطی با استفاده از روش تاپسیس فازی ابتدا نتایج حاصل از امتیازدهی کارشناسان به پرسشنامه‌ها توسط جدول های ۵ و ۶ به اعداد فازی مثلثی تبدیل شدند و در نهایت کلیه پرسشنامه‌ها در محیط نرم‌افزار Excel مورد تحلیل قرار گرفتند، سپس براساس نظر تصمیم‌گیر بردار وزن معیارها در فاز ساختمانی طبق جدول ۱۱ و در فاز بهره‌برداری طبق جدول ۱۲ ارائه شدند و براساس روش تاپسیس فازی طبق مراحل ذکرشده از روابط (۱۰) تا (۱۹) ریسک‌های زیست‌محیطی اولویت‌بندی شدند.

نتایج نهایی مدل Fuzzy TOPSIS :

اولویت‌بندی ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز با استفاده از مدل تاپسیس فازی به شرح زیر بدست آمد:

فاز ساختمانی:

A۲۵>A۱۲>A۴>A۲۴>A۲۲>A۱۵>A۱۰>A۲۱>A۷>A۲۶>A۸>A۱۶>A۶>A۲۳>A۱۴>A۱۸>A۱>A۳>A۱۹>A۲۰>A۱۱>A۲>A۱۷>A۱۳>A۵>A۹

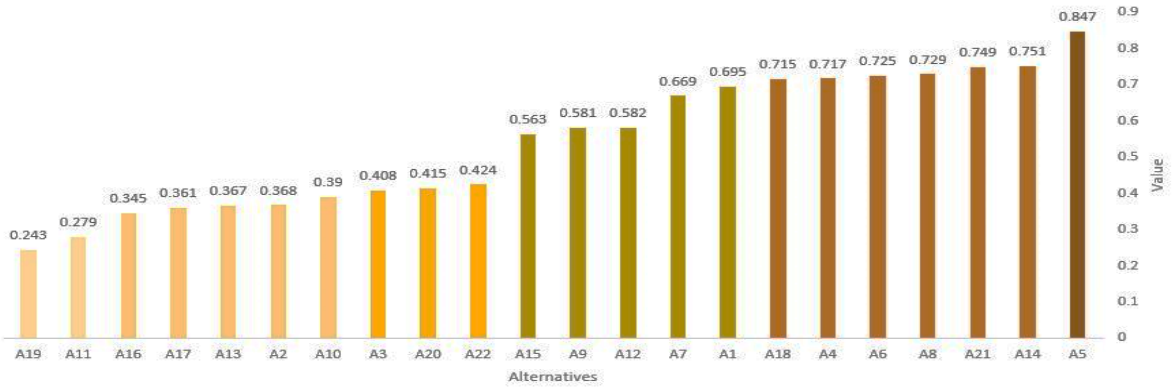
فاز بهره‌برداری:

A۵>A۱۴>A۲۱>A۱۸>A۱>A۶>A۸>A۴>A۷>A۱۲>A۱۵>A۹>A۳>A۲۰>A۲۲>A۱۰>A۲>A۱۶>A۱۷>A۱۳>A۱۱>A۱۹

رتبه‌بندی انجام شده بیانگر مهم‌ترین ریسک‌های زیست‌محیطی

شکل ۴. نمودار اولویت‌بندی ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز با استفاده از مدل تاپسیس در فاز ساختمانی

Fig. 4. Alborz Dam Environmental Risk Prioritization Chart Using TOPSIS Model in Construction Phase



شکل ۵. نمودار اولویت‌بندی ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز با استفاده از مدل تاپسیس در فاز بهره‌برداری

Fig. 5. Alborz Dam Environmental Risk Prioritization Chart Using TOPSIS Model in Operation Phase

جدول ۱۱. بردار وزن معیارها در فاز ساختمانی

Table 11. Vector weight of criteria in the construction phase

معیار	اهمیت ریسک (C_3)	احتمال وقوع (C_2)	شدت ریسک (C_1)
وزن معیار	با اهمیت	تا حدودی با اهمیت	بسیار با اهمیت

جدول ۱۲. بردار وزن معیارها در فاز بهرهبرداری

Table 12. Criterion weight vector in operation phase

معیار	اهمیت ریسک (C_3)	احتمال وقوع (C_2)	شدت ریسک (C_1)
وزن معیار	تا حدودی با اهمیت	بسیار با اهمیت	با اهمیت

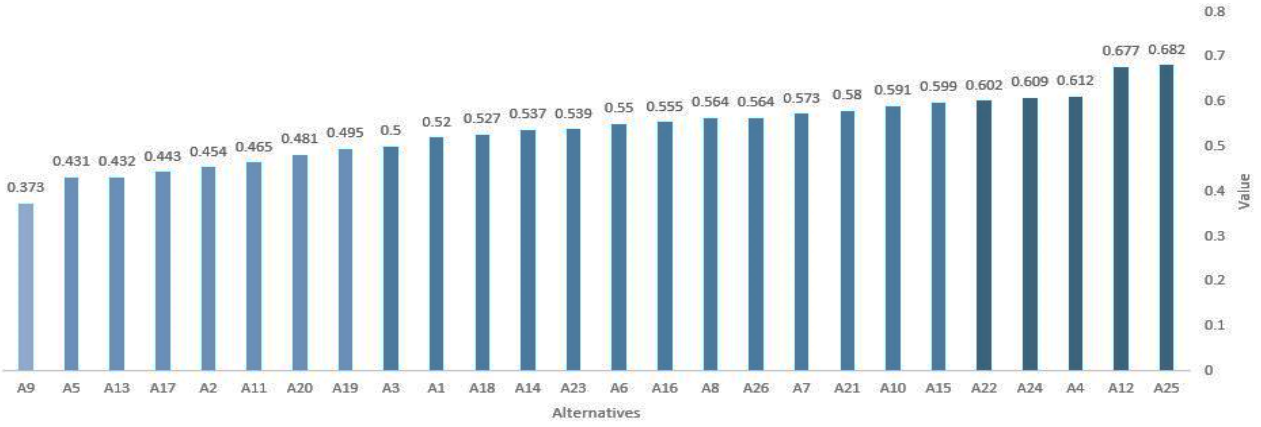
سد البرز بر اساس سه شاخص شدت ریسک، احتمال وقوع و اهمیت ریسک در دو مرحله ساختمانی و بهره‌برداری می‌باشد. بنابراین مهم‌ترین ریسک‌های زیست‌محیطی در فاز ساختمانی به ترتیب: جابه‌جایی ساکنان مخزن سد با امتیاز ۰/۶۸۲، تخریب جنگل در محدوده سد با امتیاز ۰/۶۷۷، افزایش ذرات ریز و بار معلق رودخانه‌ها با امتیاز ۰/۶۱۲، بروز سوانح در کارگاه‌ها با امتیاز ۰/۶۰۹، ازبین رفتن اراضی کشاورزی با امتیاز ۰/۶۰۲، ازبین رفتن جوامع کفزی رودخانه‌ها با امتیاز ۰/۵۹۹،بدست آمد. همچنین مهم‌ترین این ریسک‌ها در فاز بهره‌برداری به ترتیب: لایه‌بندی حرارتی مخزن سد با امتیاز ۰/۶۴۵، زمین لغزش با امتیاز ۰/۶۳۰، و تهدید حیات آبزیان (در صورت عدم رهاسازی آب) با امتیاز ۰/۶۰۱، اتروفیکاسیون با امتیاز ۰/۵۸۸، بالا آمدن سطح آب سفره‌های زیرزمینی با امتیاز ۰/۵۷۹ بدست آمد. در شکل ۶ و ۷ به ترتیب مهم‌ترین ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز در فاز ساختمانی و بهره‌برداری نشان داده شده.

بعداز اینکه ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز توسط دو روش تاپسیس و تاپسیس فازی اولویت‌بندی شد به منظور رفع تعارض بین نتایج از یکی از روش‌های ادغام (روش میانگین رتبه‌ها) استفاده شد و نتایج رتبه‌بندی در جدول های ۱۳ و ۱۴ ارائه شده است.

براساس نتایج نهایی از ادغام دو روش تاپسیس و تاپسیس فازی مهم‌ترین ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز به شرح زیر بدست آمد:

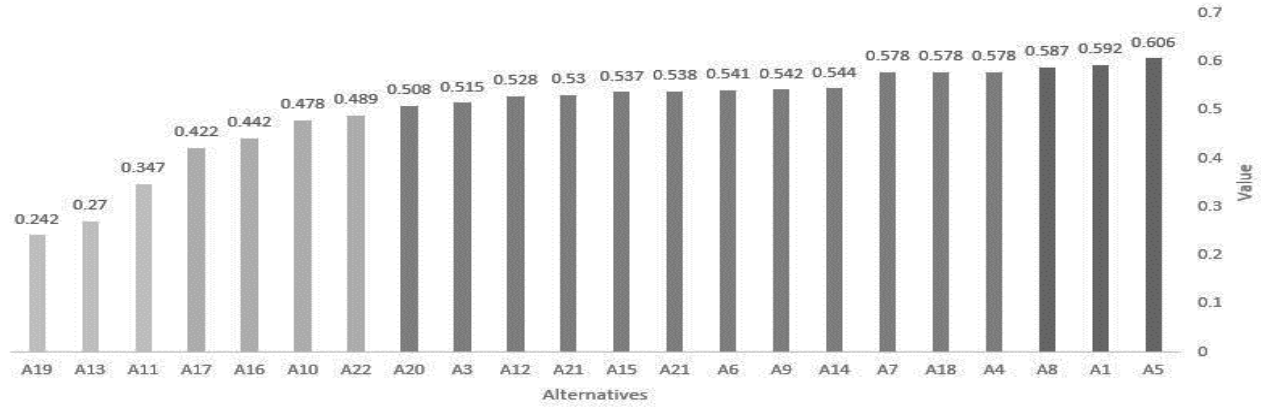
فاز ساختمانی:

۱- تخریب جنگل در محدوده سد: در اثر عملیاتی نظیر آماده‌سازی جایگاه سد و مخزن آن، گرد و غبار، انفجار، خاکبرداری، خاکریزی و عملیات ساختمانی باعث تخریب آنی و تدریجی پوشش جنگلی محدوده تاسیسات سد می شود.



شکل ۶. نمودار اولویت‌بندی ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز با استفاده از مدل تاپسیس فازی در فاز ساختمانی

Fig. 6. Alborz Dam Environmental Risk Prioritization Chart Using Fuzzy TOPSIS Model in Construction Phase



شکل ۷. نمودار اولویت‌بندی ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز با استفاده از مدل تاپسیس فازی در فاز بهره‌برداری

Fig. 7. Alborz Dam Environmental Risk Prioritization Chart Using Fuzzy TOPSIS Model in Operation Phase

جدول ۱۳. نتایج رتبه‌بندی ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز در فاز ساختمانی
Table 13. Results of Alborz Dam Environmental Risk Classification in Construction Phase

Rank	TOPSIS	Fuzzy TOPSIS	میانگین رتبه‌ها	Rank	TOPSIS	Fuzzy TOPSIS	میانگین رتبه‌ها
1	A12	A25	A12, A25	14	A1	A23	A11
2	A25	A12	A24, A4	15	A14	A14	A2
3	A24	A4	A22	16	A18	A18	A5, A13
4	A4	A24	A15	17	A23	A1	A17
5	A22	A22	A26, A21, A7	18	A3	A3	A9
6	A15	A15	A10	19	A20	A19	
7	A26	A10	A16	20	A19	A20	
8	A7	A21	A6, A8	21	A11	A11	
9	A21	A7	A14	22	A5	A2	
10	A16	A26	A23, A1	23	A13	A17	
11	A6	A8	A18	24	A2	A13	
12	A10	A16	A3	25	A17	A5	
13	A8	A6	A20, A19	26	A9	A9	

جدول ۱۴. نتایج رتبه‌بندی ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز در فاز بهره‌برداری
Table 14. Results of Alborz Dam environmental risk ranking in the operation phase

Rank	TOPSIS	Fuzzy TOPSIS	میانگین رتبه‌ها	Rank	TOPSIS	Fuzzy TOPSIS	میانگین رتبه‌ها
1	A5	A5	A5	12	A15	A2	A20
2	A14	A1	A8	13	A22	A12	A22, A3, A2
3	A21	A8	A14	14	A20	A3	A10
4	A8	A4	A4, A1	15	A3	A20	A16, A17
5	A6	A18	A18	16	A10	A22	A13
6	A4	A7	A21	17	A2	A10	A11
7	A18	A14	A6	18	A13	A16	A19
8	A1	A9	A7	19	A17	A17	
9	A7	A6	A9	20	A16	A11	
10	A12	A21	A12	21	A11	A13	
11	A9	A15	A15	22	A19	A19	

۲- جابه‌جایی ساکنان مخزن سد: در اثر عملیات ساخت سد مخزنی باعث به زیر آب رفتن همه یا بخشی از اراضی مسکونی و زراعی روستاها می گردد لذا بعضی از ساکنین این روستاها مجبور به ترک روستا و مهاجرت به شهرها یا روستاهای مجاور می شوند.

۳- بروز سوانح در کارگاه‌ها: بروز سوانح در کارگاه‌ها که در اثر خطراتی شامل لغزش خاک، برق‌گرفتگی، ریزش سقف، گاز ها یا بخار های زیان‌بار، انفجارهای تصادفی، مسمومیت‌ها، تخلیه‌های الکتریکی، سیل و آتش‌سوزی که در محیط کارگاه‌های سدسازی ایجاد می شود به وجود می آید.

فاز بهره‌برداری:

۱- لایه‌بندی حرارتی مخزن سد: این پدیده مهم‌ترین عامل تغییرات فصلی کیفیت آب است و در نتیجه تغییرات درجه حرارت آب در سد ایجاد می شود. از جمله عواملی که باعث ایجاد پدیده لایه‌بندی می‌شود شامل: عمیق بودن مخزن، اختلاف دمای آب ورودی با آب مخزن، اختلاف غلظت املاح ورودی با املاح موجود در

مخزن و میزان نفوذ نور می‌باشد.

۲- کاهش خودپالایی رودخانه بابلرود: کاهش خودپالایی رودخانه بابلرود که دراثر ایجاد مانع بر مسیر رودخانه دبی رودخانه کاهش یافته و این عامل روند خودپالایی رودخانه را تحت تاثیر قرار می دهد.

۳- زمین لغزش: زمین لغزش که در اثر واکنش بین سطوح آب دریاچه و مرطوب شدن محیط بین لایه‌های زمین‌شناسی در زیر مخزن، ایجاد می‌شود و سبب کاهش حجم دریاچه، ایجاد امواج بلند و لبریزی از سد، در هنگام سقوط توده‌های خاک و سنگ در محدوده دریاچه می‌گردد.

طبق رتبه بندی انجام شده با توجه به اینکه در فاز ساختمانی تخریب جنگل در محدوده سد و در فاز بهره برداری لایه بندی حرارتی مخزن سد در اولویت قرار گرفتند در ادامه راهکارهایی جهت کاهش این ریسک ها ارائه شده است.

راهکارهای کاهش اثرات منفی طرح بر جنگل:

عرصه جنگل را قرق کرده و از برداشت بی رویه جلوگیری شود – کاشت بذر گونه هایی مثل افرا، ملج، نمدار، بلوط و غیره در لابلای درختان و درختچه های موجود – چوب هایی که بصورت قاچاق قطع و حمل می شوند ضبط گردیده و متخلفین توبیخ گردند – مشخص کردن دقیق حد و مرز زمین های کشاورزی و جنگلی، تا کشاورزانی که زمین های آن ها در مجاورت مناطق جنگلی قرار دارند به مرور زمان به سمت جنگل پیشروی نکنند.

راهکارهای کاهش اثرات منفی طرح بر لایه بندی حرارتی مخزن سد:

تنها راه کاهش این اثر پایین آوردن سطح آب مخزن می باشد تا سه لایه حرارتی دریاچه (اپی لیمنیون، هیپولیمنیون و ترموکلاین) بر اثر تغییر عمق که خود باعث تغییر نفوذ نور، حرارت و غلظت مواد محلول در آب می شود، با یکدیگر مخلوط شوند و تبادل گازی لازم صورت بگیرد به عبارت دیگر باید زمان محبوس کردن آب را کم کرد و در مخزن سد این زمان محبوس با توجه به جریانات نسبی بهاره و پاییزه باید ۶-۵ ماه باشد.

در این قسمت به بررسی تفاوت و شباهت تحقیق حاضر با پیشینه‌های تحقیق پرداخته شده است. کارآموز در سال ۱۳۸۸ در مقاله ی خود به مخاطراتی که به سد وارد می شود پرداخته است اما در تحقیق حاضر به ریسک‌هایی که سدها در طول دوره ساخت و بهره‌برداری بر محیط‌زیست اطراف خود وارد می‌کنند پرداخته شده است. جوزی و همکاران در سال ۱۳۹۱ جهت ارزیابی ریسک محیط‌زیستی سد رودبار لرستان در مرحله ساختمانی از روش تلفیقی تصمیم‌گیری چند شاخصه و مدل RAM-D استفاده کردند و از روش AHP جهت رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه استفاده کردند. اگرچه روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به‌دلیل آسانی و سرعت بیشتر در ارزیابی و رتبه‌بندی روش مناسبی است، ولی مدل سلسله مراتبی در بررسی مسائل با تعداد معیار و گزینه بالا و درنظر گرفتن همزمان معیارهای مثبت و منفی تصمیم‌گیری دارای محاسبات پیچیده و وقت گیر است. در نتیجه در پروژه‌های با تعداد ریسک زیاد استفاده از این روش توصیه نمی‌شود، همچنین در تحقیق حاضر علاوه‌بر فاز ساختمانی فاز بهره‌برداری نیز ارزیابی شده است. ملماسی و همکاران در سال ۱۳۹۶ به‌منظور ارزیابی ریسک محیط‌زیستی سد آزاد کردستان از سه روش TOPSIS, HAW, Electre استفاده کردند و مهم‌ترین ریسک‌های ناشی از این طرح را آلودگی خاک، تخریب پوشش گیاهی، آلودگی آب رودخانه معرفی کردند که با نتایج تحقیق حاضر تا حدودی شباهت دارد ولی تفاوت تحقیق حاضر با تحقیق اله داد در این است که علاوه‌بر تصمیم‌گیری در محیط قطعی به تصمیم‌گیری در محیط فازی نیز پرداخته شده است.

۴-بحث و نتیجه‌گیری

بعد از شناسایی و اولویت بندی ریسک های زیست محیطی سد البرز به وسیله ادغام نتایج روش تاپسیس و تاپسیس فازی مهم ترین ریسک ها در فاز ساختمانی: جابه‌جایی ساکنان مخزن سد و تخریب جنگل در محدوده سد با میانگین ۱/۵ در رتبه اول ، بروز سوانح در کارگاه‌ها و افزایش ذرات ریز و بار معلق رودخانه‌ها با میانگین ۳/۵ در رتبه دوم ، از بین رفتن اراضی کشاورزی با میانگین ۵ در رتبه سوم و همچنین در فاز بهره‌برداری: لایه‌بندی حرارتی مخزن سد با میانگین ۱ در رتبه اول ، کاهش خودپالایی رودخانه بابلرود با میانگین ۳/۵ در رتبه دوم ، زمین لغزش با میانگین ۴/۵ در رتبه سوم بدست آمد.

طبق نتایج به‌دست آمده از مرحله شناسایی ریسک‌های زیست‌محیطی، سد البرز در فاز ساختمانی با ۲۶ ریسک شناسایی شده بیشترین اثر منفی را برروی محیط داشته است. و عمده عوامل ایجاد ریسک در این فاز مربوط به مراحل عملیات ساخت مخزن سد، خاکبرداری و خاکریزی، برداشت از منابع قرضه، انفجار و غیره می‌باشد.

باتوجه به رتبه‌بندی انجام شده مهم‌ترین ریسک‌های به‌دست آمده در فاز ساختمانی مربوط به محیط‌زیست بیولوژیکی و بعد از آن محیط‌زیست اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی است. همچنین طبق نتایج در فاز بهره‌برداری مهم‌ترین ریسک در محیط‌زیست فیزیکی اتفاق افتاده است.

روش TOPSIS روش دقیق و در عین حال ساده می‌باشد که برای هر تعداد از گزینه و معیار، معیارهای مثبت و منفی و همچنین معیارهای کیفی و کمی می‌توان از آن استفاده کرد اما عدم قطعیت‌ها در این مدل درنظر گرفته نمی‌شود، با توسعه مدل فازی نقاط ضعف این روش برطرف می‌شود.

با شناخت ریسک‌های مهم سد البرز و همچنین رتبه‌بندی این ریسک‌ها می‌توان به شناسایی عوامل ریسک پرداخت و برنامه‌ای مدیریتی به منظور مقابله و کاهش خطرات ناشی از این ریسک‌ها بیان کرد.

۵-منابع

[1] R.V. Matalucci, Risk Assessment Methology for Dams (RAM-D SM), in: Proceedings of 6rd International Conference on Probabilistic Safty Assessment and Management (PSAM 6), Puerto Rico, USA, (2002), pp. 169-176.

[2] J.R. Harrald, I. Renda-Tanali, G.L. Shaw, C.B. Rubin, S. Yeletaysi, Review of risk based prioritization/decision making methodologies for dams, US army corps for engineers, The George Washington University, Institute for Crisis, Disaster, and Risk Management, Washington, DC, 29,(2004)

[3] Z. Dongjian, G. Chongshi, L. Peng, Safety synthesis assessment of river-way levee, in: 73rd Annual Meeting of ICOLD, Tehran, Iran, May, (2005), pp. 1-6

[4] A. Rezaeifar, M.S. Jebel Ameli, A. Chaeibakhsh Langeroudi, Ranking of project risks using multi-criteria decision making models, in: 2nd International Project Management Conference, Ariana Research Group, (1384).(in persian)

[5] F.J.C. Mendoza, A.G. Izquierdo, Design of a model to assess the environmental risk of leachate dams, Waste management, 28(11) (2008) 2122-2133.

[6] M. Karamouz, M. Dehghani, S.A. Asadollahi, A. Ahmadi, Assessment of Dams' Vulnerability with Strategic Management Approach: A Case Study, in: Second national congress of dam construction, Islamic Azad University of Zanjan, (1388).(in persian)

[7] S.A. Jozey, S.M. Monavari, H. Khosravani, Environmental risk assessment of Lorestan Roudbar dam in construction phase by multi-indicator decision-making and model RAM-D, Environmental research, 3(6) (1392) 3-16.(in persian)

[8] S. Darvishi, S. Malmasi, A. Nazari Doost, Environmental risk assessment of Seydoun Dam in Khuzestan during construction using multi-criteria decision-making methods, in: Third Conference on Environmental Planning and Management, University of Tehran, (1392). (in persian)

[9] Qasempour Niari, E. Fataei, Environmental risk assessment of dams in building and exploitation phases using William Fine method (Case study: Emarat dam in Ardabil province), in: First National Conference on Environmental Pollution with a Pure Land Focus, People's Society of Pure Life, (1393).(in persian)

[10] N. Jafar Zadeh Haghighifard, A. Ashrafifar, K. Vershusaz, Requirements and designing of environmental risk assessment of dam structures using TOPSIS method (Case study: Ramhormoz dam), in: International Conference on Science, Engineering and Environmental Technologies, Faculty of Environment of Tehran University, (1394(.(in persian)

[11] S. Rezayan, S.A. Jozi, S. Ataee, Environmental risk assessment of Pavehroud Dam in construction phase using TOPSIS and RAM-D methods,(1395).(in persian)

[12] S. Malmasi, Z. Elahe Dad, Environmental risk assessment of dam construction projects using integrated multi-criteria decision making Case study: Azad Dam in Kurdistan province of Iran,(1396).(in persian)

[13] M.a.G.R.W. Company, Environmental Impact Assessment Studies of Alborz Dam, (1381).(in persian)

[14] M.J. Asgharpour, Multi-criteria decisions, Fifth Edition

ed., University of Tehran, Tehran, Iran, (1387).(in persian)

[15] C.-L. Hwang, Kwangsun Yoonet al. Multiple attribute decision making: methods and applications: a state-of-the-art survey, Springer-Verlag New York, 24 (1981) 113.

[16]S.-J. Chen, C.-L. Hwang, Fuzzy multiple attribute decision making methods, in: Fuzzy multiple attribute decision making, Springer, (1992), pp. 289-486.

[17]C.-T. Chen, Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment, Fuzzy sets and systems, 114(1) (2000) 1-9.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

L. Moradi, T. Rajaee, M. Sadeghpoor, Environmental risk assessment of Alborz Dam using Topsis and Fuzzy Topsis methods, Amirkabir J. Civil Eng., 52(12) (2021) 3091-3108.

DOI: 10.22060/ceej.2019.16556.6270

این صفحه عمداً خالی است