Vol 13, No. 4, Winter 2024

University of Tehran Press

Journal of Water and Irrigation Management Online ISSN: 2382-9931

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

Dams Risk Assessment and Their Prioritization Using DEMATEL-ANP Combined Method

Razia Khosravi Taimeh[1] | Jamal Mohammad Vali Samani[2]✉ | Seyedah Leila Razavi Toosi[3]

1. Engineering and Water Management Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: raziye_khosravi@modares.ac.ir
2. Corresponding Author, Engineering and Water Management Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat ModaresUniversity, Tehran, Iran. E-mail: samani_j@modares.ac.ir
3. Engineering and Water Management Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: shrazavit@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 8 January 2023
Received in revised form
20 May 2023
Accepted 1 July 2023
Published online 17 January 2024

Keywords:
Economic
Environmental
Multi-indicator decision-making
Social

ABSTRACT

Even though dams have many social benefits, it also has caused social, economic, environmental and technical management risks along time. Due to the fact that the dam is considered a great phenomenon in nature, its effects on the environment are extensive. One of the issues that must be investigated during the operation of dams is the negative environmental effects in the dam construction area. The negative environmental effects of dams are including sedimentation in the dam's reservoir and lake, intensification of erosion in the downstream lands, inundation of agricultural lands due to rise of the underground water level. The effects of the mentioned risks for dam construction may be irreparable. The aim of this study is evaluating the effects of social, economic, technical management and environmental risks affected by the construction of dams on the watershed. Decisions related to the management of these dams require recognize the dangers and risks in the dam and prioritize them. Dam construction projects are more risky than other projects due to the high credits and time spent on their construction. Using multi-criteria decision-making methods is a suitable tool for evaluating different risks in these dams. In this study, the combined DEMATEL-ANP method is used to identify the relationships between risk criteria and sub-criteria and prioritize them. So, four criteria and 42 sub-criteria were determined to evaluate different risks in Mamloo, Taleghan and Lar dams and the network relationships between them were determined. The results show that the employment sub-criterion in economic criterion with a weight of 0.0720 has the highest risk and the land acquisition sub-criterion in management technical criterion with a weight of 0.0029 has the lowest risk compared to all sub-criteria.

Cite this article: Khosravi Taimeh, R., Mohammad Vali Samani, J., & Razavi Toosi, S. L. (2024). Dams Risk Assessment and Their Prioritization Using DEMATEL-ANP Combined Method. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (4), 1053-1069. DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2023.354354.1045

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2023.354354.1045

دوره سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت آب و آبیاری

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

شاپا الکترونیکی: ۹۹۳۱-۲۳۸۲

ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک سدها با استفاده از روش ترکیبی DEMATEL-ANP

راضیه خسروی طائمه [۱] | جمال محمدولی سامانی [۲]✉ | سیده لیلا رضوی طوسی [۳]

۱. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: raziye_khosravi@modares.ac.ir

۲. استاد، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: samani_j@modares.ac.ir

۳. دکتری، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: shrazavit@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۲۷

کلیدواژه‌ها:

اجتماعی

اقتصادی

تصمیم‌گیری چندشاخصه

زیست‌محیطی

چکیده

سدها علاوه بر منافع اجتماعی بسیاری که دارند امکان دارد با گذشت زمان نیز خطرات اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و فنی‌مدیریتی را داشته باشند. سد پدیده عظیمی درطبیعت محسوب می‌گردد و اثرات آن بر روی محیط‌زیست به‌صورت گسترده است. یکی از مسائلی که می‌باید در زمان بهره‌برداری سدها موردبررسی قرار می‌گیرد، آثار زیست‌محیطی منفی در منطقه احداث سد است. از اثرات زیست‌محیطی منفی برای سدها به‌عنوان مثال می‌توان به رسوب‌گذاری در مخزن و دریاچه سد، تشدید فرسایش در اراضی پایین‌دست، شورشدن اراضی کشاورزی به‌علت بالاآمدن سطح آب‌های زیرزمینی اشاره کرد. اثرات ریسک‌های نام برده‌شده برای سدسازی، ممکن است جبران‌ناپذیر باشد. این پژوهش، با هدف ارزیابی اثرات ریسک‌های چهار معیار اجتماعی، اقتصادی، فنی مدیریتی و زیست‌محیطی متأثر از احداث سدها بر حوضه‌آبخیز موردبررسی قرار گرفته است. تصمیمات مربوط به مدیریت این سدها نیازمند شناخت خطرات و ریسک‌های موجود در سد و اولویت‌بندی آن‌هاست. استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای، ابزار مناسبی برای ارزیابی ریسک‌های مختلف در این سدها می‌باشد. در این مقاله از روش ترکیبی دیماتل- فرایند تحلیل شبکه‌ای، جهت شناسایی روابط بین معیارها و زیرمعیارهای ریسک و اولویت‌بندی آن‌ها استفاده شده است. بنابراین، چهار معیار و ۴۲ زیرمعیار برای ارزیابی ریسک‌های سه سد طالقان، ماملو و لار به‌روش فرایند تحلیل شبکه‌ای استفاده شده و نتایج نشان می‌دهد که سد طالقان در اولویت اول ریسک قرار دارد و زیرمعیار اشتغال، مربوط به معیار اقتصادی، با وزن ۰/۰۷۲۰ دارای بیش‌ترین ریسک و زیرمعیار تملک اراضی، مربوط به معیار فنی مدیریتی با وزن ۰/۰۰۲۹ دارای کم‌ترین ریسک نسبت به‌کل زیرمعیارها می‌باشد. هم‌چنین با انجام تحلیل حساسیت بیش‌ترین حساسیت نسبت به افزایش و کاهش ۵۰ درصدی وزن معیار اقتصادی و کم‌ترین حساسیت نسبت به افزایش و کاهش ۳۰ درصدی وزن معیار فنی‌مدیریتی می‌باشد.

استناد: خسروی طائمه، راضیه؛ محمدولی سامانی، جمال و رضوی طوسی، سیده لیلا (۱۴۰۲). ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک سدها با استفاده از روش ترکیبی DEMATEL-ANP. *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۳ (۴)، ۱۰۵۳-۱۰۶۹. DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2023.354354.1045

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

رودخانه‌ها رگ‌های حیاتی کره زمین هستند و در کشوری مانند ایران که در اقلیم خشک و نیمه‌خشک واقع شده است نقش آن‌ها بسیار پررنگ و حیاتی است. علاوه بر کشورهای مختلف، در ایران نیز از گذشته سدسازی در غالب ساخت بندسار که نوعی تکنیک سنتی در مدیریت منابع آب کشور است، موردتوجه و تأکید قرار داشته است. مخازن سدها دارای اهداف مختلف بهره‌برداری می‌باشند. از معمول‌ترین آن‌ها می‌توان به تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعت، کنترل سیلاب، تنظیم جریان آب در پایین‌دست، تغذیه آب‌های زیرزمینی اشاره کرد. سدها با متوقف‌کردن جریان رودخانه و ذخیره آب می‌توانند به‌عنوان یک عامل ناپایدارکننده در طبیعت محسوب شوند. حال آن‌که اگر این ناپایداری در حد توان و تحمل محیط‌زیست نباشد، آثار مخرب این سازه به‌تدریج ظهور خواهد کرد و اهداف سدسازی را از بین خواهد برد (Parham *et al*., 2008). اگرچه فعالیت ساخت سد جنبه‌های مفیدی دارد، اما علاوه بر مزایا و اثرات مثبت، دارای معایب و اثرات منفی نیز هستند. بشر امروزی به‌جای مقابله با ریسک در وضعیتی اضطراری، نسبت به شناسایی، طبقه‌بندی، ارزیابی و کنترل ریسک‌های پیرامون خود و محیط‌زیست اطرافش اقدام می‌کند، چراکه اعتقاد دارد «پیشگیری بهتر از درمان است» (Mohammad fam, 2005). آمار مربوط به خسارات ناشی از ریسک‌های موجود در سدها و هزینه زیاد آن‌ها، نشانگر این مطلب است که مهار تمامی این ریسک‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد و تنها می‌توان با اجرای روش‌های مدیریتی مناسب مقدار این خسارات را کاهش داد. درواقع تصمیم‌گیرندگان باید با توجه به میزان ریسک موجود، تصمیم مدیریتی ویژه‌ای را اتخاذ نمایند. در این راستا، باتوجه به وجود معیارها و زیرمعیارهای مختلف در ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های موجود برای سد و ارتباطات پیچیده بین آن‌ها استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای می‌تواند به مدیریت ریسک در سدها کمک کند و با تعیین درجه اهمیت هر یک از ریسک‌ها، منجر به انجام اقدامات و برنامه‌های مدیریتی مناسب، جهت کاهش خطرات احتمالی گردد. ازآنجاکه خطرات ایجادشده در سدها در بخش‌های اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و فنی مدیریتی بر یکدیگر تأثیر گذارند، بنابراین جهت تعیین وزن‌ها نیاز به روشی است که که علاوه بر روابط سلسله‌مراتبی بتواند روابط شبکه‌ای بین معیارها و زیرمعیارهای مربوطه را مدل کند. ازمیان روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش جدید فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)[۱]، با شناسایی و تعیین روابط بین معیارها به‌عنوان اولین قدم در حل این‌گونه مسائل به تصمیم‌گیرنده کمک می‌کند و ارتباطات پیچیده بین عناصر و وابستگی‌های متقابل آن‌ها را به‌صورت روابط شبکه‌ای در نظر می‌گیرد. ازجمله پژوهش‌هایی که در زمینه ارزیابی سدها و رتبه‌بندی آن‌ها با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شده است؛ در سال ۱۹۸۹ در سیاست‌گذاری و ارزیابی مدیریت منابع آب پکن از روش فرایند سلسله‌مراتبی (AHP)[۲] استفاده شد (Mei *et al*., 1989). در پژوهش دیگری، برای اولویت‌بندی گزینه‌های تخصیص آب چند مخزن براساس معیارهای سودآوری، عدالت و اعتمادپذیری از روش فرایند سلسله‌مراتبی استفاده شد (Kongjun and Vudhivanich, 2003) در مطالعه‌ای برای شناسایی ریسک سد در پروژه برقابی دانشگاه هوهای نانجینگ چین باهدف شناسایی خطرات سد و اولویت‌بندی آن‌ها، خطرات را از سه جهت، ریسک طبیعی، ریسک فنی و ریسک مدیریتی با روش فرایند تحلیل شبکه‌ای بررسی کردند (GU and Wang, 2010). هم‌چنین اولویت‌بندی گزینه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای کارون بزرگ در سال ۱۳۹۰ نیز با استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای انجام شد (RazaviToosi and Samani, 2012). در پژوهشی دیگر، با عنوان ارزیابی ریسک در پروژه‌های سدسازی، از روش AHP و ELECTRE I برای شناسایی منابع ریسک مرتبط با عملکرد سدها در استان تریکالا در مرکز یونان، استفاده شد. هدف از انجام این پژوهش اولویت‌بندی ریسک سه سد خاص بود (Samaras *et al*., 2014). Bid and Siddique (2019) در منطقه مطالعاتی رودخانه دامودار هند به ارزیابی ریسک انسانی در سد پنچت با استفاده از دو روش از روش‌های تصمیم‌گیری

چندمعیاره شامل روش تاپسیس و روش مجموع وزنی (WASPAS) پرداختند. نتیجه کار این را نشان می‌داد از همان ابتدای تأسیس سد، ریسک (جابه‌جایی جمعیت) در میان مردم نزدیک به سد بیش‌تر برجسته بوده است. در سال ۱۳۹۷، ارزیابی پایداری سدها به‌منظور ارائه بینش‌هایی برای ساخت سدها و مدیریت آن‌ها انجام شد. در این مطالعه از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی برای پرداختن به مسئله اثرات پایداری اجتماعی- اکولوژیکی در سد رئیس‌علی دلواری، تحت شرایط تغییرات آب‌وهوایی استفاده شد. برای ساخت قسمت معیارهای درخت تصمیم‌گیری، از تجزیه‌وتحلیل (SWOT)[۳] به معنی نقاط قوت، ضعف‌ها، فرصت‌ها و تهدیدات و برای انجام آنالیز سوات، از روش گروه متمرکز استفاده شد (Karami and Karami, 2019). He *et al.* (2020) از یک مدل فازی برای ارزیابی اثرات اجتماعی ناشی از شکست سد در چین استفاده کردند که معیارها شامل ارتفاع سد، ظرفیت مخزن، جمعیتی که در معرض خطر هستند، ریسک اقتصادی، درجه مهندسی، درجه توسعه شهر، امکانات مهم موجود (راه‌آهن، بزرگراه و ...) و میراث فرهنگی بودند که وزن آن‌ها با استفاده از روش فرایند سلسله‌مراتبی محاسبه شده است. Zhu *et al.* (2020) در چین از روش دیماتل- ویکور در شناسایی مسیر شکست سد و درجه خسارت‌های آن استفاده کردند که برای این امر پنج کارشناس با تحلیل رابطه تأثیر بین هفت نوع مسیر شکست سد، ماتریس همبستگی مستقیم بین مسیرهای شکست سد را به‌دست آوردند و با استفاده از داده‌های مربوط به سن شکست سد، وضعیت مهندسی، نوع سد و زمان شکست و غیره ویژگی‌های تغییرات زمانی و مکانی شکست سد در چین تجزیه و تحلیل شد و براساس ریاضیات فازی و روش ویکور، یک روش شناسایی مسیر شکست سد ایجاد شد. برای افزایش کارایی روش‌های مختلف تصمیم‌گیری و قابلیت‌های آن‌ها، از روش‌های ترکیبی تصمیم‌گیری نیز در پژوهش‌ها استفاده شده است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. استفاده از مدل تلفیقی دیماتل و تصمیم‌گیری چندمعیاره در ارزیابی زنجیره تأمین سبز (Büyüközkan and Çifçi, 2012)، ارزیابی کنترل ریسک امنیت اطلاعات، با روش ترکیبی دیماتل (Yang *et al.*, 2013) و ارزیابی و انتخاب تولیدکننده شرکت مخابراتی با روش دیماتل و فرایند تحلیل شبکه‌ای است (Uygun *et al.*, 2015). هم‌چنین قربانعلی‌پور و همکاران (۱۳۹۶) در طراحی مدلی برای مدیریت ریسک سلامت انسان در پروژه‌های سدسازی از روش DEMATEL-ANP در پروژه سد پل‌رود رحیم‌آباد گیلان استفاده کرده‌اند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که "عدم آموزش کافی برای استفاده از وسایل و ابزار" مهم‌ترین ریسک بود (Ghorbanalipour *et al.*, 2018). با توجه به اهمیت بررسی ریسک‌های اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و فنی مدیریتی در سدها و هم‌چنین وجود ارتباطات و تأثیرات بین ریسک‌های مختلف در هر بخش، در این پژوهش به ارزیابی و بررسی اثرات ایجادشده در طول عمر سد در بخش‌های مختلف ذکرشده به‌طور هم‌زمان پرداخته شده و از روش دیماتل برای نخستین‌بار در ارزیابی معیارهای مؤثر در ریسک‌های سد در حوضه تصمیم‌گیری و مدیریت منابع آب استفاده شده است تا تأثیر هم‌زمان آن‌ها بر یکدیگر و ساختار مسئله نمایان شود. در این روش نه‌تنها روابط شبکه‌ای بین معیارها تعیین می‌شود بلکه میزان تأثیرگذاری آن‌ها بر یکدیگر نیز مشخص می‌گردد و روشی کارا در کمک به مدیران بخش مربوط در اتخاذ تصمیم خواهد بود. در واقع هدف این مقاله استفاده از روش ترکیبی"دیماتل- فرایند تحلیل شبکه‌ای" جهت ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک سه سد لار، طالقان و ماملو می‌باشد. در روش پیشنهادی، ابتدا روابط شبکه‌ای بین ریسک‌های مختلف و میزان تأثیر آن‌ها بر یکدیگر مشخص شده و پس از تعیین میزان اهمیت هر یک از ریسک‌ها، اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها انجام می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

اگرچه فعالیت ساخت سد جنبه‌های مفیدی دارد، اما چندین مورد از انواع ریسک‌ها را نیز به‌همراه دارد. برای شناخت

ریسک‌های موجود در سد و اولویت‌بندی آن‌ها، روش‌های زیادی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است. یکی از محدودیت‌های این روش، عدم درنظرگرفتن تأثیرات متقابل بین عناصر تصمیم‌گیری، یعنی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌هاست. در این روش، ارتباط بین عناصر تصمیم به‌صورت سلسله مراتبی و یک‌طرفه است. بنابراین برای بررسی تأثیرات بین سطوح مختلف تصمیم‌گیری جهت تعیین وزن و اولویت‌بندی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها نیاز به‌روشی است که علاوه بر روابط سلسله‌مراتبی بتواند روابط شبکه‌ای بین آن‌ها را نیز مدل کند. از بین روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای، روش فرایند تحلیل شبکه‌ای برای این ارزیابی مناسب‌ترین گزینه است. برای تعیین میزان تأثیر بین زیرمعیارهای مدل تصمیم‌گیری، روش دیماتل به‌عنوان یک روش کارآمد در ترکیب با روش فرایند تحلیل شبکه‌ای می‌باشد هم‌چنین در این پژوهش از روش ترکیبی "دیماتل- فرایند تحلیل شبکه‌ای" جهت ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک سه سد لار، طالقان و ماملو استفاده می‌شود که الگوریتم آن به‌صورت شکل (۱) می‌باشد.

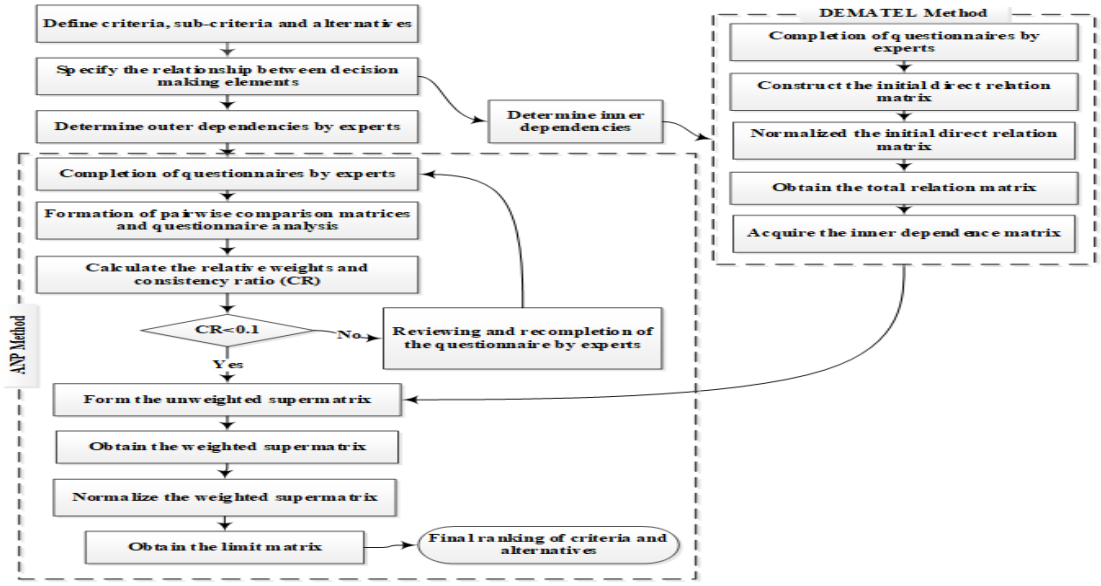


Figure 1. DEMATEL-ANP hybrid method algorithm in dam risk assessment

۲.۱. روش ترکیبی DEMATEL-ANP

تاکنون ابزارها و روش‌های متعددی برای حل مسائل چندمعیاره ارائه شده است. از کارآمدترین این تکنیک‌ها فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی بوده که توسط توماس ساعتی ارائه شد (Satty, 1980). پس از چندی به‌دلیل آن‌که روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی جامعیت لازم را نداشت، Satty (1996) روش گسترش‌یافته‌ای تحت عنوان فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) ارائه نمود. در روش فرایند تحلیل شبکه‌ای از یک ساختار شبکه‌ای استفاده می‌شود که در آن، معیارهای سطوح پایین‌تر نیز می‌توانند بر معیارهای سطوح بالاتر و معیارهای همان سطوح تأثیرگذار باشند (Boran *et al*., 2007).

روش فرایند تحلیل شبکه‌ای از سه‌گام اصلی شامل ۱- ساختن مدل و ساختار مسئله، ۲- تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و ۳- تشکیل ابر ماتریس‌ها جهت محاسبه بردار وزن نهایی تشکیل می‌شود (Sabokbar *et al*., 2008). در ساختن مدل و تبدیل مسئله به یک ساختار شبکه‌ای، نه‌تنها معیارها بر عناصر و عناصر بر گزینه، گزینه بر عناصر و ... تأثیر می‌گذارند، بلکه حتی عناصر بر خودشان و بر دیگر معیارها نیز اثرگذارند. یعنی هر عنصر قابلیت این را دارد که بر عناصر دیگر اثر بگذارد و روابط شبکه‌ای را به‌وجود آورد. این ساختار شبکه‌ای را می‌توان از طریق طوفان فکری و یا هر روش

مناسب دیگری چون پرسشنامه دلفی، به‌دست آورد. در این روش، روابط شبکه‌ای شامل روابط بیرون شبکه‌ای و درون شبکه‌ای است. برای تعیین روابط درون شبکه‌ای روش‌های مختلفی وجود دارد که در این پژوهش از روش دیماتل استفاده شده است. روش دیماتل به وسیله برنامه علوم و بشر انستیتو Memorial Battelle ژنو، بین سال‌های ۱۹۷۲ و ۱۹۷۶ توسط گابوس و فانتلا ارائه شد (Gabus and Fontela, 1972). این تکنیک وضعیت تأثیرگذاری و قدرت بین عوامل تأثیر و تبدیل آن‌ها به یک مدل ساختاری شهودی یک سیستم را تجزیه وتحلیل می‌کند (Lin and Wu, 2008). در روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تغییر اولویت‌بندی گزینه‌ها وزن زیرمعیارهاست. تکنیک دیماتل با رویکردی که دارد می‌تواند اثرگذاری‌های غیرمستقیم و کلیه اثرگذاری‌های زیرمعیارهای مختلف بر یکدیگر را در تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای تعیین کند. به‌طورکلی در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره هنگامی که لازم باشد مسائل پیچیده براساس روابط میان عناصر مهم آن حل شود باید از روش دیماتل استفاده شود (Talebi and Arashpour, 2014). هم‌چنین می‌توان ذکر کرد که خروجی روش دیماتل می‌تواند به‌عنوان بخشی از ورودی روش فرایند تحلیل شبکه‌ای نیز به‌کار برده شود. به این ترتیب علاوه بر این‌که دیماتل در ارزیابی معیارها مؤثر است، به‌طور مستقیم در تصمیم‌گیری چندمعیاره تأثیرگذار خواهد بود. مراحل روش دیماتل- فرایند تحلیل شبکه‌ای به شرح زیر می‌باشد:

مرحله ۱- در ابتدا معیارها و زیرمعیارهای مرتبط با مسئله و هم‌چنین گزینه‌ها تعیین می‌شوند. روش فرایند تحلیل شبکه‌ای شامل خوشه‌ها[۴] (همان معیارها هستند) و زیرمعیارهایی است که به‌صورت شبکه‌ای با یکدیگر در ارتباطند. معیارها شامل زیرمعیارهایی هستند که از نظر موضوعی مشابه یکدیگرند. در این ساختار، معیارهای سطوح پایین‌تر نیز می‌توانند بر معیارهای سطوح بالاتر و معیارهای همان سطوح تأثیرگذار باشند (Boran *et al*., 2008). به‌طورکلی، فرایند تحلیل شبکه‌ای دارای ساختاری غیرخطی است که در آن دو نوع ارتباط تعریف می‌شود: ۱- ارتباط داخلی که به معنای ارتباطات بین زیرمعیارهایی است که در یک معیار قرار می‌گیرند؛ مانند روابط شبکه‌ای بین زیرمعیارهای معیار اجتماعی و ۲- ارتباط خارجی که شامل روابط شبکه‌ای بین زیرمعیارهای یک معیار با زیرمعیارهای معیار دیگر است. مانند ارتباط شبکه‌ای بین زیرمعیارهای معیار اجتماعی با زیرمعیارهای معیار اقتصادی و سایر معیارها.

مرحله ۲- تعیین ارتباطات داخلی و خارجی: برای تعیین ارتباطات خارجی از نظرات تعدادی از کارشناسان و خبرگانی استفاده شده است که در زمینه آب و منابع آب، پژوهش‌های را انجام داده‌اند، که بر این اساس ماتریس‌های مقایسه زوجی مربوط به ارتباطات خارجی تشکیل شد و براساس جدول (۱) (روش ANP) این ماتریس‌ها توسط ده نفر از کارشناسان و خبرگان مؤسسات مختلف (سازمان آب منطقه‌ای تهران، مرکز مهندسین مشاور لار، سازمان منابع طبیعی و محیط‌زیست تهران) و با نظر اساتید دانشگاه تکمیل شدند.

پس از این‌که روابط و تأثیرات شبکه‌ای بین معیارها و زیرمعیارها در مدل تصمیم‌گیری مشخص شد، ماتریس‌های مقایسه زوجی و پرسشنامه‌ها تنظیم و توسط کارشناسان تکمیل می‌گردند. سپس روایی و پایایی پرسشنامه‌ها موردارزیابی قرار می‌گیرد. روایی و پایایی ویژگی‌هایی هستند که هر ابزار سنجشی ازجمله پرسش‌نامه‌ها باید دارا باشند. با توجه به این‌که پرسشنامه روش فرایند تحلیل شبکه‌ای و روش فرایند سلسله‌مراتبی به تأیید خبرگان موضوع می‌رسد، لذا روایی آن مورد تأیید می‌باشد. مفهوم پایایی در پرسشنامه‌های روش فرایند سلسله‌مراتبی و فرایند تحلیل شبکه‌ای، با استفاده از نرخ ناسازگاری بررسی می‌شود. این شاخص به‌گونه‌ای طراحی‌شده است که در صورت ناسازگار و متناقض‌بودن پاسخ‌های خبرگان، مقدار آن افزایش می‌یابد. بنا به نظر آقای Saaty (1996)، چنانچه نرخ ناسازگاری کم‌تر از ۰/۱ باشد سازگاری ماتریس مقایسات موردتأیید بوده و قابل‌قبول می‌باشد، اما درصورتی‌که نرخ ناسازگاری بزرگ‌تر از ۰/۱ باشد نشان‌دهنده تناقض در ارزیابی‌ها و قضاوت‌های خبرگان می‌باشد و باید پرسشنامه‌ها دوباره تکمیل شوند.

برای تعیین ارتباطات داخلی، از روش دیماتل استفاده شد. در این روش پس از تهیه پرسشنامه برای زیرمعیارهای هر معیار، میزان اثرگذاری زیرمعیارها براساس جدول (۱) (روش DEMATEL) توسط نظرات کارشناسان و افراد خبره ارزیابی شد. در روش فرایند تحلیل شبکه‌ای، برای تعیین میزان ارجحیت معیارها و زیرمعیارها از بازه یک تا نُه (مطابق جدول ۱) استفاده می‌شود. به‌طوری‌که عدد یک، مشخص‌کننده اهمیت مساوی بین دو عنصر و عدد نه، مشخص‌کننده اهمیت فوق‌العاده بیش‌تر یک عنصر بر عنصر دیگر است.

Table 1. Numerical value corresponding to Expressions in DEMATEL and ANP methods

ANP method (Saaty and Vargas, 2006)		DEMATEL method (Fontela and Gabus, 1972)	
Importance	**Numerical value**	**Preferences (Verbal judgment)**	**Numerical value**
Equal importance	1	No influence	0
Moderate importance of one over another	3	Very low influence	1
Strong or essential importance	5	Low influence	2
Very strong or demonstrated importance	7	High influence	3
Extreme importance	9	Very high influence	4
Intermediate values	2,4,6,8		

مرحله ۲-۱- محاسبه ماتریس رابطه مستقیم[۵]: در این مرحله، پس از این‌که تعدادی از کارشناسان با توجه به تأثیری که زیرمعیارها بر یکدیگر دارند، مقایسه‌ها را انجام دادند، ماتریس ارتباط مستقیم M (رابطه ۱) تشکیل می‌شود. اگر K متخصص پاسخگو با n عامل وجود داشته باشد، نتایج برای هر متخصص در یک ماتریس n×n تشکیل می‌شود. مؤلفه‌های این ماتریس با M_{ij} نمایش داده و هر مؤلفه از این ماتریس بیانگر درجه تأثیری است که زیرمعیار i بر زیرمعیار j دارد. قطر اصلی ماتریس صفر است.

رابطه ۱)
$$M=\begin{bmatrix} 0 & M_{12} & \cdots & M_{1n} \\ M_{21} & 0 & & M_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{n1} & M_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

مرحله ۲-۲- نرمال‌سازی ماتریس: نرمال‌سازی ماتریس M که با $\widehat{M}$ نشان داده می‌شود شدت نسبی روابط مستقیم را نشان می‌دهد که با استفاده از معادلات (۲) تا (۵) به‌دست می‌آید.

رابطه ۲)
$$Z = [M_{ij}]$$

رابطه ۳)
$$S = MAX\sum_{i=1}^{n} M_{ij}$$

رابطه ۴)
$$\widehat{M}=\begin{bmatrix} 0 & \widehat{M_{12}} & \cdots & \widehat{M_{1n}} \\ \widehat{M_{21}} & 0 & & \widehat{M_{2n}} \\ & \vdots & \ddots & \vdots \\ \widehat{M_{n1}} & \widehat{M_{n2}} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

رابطه ۵)
$$\widehat{M}_{ij}=\frac{Z}{S}$$

مرحله ۲-۳- محاسبه ماتریس رابطه کلی[۶]: ماتریس مذکور روابط بین تمامی عوامل اعم از غیرمستقیم و مستقیم را نشان می‌دهد. رابطه ماتریس کل T را می‌توان با استفاده از رابطه (۶) که در آن I ماتریس همانی n ×n است، محاسبه کرد.

رابطه ۶)
$$T=\widehat{M}\times(I-\widehat{M})^{-1}$$

پس از به‌دست‌آمدن ماتریس روابط کلی (T)، از این ماتریس به‌عنوان ورودی ANP در ابر ماتریس وزن‌دهی‌نشده استفاده می‌شود.

مرحله ۳- تشکیل ابر ماتریس: پس از اطمینان از سازگاری ماتریس‌های مقایسات زوجی در ارتباطات خارجی، وزن‌های نسبی در هر یک از ماتریس‌ها محاسبه می‌شوند. برای دست‌یابی به اولویت‌های کلی در یک سیستم با تأثیرات متقابل، وزن‌های نسبی در ستون‌های مناسب یک ابر ماتریس وارد می‌شوند. برای محاسبه وزن‌های نهایی، باید سه نوع ابر ماتریس موردمحاسبه قرار گیرد: ۱- ابر ماتریس غیر وزنی، ۲- ابر ماتریس وزنی، ۳- ابر ماتریس حدی.

مرحله ۳-۱- تشکیل ابر ماتریس وزن‌دهی‌نشده: عناصر فرایند تحلیل شبکه‌ای با یکدیگر در تعامل قرار دارند، این عناصر شامل معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها می‌باشند. پس از تشکیل ساختار شبکه‌ای بین آن‌ها، ماتریس‌های مقایسه زوجی با توجه به ارتباطات خارجی بین معیارها، ایجاد می‌شوند. وزن‌های نسبی به‌دست‌آمده از ماتریس‌های مقایسه زوجی، در بخش‌های مربوط به آن‌ها در ابر ماتریس وزن‌دهی‌نشده قرار می‌گیرند. هم‌چنین بخش‌هایی از ابر ماتریس که مربوط به ارتباط داخلی معیارهاست، با نتایج به‌دست‌آمده از دیماتل تکمیل می‌شود. در شرایطی که ارتباطی بین عناصر تصمیم‌گیری وجود ندارد، درایه‌های ابر ماتریس صفر می‌شود.

مرحله ۳-۲- تشکیل ابر ماتریس وزن‌دهی‌شده: پس از تشکیل ابر ماتریس وزن‌دهی‌نشده، با ضرب آن در وزن‌های به‌دست‌آمده از ماتریس‌های مقایسه زوجی معیارها، ابر ماتریس وزن‌دهی‌شده به‌دست می‌آید. درواقع ستون‌های ابر ماتریس وزن‌دهی‌شده از چند بردار ویژه تشکیل می‌شود که جمع هرکدام از بردارها برابر یک است، بنابراین این امکان وجود دارد که جمع هر ستون ابر ماتریس اولیه بیش از یک باشد (متناسب با بردارهای ویژه‌ای که در هر ستون وجود دارند). برای آن‌که جمع هر ستون برابر یک شود، هر ستون ماتریس استاندارد می‌شود. درنهایت ماتریس جدیدی به‌دست می‌آید که جمع هریک از ستون‌های آن برابر یک خواهد بود. ماتریس جدید، معروف به ابر ماتریس وزنی، به‌صورت شکل (۲) تشکیل می‌شود که ابر ماتریس وزنی یا ماتریس استوکاستیک گفته می‌شود (Saaty and Vargas, 2006).

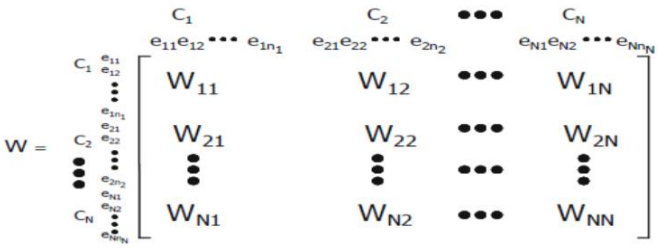


Figure 2. Weighted Super Matrix (Saaty, 1996)

در این شکل، c_m نشان‌دهنده m اُمین معیار، e_{mn} بیانگر n اُمین المان در m اُمین معیار و W_{ij} بردار ویژه تأثیر المان‌های مقایسه‌شده در j اُمین و i اُمین معیار است. هم‌چنین اگر بین j اُمین و i اُمین خوشه در ساختار شبکه‌ای، ارتباطی وجود نداشته باشد، W_{ij} صفر است (Saaty, 1996).

مرحله ۳-۳- تشکیل ابر ماتریس حدی: در این مرحله، ابر ماتریس وزنی، به توان می‌رسد تا زمانی‌که عناصر ماتریس همگرا شده و مقادیر تمام ستون‌های آن با هم برابر شوند. ارجحیت نهایی برای هر عنصر از هر زیرگروه بر طبق استدلال ساعتی، از طریق رابطه حدی (۷) به‌دست می‌آید.

$$W_c = \lim_{l\to\infty} W^{2l+1}$$

رابطه ۷)

در این صورت عناصر ابر ماتریس، به سمت یک مقدار واحد، همگرا شده که مقادیر آن‌ها در هر ستون از ابر ماتریس برابر خواهد بود. بدین ترتیب اولویت‌بندی گزینه‌ها و وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها مشخص می‌شود (Saaty and Vargas, 2006).

۲. ۲. نمونه مطالعاتی

در این پژوهش از روش ترکیبی دیماتل- فرایند تحلیل شبکه‌ای برای اولویت‌بندی و وزن‌دهی ریسک‌های مربوط به سه سد طالقان، ماملو و لار با نگرش جدید در تصمیم‌گیری استفاده شده است.

قلمرو مطالعاتی منطقه‌ای حوضه آبخیز طالقان با مساحت ۳۲۰۰۰ هکتار در۱۲۰ کیلومتری شمال‌غرب تهران و ۴۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان کرج قرار گرفته است. ناحیه مطالعاتی این پروژه واقع در محدوده عرض جغرافیایی ۳۹۹۴۰۰۰ تا ۴۰۱۷۰۰۰ و طول جغرافیایی ۴۶۴۰۰۰ تا ۴۹۱۰۰۰ زون ۳۹ سیستم تصویر UTM براساس تقسیمات سیاسی در محدوده شهرستان طالقان قرار می‌گیرد و دارای مختصات جغرافیای بین ۵۰ درجه و ۳۷ دقیقه و ۲۳ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۵۳ دقیقه و ۵۵ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقه و ۵۳ ثانیه عرض شمالی قرار دارد. شهرستان طالقان در غرب استان تهران واقع‌شده و یکی از مناطق جذاب و تفریحی منطقه بوده که هنوز دارای طبیعتی نسبتاً دست‌نخورده است.

سد ماملو بر روی رودخانه جاجرود در دو کیلومتری پایین‌دست محل برخورد رودخانه دماوند به جاجرود و در حدفاصل ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه و ۱۲ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۵۲ دقیقه و ۷ ثانیه طول شرقی ۵۴ درجه و ۳۴ دقیقه و ۳۵ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۴۲ دقیقه و ۱۷ ثانیه عرض شمالی و در حدود ۴۵ کیلومتری شرق تهران واقع‌شده است و به‌عبارتی در انتهای اتوبان شهید بابایی تهران و در کیلومتر ۲۲ جاده پارچین قرار داشته که جهت دسترسی به محل سد می‌باید از جاده اختصاصی سد ماملو واقع در مسیر فوق‌الذکر استفاده گردد. وضعیت خاص سد ماملو به لحاظ قرارگرفتن در درون منطقه حفاظت‌شده جاجرود و حاشیه جنوب‌شرقی پارک ملی خجیر حساسیت خاصی به آن بخشیده است (Lar Engineers Company, 2001).

سد لار در حوضه آبریز دریای خزر و در زیر حوضه هراز- قره‌سو، بر روی رودخانه لار با سطح حوضه آبریزی به مساحت ۶۷۵ کیلومترمربع و با متوسط جریان آب سالانه به میزان۴۸۱ میلیون مترمکعب احداث شده است. ازنظر جغرافیایی سد لار در فاصله ۷۵ کیلومتری تهران و ۱۰۰ کیلومتری آمل قرار دارد. این سد از نوع خاکی همگن با ارتفاع ۱۰۷ متر از پی و ۱۰۵ متر از کف رودخانه دارای حجم مخزن ۹۶۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. طول تاج سد ۱۱۵۰ متر و عرض تاج ۱۳ متر است. هدف اصلی از احداث سد لار تأمین آب کشاورزی با سطح زیر کشت ۹۰ هزار هکتار، تأمین بخشی از آب شرب تهران و انتقال آب به میزان ۱۴۰ میلیون مترمکعب به نیروگاه کلان جهت تولید ۸۷ مگاوات انرژی برقابی بوده است.

تعیین معیارها و زیرمعیارها: سدها علاوه بر منافع اجتماعی بسیاری که برای ما دارند امکان دارد با گذشت زمان نیز خطراتی مانند خطرات اجتماعی، اقتصادی، فنی مدیریتی و زیست‌محیطی داشته باشند. در راستای ارزیابی سدها و خطرات آن‌ها معیارها و زیرمعیارهای زیادی تأثیرگذارند. براساس مطالعات کتابخانه‌ای و هم‌چنین بررسی پژوهش‌های سایر پژوهش‌گران، چهار معیار و ۴۲ زیرمعیار مهم و تأثیرگذار جهت ارزیابی سدهای لار، ماملو و طالقان مطابق جدول (۲) در نظر گرفته شد.

۳. نتایج و بحث

در این پژوهش از روش ترکیبی دیماتل- فرایند تحلیل شبکه‌ای برای اولویت‌بندی و وزن‌دهی ریسک‌های مربوط به سه سد طالقان، ماملو و لار استفاده شده است. ابتدا براساس مطالعات کتابخانه‌ای و پژوهش‌های پیشین، خطرات سدها تعیین و در بخش‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و فنی مدیریتی تقسیم‌بندی شدند. سپس روابط و تأثیرات شبکه‌ای بین زیرمعیارهای هر بخش در مدل تصمیم‌گیری مشخص و بر این اساس، ماتریس‌های مقایسه زوجی و پرسشنامه‌ها تنظیم و توسط کارشناسان تکمیل شد. هم‌چنین روایی و پایایی پرسشنامه‌ها موردارزیابی قرار گرفت.

Table 2. Criteria and Sub-Criteria

Code	Sub-Criteria	Criteria	Code	Sub-Criteria	Criteria
En4	Reducing Self-healing power of the river and increasing river pollution	Environmental	S1	Land use change	Social
En5	Geomorphological change in the region		S2	Impact on landscape and tourism	
En6	Climate change		S3	Increased immigration	
En7	Eutrification		S4	Loss of jobs in upstream of dam	
En8	Noise and air pollution		S5	Tourism and entertainment	
En9	The occurrence of large floods		S6	Destruction of native culture and social interference	
En10	Decreasing water quality		S7	Reducing water saving culture	
En11	Growth and development of plankton		S8	Terrorism and vandalism	
En12	Thermal stratificaion		S9	Access	
En13	destroy plant species		S10	Safety and hygiene	
M1	Reducing self-purification in river and increasing river pollution	Technical-Managerial	S11	Flood caused by the dam	
M2	Creating an induced earthquake		S12	Disturbance in the neighborhood system	
M3	Dam wall seepage		Ec1	Employment	Economic
M4	Spillway seepage		Ec2	Flood caused by the dam	
M5	The overall instability of the dam		Ec3	Reduction of upstream irrigated cultivation	
M6	Spillway blockage		Ec4	Possession of land	
M7	Deterioration of dam slope		Ec5	Operation and maintenance costs of the power plant	
M8	Penetration and leakage from the foundation		Ec6	Dam break	
M9	Corrosion of facilities due to water salinity		En1	Downstream erosion and sedimentation	Environmental
M10	Weakness of the structure		En2	Soil pollution and salinization of agricultural lands	
M11	Dam break		En3	Migration or extinction of different animal species	

۳. ۱. روابط شبکه‌ای

پس از تعیین معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها، اولین مرحله تعیین روابط شبکه‌ای و تأثیرگذاری بین آن‌هاست. در این پژوهش روابط درونی با استفاده از روش دیماتل و روابط بیرونی براساس پرسشنامه به‌دست‌آمده که در شکل (۳) نشان داده‌شده است.

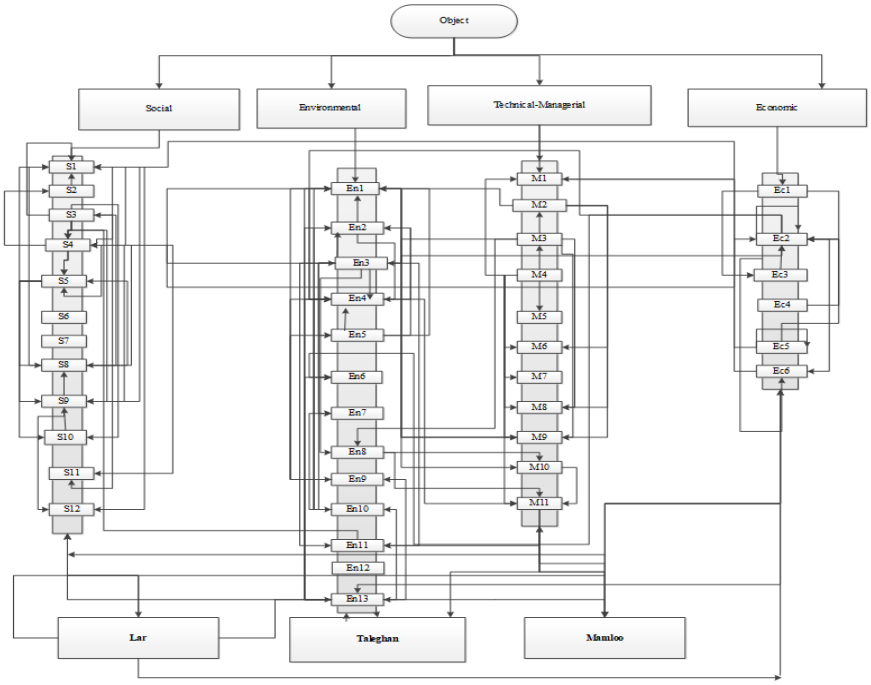


Figure 3. The Network Relations of the Decision-Making Model

در روش دیماتل، پس از تعیین میزان اثرگذاری زیرمعیارها در هرمعیار، ماتریس ارتباط مستقیم M تشکیل شد، که یک نمونه از آن برای معیار اقتصادی در جدول (۳) نشان داده شده است.

Table 3. Direct Relation Matrix in Economic Cluster

	Ec_1	Ec_2	Ec_3	Ec_4	Ec_5	Ec_6
Ec_1	0	0	0	0	0	0
Ec_2	2	0	4	0	3	4
Ec_3	4	0	0	0	0	0
Ec_4	0	0	0	0	0	0
Ec_5	0	0	0	0	0	3
Ec_6	0	4	0	0	4	0

سپس با تقسیم درایه‌های ماتریس بر بیشینه مقادیر، ماتریس نرمال به‌دست می‌آید. درنهایت، ماتریس ارتباط کلی (T) به‌دست می‌آید که به‌عنوان بخشی از ابر ماتریس وزن‌دهی‌نشده در روش فرایند تحلیل شبکه‌ای استفاده می‌شود و یک نمونه از آن برای معیار اقتصادی در جدول (۴) نشان داده شده است. هم‌چنین ارتباطات داخلی بین زیرمعیارها براساس این ماتریس به‌دست می‌آید.

Table 4. Total Relation Matrix in Economic Cluster

	Ec_1	Ec_2	Ec_3	Ec_4	Ec_5	Ec_6
Ec_1	0	0	0	0	0	0
Ec_2	0.40	0.23	0.71	0	0.41	0.47
Ec_3	0.44	0	0	0	0	0
Ec_4	0	0	0	0	0	0
Ec_5	0.03	0.15	0.05	0	0.11	0.30
Ec_6	0.13	0.63	0.24	0	0.48	0.24

مقدار آستانه از جمع کل زیرمعیارهای مربوط به یک معیار، تقسیم بر تعداد زیرمعیارهایش به‌دست می‌آید که مقدار آن برای هر یک از معیارها برابر است با معیار اقتصادی ۰/۱۰۳، معیار زیست‌محیطی ۰/۰۳۲، معیار اجتماعی ۰/۰۳۱، معیار فنی مدیریتی ۰/۰۲۱. مقادیر کم‌تر از حد آستانه، برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود.

برای تعیین ارتباطات خارجی بین زیرمعیارها، پس از تعیین ساختار شبکه‌ای بین آن‌ها، ماتریس‌های مقایسه زوجی با توجه به ارتباطات تعریف‌شده در ساختار شبکه‌ای، ایجاد می‌شوند. درنهایت براساس وزن‌های نسبی به‌دست‌آمده از ماتریس‌های مقایسه زوجی، ابر ماتریس وزن‌دهی نشده مانند جدول (۶) تشکیل می‌شود.

۳. ۲. تشکیل ابر ماتریس‌ها و تعیین وزن نهایی

برای نشان‌دادن ارتباط خارجی از نظرات کارشناسان استفاده شده است، که بر این اساس ماتریس‌های مقایسه زوجی مربوط به ارتباطات خارجی مانند جدول (۵) برای زیرمعیارهای اقتصادی در سد لار، تشکیل شده است و بر این اساس مقادیر وزن‌های نسبی آن تعیین شده است.

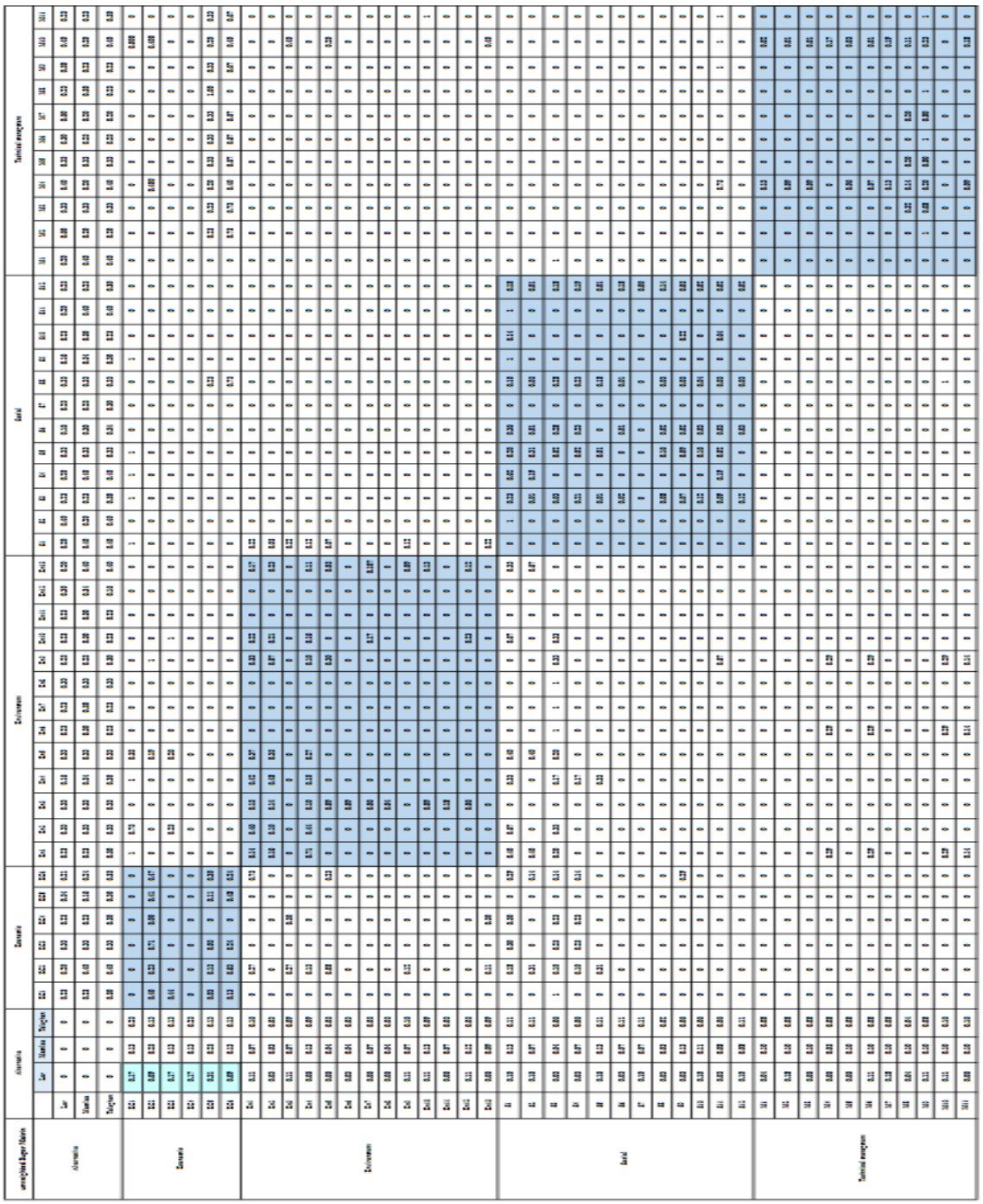
Table 5. Pairwise Comparison Matrix of Economic Criteria in Lar Dam

	Ec_1	Ec_2	Ec_3	Ec_4	Ec_5	Ec_6	Relative weights
Ec_1	1	2	1	1	1/2	2	0.17
Ec_2	1/2	1	1/2	1/2	1/3	1	0.09
Ec_3	1	2	1	1	1/2	2	0.17
Ec_4	1	2	1	1	1/2	2	0.17
Ec_5	2	3	2	2	1	3	0.31
Ec_6	1/2	1	1/2	1/2	1/3	1	0.09

برای ماتریس مقایسه زوجی فوق، ضریب سازگاری برابر با ۰/۰۰۲۲۱ است که کم‌تر از ۰/۱ می‌باشد. وزن‌های نسبی به‌دست‌آمده از ماتریس‌های مقایسه زوجی، ابر ماتریس وزن‌دهی‌نشده را تشکیل می‌دهند.

ابر ماتریس وزن‌دهی‌نشده در جدول (۶) نشان داده شده است. بخش‌های با رنگ متفاوت در ابر ماتریس، نتایج دیماتل و وزن نسبی حاصل از ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای اقتصادی در سد لار را نشان می‌دهند.

Table 6. Unweighted Super Matrix



در شرایطی که ارتباطی بین معیارها و گزینه‌ها وجود ندارد، درایه‌های ابر ماتریس صفر می‌شود. پس از تشکیل ابر ماتریس وزن‌دهی‌نشده، با ضرب آن در وزن‌های به‌دست‌آمده از ماتریس‌های مقایسه زوجی معیارها، ابر ماتریس وزن‌دهی‌شده به‌دست می‌آید. مجموع هر یک از ستون‌های ابر ماتریس وزن‌دهی‌شده، برابر با یک است. درنهایت با به توان رساندن ابر ماتریس وزن‌دهی‌شده، امتیاز نهایی هریک از گزینه‌ها به‌دست می‌آید. جدول (۷) امتیاز نهایی گزینه‌ها را نشان می‌دهد.

Table 7. The Final Scores of Alternatives

Alternative	Lar	Mamloo	Taleghan
Final Scores	0.30	0.314	0.398

همان‌طور که در جدول (۷) ملاحظه می‌شود، پس از ارزیابی ریسک‌های موجود، سد طالقان در اولویت اول ریسک قرار دارد. هم‌چنین وزن ریسک‌های مختلف در هریک از سدهای موردنظر و وزن نهایی آن‌ها در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است.

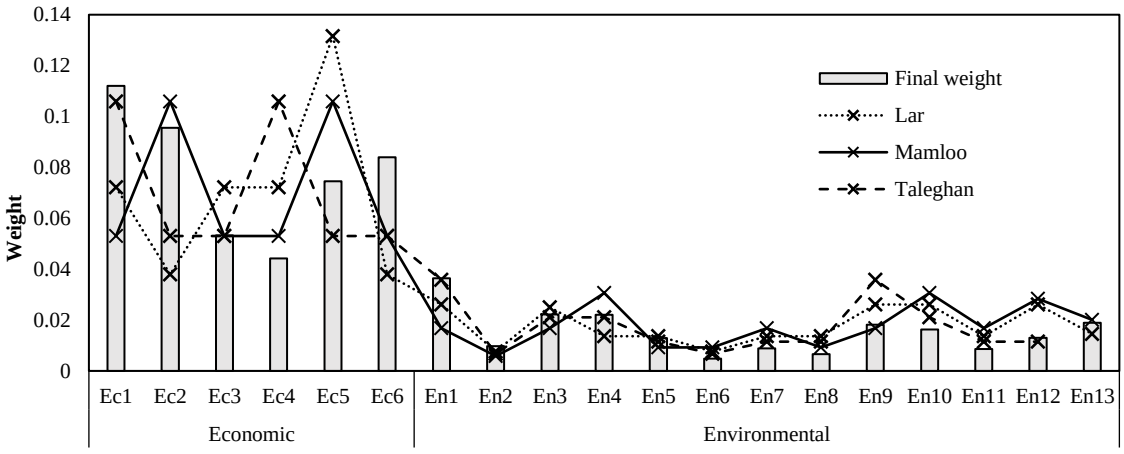


Figure 4. The Weights of Economic and Environmental Criteria

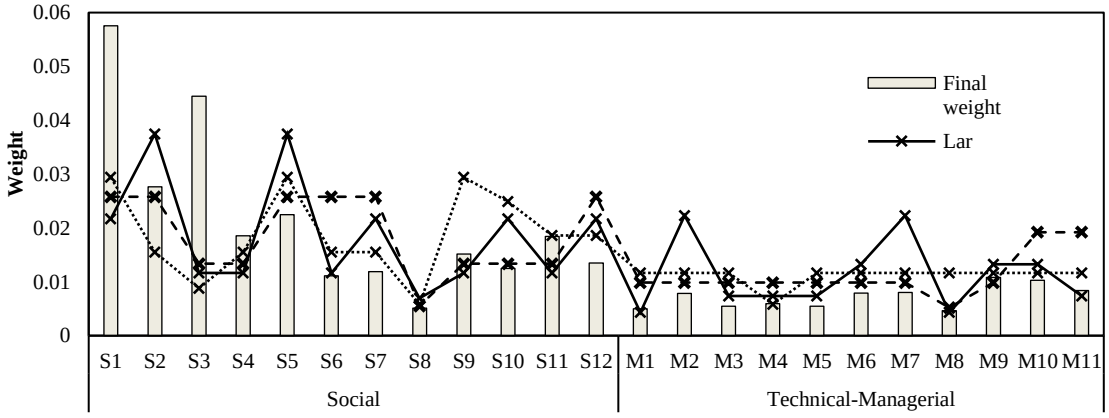


Figure 5. The Weights of Social and Technical-Managerial Criteria

براساس شکل‌های (۴) و (۵)، در معیار اقتصادی، زیرمعیارهای EC_1 (اشتغال) و EC_4 (تملک اراضی) با وزنی برابر و مقدار ۰/۱۰۶ دارای بیش‌ترین وزن و EC_2 (سیل ناشی از سد)، EC_3 (کاهش کشت آبی بالادست سد)، EC_5 (هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری از نیروگاه) و EC_6 (شکست سد) با وزنی برابر و مقدار ۰/۰۵۳ دارای کم‌ترین وزن برای سد طالقان، EC_2 (سیل ناشی از سد) و EC_5 (هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری از نیروگاه) با وزنی برابر و مقدار ۰/۱۰۶ دارای بیش‌ترین وزن وEC_1 (اشتغال)، EC_3 (کاهش کشت آبی بالادست سد)، EC_4 (تملک اراضی) و EC_6 (شکست سد) با وزنی برابر و مقدار ۰/۰۵۳ دارای کم‌ترین وزن برای سد ماملو، EC_5 (هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری از نیروگاه) با وزن ۰/۱۳۲ دارای بیش‌ترین مقدار وزنی و EC_2 (سیل ناشی از سد) و EC_6 (شکست سد) با وزنی برابر و مقدار ۰/۰۳۸ دارای کم‌ترین وزن برای سد لار می‌باشند.

در معیار زیست‌محیطی، زیرمعیارهای En_1 (فرسایش و رسوب پایین‌دست) و En_9 (وقوع سیلاب‌های زیاد) با وزنی برابر با مقدار ۰/۰۳۶ دارای بیش‌ترین وزن و En_6 (تغییرات جوی) با وزن ۰/۰۰۷ دارای کم‌ترین وزن برای سد طالقان، En_4(کاهش توان رودخانه و افزایش آلودگی آب رودخانه) و En_{10} (کاهش کیفیت آب) با وزنی برابر با مقدار ۰/۰۳۱ دارای بیش‌ترین وزن و En_2 (آلودگی خاک و شورشدن اراضی کشاورزی) با وزنی برابر با ۰/۰۰۶ دارای کم‌ترین وزن برای سد ماملو، En_1 (فرسایش و رسوب پایین‌دست) En_9 (وقوع سیلاب‌های زیاد)، En_{10} (کاهش کیفیت آب) و En_{12} (لایه‌بندی حرارتی) با وزنی برابر و مقدار ۰/۰۲۷ دارای بیش‌ترین وزن و En_6 (تغییرات جوی) با وزن برابر ۰/۰۰۸ دارای کم‌ترین وزن برای سد لار می‌باشند.

در معیار اجتماعی، زیرمعیارهای S_1 (تغییر کاربری اراضی)، S_2 (تأثیر برمنظر و گردشگری)، S_5 (توریسم و تفرج)، S_6 (از بین‌رفتن فرهنگ بومی و تداخل اجتماعی)، S_7 (کاهش فرهنگ صرفه‌جویی آب) وS_{12} (اختلال در نظام همسایگی) با وزنی برابر و مقدار ۰/۰۲۶ دارای بیش‌ترین وزن، حال آنکه S_8 (تروریسم و خرابکاری) با وزن ۰/۰۰۶ دارای کم‌ترین وزن برای سد طالقان، S_1 (تغییر کاربری اراضی)، S_5 (توریسم و تفرج) و S_9 (دسترسی) با وزنی برابر و مقدار ۰/۰۳۰ دارای بیش‌ترین وزن و S_8 (تروریسم و خرابکاری) با وزن ۰/۰۰۶ دارای کم‌ترین وزن برای سد ماملو، S_2 (تأثیر بر منظر و گردشگری) و S_5 (توریسم و تفرج) با وزن ۰/۰۳۷ دارای بیش‌ترین وزن و S_8 (تروریسم و خرابکاری) با وزنی برابر و مقدار ۰/۰۰۷ دارای کم‌ترین وزن برای سد لار می‌باشند.

در معیار فنی مدیریتی، زیرمعیارهای M_{10} (شکست سد) و M_{11} (رسوب‌گذاری و کاهش ظرفیت مخزن) با مقداری برابر و وزن ۰/۰۱۹ دارای بیش‌ترین وزن و M_8 (خوردگی تأسیسات به‌دلیل شوری) با وزن ۰/۰۰۵ دارای کم‌ترین وزن برای سد طالقان، M_1 (ایجاد زمین‌لرزه القایی)، M_2 (نشت از دیواره سد)، M_3 (تراوش سرریز)، M_5 (انسداد سرریز)، M_6 (خرابی شیب سد) و M_7 (نفوذ و نشت پی) و M_8 (خوردگی تأسیسات به‌دلیل شوری آب)، M_9 (ضعیف بودن سازه)، M_{10} (شکست سد) و M_{11} (رسوب‌گذاری و کاهش ظرفیت مخزن) با وزنی برابر و مقدار ۰/۰۱۲ دارای بیش‌ترین وزن و M_4 (بی‌ثباتی کلی سد) با وزنی برابر ۰/۰۰۶ دارای کم‌ترین وزن برای سد ماملو، M_2 (نشت از دیواره سد) وM_7 (نفوذ و نشت پی) با وزن‌های برابر و مقدار ۰/۰۰۴ دارای بیش‌ترین وزن و M_8 (خوردگی تأسیسات به‌دلیل شوری آب) با وزن ۰/۰۰۴ دارای کم‌ترین وزن برای سد لار می‌باشند.

براساس نتایج نهایی در سدها، زیرمعیار EC_1 (اشتغال) مربوط به معیار اقتصادی با مقدار ۰/۰۷۲۰ بیش‌ترین وزن و زیرمعیار M_8 (خوردگی تأسیسات به‌دلیل شوری آب)، مربوط به معیار فنی‌مدیریتی با مقدار ۰/۰۰۳ کم‌ترین وزن را در کل ارزیابی داشته‌اند.

۴. تحلیل حساسیت

در تحلیل حساسیت بررسی می‌گردد که خطاها در یک مجموعه از داده‌های ورودی بر میزان خطا، در خروجی نهایی تأثیر می‌گذارند یا خیر (Malczewaski, 1997). در این پژوهش، تحلیل حساسیت جهت بررسی تأثیر وزن معیارها در اولویت‌بندی نهایی انجام شده است. جهت نیل به هدف، در وزن‌های موجود برای معیارها تغییراتی ایجاد شد، سپس براساس این تغییرات تحلیل حساسیت صورت گرفت. تغییرات افزایش و کاهش وزن معیارها در محدوده ۲۰ تا ۵۰ درصد در نظر گرفته شد. به‌طوری‌که تغییرات وزن در معیار اجتماعی ۲۰ درصد و در سایرمعیارها ۳۰ تا ۵۰ درصد است. به‌عنوان مثال، وزن معیار اقتصادی در حالت بدون تغییر ۰/۴۲۴ می‌باشد که یک‌بار به‌ازای افزایش ۵۰ درصد برابر با ۰/۶۳۵ ویک‌بار به‌ازای کاهش ۵۰ درصد برابر با ۰/۲۱۲ در نظر گرفته‌شد. در این حالت، وزن سایر معیارها ثابت در نظر گرفته‌شد.

بیش‌ترین حساسیت نسبت به افزایش ۵۰ درصدی وزن معیار اقتصادی و کم‌ترین حساسیت نسبت به افزایش ۳۰ درصدی وزن معیار فنی‌مدیریتی می‌باشد. با تغییر وزن معیارها نتیجه نهایی اولویت‌بندی سدها به همان ترتیب باقی ماند. دوباره به‌ازای کاهش سایر معیارها نیز اولویت‌بندی سدها موردبررسی قرار گرفت. بر این اساس وزن هر یک از چهار معیار کاهشی در نظر گرفته شد و امتیاز گزینه‌ها به‌ازای این تغییرات بررسی شده است.

با کاهش وزن معیارها نسبت به حالت اولیه این بار نیز بیش‌ترین حساسیت نسبت به کاهش ۵۰ درصدی وزن معیار اقتصادی می‌باشد و کم‌ترین حساسیت نسبت به کاهش ۳۰ درصدی وزن معیار فنی‌مدیریتی می‌باشد و در مجموع تغییری در نتیجه نهایی اولویت‌بندی گزینه‌ها صورت نگرفت.

۵. نتیجه‌گیری

پروژه‌های سدسازی که به‌منظور مهارکردن آب یا تغییر مسیر آب در رودخانه و باهدف ذخیره‌کردن آب در سد احداث می‌شوند، از دو جنبه بررسی می‌شوند. جنبه مفید، که شامل تأمین آب کشاورزی، آبیاری و آب‌رسانی و یا حتی تولید انرژی برقابی است. جنبه‌ی مضر که شامل خطرات اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و فنی مدیریتی است. برای جلوگیری از بروز مشکلات و عواقب شدید خطرات نام‌برده، نیاز به شناخت ریسک‌های موجود در سد و اولویت‌بندی آن‌هاست. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ازجمله روش‌هایی است که به‌منظور ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های محیط‌زیستی سدها مورداستفاده قرارگرفته است. این خطرات که به‌عنوان معیارهای چهارگانه در نظر گرفته شدند، شامل زیرمعیارهایی می‌باشند که بر یکدیگر تأثیر دارند. ازآنجایی‌که این زیرمعیارها روی هم تأثیرگذارند، درنتیجه نمی‌توان از روش‌های قدیمی تصمیم‌گیری برای محاسبه وزن معیارها و اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده کرد. در این پژوهش، از ترکیب روش‌های دیماتل و فرایند تحلیل شبکه‌ای برای ارزیابی گزینه‌ها و تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها استفاده شده است. در این مقاله ریسک‌های موردبررسی شامل ریسک اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و فنی مدیریتی با ۴۲ زیرمعیار در بخش‌های ذکرشده می‌باشند. پس از ارزیابی ریسک‌های سه سد طالقان، ماملو و لار به‌روش فرایند تحلیل شبکه‌ای نتایج نشان می‌دهد که سد طالقان در اولویت اول ریسک قرار دارد و زیرمعیار اشتغال، مربوط به معیار اقتصادی با وزن ۰/۰۷۲۰، به‌دلیل این‌که مهاجرت نیروی کار و جوانان، اشتیاق به امور کشاورزی و اشتغال را در این مناطق کاهش داده است، هم‌چنین زیرمعیار فرسایش‌ورسوب پایین‌دست، مربوط به معیار زیست‌محیطی با وزن ۰/۰۲۳۴، به‌دلیل جمع‌آوری رسوب و جلوگیری از حمل رسوبات و بار مواد معلق رودخانه به اراضی پایین‌دست که به‌عنوان یکی از عوامل یا موانع بازدارنده یا کاهش‌دهنده حاصلخیزی خاک دشت‌های پایین‌دست به حساب می‌آید، زیرمعیار تغییر کاربری اراضی، مربوط به معیار اجتماعی با وزن ۰/۰۳۷، به‌دلیل احداث سد و تبدیل‌شدن محدوده به منطقه گردشگری و تغییر کاربری زراعی و

باغی به مناطق تفریحی و مسکونی، زیرمعیار ضعیف‌بودن سازه، مربوط به معیار فنی مدیریتی، با وزن ۰/۰۰۶۹، به‌دلیل صدمات جبران‌ناپذیر مالی و جانی ناشی از شکست و خرابی سازه سد دارای بیش‌ترین ریسک می‌باشند. از جهت دیگر زیرمعیار تملک اراضی با وزن ۰/۰۲۸۴، مربوط به معیار اقتصادی، به‌دلیل این‌که محدوده کل اراضی حوضه آبریز رودخانه طالقان را اراضی کوهستانی و سنگلاخ با شیب فراوان تشکیل می‌دهد و سطح غالب را اراضی کوهستانی تشکیل می‌دهد، هم‌چنین بیش‌تر سطح حوضه آبخیز لار هم شامل کوه‌های مرتفع بوده، زیرمعیار تغییرات جوی با وزن ۰/۰۰۳۱، مربوط به معیار زیست‌محیطی به‌دلیل افزایش قابل‌توجه رطوبت نسبی در میکروکلیمای دریاچه و اراضی بلافصل پیرامون آن، نه به‌صورت تغییرات اقلیمی، زیرمعیار تروریسم و خرابکاری با وزن ۰/۰۰۳۳، مربوط به معیار اجتماعی به‌دلیل نبودن یا کم‌بودن این ریسک برای سه سد موجود و زیرمعیارخوردگی تأسیسات به‌دلیل شوری آب، با وزن ۰/۰۰۲۹، مربوط به معیارفنی مدیریتی به‌دلیل شورنبودن آب هر سه سد دارای کم‌ترین ریسک می‌باشند. این نتایج به‌دست‌آمده به مدیران سد در هر بخش کمک می‌کند تا بتوانند تصمیمات مدیریتی را با توجه به اهمیت هر یک از زیرمعیارهایی که اولویت بیش‌تری از نظر ریسک‌پذیری دارند، داشته باشند. به‌عنوان‌مثال، ازآنجایی‌که در بین ۴۲ زیرمعیار موجود، اشتغال بالاترین ریسک‌پذیری را نسبت به بقیه دارد، مدیران و تصمیم‌گیرندگان باید توجه بیش‌تری نسبت به این زیرمعیار داشته باشند.

۶. پی‌نوشت

1. Analytic Network Process
2. Analytic Hierarchy Process
3. Strengths, Weaknesses, Opportunities Threats
4. Cluster
5. Direct-relation Matrix
6. Total relation matrix

۷. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافعی توسط نویسندگان وجود ندارد.

۸. منابع

Bid, S., & Siddique, G. (2018). Human risk assessment of Panchet Dam in India using TOPSIS and WASPAS Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods. doi: 10.1016/j.heliyon. 2019.e01956

Boran, S., Goztepe, K., & Yavuz, E. (2007) A study on election of personnel based on performance measurement by using Analytic Network Process (ANP). *IJCSNS IJ Computer Science and Network Security*, 8, 333- 338.

Büyüközkan, G., & Çifçi, G. (2012) A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3000-3011

Environmental impact assessment studies of Taleghan Reservoir Dam and Sengban Underground Power Plant Volume 1, November 2008, *Bazab Consulting Engineers Company*. (In Persian).

Gabus, A., & Fontela, E. (1972) World Problems. An Invitation to Further Thought Within the Framework of DEMATEL, *Battelle Geneva Research Centre, Geneva*.

Ghorbanalipour, S. (2018) *Designing Human Health Risk Management Model for Dam Constructhion Projects*. (In Persian).

Gu, S., & Wang, B. (2010) The ANP model for dam risk identification of the hydropower project. Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC 2010 (pp. -). Chengdu: *AsiaPacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC. doi:10.1109/APPEEC.*2010.5449356.

He, G., Chai, J., & Qin, Y. (2020) Coupled Model of Variable Fuzzy Sets and the Analytic Hierarchy Process and its Application to the Social and Environmental Impact Evaluation of Dam Breaks. *WaterResour Manage*, 34, 2677-2697.

Karami, Sh., & Karami, E.A. (2019). Sustainability assessment of dams. *Environment, Development and Sustainability* doi.org/10.1007/s10668-019-00326-3

Kongjun, T., & Vudhivanich, V. (2003) Multicriteria decision making for multireservoir water allocation during shortage: a case study of upper Mun basin. *Proceedings of 20th Kasetsart University Annual Conference*: *Engineering and Architecture. Bangkok*, 0222, 24-42.

Lee, J.W., & Kim, S.H. (2000) Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection. *Computers and Operations Research*, 27, 367-382.

Lin, C.T., & Wu, C.S. (2008) "Selecting marketing strategy for private hotels in Taiwan using the analytic hierarchy process", *The Service Industries Journal*, 28 (8), 1077-1091

Malczewaski, J. (1997) propagation of errors in multicriteria location analysis: a case study in; G. Fandel and T. Gal(eds.), *multiple criteria decision making. Berlin: Springer Verlag.*

Mei, X., Rosso, R., Huang, G., & Nie, G. (1989) Application of analytical hierarchy process to water resources policy and management in Beijing, *China. Closing the Gap between Theory and Practice,* 72-82.

Mohammad Pham, A. (2004) Safety techniques: preliminary analysis (PHA*), first edition, Hamedan, Naşr Fanavaran.* P. 37 tables; MS 5/2111. (In Persian).

Parham, H., Gafarzade, N.A., Dehghan, S., & Kiyanerthi, F. (2008) Investigating changes in nitrogen and phosphorus concentration and some environmental parameters in the lake behind Karkheh Dam and determining its balance. *The second national conference on Iran's environmental crises and their improvement solutions.* Islamic Azad University, Science and Research Unit, Ahvaz Center. (In Persian).

RazaviToosi, S.L., & Samani, J.M.V. (2012) Evaluating water transfer projects using Analytic Network Process (ANP*). Water Resources Management*, 26, 1999-2014. (In Persian).

Saaty, T.L. (1980) The analytic hierarchy process. *New York, NY: McGraw Hill*.

Saaty, T.L. (1996) Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process. *RWS Publications. Pittsburgh.*

Saaty, T.L. (2005) Theory and applications of the Analytic Network Process. *Pittsburgh, PA: RWS Publications. 4922 Ellsworth Avenue. Pittsburgh. PA 15213.*

Saaty, T.L. (2006) Applications of Analytic Network Process in entertainment. *Operations Research*, 1, 41- 55.

Saaty, T.L., & Varges, L.G. (2006) Decision Making with the Analytic Network Process Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, *Opportunities Costs and Risks. Springer*, 277.

Sabokbar, H.A., Sarmani, M., Fridooni, F., Karimzade, H., & Rahimi, H. (2008) Sanitary landfill of rural waste using the Analytical Network Process (ANP) model, a case study of the rural areas of Qochan city, *Modares Humanities Quarterly*, 14, 127-149. (In Persian).

Samaras, G. D., Gkanas, N. I., & Vitsa, K. C. (2014). Assessing risk in Dam projects using AHP and ELECTRE I, International Journal of Construction Management doi. /10.1080/15623599.2014.971942

Sumanta, B., & Giyasuddin, S. (2019) Human risk assessment of Panchet Dam in India using TOPSIS and WASPAS Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods, - 713104, *Purba Barddhaman, West Bengal, India*.

Talebi, D., & Arashpour, A. (2012) Evaluation of educational performance with a comparative approach of network analysis and industrial management perspective analysis, 10(3), 85-100. (In Persian).

Uygun, Ö., Kaçamak, H., & AKahraman, Ü.A. (2015) An integrated DEMATEL and fuzzy ANP techniques for evaluation and *selection of outsourcing provider for a telecommunication company, Computers and Industrial Engineering*, 86, 137- 146.

Wolfslehner, B., Vacik, H., & Lexer, M.J. (2005) Application of the analytic network process in multicriteria analysis of sustainable forest management. *Forest Ecology and Management*, 207, 157-170.

Wu, W.W., & Lee. Y.T. (2007) Selecting knowledge management strategies by using the analytic network process. *Expert Syst. Appl*, 32, 841-847.

Yang, Y.P.O., Shieh, H.M., & Tzeng, G.H. (2013) A VIKOR technique based on DEMATEL and ANP for information security risk control assessment. *Information Sciences*, 232, 482- 500.

Zhu, Y., Niu, X., Yang, D., Gu, C., Sun, Q., & Rodriguez, E.F. (2020) Using the DEMATEL-VIKOR Method in Dam Failure Path Identification. *Int. J. Environ. Research and Public Health*, 17, 1480.