Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Summer 2023, Vol. 13(2): 237-555

Research Article

Using Geotechnical, Environmental and Agricultural Criteria in Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Technique (FTOPSIS)

Ramin Karami,Gholam Reza Lashkaripour *, Mohammad Ghafoori, Nasser Hafezi Moghaddas

Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Key words: *Fuzzy multiple criteria decision making, Entropy, TOPSIS, Environmental geotechnics, Irrigation and drainage networks*

1-Introduction

In most projects, among the factors and indicators that are considered for the environmental evaluation of projects, often those that have more of a purely environmental aspect are addressed. It seems that in addition to environmental assessments, other parameters and techniques can be used to decide on the relative superiority of one project over others. Environmental geotechnics is a part of engineering geology that looks at both environmental and geotechnical issues. In this research, for the first time, an attempt has been made to consider environmental issues and factors along with geotechnical perspectives. For this purpose, different standards related to water and soil in different fields of drinking, agriculture and geotechnics have been studied and evaluated using fuzzy TOPSIS multi-characteristic decision making technique. Khuzestan, the agricultural hub of the country with more than three million hectares of fertile land was considered for this research. Four irrigation and drainage networks of Kheirabad (southeast of Khuzestan), Evan (northwest of Khuzestan), Ramhormoz (east of Khuzestan) and Dasht-e Azadegan (west of Khuzestan), with titles A1 to A4, respectively, were used in this research. In the final fuzzy ranking based on similarity index, Evan irrigation and drainage network in northwest Khuzestan with the highest similarity index, the best conditions and Azadegan plain irrigation network in western Khuzestan had the worst conditions.

2-Methodology

Classic Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), which is suggested by (Hwang and Yoon, 1981) is one of the best methods in multiple criteria decision making. In this method, specific and exact values are used for determining criteria's weights and ranking of options. The fuzzy approach of this method was proposed by (Chen and Huang, 1992) for the first time. (Chen and Tsao, 2008), were used the experimental analysis in development of fuzzy TOPSIS. (Afshar et al., 2011), were used fuzzy TOPSIS decision method to the analysis of the Karun river basins. Other researchers, including (Wang 2009) and (Ye 2010), also were used Fuzzy TOPSIS method in their studies and research. TOPSIS steps are follow:

Step 1: Making decision matrix
Step 2: Determining criteria weights
Step 3: Normalizing of decision matrix
Step 4: Determining weighted Normalized decision matrix
Step 5: Finding $\left(FPIS, A^{*}\right)$ and $\left(FAIS, A^{-}\right)$
Step 6: Calculating distance from ideal solution and anti-ideal solution
Step 7: Calculating similarity index

* Corresponding author: Email, Lashkaripour@um.ac.ir
DOI: 10.22055/AAG.2020.34303.2138
Received: 2020-07-11
Accepted: 2020-12-15

ISSN: 2717-0764

3-Discussion

The four steps of research is presented summarized as follow:

A) Selecting criteria, standards and data gathering about geotechnical, agricultural and environmental parameters influencing in decision making:

Necessary basic information for decision making processes, was derived from Khuzestan province irrigation and drainage networks. To facilitate research, irrigation and drainage systems of Kheirabad, Evan, Ramhormoz and Dasht-e Azadegan, were called A1 to A4. The data which considered for surface and underground waters of the area include calcium, magnesium, sodium cations, sulfate and chloride anions and TH, TDS, EC, pH parameters for comparison with existing standards of drinking water

B) Using an appropriate scale for fuzzification of quantitative and qualitative criteria:

C) Determining compilation weight for criteria:

Determination of weight of criteria is one of the requirements to work by decision making models. There are three methods to determine the weight of criteria:

1-Weight of criteria is clear based on existing sources or expert judgment.

2-There is no specific weight for criteria and weight indices are determined by using entropy method. Shannon and (Weaver, 1947) proposed the concept of entropy. (Zeleny, 1982) used it in decision making to give weight to criteria. Entropy shows uncertainty of predicted data from a probable event. If an event is precisely predicted, probability rate is high, and Shannon Entropy will be small.

3-compilation of two above cases

D) Compiling of results based on FTOPSIS method:

The fuzzy TOPSIS model was implemented separately for surface and groundwater and soil in terms of effective parameters in drinking, agriculture and geotechnics. According to the FTOPSIS model, A2 (irrigation and drainage network of Evan, North -West of Khuzestan) has the best conditions, and A3 and A1 are in the next ratings, respectively. Also, A4 (irrigation and drainage network of Dasht e Azadegan, West of Khuzestan) has the worst conditions (Fig. 1).

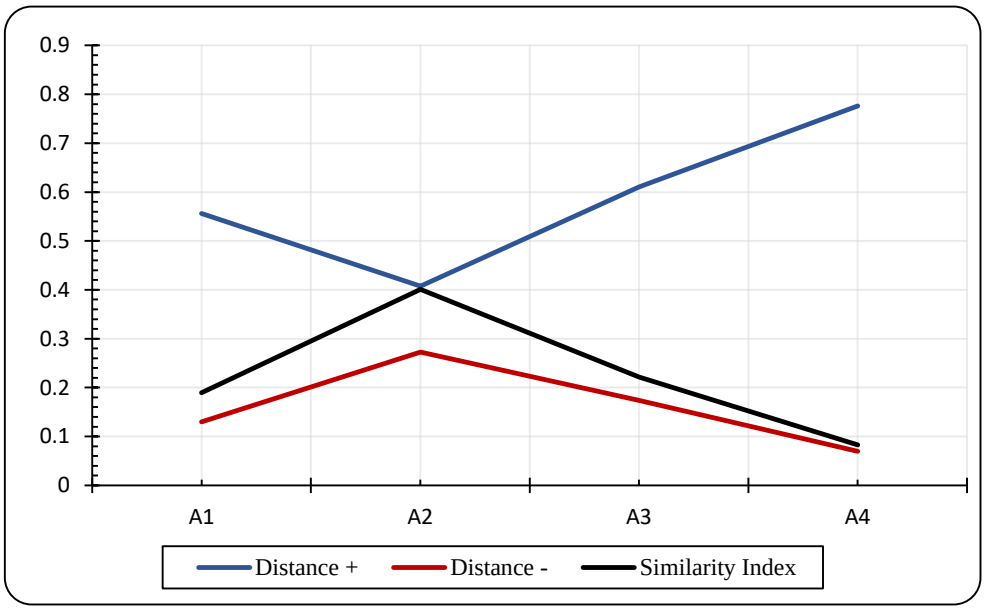


Fig. 1. The final ranking of options in FTOPSIS model.

3- Conclusion

Analyzing and evaluation of effects of development activities on environment is the main goal of all common methods in the environmental assessment that is basically a multi criteria analysis. All data which applied for these analysis are usually collected from results of field researches and votes of specialized experts. This information has qualitative nature and usually expressed in a range of predefined descriptive

ISSN: 2717-0764

word features. So, the data that are imported in the evaluation matrix in most method, are in the form of nominal data (very low to very high) that are defined by numbers in pre-determined ranges (such as ranges of 1 to 3, or 1 to 5) or in the form of symbols that contains information on certain desired effect features (as the definitive, permanent, long-term, reversible, etc.). TOPSIS technique with vector normalization have been established in the form of criteria values based on the matrix evaluation of alternatives by considering shortest distance to the positive ideal and the greatest distance to negative ideal. The results obtained from TOPSIS model with fuzzy approach in this study, in combination with entropy method to determine the weight indices, indicates that this model will help to confidence increase in the allocation of appropriate values to each parameter in a heterogeneous compared, according to the effect of fuzzy classification and also because of the ability to combine several criteria for each option and using fuzzy logic. Fuzzy essence of this technique allows the data to be used to estimate a parameter range. Application of fuzzy multi-criteria decision making can help to create understanding and reduce contradictions in the decision making process and providing the perfect platform to explore the feasibility of the project or plan from a different views.

References:

Afshar, A., Marino, M. A., Saadatpour, M., Afshar, A., 2011. Fuzzy TOPSIS multi – criteria decision analysis applied to Karun reservoirs system. Journal of Water Resour. Manage: 545-563. https:doi.org/10.1007/s11269-010-9713-x

Institute of Standards and Industrial Research of Iran, 2010, 5st. Edition, rinking Water Physical and Chemical Specification, https://health.umsu.ac.ir/uploads/drinking_water_standard_in_iran.pdf

Chen, S.J., Hwang, C.L., 1992. Fuzzy multiple attribute decision making, Methods and applications, New York, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-46768-4_5

Chen, T.Y., Tsao, C.Y., 2008. The interval-valued fuzzy TOPSIS method and experimental analysis. Fuzzy Sets and Systems 159(11), 1410-1428. https://doi.org/10.1016/j.fss.2007.11.004

Colson. G., Bruyn. C.D., 1989. Models and methods in multiple objectives decision making, Math. Comput. Modelling 1989, 1201-1211.

Dakshanamurthy, V., Raman, V., 1973. A simple method of identifying an expansive soil, Soils and Foundations. Japanese society of Soil mechanics and Foundation Engineering 13(1), 97-104.

Drinking Water Standards and Health Advisories, 2012 Edition, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, D.C. https://nepis.epa.gov

Jihad-e- Agriculture Ministry Water & Soil Research Institute, 2008, Islamic Republic of Iran. Vice Presidency for Planning and Supervision Guidelines for Soil Survey, No. 466

Karanth, K.R., 2001. Groundwater Assessment, Development and Management, Mc Graw-Hill.

Korhonen, P., Moskowitz. H., Wallenius, L., 1992. Multiple Criteria Decision Support – A review. European Journal of operational Research 63, 361-375. https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90155-3

Office of Water U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2009, "2009 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories", EPA 822-R-09-011, Washington, USA.

Rahimi, H., Delfi, M., 1993. New chemical method for evaluation of soil Dispersivity. Proc. Of the second international seminar on soil mechanics and foundation engineering of Iran: 199-218.

Rhoades J.D., Kandiah, A., Mashali, A.M., 1992. The use of saline waters for crop production. In: FAO Irrigation and Drainage Paper 48, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 133. https://www.fao.org

Seed, H.B., Idriss, I.M., Arango, I., 1983. Evaluation of liquefaction potential using field performance data. Journal of Geotechnical Eng, ASCE 109(3), 458-482. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1983)109:3(458)

Shanoon, C., Weaver, W., 1947. The mathematical theory of communication. The University of Illinois Press, Urbana.

US Army Corps of Engineers, 1996. Engineering and Design Soil Sampling. Washington, DC.

Wang, W., 1981. Foundation problems in aseismatic design of hydraulic structures. Proc. of the Joint US – PRC Microzonation Workshop, Harbin, PRC.

ISSN: 2717-0764

CC BY

Wang, W., 1984. Earthquake damage to earth dams and levees in relation to soil liquefaction. Proc., Int. conf. on Case Histories in Geotechnical Eng., University of Missouri-Rulla, MO:512-522.

Ye, F., 2010. An extended TOPSIS method with interval-valued intuitionistic fuzzy numbers for virtual enterprise partner selection. Expert Systems with Applications 37(10), 7050-7055. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.03.013

Yu, P.L., 1973. A class of solution for group decision problems. Management Science 19(8), 936-946. http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.19.8.936

Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. Information Control, 8, 338-353. https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X

Zimmermann, H.Z., 2001. Fuzzy set theory and its applications. Boston. USA, Kluwer Academic publisher

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Karami, R., Lashkaripour, Gh., Ghafoori, M., Hafezi Moghaddas, N., Using Geotechnical, Environmental and Agricultural Criteria in Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Technique (FTOPSIS). Adv. Appl. Geol. 13(2), 237-555.

DOI: 10.22055/AAG.2020.34303.2138
URL: https://aag.scu.ac.ir/article_18445.html?lang=en

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

ISSN: 2717-0764

مقاله پژوهشی

تلفیق شاخص‌های ژئوتکنیکی و زیست‌محیطی با استفاده از روش فازی تصمیم‌گیری چند شاخصه تاپسیس (مطالعه موردی- تعدادی از پروژه‌های آبی استان خوزستان)

رامین کرمی

دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

غلامرضا لشکری پور*

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

محمد غفوری

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

ناصر حافظی مقدس

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

* *Lashkaripour@um.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۲۱ تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۹/۲۵

چکیده:

در اکثر پروژه‌ها از میان فاکتورها ، عوامل و شاخص‌هایی که برای ارزیابی زیست‌محیطی پروژه‌ها در نظر گرفته می‌شوند، غالبا به آنهایی پرداخته می‌شود که بیشتر جنبه زیست‌محیطی محض دارند. به نظر می‌رسد در مرحله انتخاب و برای تصمیم‌گیری در مورد برتری نسبی یک پروژه نسبت به سایر موارد، در کنار ارزیابی‌های زیست‌محیطی می‌توان از پارامترها و تکنیک‌های دیگری نیز کمک طلبید. ژئوتکنیک زیست‌محیطی بخشی از دانش زمین‌شناسی مهندسی است که به مسائل زیست‌محیطی و ژئوتکنیکی نگاهی توام دارد. در این تحقیق برای نخستین بار تلاش شده است مسایل و فاکتورهای زیست‌محیطی در کنار دیدگاه‌های ژئوتکنیک مد نظر قرار گیرد. برای این منظور استانداردهای مختلف مربوط به آب و خاک در زمینه های مختلف شرب و کشاورزی و ژئوتکنیک مورد بررسی قرار گرفته و به کمک تکنیک تصمیم‌گیری چند شاخصه تاپسیس فازی ارزیابی شده است. خوزستان، قطب کشاورزی کشور با بیش از سه میلیون هکتار زمین حاصلخیز برای این تحقیق در نظر گرفته شد. چهار شبکه آبیاری و زهکشی خیرآباد (جنوب شرق خوزستان) اوان (شمال غرب خوزستان)، رامهرمز (شرق خوزستان) و دشت آزادگان (غرب خوزستان)، به ترتیب با عناوین A۱ تا A۴ در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. در رتبه‌بندی نهایی فازی بر اساس شاخص شباهت، شبکه آبیاری و زهکشی اوان در شمال غرب خوزستان با بیشترین مقدار شاخص شباهت، بهترین شرایط و شبکه آبیاری دشت آزادگان در غرب خوزستان بدترین شرایط را به خود اختصاص دادند.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری چند شاخصه، آنتروپی، تاپسیس فازی، ژئوتکنیک زیست‌محیطی، شبکه‌های آبیاری و زهکشی

۱- مقدمه

ارزیابی صحیح روش‌ها و فناوری‌ها و انتخاب مناسب‌ترین گزینه‌ها با توجه به شرایط مختلف، یکی از مهمترین مسائلی است که پیش روی تصمیم‌گیران و مهندسین کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه است. ماهیت چند شاخصه بودن تصمیم گیری و گروهی بودن آن در فرآیند ارزیابی و انتخاب سیستم‌ها و فن آوری‌های مناسب و همچنین وجود مشکلاتی چون فقدان اطلاعات کامل و به روز و کم تجربه بودن تصمیم‌گیران در کشورهای در حال توسعه در درک مسائل محیطی و تکنولوژیکی و عدم بررسی تاثیر متقابل فاکتورهای مختلف، بر ماهیت و توانایی درک اهمیت عوامل و گزینه‌ها اثر گذاشته و موجب پیچیدگی موضوع و ایجاد چالش در انتخاب راه حل‌ها و فن‌آوری مناسب گردیده است.

اخیراً روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به‌منظور کمک

به تصمیم‌گیرندگان به‌منظور تصمیم‌سازی مناسب و با در نظر گرفتن مجموعه شاخص‌ها، کاربرد زیادی در زمینه‌های مختلف علمی داشته است. در روش‌های معمول ارزیابی آثار محیط‌زیستی بخصوص در ایران، غالباً شدت اثر (در برخی موارد دامنه اثر)، به‌عنوان یگانه شاخص کمّی برای ارزیابی آثار محیط‌زیستی مطرح است و سایر شاخص‌ها (در صورت وجود) به‌صورت کیفی و توصیفی ایفای نقش می‌کنند. غالباً برای کمّی‌سازی شدت آثار نیز از قضاوت‌های کارشناسی استفاده به‌عمل می‌آید که در بسیاری از مواقع به‌دلیل عدم دقت کافی، یا یکجانبه‌نگری در قضاوت‌ها، از قاطعیت ارزیابی و تحلیل آثار کاسته و نتیجه‌گیری در مورد اهمیت آثار را دچار ابهام می‌کند. لذا استفاده از روشی معتبر برای کمّی‌سازی شاخص‌های کیفی و تحلیل یکپارچه اثرها با در نظر گرفتن شاخص‌های تعیین‌کننده ویژگی‌های آن ضروری بوده و موجب افزایش اطمینان به نتایج تحلیل‌ها و ارزیابی‌ها می‌شود.

در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از مدل چند شاخصه FTOPSIS (Fuzzy Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution)، شاخص های مختلف کمی در زمینه‌های استانداردهای آب و خاک از دیدگاه‌های شرب، کشاورزی و ژئوتکنیک مورد بررسی قرار گیرد و با توجه به گستردگی نتایج آزمایشات، از نگاه فازی به آنها پرداخته شود. برای این منظور پارامترهای مختلفی از آب‌های سطحی و زیرزمینی بر اساس استاندارد ۱۰۵۳ سازمان ملی استاندارد ایران (Institute of Standards and Industrial Research of Iran) و EPA (Environmental Protection Agency) وهمچنین در بخش خاک، استاندارد دستورالعمل انجام مطالعات خاکشناسی نشریه ۴۶۶ برنامه و بودجه (Water & Soil Jihad-e- Agriculture Ministry Research Institute,) و استانداردهای ژئوتکنیک در دستور کار قرار گرفت. با توجه به پراکنش شبکه‌های آبیاری و زهکشی در استان خوزستان و گسترش بیش از سه میلیون هکتار زمین حاصلخیز، به عنوان یک محیط تصمیم‌گیری مناسب، ۴ شبکه آبیاری و زهکشی از چهارگوش استان خوزستان با نام شبکه‌های آبیاری و زهکشی خیرآباد (جنوب شرق خوزستان)، اوان (شمال غرب خوزستان)، رامهرمز (شرق خوزستان) و دشت آزادگان (غرب خوزستان) به عنوان بستر اطلاعات لازم در نظر گرفته شد. استان خوزستان در جنوب باختری ایران، در پهنه ساختاری زاگرس واقع شده است و بخش‌هایی از کمربند چین‌خورده و راندگی زاگرس و حوضه پیش‌بوم خلیج فارس ـ بین‌النهرین را در بر می‌گیرد. از استان خوزستان تنها بخش کوچکی در شمال خاور در کمربند راندگی بلند زاگرس جای دارد و سایر بخش های آن به طور عمده در کمربند ساده چین‌خورده، فروبار دزفول و دشت ساحلی قرار گرفته است (شکل ۱).

۲- روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه

در واقع در شرایط تصمیم‌گیری، می‌توان مسئله مورد نظر را در سه حالت بررسی کرد:

انتخابی: انتخاب بهترین گزینه‌ها از میان گزینه‌های ممکن.

رتبه‌بندی: رتبه‌بندی گزینه‌ها به ترتیب ارجحیت آنها.

گروه‌بندی کردن: دسته‌بندی گزینه‌ها در طبقات از پیش تعیین شده براساس مقایسه آنها با مراجع و استانداردهای موجود

تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه، مبحثی است که به فرآیند تصمیم‌گیری در حضور شاخص‌های متفاوت و بعضا متناقض با یکدیگر می‌پردازد (Colson, 1989). علی رغم گستردگی موارد استفاده MCDM (Multiple Criteria Decision making)، پاره‌ای مفاهیم مشترک در تمامی مسائل (MCDM) وجود دارند (جدول ۱).

۲-۱- دسته‌بندی کلی سیستم‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه

مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه از نظر تعداد گزینه‌ها به دو دسته گسسته و پیوسته تقسیم می‌شوند. اگر تعداد مجموعه جواب‌های قابل قبول، قابل شمارش باشد، مسئله چند شاخصه را گسسته می‌نامیم (Korhonen, 1992) . برخی از مولفین نظیر هونگ و یون (Hwang and Yoon, 1981) و زیمرمان(Zimmerman, 2001) این نوع مسئله را به اختصار مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه MADM (Multiple Attribute Decision Making) نامگذاری کرده‌اند. اگر تعداد مجموعه جواب‌های قابل‌قبول، غیرقابل‌شمارش باشد، در این صورت مسئله چند شاخصه را پیوسته می‌نامیم. هوانگ و مسعود (Hwang and Masud, 1979) و همچنین زیمرمان (Zimmerman, 2001) این نوع مسائل را مدل‌های تصمیم گیری چند هدفه MODM (Multiple Objective Decision Making) نامیده‌اند. به طور کلی مدل‌های چند هدفه برای طراحی و مدل‌های چند شاخصه به منظور انتخاب گزینه برتر استفاده می‌شوند. در مدل‌های تصمیم‌گیری چند

هدفه می‌بایست بهترین آلترناتیو، اهداف متفاوت و نیز مقدار مطلوب مورد نظر تصمیم گیرنده برای این اهداف طراحی گردد. در مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، با تعدادی از آلترناتیو های از پیش تعیین شده و محدود رو برو هستیم که هر یک از این آلترناتیوها، سطحی از مشخصه‌های مورد نظر تصمیم گیرنده را ارضا می‌کند. تصمیم‌گیرنده در این نوع مدل‌ها، بر اساس میزان و نوع اطلاعات در دسترس از آلترناتیوها و شاخص-ها، بهترین آلترناتیو را انتخاب می‌نماید.

تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه سعی دارند مشخص نمایند که چگونه به کمک اطلاعات مشخصه‌ها، می‌توان بهترین گزینه را از دیدگاه تصمیم‌گیرنده انتخاب نمود. در این تحقیق روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (FTOPSIS) مورد توجه قرار گرفته است.

جدول ۱- تفاوت مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه و چندشاخصه
Table 1. Features and Differences of MADM and MODM

MCDM / Options	MADM	MODM
Criteria	Attribute	Objective
Goals	Clearly expressed	Weakly expressed
Attributes	Clearly expressed.	Implicit expressed
Limitations	Non clear	Clear
Choices	limited number-Clear	Unlimited number
Interaction with DM	Little	Great
Terms of Use	Evaluation and selection	Design

۲-۲- روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (FTOPSIS)

روش شباهت به گزینه ایده‌آل کلاسیک که توسط هوانگ و یون (Hwang and Yoon, 1981) پیشنهاد شد، یکی از بهترین روشهای تصمیم‌گیری چند شاخصه است. در این روش برای تعیین وزن شاخص‌ها و رتبه‌بندی گزینه‌ها از مقادیر دقیق و معین استفاده می‌شود. در مواردی که تفکرات انسان با عدم قطعیت همراه بوده و این عدم قطعیت در تصمیم‌گیری تاثیر گذار است، بهتر است از روشهای تصمیم‌گیری فازی استفاده شود روش شباهت به گزینه ایده‌ال فازی یکی از این روشهاست. چن و هوانگ (Chen and Hwang, 1992) برای اولین بار روش تاپسیس فازی را پیشنهاد دادند. چن و تسو(Chen and Tsao, 2008) از تحلیل‌های تجربی در توسعه تاپسیس فازی استفاده کردند. افشار و همکاران (Afshar et al., 2011) در تحلیل حوضه کارون از روش تاپسیس فازی استفاده کردند. ونگ و همکاران (Wang et al., 2009) و یه (Ye, 2010) نیز از روش تاپسیس فازی در مطالعات و تحقیقات خود استفاده کردند.

گام‌های روش شباهت به گزینه ایده‌ال فازی عبارتند از:

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم

با توجه به تعداد شاخص‌ها، تعداد گزینه‌ها و ارزیابی همه گزینه‌ها برای شاخص‌های مختلف، ماتریس تصمیم به صورت زیر تشکیل می‌شود:

(رابطه ۱)

$$\tilde{D}=\begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m1} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

$\tilde{x}_{ij}=\left(a_{ij} \quad b_{ij} \quad c_{ij}\right)$ عملکرد گزینه i در رابطه با شاخص j میباشد. $i=1,2,...,m; j=1,2,...,n$

اگر کمیته تصمیم‌گیرنده دارای k عضو باشد، و ضریب اهمیت K امین تصمیم‌گیرنده، عدد فازی $\tilde{x}_{ijk}=\left(a_{ijk} \quad b_{ijk} \quad c_{ijk}\right)$ باشد، با توجه به شاخص‌ها رتبه بندی فازی ترکیبی $\tilde{x}_{ij}=\left(a_{ij} \quad b_{ij} \quad c_{ij}\right)$ از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$a_{ij}=\underset{k}{MIN}\left\{a_{ijk}\right\}$$ (رابطه ۲)

$$b_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{k} b_{ijk}}{k}$$ (رابطه ۳)

$$c_{ij} = \underset{k}{Max}\{c_{ijk}\}$$ (رابطه ۴)

گام دوم: تعیین ماتریس وزن شاخص‌ها

در این گام، ضریب اهمیت شاخص‌های مختلف در تصمیم گیری، به صورت زیر تعریف می‌شود:

(رابطه ۵)

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \tilde{w}_3, ..., \tilde{w}_n]$$

چنانچه از اعداد فازی مثلثی استفاده شود، هر یک از مولفه های w_j (وزن هر شاخص) به صورت $\tilde{w}_j = [\tilde{w}_{j1}, \tilde{w}_{j2}, \tilde{w}_{j3}]$ تعریف می‌شود.

اگر کمیته تصمیم‌گیرنده دارای k عضو باشد، و ضریب اهمیت K امین تصمیم‌گیرنده، $\tilde{w}_{jk} = [\tilde{w}_{jk1}, \tilde{w}_{jk2}, \tilde{w}_{jk3}]$ باشد، رتبه‌بندی فازی ترکیبی $\tilde{w}_j = [\tilde{w}_{j1}, \tilde{w}_{j2}, \tilde{w}_{j3}]$ از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$w_{j1} = \underset{k}{MIN}\{w_{jk1}\}$$ (رابطه ۶)

$$w_{j2} = \frac{\sum_{k=1}^{k} w_{jk2}}{k}$$ (رابطه ۷)

$$w_{i3} = \underset{k}{Max}\{w_{jk3}\}$$ (رابطه ۸)

گام سوم: بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم فازی

چنانچه x_{ij} ها به صورت فازی باشند، r_{ij} ها نیز فازی خواهند بود. برای بی مقیاس کردن، در این گام از تغییر مقیاس خطی استفاده می‌شود.

اگر اعداد فازی به صورت مثلثی باشند، درایه‌های ماتریس تصمیم بی‌مقیاس برای شاخص‌های مثبت و منفی، از روابط زیر محاسبه می-شود:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^{\bullet}}, \frac{b_{ij}}{c_j^{\bullet}}, \frac{c_{ij}}{c_j^{\bullet}}\right)$$ (رابطه ۹)

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}}\right)$$ (رابطه ۱۰)

$$c_j^{\bullet} = \max_i c_{ij}$$ (رابطه ۱۱)

$$a_j^- = \min_i a_{ij}$$ (رابطه ۱۲)

در این حالت ماتریس تصمیم فازی بی‌مقیاس شده $\tilde{R}$ به صورت زیر به دست می‌آید:

(رابطه ۱۳)

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m\times n} \quad i = 1,2,...,m; j = 1,2,...,n \quad \Rightarrow \quad \tilde{R} = \begin{bmatrix} \tilde{r}_{11} & ... & \tilde{r}_{1j} & ... & \tilde{r}_{1n} \\ ... & & ... & & ... \\ \tilde{r}_{i1} & ... & \tilde{r}_{ij} & ... & \tilde{r}_{in} \\ ... & & ... & & ... \\ \tilde{r}_{m1} & ... & \tilde{r}_{mj} & ... & \tilde{r}_{mn} \end{bmatrix}$$

در روابط فوق، m بیانگر تعداد گزینه‌ها و n بیانگر تعداد شاخص‌هاست.

گام چهارم: تعیین ماتریس تصمیم فازی وزن‌دار

با توجه به وزن شاخص‌های مختلف، ماتریس تصمیم فازی وزن‌دار از ضرب کردن اهمیت مربوط به هر شاخص در ماتریس بی‌مقیاس شده فازی و به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\tilde{V}_{ij} = \tilde{r}_{ij}.\tilde{w}_{ij}$$ (رابطه ۱۴)

ماتریس تصمیم فازی بی‌مقیاس شده $\tilde{V}$ به صورت زیر به دست می‌آید:

(رابطه ۱۵)

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m\times n} \quad , \quad i = 1,2,...,m; j = 1,2,...,n \quad \Rightarrow \quad \tilde{V} = \begin{bmatrix} \tilde{v}_{11} & ... & \tilde{v}_{1j} & ... & \tilde{v}_{1n} \\ ... & & ... & & ... \\ \tilde{v}_{i1} & ... & \tilde{v}_{ij} & ... & \tilde{v}_{in} \\ ... & & ... & & ... \\ \tilde{v}_{m1} & ... & \tilde{v}_{mj} & ... & \tilde{v}_{mn} \end{bmatrix}$$

شاخص‌های با جنبه مثبت و منفی عبارتند از:

(رابطه ۱۶)

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}.\tilde{w}_i = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^{\bullet}}, \frac{b_{ij}}{c_j^{\bullet}}, \frac{c_{ij}}{c_j^{\bullet}}\right).(\tilde{w}_{j1}, \tilde{w}_{j2}, \tilde{w}_{j3}) = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^{\bullet}}.\tilde{w}_{j1}, \frac{b_{ij}}{c_j^{\bullet}}.\tilde{w}_{j2}, \frac{c_{ij}}{c_j^{\bullet}}.\tilde{w}_{j3}\right)$$

(رابطه۱۷)

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}.\tilde{w}_i = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}}\right).(\tilde{w}_{j1}, \tilde{w}_{j2}, \tilde{w}_{j3}) = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}.\tilde{w}_{j1}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}.\tilde{w}_{j2}, \frac{a_j^-}{a_{ij}}.\tilde{w}_{j3}\right)$$

گام پنجم: یافتن حل ایده‌آل فازی $\left(FPIS, A^{*}\right)$و حل ضد ایده‌آل فازی $\left(FPIS, A^{-}\right)$

حل ایده‌آل فازی (Fuzzy Positive Ideal Solution) و ضد ایده‌آل فازی (Fuzzy Negative Ideal Solution) به ترتیب به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$A^{*}=\left\{\tilde{v}_{1}^{*}, \tilde{v}_{2}^{*}, ..., \tilde{v}_{n}^{*}\right\} \quad \text{(رابطه ۱۸)}$$

$$A^{-}=\left\{\tilde{v}_{1}^{-}, \tilde{v}_{2}^{-}, ..., \tilde{v}_{n}^{-}\right\} \quad \text{(رابطه ۱۹)}$$

که $\tilde{v}_{1}^{*}$ بهترین مقدار شاخص i از بین تمام گزینه‌ها و $\tilde{v}_{1}^{-}$ بدترین مقدار شاخص i از بین تمام گزینه‌ها می‌باشد و از روابط زیر به دست می‌آیند:

(رابطه ۲۰)

$$\tilde{v}_{j}^{-}=\underset{k}{Min}\left\{\tilde{v}_{ij1}\right\} \quad , \quad i=1,2,...,m; j=1,2,...,n$$

(رابطه ۲۱)

$$\tilde{v}_{j}^{*}=\underset{k}{Max}\left\{\tilde{v}_{ij3}\right\} \quad , \quad i=1,2,...,m; j=1,2,...,n$$

گزینه‌هایی که در A^{*} و A^{-} قرار می‌گیرند، به ترتیب نشان دهنده گزینه‌های کاملا بهتر و کاملا بدتر هستند.

گام ششم: محاسبه فاصله از حل ایده‌آل فازی و حل ضد ایده‌آل فازی

فاصله هر گزینه از حل ایده‌آل و حل ضد ایده‌آل فازی به ترتیب از روابط زیر قابل محاسبه است:

(رابطه ۲۲)

$$S_{i}^{*}=\sum_{j=1}^{n} d\left(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_{j}^{*}\right) \quad i=1,2,...,m$$

(رابطه ۲۳)

$$S_{i}^{-}=\sum_{j=1}^{n} d\left(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_{j}^{-}\right) \quad i=1,2,...,m$$

d فاصله بین دو عدد فازی $\left(a_1 \quad b_1 \quad c_1\right)$ و $\left(a_2 \quad b_2 \quad c_2\right)$ است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

(رابطه ۲۴)

$$d_{v}\left(\tilde{M}_{1}, \tilde{M}_{2}\right)=\sqrt{\frac{1}{3}\left[\left(a_1-a_2\right)^{2}+\left(b_1-b_2\right)^{2}+\left(c_1-c_2\right)^{2}\right]}$$

گام هفتم: محاسبه شاخص شباهت

شاخص شباهت از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$CC_{i}=\frac{S_{i}^{-}}{S_{i}^{*}+S_{i}^{-}} \quad \text{(رابطه ۲۵)}$$

گام هشتم: رتبه‌بندی گزینه‌ها

در این مرحله با توجه به میزان شاخص شباهت، گزینه‌ها رتبه‌بندی شده بطوری که گزینه‌های با شاخص شباهت بیشتر در اولویت قرار دارند.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱-مراحل انجام تحقیق

مراحل ۴گانه انجام تحقیق ، به طور خلاصه در بندهای ذیل ارائه شده است:

الف - انتخاب شاخص‌ها ،استانداردها و پارامترهای زیست محیطی و ژئوتکنیکی موثر در تصمیم‌گیری

ب - انتخاب مقیاس مناسب جهت فازی‌سازی شاخص‌های کمّی و کیفی

پ - تعیین وزن مناسب شاخص‌ها

ت - طبقه‌بندی و نتایج بر اساس مدل(FTOPSIS)

۳-۱-۱- انتخاب شاخص‌ها واستانداردهای زیست‌محیطی و ژئوتکنیکی موثر در تصمیم‌گیری

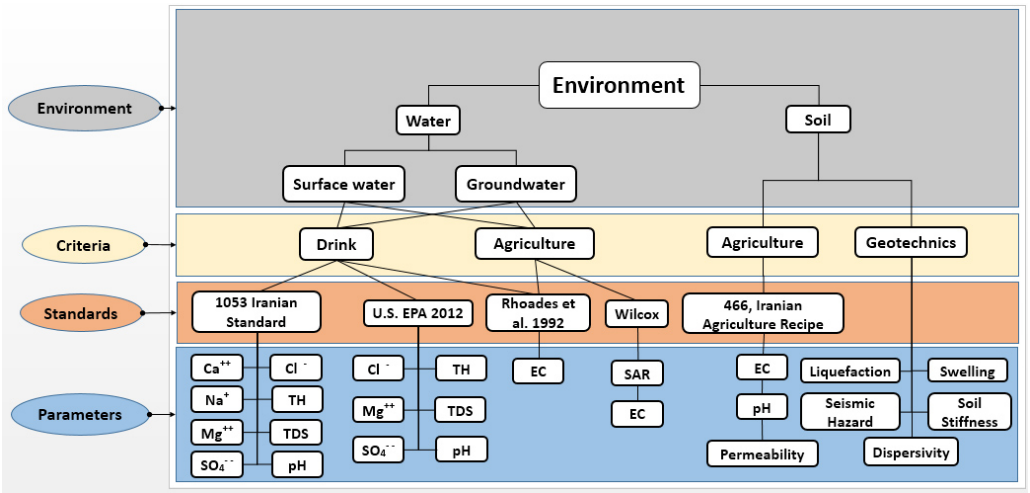
اطلاعات پایه مورد نیاز برای انجام فرایند تصمیم‌گیری از شبکه های آبیاری و زهکشی چهارگوش استان خوزستان اقتباس گردید. شکل ۱، نقشه موقعیت شبکه‌ها را نشان می‌دهد. در این تحقیق جهت سهولت کاربرد، شبکه‌های آبیاری و زهکشی خیرآباد (جنوب شرق خوزستان)، اوان (شمال غرب خوزستان)، رامهرمز (شرق خوزستان) و دشت آزادگان (غرب خوزستان)، به ترتیب با عناوین A۱ تا A۴ نام‌گذاری گردید. اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق برای آب‌های سطحی و زیرزمینی مناطق مذکور ،کاتیونهای کلسیم، منیزیم، سدیم و آنیونهای سولفات و کلراید و پارامترهای TH (Total Hardness) و TDS (Total Dissolved Solids) و EC (Electric Conductivity) و pH جهت مقایسه با استانداردهای موجود آب شرب در نظر گرفته شد. شکل شماره ۲ شاخص‌ها، استانداردها و پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. از میان استانداردهای موجود جهت آب شرب، از استاندارد ۱۰۵۳ سازمان تحقیقات و استاندارد ایران و همچنین استاندارد (EPA

2012) استفاده شد (جدول ۲).

جهت بررسی وضعیت آب‌های سطحی و زیرزمینی مناطق مختلف به لحاظ کشاورزی، از پارامترهای SAR (Sodium Absorption Ratio) و EC در طبقه‌بندی FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) به پیشنهاد رادس و همکاران (Rhoades et all, 1992) و نمودار ویلکوکس به پیشنهاد کارانت (Karanth, 2001) استفاده شد (جداول ۳و۴). از میان پارامترهای خاک شناسی نیز قابلیت نفوذپذیری، قلیاییت و شوری خاک بر اساس نشریه استاندارد ۴۶۶ وزارت جهاد کشاورزی جهت اهداف کشاورزی در نظر گرفته شد (جدول ۵).

شکل ۱- نمای شماتیک شبکه‌های آبیاری و زهکشی چهارگانه در استان خوزستان. شبکه‌های آبیاری و زهکشی خیرآباد (جنوب شرق خوزستان)، اوان (شمال غرب خوزستان)، رامهرمز (شرق خوزستان) و دشت آزادگان (غرب خوزستان)، به ترتیب با عناوین A۱ تا A۴ نام گذاری گردید.

Fig .1. networks of irrigation and drainage systems . A1:Evan (North-West), A2:Dasht-e Azadegan (West), A3:Ramhormoz (East) , A4:Kheirabad (South-East) in Khuzestan province



شکل ۲- شاخص‌ها، استانداردها و پارامترهای مورد استفاده در تحقیق

Fig. 2. Indices, standards and parameters used in the study.

جدول ۲– پارامترهای هیدروژئوشیمیایی مورد استفاده در تحقیق
Table 2. Hydro-geochemical standards and parameters used in this study

standards	Soluble Cations (mg/l)			Soluble Anions (mg/l)		TH (mg/l)	TDS (mg/l)	pH
	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	SO_4^{--}	Cl^{-}			
WHO 2008	…..	…..	200.00	250.00	250.00	200.00	…..	…..
IRAN 1053	300.00	30.00	200.00	250.00	250.00	200.00	1000.00	6.5-8.5
Indian	75.00	…..	…..	200.00	250.00	300.00	…..	6.5-8.5
EPA 2012	…..	…..	20.00	250.00	250.00	180.00	500.00	6.5-8.5

جدول ۳- مشخصات رده‌های مختلف آب بر اساس ویلکاکس (Karanth, 2001)
Table 3. General Water categories based on Wilcox (Karanth, 2001)

Water class	Type of water
C1s1	Non-saline
C1S2,C2S1,C2S2	Slightly saline
C1S3,C2S3,C3S1,C3S2,C3S3	Saline
C1S4,C2S4,C3S4,C4S1,C4S2,C4S3,C4S4	highly saline

جدول ۴- طبقه‌بندی آب به لحاظ استاندارد فائو (Rhoades et all, 1992)
Table 4. General water classification based on FAO (Rhoades et all, 1992)

Water classification	EC (mS/cm)	TDS (mg/L)
Non-saline water	< 0.7	< 500
Saline water	0.7–42	500–30,000
Slightly saline	0.7–3.0	500–2000
Medium saline	3.0–6.0	2000–4000
Highly saline	> 6.0	> 4000
Very saline	> 14.0	> 9000
Brine	> 42	> 30,000

استانداردهای موجود در ارتباط با خصوصیات ژئوتکنیک شامل پتانسیل لرزه‌خیزی، واگرایی، تورم، روانگرایی و همچنین مقاومت خاک نیز در نظر گرفته شد (جدول ۶). پس از تبیین استانداردها، اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش اعم از آبهای سطحی، زیرزمینی و اطلاعات خاک‌شناسی با توجه به استانداردهای ذکر شده، گردآوری گردید (جداول ۷ تا ۱۱).

جدول ۵- طبقه‌بندی پارامترهای خاک بر اساس نشریه استاندارد ۴۶۶ وزارت جهاد کشاورزی
Table 5. Soil alkalinity, permeability and salinity classes based on 466th Iranian Agriculture Ministry issue

Alkalinity		Permeability		Salinity	
pH Value	pH Class	Perm. Value	Perm. Class	EC Value	EC class
≤3.5	Ultra Acid	≥ 0.0038	Impermeable	≤2.0	Non-Saline
3.5-4.4	Extremely Acid	0.0038 - 0.15	Very Slow	2.0-4.0	Very Slightly Saline
4.5-5.0	Very Strongly Acid	0.15-0.5	Slow	4.0-8.0	Slightly Saline
5.1-5.5	Strongly Acid	0.5-1.52	Moderately Slow	8.0-16.0	Moderately Saline

ادامه جدول ۵

5.6-6	Moderately Acid	1.52-5.08	Moderate	≥16.0	Strongly saline
6.1-6.5	Slightly Acid	5.08-15.24	Moderate Rapid		
6.6-7.3	Neutral	15.24-50.8	Rapid		
7.4-7.8	Slightly Alkaline	≤50.8	Very Rapid		
7.9-8.4	Moderately Alkaline				
8.5-9.0	Strongly Alkaline				
≥9.0	Very Strongly Alkaline				

جدول ۶- طبقه‌بندی ویژگی‌های ژئوتکنیک خاک بر اساس استانداردهای مختلف

Table 6. Geotechnical classification standards and descriptive terms

Descriptive Term	Liquefaction %	Seismic Hazard	Dispersivity %	Soil Strength			Swelling %	
				UCS	SPT	Term	%	Term
Very Low	≤20	0.1≥PGA	≤25	≤48	≤6	Soft	≤25	low
low	21-40	0.1<PGA<0.15	26-40	46-96	6-10	Medium	26-50	Moderate
Moderate	41-60	0.15<PGA<0.2	41-60	97-192	11-20	Firm	51-75	High
High	61-80	0.2<PGA<0.3	61-75	193-383	21-30	Very Firm	>75	Very High
Very High	>80	0.3≤PGA	>75	>383	>30	hard		

جدول ۷- اطلاعات هیدروشیمی رودخانه‌های مجاور شبکه‌ها

Table 7. Surface water parameters in networks.

Networks	Parameters	Soluble Cations (mg/l)			Soluble Anions (mg/l)		TH (mg/l)	TDS (mg/l)	pH
		Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	SO_4^{--}	Cl^{-}			
A1	Average	195.06	46.81	357.48	527.57	635.89	679.05	1762.81	7.56
	Max	210.12	52.48	456.70	743.53	722.64	728.05	2043.68	7.96
	Min	186.66	41.15	235.20	373.40	545.85	634.81	1382.26	7.28
A2	Average	186.69	43.84	239.76	497.14	456.15	645.95	1423.57	7.26
	Max	212.42	58.19	287.45	738.30	554.67	717.83	1698.00	7.38
	Min	154.27	25.40	175.21	328.40	235.37	577.34	1301.18	7.14
A3	Average	215.80	40.01	320.45	574.00	530.45	702.80	1680.72	7.35
	Max	257.45	44.48	417.21	855.76	579.75	806.73	2061.36	7.45
	Min	186.00	31.17	267.34	335.90	474.38	623.66	1419.54	7.24

ادامه جدول ۷

	Average	190.71	37.15	579.54	481.11	962.34	628.45	2250.84	7.96
A4	Max	245.72	41.06	658.70	754.35	1154.74	712.55	2505.80	8.24
	Min	173.60	24.25	471.80	335.90	743.12	592.74	1895.01	7.65

جدول ۸- اطلاعات هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی شبکه‌ها

Table 8. Groundwater parameters in networks.

Parameters / Networks		Soluble Cations (mg/l)			Soluble Anions (mg/l)		TH (mg/l)	TDS (mg/l)	pH
		Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	SO_4^{--}	Cl^{-}			
	Average	192.21	43.09	413.95	646.06	572.23	656.64	1867.53	7.73
A1	Max	265.04	54.38	473.70	699.36	627.64	884.71	1927.81	8.00
	Min	137.50	34.60	311.00	594.90	515.79	490.21	1838.16	7.45
	Average	175.60	42.09	190.65	413.07	418.14	611.10	1239.55	7.48
A2	Max	198.44	54.61	236.12	447.16	475.60	669.95	1304.89	7.80
	Min	154.23	35.29	117.07	369.94	348.07	559.19	1153.29	7.20
	Average	279.43	38.28	367.49	932.91	476.88	854.35	2094.99	7.90
A3	Max	352.84	41.93	388.17	1090.75	514.76	1035.10	2238.68	8.35
	Min	231.24	31.73	321.81	828.27	435.56	749.19	1989.25	7.21
	Average	186.85	34.76	522.48	538.77	885.41	608.98	2168.27	8.72
A4	Max	241.07	38.90	576.27	587.67	924.31	749.47	2299.90	8.92
	Min	145.35	30.71	454.82	495.98	815.61	522.54	2103.56	8.58

جدول ۹- مقادیر و رتبه‌بندی آب شبکه‌ها بر اساس نمودار ویلکوکس (Karanth, 2001)

Table 9. Networks classification and ranking of water base on Wilcox (Karanth, 2001)

Water type	Water class				Ranking
	A1	A2	A3	A4	
Surface	c4s3,c4s4	c3s2 , c3s3 , c4s3	c3s3 , c4s3, c4s4	c4s4	A2>A3>A1>A4
Underground	c4s4	c3s3 , c4s2, c4s3, c4s4	c4s2, c4s3 , c4s4	c4s4	A2>A3>A1>A4

جدول ۱۰- مقادیر رتبه‌بندی آب شبکه‌ها بر اساس معیار فائو (Rhoades et all, 1992)

Table 10. Networks ranking of water base on FAO (Rhoades et all, 1992)

Water type	EC (average)				Ranking
	A1	A2	A3	A4	
Surface	2967.7	2051.0	2315.3	2724.1	A2>A3>A4>A1
Underground	3417.2	2461.8	2738.4	3476.0	A2>A3>A1>A4

جهت سهولت دستیابی به پارامتر های ژئوتکنیک، تا حد امکان از آزمونهای آزمایشگاهی مرجع نظیر استانداردهای ASTM (American Society for Testing and Materials) و استانداردهای ملی استفاده شد. در صورت کمبود اطلاعات، با توجه به مقادیر پارامترهای موجود ژئوتکنیک، تلاش گردید تا بر اساس شاخص‌ها و روابط تجربی، سایر اطلاعات مورد نیاز تهیه شود. بر این اساس، مقادیر درصد واگرایی بر اساس (Rahimi, and Delfi, M., 1993)، ارزیابی تورم بر اساس حدود روانی، انقباض و شاخص خمیری خاک به روش غیر مستقیم (Dakshanamurthy and Raman, 1973)، لرزه‌خیزی بر اساس نقشه پهنه‌بندی لرزه‌خیزی استان خوزستان، مقاومت خاک بر اساس معیار (US Army Corps of Engineers, 1996) و واگرایی بر اساس (Seed. et al., 1983) برای شبکه‌های مذکور محاسبه گردید (جدول ۱۲).

جدول ۱۱- متغیرهای زبانی بیانگر وضعیت پارامترهای خاک‌شناسی در شبکه‌های چهارگانه
Table 11.Liguistic terms for soil science data in networks

Network	Salinity	Alkalinity	Permeability
A1	Very Slightly Saline	Neutral - Slightly Alkaline	Moderate - Moderate Rapid
A2	Very Slightly Saline	Slightly Alkaline	Moderate
A3	Moderately Saline	Moderately Alkaline	Moderate Rapid
A4	Strongly Saline	Moderately Alkaline	Moderate

جدول ۱۲- متغیرهای زبانی بیانگر وضعیت پارامترهای ژئوتکنیک در شبکه‌های چهارگانه
Table 12.Liguistic terms for soil geotechnical parameters in networks

Netwotks	Seismic Hazard	Dispersivity	Swelling	Liquefaction	Soil Strength
A1	High	Very Low	Low- Very low	Very Low	Firm-Very firm
A2	Moderate - High	Very Low	Low-High	Very Low	Soft- Medium
A3	Very High	low	Low-Moderate	Very Low	Firm-Soft
A4	Moderate	Very Low	Low-High	Very Low	Firm- Very soft

۳-۱-۲- انتخاب مقیاس مناسب جهت فازی‌سازی شاخص‌های کمّی و کیفی

در این بخش بر اساس یک مقیاس مناسب (جدول ۱۳) شاخص ها و پارامترهای کمی و کیفی ژئوتکنیکی بر اساس اعداد فازی مشخص، طبقه‌بندی و به صورت اعداد فازی منظور گردید(جدول ۱۴)

۳-۱-۳- تعیین وزن مناسب شاخص‌ها

از جمله الزامات کار با مدل تاپسیس، تعیین وزن شاخص هاست. برای این کار سه حالت وجود دارد:

الف-وزن شاخص‌ها بر اساس مراجع موجود یا قضاوت کارشناسی مشخص است.

ب- وزن مشخصی برای شاخص‌ها وجود ندارد و می‌توان از روش آنتروپی (Shanoon and Weaver,1947)، وزن شاخص ها را تعیین کرد. آنتروپی شانون میزان عدم قطعیت داده‌های پیش‌بینی شده از یک رخداد احتمالی را نشان می‌دهد. از نظر ریاضی رابطه عکس بین میزان داده‌ها و احتمال رخداد یک امر وجود دارد. اگر رخداد یک امر به صورت دقیق پیش‌بینی شود، میزان احتمال آن بالا خواهد بود و بالعکس آنتروپی شانون کوچک خواهد بود.

ج- تلفیق دو حالت فوق با استفاده از (رابطه ۲۵).

$$W = \frac{\lambda_j W_j}{\sum \lambda_j W_j} \quad \text{(رابطه ۲۶)}$$

اجزای رابطه فوق عبارتند از:

W = وزن نهایی شاخص

λ = وزن شاخص بر اساس مراجع موجود، یا قضاوت کارشناسی

Wj = وزن شاخص ، روش آنتروپی

در ایـــن تحقیق از حـــالت سـوم استفـاده شده و وزن نهایی شاخص ها به شرح رابطه ذیل تعیین و نتایج آن در (جدول ۱۵) ارائه شده است.

۳-۱-۴- طبقه‌بندی و نتایج بر اساس مدل FTOPSIS

مدل تاپسیس فازی بصورت جداگانه برای آب‌های سطحی و زیر زمینی و خاک، از لحاظ پارامترهای موثر در شرب، کشاورزی و ژئوتکنیک اجرا گردید (جدول ۱۶). وضعیت رتبه بندی گزینه ها در هر یک از محیط‌ها در (جدول ۱۷) و رتبه بندی‌نهایی در (جدول ۱۸) لحاظ شده است.

جدول ۱۳- اعداد فازی متناظر با متغیرهای زبانی در ارتباط با ویژگی‌های ژئوتکنیک

Table 13. Fuzzy Scale for the evaluation of the geotechnical parameters

TFN			Dispersivity	Seismic Hazard	Liquefaction	Soil Strength	Swelling
1	1	3	Very Low	Very Low	Very Low	Soft	low
1	3	5	low	low	low	Medium	Moderately
3	5	7	Moderate	Moderate	Moderate	Firm	High
5	7	9	High	High	High	Very Firm	Completely
7	9	9	Very High	Very High	Very High	hard	

جدول ۱۴- اعداد فازی ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک در هر کدام از شبکه‌های چهارگانه

Table 14. TFN of Geotechnical parameters corresponding with fuzzy scale

Networks	Dispersivity			Swelling			Seismic Hazard			Liquefaction			Soil Strength		
A1	1	1	3	1	2.34	4.34	5	7	9	1	1	3	3.67	5.67	7.67
A2	1	1	3	1.67	3	5	4	6	8	1	1	3	1	1.67	3.67
A3	1	3	5	1	1.67	3.67	7	9	9	1	1	3	2.34	3.67	5.67
A4	1	1	3	1.67	3	5	3	5	7	1	1	3	3	4.34	6.34

جدول ۱۵- وزن‌های تلفیقی در محیط‌های مختلف جهت استفاده در مدل‌های تصمیم‌گیری

Table 15. Weight of indices used in this study by compilation method

Surface water	EPA Standard	Na	SO_4	Cl	TH	TDS	pH		
		0.472	0.020	0.372	0.008	0.122	0.006		
	1053 standard	Ca	Mg	Na	SO4	Cl	TH	TDS	pH
		0.013	0.032	0.450	0.019	0.355	0.008	0.116	0.005
Groundwater	EPA Standard	Na	SO_4	Cl	TH	TDS	pH		
		0.313	0.251	0.248	0.059	0.119	0.009		
	1053 standard	Ca	Mg	Na	SO4	Cl	TH	TDS	pH
		0.093	0.018	0.279	0.224	0.221	0.052	0.106	0.008
Soil	Agriculture	Salinity		Alkalinity		Permeability			
		0.858		0.002		0.140			
	Geotechnics	Dispersivity		Swelling		Seismic Hazard		Liquefaction	Soil Strength
		0.531		0.095		0.087		0.000	0.288
All Environment		Surface water		Groundwater		Soil			
		Drink	Agriculture	Drink	Agriculture	Agriculture		Geotechnics	
		0.100	0.200	0.100	0.200	0.300		0.100	

جدول ۱۶- نتایج حاصل از اجرای مدل (FTOPSIS)

Table 16. Results of implementation of FTOPSIS model

Media	Standards	Networks	Distance $^{+}$	Distance $^{-}$	Similarity Index
Surface water	EPA Standard	A1	0.503	0.256	0.337
		A2	0.317	0.502	0.613
		A3	0.469	0.273	0.368
		A4	0.662	0.078	0.106
	1053 standard	A1	0.499	0.251	0.335
		A2	0.319	0.493	0.607
		A3	0.463	0.270	0.368

ادامه جدول ۱۶

	A4	0.645	0.090	0.122
EPA Standard	A1	0.488	0.190	0.281
	A2	0.211	0.510	0.707
	A3	0.511	0.162	0.241
Groundwater	A4	0.542	0.131	0.194
	A1	0.469	0.211	0.310
1053 standard	A2	0.214	0.495	0.698
	A3	0.506	0.162	0.242
	A4	0.512	0.159	0.237
	A1	0.546	0.493	0.475
Agriulture	A2	0.554	0.486	0.467
	A3	0.752	0.093	0.110
Soil	A4	0.795	0.045	0.054
	A1	0.402	0.594	0.596
Geotechnics	A2	0.520	0.454	0.466
	A3	0.571	0.422	0.425
	A4	0.428	0.551	0.563

جدول ۱۷- رتبه‌بندی گزینه‌ها در هر یک از محیط‌های فیزیکی (شامل آب سطحی، آب زیرزمینی و خاک)

Table 17. Options rankings in the separate media in FTOPSIS.

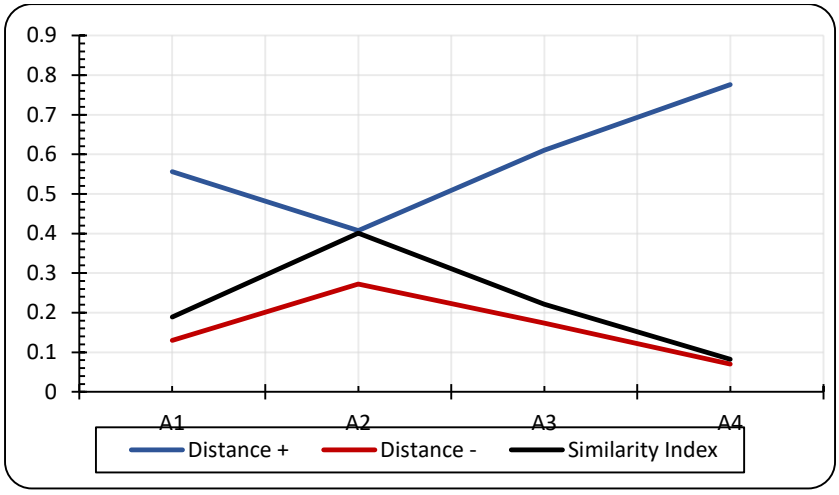
Ranking	Surface water		Groundwater		Soil	
	Drink	Agriculture	Drink	Agriculture	Agriculture	Geotechnics
1	A2	A2	A2	A2	A1	A1
2	A3	A3	A1	A3	A2	A4
3	A1	A1	A3	A1	A3	A2
4	A4	A4	A4	A4	A4	A3

جدول ۱۸- رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

Table 18. Final ranking in FTOPSIS.

Networks	FTOPSIS		
	Distance ✚	Distance —	Similarity Index
A1	0.56	0.13	0.19
A2	0.41	0.27	0.40
A3	0.61	0.17	0.22
A4	0.78	0.07	0.08

رتبه‌بندی نهایی بر اساس شاخص شباهت گزینه‌های A۱ تا A۴ ، بیانگر آن است که گزینه A۲ (شبکه آبیاری و زهکشی اوان- شمال غرب خوزستان) با بیشترین مقدار شاخص شباهت معادل۰/۴۰ بهترین شرایط را از لحاظ ویژگی‌های زیست محیطی، کشاورزی و ژئوتکنیکی دارا می‌باشد، گزینه‌های A۳ و A۱ به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند و گزینه A۴ (دشت آزادگان) بدترین شرایط را دارد (شکل ۳).



شکل ۳ – نمودار رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها
Fig. 3. The final ranking of options in FTOPSIS model.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

اغلب روش‌های معمول ارزیابی آثار محیط‌زیستی در ایران و جهان، شامل انواع مختلف روش‌های ماتریس می‌شوند و به دلیل در نظر گرفتن چند معیار مشخص ، چندمعیاره محسوب می-شوند. نکته مهم نحوه تلفیق معیارها براساس روش‌شناسی مشخص و در نهایت لحاظ کردن مجموعه معیارها و انتخاب گزینه بهتر است. تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه خصوصا آنهایی که ماهیت فازی دارند همخوانی بسیار نزدیکی با شرایط حاکم بر شاخص‌ها و پارامترهای گوناگون از خود نشان می‌دهند. غالبا در بررسی شاخص‌ها به مفاهیم کیفی برخورد میکنیم که تجزیه و تحلیل آنها در کنار سایر مقادیر کمّی دشوار است. هر چند پارامترهای کمّی نیز جهت مقایسه با یکدیگر، با مشکلاتی از جمله یکسان نبودن مقیاس شاخص‌ها، یکسان نبودن واحدهای سنجش، تعارض بین شاخص‌ها و یکسان نبودن اهمیت شاخص‌ها مواجهند.

هسته اصلی تمامی روش‌های رایج ارزیابی آثار محیط زیستی، تحلیل و ارزیابی اهمیت آثار ناشی از فعالیت‌های توسعه بر شاخص‌های محیط‌زیست را تشکیل می‌دهد که اصولا یک تجزیه و تحلیل چند شاخصه است.اطلاعات مورد استفاده برای تحلیل اهمیت آثار، معمولاً شامل اطلاعاتی است که از نتایج بررسی‌های میدانی و در اغلب موارد از آرای تخصصی کارشناسان جمع آوری شده است. این اطلاعات بیشتر به صورت کیفی بوده و در دامنه از پیش تعریف شده که ویژگی حرفی، یا توصیفی دارند، بیان می‌شوند. اطلاعاتی که بدین ترتیب در روش های ارزیابی رایج در ایران، بوِیژه در ماتریس ارزیابی، یا سایر روش‌های مشابه وارد می‌شوند، یا به شکل داده‌های اسمی (بسیار کم تا بسیار زیاد) است که با اعدادی در دامنه‌های از پیش معین شده (مانند دامنه ۱ تا ۳، یا ۱ تا ۵) تعریف می شوند و یا به شکل نمادهایی هستند که حاوی اطلاعاتی در زمینه مجموعه ویژگی های خاص اثر مورد نظرند (مانند قطعی، دایمی، دراز مدت، برگشت پذیر و از این قبیل). چنین رویکردی علی رغم کاربرد وسیع، از توان کافی برای برخورد با مسائلی مانند اریب‌بودن آرا، بی‌دقتی در اظهارنظرها، تاثیرپذیری میانگین آرا از ارزش‌های بسیار زیاد، یا بسیار کم (یا چولگی داده ها) و عدم قطعیت نسبت به درستی داده ها و اطلاعات، برخوردار نیست. نتایج به دست آمده از کاربرد مدل تاپسیس با رویکرد فازی در این تحقیق در تلفیق با روش آنتروپی برای تعیین وزن شاخص ها مبین آن است که این مدل با توجه به خاصیت طبقه بندی فازی و همچنین به دلیل توانایی تلفیق چندین معیار برای هر گزینه و استفاده از منطق فازی برای تخصیص ارزش‌ها به دسته های معین، می‌تواند به افزایش اطمینان نسبت به تخصیص مقادیر مناسب به هر شاخص در یک قیاس ناهمگون کمک کند. ماهیت فازی این تکنیک این امکان را می‌دهد که از داده‌های بیشتری جهت برآورد دامنه تغییرات یک پارامتر استفاده کنیم. کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی، همچنین سبب کمک به ایجاد تفاهم در تصمیم‌گیری وکاهش تعارضات

در مرحله تصمیم‌گیری در زمینه امکان‌پذیری اجرای پروژه، یا طرح مورد نظر از دیدگاه‌های مختلف (محیط‌زیست، کشاورزی، ژئوتکنیک و ....) است. در این مطالعه محقق شد که با استفاده از روش فازی تصمیم‌گیری چند شاخصه تاپسیس و تلفیق شاخص‌های ژئوتکنیکی و زیست‌محیطی و بر اساس معیار شاخص شباهت می‌توان در بین شبکه‌های آبیاری و زهکشی در دست مطالعه، گزینه یا گزینه‌هایی که بهترین شرایط را به لحاظ ویژگیهای زیست‌محیطی، کشاورزی و ژئوتکنیکی دارند، مشخص و در اولویت برنامه‌ریزی جهت ساخت و بهره برداری قرار داد.

مراجع:

Afshar, A., Marino, M.A., Saadatpour, M., Afshar, A., 2011. Fuzzy TOPSIS multi – criteria decision analysis applied to Karun reservoirs system. Journal of Water Resour. Manage 13, 545-563. https://doi.org/10.1007/s11269-010-9713-x

Institute of Standards and Industrial Research of Iran, 2010, 5st. Edition, rinking Water Physical and Chemical Specification. https://health.umsu.ac.ir/uploads/drinking_water_standard_in_iran.pdf

Chen, S.J., Hwang, C.L., 1992. Fuzzy multiple attribute decision making, Methods and applications, New York, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-46768-4_5

Chen, T.Y., Tsao, C.Y., 2008. The interval-valued fuzzy TOPSIS method and experimental analysis. Fuzzy Sets and Systems 159(11):1410-1428. https://doi.org/10.1016/j.fss.2007.11.004

Colson. G., Bruyn. C.D., 1989. Models and methods in multiple objectives decision making, Math. Computer Modelling 1989:1201-1211. P.348

Dakshanamurthy, V., Raman, V., 1973. A simple method of identifying an expansive soil, Soils and Foundations. Japanese society of Soil mechanics and Foundation Engineering 13(1), 97-104.

Drinking Water Standards and Health Advisories, 2012 Edition, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, D.C. https://nepis.epa.gov

Jihad-e- Agriculture Ministry Water & Soil Research Institute, 2008, Islamic Republic of Iran. Vice Presidency for Planning and Supervision Guidelines for Soil Survey, No. 466

Karanth, K.R., 2001. Groundwater Assessment, Development and Management, Mc Graw-Hill.

Korhonen, P., Moskowitz. H., Wallenius, L., 1992. Multiple Criteria Decision Support – A review. European Journal of operational Research 63, 361-375. https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90155-3

Office of Water U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2009. "2009 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories", EPA 822-R-09-011, Washington, USA. P.18

Rahimi, H., Delfi, M., 1993. New chemical method for evaluation of soil Dispersivity. Proc. Of the second international seminar on soil mechanics and foundation engineering of Iran: 199-218.

Rhoades J.D., Kandiah, A., Mashali, A.M., 1992. The use of saline waters for crop production. In: FAO Irrigation and Drainage Paper 48, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 133. https://www.fao.org

Seed, H.B., Idriss, I.M., Arango, I., 1983. Evaluation of liquefaction potential using field performance data. Journal of Geotechnical Engineering ASCE 109(3), 458-482. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1983)109:3(458)

Shanoon, C., Weaver, W., 1947. The mathematical theory of communication. The University of Illinois Press, Urbana. P.125

US Army Corps of Engineers, 1996. Engineering and Design Soil Sampling. Washington, DC.

Wang, W., 1981. Foundation problems in aseismatic design of hydraulic structures. Proc. of the Joint US – PRC Microzonation Workshop, Harbin, PRC.

Wang, W., 1984. Earthquake damage to earth dams and levees in relation to soil liquefaction. Proc., Int. conf. on Case Histories in Geotechnical Eng., University of Missouri-Rulla, MO:512-522.

Ye, F., 2010. An extended TOPSIS method with interval-valued intuitionistic fuzzy numbers for virtual enterprise partner selection. Expert Systems with Applications 37(10), 7050-7055. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.03.013

Yu, P.L., 1973. A class of solution for group decision problems. Management Science 19(8), 936-946. http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.19.8.936

Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. Information Control 8,338-353. https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X

Zimmermann, H.Z., 2001. Fuzzy set theory and its applications. Boston. USA, Kluwer Academic publisher, p.525