DOI: 10.22059/ijswr.2020.303770.668639 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۱۱، بهمن ماه ۱۳۹۹ (ص ۲۷۳۸-۲۷۲۵)

Hybrid Compensatory and Non-Compensatory Multi-Criteria Decision Making Models for locating the Reservoir-dams

MOHAMMAD EBRAHIM BANIHABIB*[1], BAHMAN VAZIRI[1], REZA HASHEMI[2], MITRA TANHAPOUR[1]

1. Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Department of Water Engineering, Agriculture Faculty, University of Birjand, South Khorasan, Iran.

(Received: June. 14, 2020- Revised: Sep. 21, 2020- Accepted: Oct. 3, 2020)

ABSTRACT

One of the requirements for sustainable operation of soil, water and environment resources in agricultural sector is addressing the sustainable development criteria in dam construction projects. In current research, multi-criteria decision making methods (MCDM) including ELimination Et Choice Translating REality (ELECTRE), as a non-compensatory model, and the Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), as a compensatory model, were applied to select proper site for Kandoleh dam in Kermanshah province. For this porpose, after determining the suitable criteria with the help of studies and experts' opinions, group decision making was applied to identify the weight of the criteria by measuring the decision-makers' agreement. Then, the four selected sites for the Kondoleh dam were ranked based on technical, economic, social, environmental criteria and the relevant sub-criteria. At the end, the results were compared togeather. In order to reach a consecsus in the rankings of the two mentioned models, integration methods such as grade average, Copeland and Borda were employed and finally the average method was employed to finalize the results of the integrated methods. Also, 17 sub-criteria were ranked for choosing the dam's site. Based on the results, alternatives ranking for the two models; ELECTRE and TOPSIS, was different. However, the results of the ELECTRE model are more consistent with the final result of the integration methods. The results presented in this study are applicable for selecting storage reservoirs based on sustainable development criteria in soil and water resources development projects.

Keywords: Sustainable Development, Dam Site Selection, TOPSIS, ELECTRE Model, Multi-Criteria Decision Making.

* Corresponding Author's Email: banihabib@ut.ac.ir

تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره جبرانی و غیرجبرانی برای مکان‌یابی سدهای مخزنی (مطالعه موردی: سد کندوله در استان کرمانشاه)

محمد ابراهیم بنی‌حبیب*[۱]، بهمن وزیری[۱]، سید رضا هاشمی[۲]، میترا تنهاپور[۱]

۱. گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۲۵- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۶/۳۱- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۷/۱۲)

چکیده

یکی از ملزومات بهره‌برداری پایدار از منابع آب، خاک و محیط‌زیست در بخش کشاورزی، حفظ معیارهای توسعه پایدار در پروژه‌های سدسازی است. در این تحقیق به‌منظور ساخت سد کندوله در استان کرمانشاه از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) شامل مدل غیرجبرانی تسلط تقریبی و مدل جبرانی شباهت به گزینه ایده‌آل استفاده شده است. بدین منظور پس از تعیین معیارهای مناسب به کمک مطالعات و نظرات کارشناسان، برای تعیین وزن معیارها از تصمیم‌گیری گروهی با اندازه‌گیری میزان توافق تصمیم‌گیران استفاده شد. سپس چهار گزینه منتخب برای این سد، بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و زیر معیارهای مربوطه رتبه بندی شدند و در انتها نتایج با یکدیگر مقایسه گردید. برای رسیدن به اجماع در رتبه‌بندی‌های دو مدل ذکر شده، از روش‌های ادغام مانند میانگین رتبه‌ها، کپ‌لند و بردا استفاده شده و در نهایت از روش میانگین برای تلفیق نهایی نتایج روش‌های ادغام، بهره گرفته شد. ضمناً علاوه بر تعیین ساختگاه برتر، ۱۷ زیرمعیار مطرح در انتخاب این ساختگاه نیز رتبه‌بندی شدند. بر اساس نتایج بدست آمده رتبه‌بندی گزینه‌ها در دو مدل تسلط تقریبی و شباهت به گزینه ایده‌آل با هم تفاوت داشته ولی نتایج مدل تسلط تقریبی تطبیق بهتری با نتیجه نهایی حاصل از روش‌های ادغام دارد. نتایج ارائه شده در این تحقیق برای مکانیابی مخازن ذخیره‌ای در طرح های توسعه آب و خاک براساس معیارهای توسعه پایدار سدسازی کاربرد دارد.

واژه‌های کلیدی: توسعه پایدار، ساختگاه سد، مدل شباهت به گزینه ایده‌آل، مدل تسلط تقریبی، تصمیم‌گیری چندمعیاره.

مقدمه

روند رو به رشد خشکسالی، کمبود منابع آب و تبعات ناشی از آن، اهمیّت ساخت سدها بر مبنای اصول توسعه پایدار به‌منظور بهره‌برداری پایدار از منابع آب و خاک را آشکار می‌سازد. در حقیقت مدیریت منابع آب به‌علت بحران آب و وابستگی آن به عوامل مختلف، یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین مسائل به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Yasser *et al.*, 2013). از این رو احداث سد و طراحی بهینه آن‌ها بر اساس معیارهای توسعه پایدار می‌تواند نقش مهمی در تأمین آب، تخصیص عادلانه آب و حفظ پایداری منابع آب داشته باشد (Chezgi, 2019; Ayoubi kia *et al.*, 2019).

تصمیم‌گیری در مورد انتخاب بهترین مکان برای ساختگاه سد به دلیل تأثیرپذیری آن از عوامل و معیارهای متنوع و گسترده مانند معیارهای زمین‌شناسی، هیدرولوژی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، امری پیچیده و دشوار است (Minatour *et al.*, 2015; Darvishi *et al.*, 2020; Yasser *et al.*, 2013). انتخاب مکان نامناسب برای ساختگاه سد، علاوه بر ایجاد شرایط ناپایدار در وضعیت اجتماعی و اقتصادی، می‌تواند تأثیرات منفی بر اکوسیستم منطقه و حیات موجودات آبزی در سیستم‌های آبی داشته باشد (Jozaghi *et al.*, 2018). برای حل این مسائل، رویکردهای مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند یک راه‌حل عملی باشد زیرا می‌توانند معیارهای کمی و کیفی را با یکدیگر ترکیب کند (Dortaj *et al.*, 2020a).

در مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ابتدا تعدادی معیار تعریف می‌گردد. معیارها وزن‌دهی می‌شوند و در نهایت برای تصمیم‌گیری در مورد یک مسئله، رتبه‌بندی می‌شوند. یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش شباهت به گزینه ایده آل[1] می‌باشد. این روش توسط Hwang و Yoon در سال ۱۹۸۱ ارائه شد (Hwang and Yoon, 1981). روش شباهت به گزینه

* نویسنده مسئول: banihabib@ut.ac.ir

1. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

ایده‌آل به روش جبرانی گزینه برتر را انتخاب می‌کند. بدین معنی که برای انتخاب گزینه می‌توان از برخی از مزایا یا معایب یک گزینه با توجه به سایر مزایا و معایب آن چشم‌پوشی کرده و امتیازات پائین یک گزینه بر اثر یک معیار با امتیازات بالای آن گزینه در معیار دیگر جبران می‌شود. در این روش گزینه‌ها بر اساس شباهت به حل ایده‌آل رتبه‌بندی می‌شوند، به طوری که هر چه یک گزینه شبیه‌تر به حل ایده‌آل باشد، رتبه بیشتری دارد. از این روش در مسائل مختلفی از جمله ارزیابی گزینه‌های مدیریت آب استفاده شده است (Srdjevic *et al*., 2004). Minatour *et al*. (2013) برای رتبه‌بندی چهار گزینه پیشنهادی جهت انتخاب مکان مناسب سد خاکی در شهرستان هرسین واقع در استان کرمانشاه، از روش تحلیل سلسله مراتبی به منظور وزن‌دهی معیارهای مورد نظر و از رویکرد شباهت به گزینه ایده‌آل جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده کردند. Kharazi *et al*. (2019) برای شناسایی مکان مناسب سدهای زیرزمینی در دشت سمنان از رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره تحلیل سلسله مراتبی و شباهت به گزینه ایده‌آل استفاده کردند. Khodashenas و Yarahmadi (2016) قابلیت روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تحلیل سلسله مراتبی، شباهت به گزینه ایده‌آل برای مکانیابی سدهای ذخیره‌ای در ایران نشان دادند. Jozi و Malmir (2014) خطرات زیست‌محیطی سد پلرود در شمال ایران را با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس ارزیابی کردند. آن‌ها فرسایش و رسوب‌گذاری را به عنوان مهم‌ترین خطرات شناسایی کردند. Khan *et al*. (2015) کارایی روش تاپسیس را جهت اولویت‌بندی محل مناسب برای توزیع سیلاب در پاکستان استفاده کردند. Singh *et al*. (2017) برای مکان‌یابی تغذیه مصنوعی در هند از مدل GIS و روش تحلیل سلسله مرتبی استفاده کردند. سپس مکان‌های مورد نظر را بر اساس مجموعه‌ای از عوامل نظیر سطح آب زیرزمینی پس از باران‌های موسمی، نوسانات سطح آب زیرزمینی و تقاضای آب، رتبه‌بندی کردند. روش استفاده شده توسط این محققان منجر به ارائه یک چارچوب مفید برای اولویت-بندی مکان‌های مناسب برای تغذیه آب زیرزمینی شد. Akter and Ahmed (2015) کارایی روش تحلیل سلسله مراتبی به منظور ارزیابی پتانسیل سیستم‌های جمع‌آوری آب باران[1] در شهر چیتاگونگ واقع در بنگلادش نشان دادند. بدین‌منظور از مجموعه عوامل مساحت پوشش، شیب، تراکم زهکشی و ضریب رواناب استفاده کردند. Chezgi *et al*. (2016) مکان‌های مناسب برای سدهای زیرزمینی در استان البرز ایران را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی شناسایی کردند. آن‌ها عواملی مانند شیب، کاربری اراضی، زمین‌شناسی و قنات را برای مکانیابی سدهای زیرزمینی در نظر گرفتند. Kamangar *et al*. (2016) مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی دشت سرخون از روش آنتروپی شانون استفاده کردند. آن‌ها ۱۷/۷ درصد از دشت را به عنوان مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی شناسایی کردند. این مناطق در محدوده شمال دشت با شیب کمتر از ۳ درصد قرار داشتند.

یکی دیگر از این روش‌ها، روش تسلط تقریبی نوع سه[2] می باشد. این روش غیرجبرانی یکی از مدل‌های قوی تصمیم‌گیری چندمعیاره است که می‌توان آن را در تصمیم‌گیری طرح‌های پیچیده مهندسی، مسائل منابع آب و نیز مسائل زیست‌محیطی مورد استفاده قرار داد (Rogers and Bruen, 1998). غیرجبرانی بودن روش به این مفهوم است که این روش، ارزش بالای یک معیار در یک گزینه، ارزش پائین معیار دیگر را در همان گزینه جبران نمی‌کند. این مدل از توابع ریاضی مختلفی تشکیل شده که میزان تسلط گزینه نسبت به سایر گزینه‌ها را نشان می‌دهد. از این مدل در مکان‌یابی منابع انرژی‌های تجدید پذیر (برقابی) (Beccali *et al*., 2003; Georgopoulou *et al*., 1997) و در بهینه سازی مدیریت مخزن جهت اهداف مهار سیلاب و برنامه-ریزی ذخیره آب مخازن استفاده شده است (Malekmohammadi *et al*., 2011). برخی محققین تحلیل سلسله مراتبی و مدل تسلط تقریبی را در ارزیابی‌های زیست-محیطی، به‌کار برده‌اند (Kaya and Kahraman, 2011). Dortaj *et al*. (2020b) برای شناسایی بهترین مکان احداث سدهای زیرزمینی از روش اصلاح شده ELECTRE III استفاده کردند. بدین‌منظور ۱۰ گزینه برای ساخت سد زیرزمینی در استان اصفهان بر اساس معیارهای هیدرولوژی، اجتماعی-اقتصادی، زمین‌شناسی و اقلیمی در نظر گرفتند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد، روش ELECTRE III می‌تواند به‌عنوان یک ابزار کارآمد برای رتبه‌بندی گزینه‌ها عمل کند. Dortaj *et al*. (2020a) برای مکانیابی سد زیرزمینی واقع در استان اصفهان، از مدل‌های ELECTRE I, II و مدل اصلاح شده ELECTRE III بر اساس معیارهای هیدرولوژی، اجتماعی-اقتصادی، زمین‌شناسی و اقلیمی استفاده کردند. سپس نتایج حاصل از روش‌های مختلف ELECTRE را با استفاده از روش‌های رتبه‌دهی میانگین رتبه‌ها، کپ‌لند و بردا با یکدیگر ترکیب کردند. در میان ۱۰ گزینه منتخب برای ساخت سد، یک گزینه را به عنوان بهترین گزینه معرفی کردند.

یکی از مشکلات استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در حالت گروهی فرآیند استفاده از فرم‌های نظرسنجی

2. Rainwater harvesting system

3. Elimination et Choice Translating Reality III (ELECTRE III)

جهت استخراج نظرات کارشناسان در رابطه با اولویت‌بندی معیارها و اولویت‌بندی ساختگاه‌ها از دیدگاه هر معیار با توجه به شرایط منطقه می‌باشد. این فرآیند اغلب وقت‌گیر بوده و به همین دلیل کارشناسان اغلب تمایلی به ارائه نظرات در قالب این فرم‌ها ندارند. این مساله باعث افزایش احتمال بروز خطا در طی فرآیند حل مساله می‌شود. در این تحقیق سعی شد در راستای حل این مشکل، جهت ارزیابی عملکرد گزینه‌ها از دیدگاه هر معیار به جای استفاده از تصمیم‌گیری گروهی، با توجه به شرایط منطقه از مقدار کمی و واقعی این عملکردها استفاده شده و فقط جهت شناسایی و اولویت‌بندی معیارها از تصمیم‌گیری گروهی استفاده شد تا به این وسیله علاوه بر سریع تر شدن این فرآیند، دقت تصمیم‌گیری نیز بالاتر رود. در این تحقیق جهت مکان‌یابی ساختگاه سد به روش فوق از دو مدل تصمیم‌گیری چند معیاره غیرجبرانی (تسلط تقریبی) و جبرانی (شباهت به گزینه ایده‌آل) استفاده شد. جهت تلفیق نتایج این دو مدل نیز روش‌های ادغام مانند میانگین رتبه ها، کپ‌لند و بردا مورد استفاده قرار گرفت. همچنین در این تحقیق علاوه بر رتبه‌بندی کلیه ساختگاه‌ها بر اساس شاخص‌های مؤثر، مقایسه و اولویت‌بندی شاخص‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی نیز ارائه گردید.

مواد و روش‌ها

تعیین بهترین مکان برای ساخت سد به دلیل حفظ ایمنی سد در طول دوره بهره‌برداری سد، از مهم‌ترین بخش طرح‌های سدسازی محسوب می‌شود. بدین‌ترتیب استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای مکانیابی سدها به علت تأثیرپذیری آن از معیارها و تصمیم‌گیران متعدد، ضروری است. به‌طور کلی، مسائل تصمیم-گیری چندمعیاره به دو دسته مسائل تصمیم‌گیری چندشاخصه و مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه تقسیم می‌شوند. چندین هدف به-طور همزمان جهت بهینه شدن مورد توجه قرار می‌گیرد. از مدل-های چند هدفه برای طراحی و برنامه‌ریزی جهت مدیریت پروژه-های چندمنظوره استفاده می‌شود. در مسائل تصمیم‌گیری چندشاخصه، تصمیم‌گیرنده با توجه به مجموعه‌ای از معیارها و عوامل، از بین چند گزینه یک گزینه را انتخاب و یا گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌کند. از مدل‌های چندشاخصه برای ارزیابی و اولویت‌بندی از بین گزینه‌های موجود استفاده می‌شود (Hwang and Yoon, 1981). در این تحقیق نیز از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه استفاده شده است. در مسائل تصمیم‌گیری چندشاخصه یک ماتریس ارزیابی معروف به ماتریس تصمیم وجود دارد که دارای m گزینه و n معیار می‌باشد. میزان اهمیت هر معیار، توسط بردار یک بعدی وزن‌ها W که شامل n وزن است، نشان داده می‌شود. همچنین در ماتریس تصمیم x_{ij} نشانگر عملکرد گزینه i ام بر روی معیار j ام است.

فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند به‌صورت فردی یا گروهی صورت گیرد. تعداد تصمیم‌گیران در حالت گروهی حداقل ۲ نفر می‌باشد که هر یک از آن‌ها دیدگاه‌ها و اولویت‌های متفاوتی نسبت به یک مسئله تصمیم‌گیری دارند. در واقع هدف از تصمیم-گیری گروهی، انتخاب یک گزینه برتر در بین مجموعه‌ای از گزینه‌ها می‌باشد طوری‌که حداکثر توافق بین تصمیم‌گیران وجود داشته باشد. در این پژوهش، پس از تعیین معیارها توسط گروهی از تصمیم‌گیران ارزیابی شد تا هر معیار نسبت به دیگری اولویت-بندی شده و در اهمیت معیارها نسبت به هم مشخص شود. به-منظور تشکیل ماتریس تصمیم، عملکرد گزینه‌ها نسبت به هریک از معیارها تعیین گردید. بدین منظور معیارها به دو دسته کیفی و کمی تقسیم شدند. در معیارهای کمی عملکرد گزینه‌ها نسبت به هریک از معیارها به‌صورت عددی بیان می‌گردد، به همین علت در این پژوهش به منظور ارزیابی و تعیین عملکرد گزینه‌ها نسبت به هریک از معیارهای کمی و جایگذاری آن در ماتریس تصمیم، دقیقاً از مقدار عددی عملکرد آن گزینه در هر زیر معیار برای هر ساختگاه بر اساس شرایط منطقه استفاده شده است. در معیارهای کیفی، ابتدا عملکرد گزینه‌ها با استفاده از روشی که در ادامه شرح داده می‌شود، به مقادیر کمی تبدیل می‌شود. سپس مشابه معیارهای کمی عمل می‌شود. در انتها با استفاده از دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تسلط تقریبی و شباهت به گزینه ایده‌آل گزینه برتر شناسایی می‌شود.

قبل از استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، می-بایست آماده‌سازی داده‌های ورودی به صورت دو مرحله زیر صورت گیرد:

مرحله اول) تبدیل معیارهای کیفی به کمی: در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره، معیارها به دو صورت کمی یا کیفی تعیین می‌شوند. جهت تبدیل معیارهای کیفی به کمی می‌توان از روش‌های متعددی استفاده کرد که یکی از معمول‌ترین آن‌ها روش مقیاس دو قطبی می‌باشد که در این تحقیق از آن استفاده شده است. بر اساس این روش، در معیارهای مثبت، مجموعه اعداد (۱،۳،۵،۷،۹) را معادل مجموعه کیفی (خیلی‌زیاد، زیاد، متوسط، کم، خیلی‌کم) در نظر می‌گیرد. بدین‌ترتیب مقادیر و ارزش‌های (۸، ۶، ۴، ۲) نیز ارزش‌های واسط بین دو ارزش دیگر می‌باشند. در خصوص معیارهای منفی، نسبت‌ها در دو مجموعه مذکور برعکس می‌گردد (Saaty, 1980).

مرحله دوم) نرمالیزه کردن داده‌ها: هر ماتریس تصمیم از مجموعه شاخص‌های مثبت و منفی تشکیل شده است که هر یک

از آن‌ها دارای مقیاس مخصوص به خود می‌باشد. به همین علت می‌بایست قبل از انجام هر گونه محاسبات در ماتریس تصمیم، داده‌ها نرمال‌سازی شوند. نرمال‌سازی داده‌ها می‌تواند تأثیر زیادی بر نتایج حاصل از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره داشته باشد (Cables Perez *et al*., 2008). در این پژوهش، نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از رابطه زیر انجام شده است:

$$f_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} {x_{ij}}^2}}$$ (رابطه ۱)

در رابطه فوق x_{ij} و f_{ij} به ترتیب عملکرد گزینه i ام بر روی معیار j ام و امتیاز نرمال شده گزینه i ام بر روی معیار j ام، می‌باشد.

روش شباهت به گزینه ایده آل (TOPSIS)

اساس این روش بر این اصل استوار است که گزینه انتخابی بایستی کم‌ترین فاصله را از حل ایده‌آل و بیشترین فاصله را از حل ضد ایده‌آل داشته باشد. حل ایده‌آل چنان چه از اسم آن پیدا است، آن حلی که از هر جهت بهترین باشد که عموما در عمل وجود نداشته و سعی بر آن است که به آن نزدیک شویم و حل ضد ایده‌آل برعکس حل ایده‌آل می‌باشد. بنابراین اگر حل ایده‌آل با A^* و ضد ایده‌آل با A^- نشان داده شود در این صورت داریم:

$A^* = \{v_1^*, v_2^*, ..., v_j^*, ..., v_n^*\}$ (رابطه ۲)

$A^- = \{v_1^-, v_2^-, ..., v_j^-, ..., v_n^-\}$ (رابطه ۳)

که v_j^* بهترین مقدار معیار j از بین تمام گزینه‌ها و v_j^- بدترین مقدار معیار j از بین تمام گزینه‌ها می‌باشد.

روش کار به این صورت است که پس از نرمال کردن داده ها توسط رابطه (۱)، با استفاده از ضرایب وزنی معیارها، ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن‌دار به دست می‌آید. ماتریس تصمیم وزن‌دار از ضرب ماتریس تصمیم در ماتریس وزن معیارها حاصل می‌شود. سپس در مرحله بعد برای هرگزینه فاصله از حل ایده‌آل و فاصله از حل ضد ایده‌آل به ترتیب از روابط زیر محاسبه می شود:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^*\right)^2} \quad , \quad i=1, 2,..., m$$ (رابطه ۴)

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^-\right)^2} \quad , \quad i=1, 2,..., m$$ (رابطه ۵)

در روابط فوق اندیس j معرف معیار مورد نظر و اندیس i معرف گزینه مورد نظر بوده و v_{ij} نیز مقدار نرمال وزن‌دار شده عملکرد گزینه iام از دید معیار jام می‌باشد.

در آخرین مرحله نیز شاخص شباهت از رابطه زیر محاسبه شده و گزینه‌ها براساس آن رتبه‌بندی می‌شوند:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad , \quad i=1, 2,..., m$$ (رابطه ۶)

مقدار شاخص شباهت بین صفر و یک تغییر می‌کند. هرچه گزینه مورد نظر به ایده‌آل مشابه‌تر باشد، مقدار شاخص شباهت آن، به یک نزدیک‌تر خواهد بود و هرچه گزینه موردنظر به ضد ایده‌آل مشابه‌تر باشد، مقدار شاخص شباهت آن، به صفر نزدیک‌تر می‌شود. بنابراین برای رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقدار شاخص شباهت، گزینه‌ای که دارای بیش‌ترین شاخص شباهت است، در رتبه اول و گزینه‌ای که دارای کمترین شاخص شباهت است، در رتبه آخر قرار می‌گیرد (Ataei, 2010).

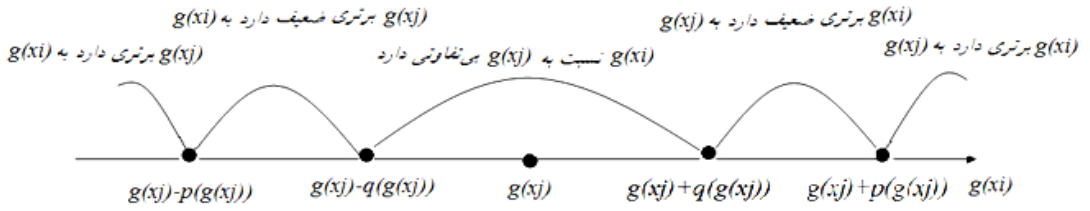
روش تسلط تقریبی (ELECTRE III)

این مدل، یک مدل غیرجبرانی تصمیم‌گیری است. این مدل از توابع ریاضی مختلفی تشکیل شده که میزان تسلط یک ساختگاه نسبت به سایر ساختگاه‌ها را نشان می‌دهد. این مدل همچنین، مقایسه‌ی بین ساختگاه‌ها را به وسیله‌ی وزن‌دهی به معیاره‌های تصمیم تسهیل می‌کند و در نهایت رتبه‌بندی آن‌ها را استخراج می‌کند. در مسائل تصمیم‌گیری گزینه‌ها به‌صورت مجموعه‌ی $X=\{x_1, x_2, ..., x_n\}$ و معیاره‌ها به صورت مجموعهٔ $I=\{i_1, i_2, ..., i_i\}$ و کارایی گزینه‌ها به صورت $G=\{ g_1, g_2,..., g_i \}$ نشان داده می‌شود که در آن $g_i(x_j)$ نشان دهندهٔ کارایی گزینه x_j در مقابل معیاره i_i می‌باشد. در این مدل سه حد آستانهٔ برتری p، بی‌تفاوتی q و وتو v برای هر معیاره تعیین می‌شود. برای معیاره c_i برتری$(p_i(g_i(x_j))$ و بی‌تفاوتی$(q_i(g_i(x_j))$ براساس روابط جدول (۱) تعیین می‌شوند (Buchanan and Vanderpooten, 2007):

جدول ۱- روابط تعیین آستانه‌های برتری، رد و بی‌تفاوتی

x_i نسبت به x_j برتری دارد اگر:	$g_l(x_i) > g_l(x_j) + p_l(g_l(x_j))$
x_i نسبت به x_j برتری ضعیف دارد اگر:	$g_l(x_j) + q_l(g_l(x_j)) < g_l(x_i) \le g_l(x_j) + p_l(g_l(x_j))$
x_i نسبت به x_j و x_j نسبت به x_i بی‌تفاوتی دارد اگر:	$\left\|g_l(x_i) - g_l(x_j)\right\| \le q_l(g_l(x_j))$

روابط بین آستانه‌های برتری، رد و بی‌تفاوتی به‌صورت شکل (۱) نیز نمایش داده شده است:



شکل ۱- حدود آستانه‌ی برتری، بی‌تفاوتی و وتو گزینه‌های $g(x_j)$ و $g(x_i)$ نسبت به یکدیگر

در مدل تسلط تقریبی، رتبه‌بندی ماتریس اعتبار $S(x_i,x_j)$ نشان دهندهٔ اعتبار رتبه x_i نسبت به x_j است و داده‌های این ماتریس بین صفر و یک است. ماتریس اعتبار بر اساس شاخص موافقت و شاخص مخالفت به‌دست می‌آید. شاخص موافقت $C(x_i,x_j)$ برای هر جفت از گزینه‌های (x_i,x_j) به‌صورت روابط (۷) و (۸) محاسبه می‌شود:

(۷)

$$c_l(x_i,x_j)=\begin{cases}1 & \text{اگر } g_l(x_i)+q_l(g_l(x_i))\geq g_l(x_j)\\ 0 & \text{اگر } g_l(x_i)+p_l(g_l(x_i))\leq g_l(x_j)\\ \dfrac{p_l(g_l(x_i))+g_l(x_i)-g_l(x_j)}{p_l(g_l(x_i))-q_l(g_l(x_i))} & \text{در غیر این‌صورت}\end{cases}$$

(رابطه ۸)
$$C(x_i,x_j)=\frac{1}{w}\sum_{l=1}^{m} w_l c_l(x_i,x_j)$$

$$w=\sum_{l=1}^{m} w_l$$

که در آن $w_l(l:1,\dots m)$ وزن هر معیار می‌باشد. شاخص مخالفت $d(x_i,x_j)$ برای هر جفت از گزینه‌های (x_i,x_j) به‌صورت روابط (۹) و (۱۰) محاسبه می‌شود:

(رابطه ۹)
$$d_l(x_i,x_j)=\begin{cases}1 & \text{اگر } g_l(x_i)+v_l(g_l(x_i))\leq g_l(x_j)\\ 0 & \text{اگر } g_l(x_i)+p_l(g_l(x_i))\geq g_l(x_j)\\ \dfrac{g_l(x_j)-g_l(x_i)-p_l(g_l(x_i))}{v_l(g_l(x_i))-p_l(g_l(x_i))} & \text{در غیر این‌صورت}\end{cases}$$

(رابطه ۱۰)
$$d(x_i,x_j)=\frac{1}{w}\sum_{l=1}^{m} w_l d_l(x_i,x_j)$$

$$w=\sum_{l=1}^{m} w_l$$

که در آن $p_l(g_l(x_i))$ آستانهٔ برتری و $v_l(g_l(x_i))$ آستانهٔ وتو برای هر معیار و رابطه بین دو آستانه به‌صورت $v_l(g_l(x_i))>p_l(g_l(x_i))$می‌باشد. در نهایت ماتریس اعتبار S به صورت رابطه (۱۱) به‌دست می‌آید:

(رابطه ۱۱)
$$S(x_i,x_j)=\begin{cases}C(x_i,x_j) & \text{اگر } d_l(x_i,x_j)\leq C(x_i,x_j)\quad \forall l\\ C(x_i,x_j)\cdot\prod_{l\in J(x_i,x_j)}\dfrac{1-d_l(x_i,x_j)}{1-C(x_i,x_j)} & \text{اگر } d_l(x_i,x_j)\geq C(x_i,x_j)\\ l=1 & \text{در غیر این‌صورت}\end{cases}$$

$$S=\begin{bmatrix}S(x_1,x_1) & S(x_1,x_2) & \dots & S(x_1,x_n)\\ S(x_2,x_1) & S(x_2,x_2) & \dots & S(x_2,x_n)\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ S(x_n,x_1) & S(x_n,x_2) & \dots & S(x_n,x_n)\end{bmatrix}$$

تعیین ماتریس نهایی T به صورت روابط (۱۲) تا (۱۴) است:

$$\lambda=\max_{xi,xj\in X} S(xi,xj)$$ (رابطه ۱۲)

$$S(\lambda)=-0.15(\lambda)+0.3$$ (رابطه ۱۳)

(رابطه ۱۴)
$$T(x_i,x_j)=\begin{cases}1 & \text{اگر } S(x_i,x_j)>\lambda-S(\lambda)\\ 0 & \text{در غیر این‌صورت}\end{cases}$$

پس از تشکیل ماتریس نهایی T، داده‌های هر سطر و ستون را جمع کرده و برای هر گزینه تعداد مجموع سطر و ستون آن را از هم کم می‌کنیم. هر ساختگاهی که تفاضل آن بزرگتر بود به عنوان ساختگاه برتر شناخته می‌شود. سپس سطر و ستون مربوط به گزینه برتر را حذف می‌کنیم و دوباره λ و S(λ) و ماتریس T را تشکیل می‌دهیم و تا جایی که تمام سطر و ستون‌ها حذف شود، سپس ساختگاه‌ها را به صورت نزولی رتبه‌بندی می‌کنیم. در مرحلهٔ بعد همین روند را انجام می‌دهیم با این تفاوت که هر ساختگاهی که تفاضل آن کمتر بود را به عنوان ساختگاه با رتبه پایین‌تر انتخاب می‌کنیم یا به عبارتی ساختگاه‌ها را صعودی رتبه-بندی می‌کنیم و سپس رتبه‌بندی نهایی را بر اساس اشتراک این دو سری رتبه‌بندی صعودی و نزولی تعیین می‌نماییم.

روش‌های ادغام

معمولا در هنگام استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، رتبه‌بندی‌های متفاوتی برای یک مسأله به‌دست می‌آید، که برای رسیدن به اجماع در رتبه بندی‌های گوناگون باید از روش‌های مختلف ادغام[1] از جمله روش میانگین رتبه‌ها[2]، روش بردا[3] و روش کپ‌لند[4] استفاده نمود. در روش میانگین رتبه‌ها، گزینه‌ها را بر اساس میانگین رتبه‌های بدست آمده از مدل‌های مختلف تصمیم گیری چند معیاره، اولویت‌بندی می‌کند.

روش بردا، بر اساس قاعده ترجیح اکثریت استوار است. در

---

4. Aggregate methods
5. Grade mean
6. Borda method
7. Copeland method

یک جدول با مقایسات زوجی، اگر تعداد روش‌هایی که D1 را بر D2 ترجیح می‌دهد بیش‌تر از تعداد روش‌هایی باشد که D2 را بر D1 ترجیح می‌دهد، این مورد را با M نشان می‌دهیم. بنابراین طبق اکثر روش‌ها، D1 بر D2 ترجیح دارد. اگر در این مقایسه زوجی، رأی اکثریت وجود نداشت و یا آرا با هم مساوی بود، آن را با کدگذاری X مشخص می‌نمائیم. M نشانگر آن است که سطر بر ستون ارجعیت دارد و X به منزله آن است که ستون بر سطر ارجعیت دارد. هر مقایسه زوجی به صورت جداگانه، مورد بررسی قرار می‌گیرد. تعداد مقایسات، برابر m(m-1)/2 است. که m تعداد گزینه‌ها است. معیار اولویت در این روش، آن است که در چند مقایسه، بردهای گزینه (یعنی M) در سطر دارای اکثریت است.

روش کپلند، بر اساس تکمیل روش بردا استوار است. روش کپلند نه فقط تعداد بردها، بلکه تعداد باخت‌ها را هم برای هر گزینه محاسبه می‌کند. امتیازی که کپلند به هر گزینه می دهد، با کم کردن تعداد باخت‌ها (ΣR) از تعداد بردها (ΣC)محاسبه می‌شود. در نهایت می‌توان رتبه‌بندی حاصل از سه روش تلفیقی را با یکی از روش‌های تلفیقی ادغام نهایی نمود که در این تحقیق روش میانگین رتبه‌ها برای تلفیق نهایی استفاده شده است.

ارزیابی میزان توافق

یکی از موارد مهم در تصمیم‌گیری گروهی و بررسی پایدار بودن نتایج آن، توافق میان تصمیم‌گیران است. در صورتی که اتفاق نظر در میان افراد تصمیم‌گیر از حد معینی کمتر باشد، می‌توان با شناسایی معیارهای مورد اختلاف و انجام مذاکرات موثر میان ذینفع‌ها، نتایج را بهبود داد و تصمیم‌گیری را پایدار کرد (Zarghami and Ehsani, 2011). به همین منظور در این مقاله جهت اندازه‌گیری میزان توافق میان تصمیم‌گیران از رابطه (۱۵) به‌صورت زیر استفاده می‌شود (Kuncheva, 1994):

$$C(DM_i) = 1 - \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} \left| D_i(A_j) - GD(A_j) \right|^{\alpha} \quad \text{(رابطه ۱۵)}$$

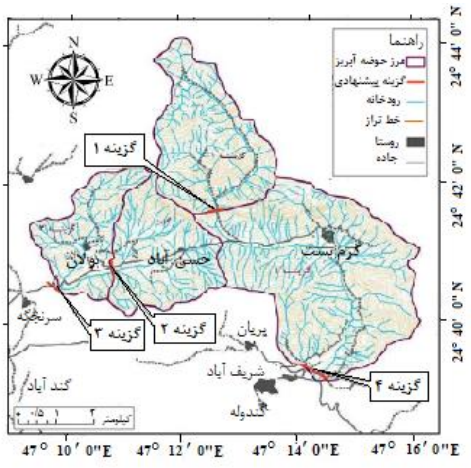
در رابطه فوق $C(DM_i)$ میزان توافق بین نظرات تصمیم‌گیر iام با نظر گروه می باشد. $D_i(A_j)$ نظر تصمیم‌گیر یا ذینفع iام روی مولفه jام و $GD(A_j)$ مقدار عددی تصمیم گروه روی مولفه jام است. n تعداد مولفه‌های ماتریس تصمیم و α نیز پارامتری است که اهمیت میزان اختلاف‌ها را نشان می‌دهد، به طوری که با افزایش آن تاثیر اختلاف‌های بیشتر، زیادتر می شود. آستانه حداقل درجه توافق قابل قبول برای نتایج تصمیم‌گیری گروهی، در حدود مقدار ۰/۶ می‌باشد (Ashton, 1992).

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در استان کرمانشاه و در حد فاصل عرض جغرافیایی ´۳۹ ،°۳۴ تا ´۴۲ ،°۳۴ شمالی و طول جغرافیایی ´۹ ،° ۴۷ تا ´۱۶ ،° ۴۷ شرقی، مابین شهرستانهای سنقر و کامیاران واقع شده است. هدف از احداث سد مخزنی کندوله، تأمین آب کشاورزی می‌باشد. بر اساس بازدیدهای انجام شده، چهار گزینه برای ساختگاه سد کندوله در نظر گرفته شد. منطقه مورد مطالعه شامل چهار زیرحوضه است که آبراهه اصلی زیرحوضه‌های گزینه ۱ و ۴ به رودخانه نیاور و آبراهه اصلی زیر حوضه‌های گزینه ۲ و ۳ به رودخانه رازآور منتهی می‌شود و هر دو از زیرحوضه‌های رودخانه قره سو می‌باشند. در شکل ۲ موقعیت این چهار ساختگاه نشان داده شده است. گزینه ساختگاه ۱ در بالادست روستاهای کرم-بست، پریان، شریف آباد و کندوله و گزینه ۲ و ۳ در بین روستاهای بولان، جذر، درآب و سرنجگه و گزینه ۴ در بالادست روستاهای پریان، شریف آباد و کندوله واقع شده‌اند. هر یک از این گزینه‌ها از نظر فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی دارای مزایا و معایب مختلفی هستند که در این تحقیق با یکدیگر مقایسه شده اند. جهت دسترسی به گزینه‌های یک، دو و سه از محور ارتباطی میان‌راهان-کامیاران استفاده می‌گردد و از محور کرمانشاه-بیستون-میان‌راهان-کندوله نیز می‌توان برای دسترسی به گزینه چهارم استفاده کرد. مشخصات فیزیوگرافیک حوضه ساختگاه‌ها به طور خلاصه در جدول (۲) نشان داده شده است. مقادیر ارزیابی کلیه گزینه‌های مطرح برای ساخت سد، به ازاء هر یک از معیارها در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۲- خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌های آبریز گزینه‌های پیشنهادی سد

واحد هیدرولوژیکی	مساحت (Km^2)	محیط (Km)	طول حوضه آبریز (Km)
حوضه گزینه ۱	۹/۷	۱۳/۹	۴/۷
حوضه گزینه ۲	۷/۶	۱۲	۳
حوضه گزینه ۳	۱۳/۲	۱۵/۶	۴/۵
حوضه گزینه ۴	۲۹/۱	۲۸	۹/۹



شکل ۲- موقعیت منطقه مطالعاتی (Ghasemi *et al.*, 2010)

معیارهای منتخب برای تصمیم‌گیری گروهی

جدول (۳) زیر معیارهای مورد نظر برای تعیین بهترین ساختگاه سد نشان می‌دهد. پس از ارزیابی تحقیقات و طرح‌های موجود در این زمینه و با کمک نظرات ۳۰ نفر از کارشناسان سازمان آب غرب، مهندسین مشاور گاماسیاب، دانشگاه رازی و دانشگاه تهران که با پروژه آشنایی داشتند، وزن‌دهی ۱۷ زیرمعیار و ارزیابی گزینه ها انجام گردید. یکی از معیارهای ژئوتکنیکی در انتخاب ساختگاه مناسب برای سد، نوع سد می‌باشد. سد کندوله از نوع سد خاکی است و فاکتورهای مورد بررسی برای تعیین شرایط ساختگاه‌ها به لحاظ وضعیّت زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی در جدول (۳) ارائه شده است. لازم به ذکر است که مسائل حفاظتی سد نیز در فاکتور دسترسی به خطوط حیاتی در این جدول در نظر گرفته شده است.

جدول ۳- زیرمعیارهای مورد نظر برای شناسایی بهترین ساختگاه سد

معیارهای اصلی توسعه پایدار	زیر معیارها	توضیح
اجرایی - فنی	توپوگرافی و حجم مخزن پشت سد	این زیرمعیار نسبت حجم مخزن به حجم عملیات خاکی یا بتنی را برای گزینه‌ها برای مقایسه ساختگاه‌ها استفاده می‌کند.
	زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه و مخزن	در این زیرمعیار (کیفی) ویژگی‌هایی همچون مقاومت پی (از نظر باربری)، آب‌بندی ساختگاه، آب بندی مخزن، عدم وجود مخاطرات زمین شناسی مانند لغزش زمین در دیواره‌های مخزن، عبور گسل از مخزن، عبور گسل از ساختگاه، جهت شیب لایه‌های زمین شناسی ساختگاه در پی و دیواره (که به ضعف آب بندی منجر می شود) و وجود لنزهای ماسه ای بررسی شده است.
	هیدرولوژی	در این زیر معیار نسبت آبدهی رودخانه به حجم مخزن جهت مقایسه گزینه به‌کار رفته است.
	مدیریت منابع آب	در این زیرمعیار کمی، درصد تامین آب کشاورزی(میلیون مترمکعب) به تفکیک گزینه‌ها برای تحلیل و مقایسه ساختگاه‌ها از نظر مدیریت نیازها مورد بررسی قرار گرفته است.
	بار رسوب ورودی به مخزن	نسبت حجم رسوب سالانه (تن در سال) به آبدهی سالانه (میلیون مترمکعب در سال) برای ارزیابی گزینه‌ها استفاده شده است.
	شرایط سرریز	این زیرمعیار مناسب بودن توپوگرافی گزینه ها برای احداث سرریز در کنار سد را به‌صورت کیفی ارزیابی می کند.
	امکان و شرایط انحراف رودخانه	این زیرمعیار امکان انحراف رودخانه در حین ساخت سد را به صورت کیفی ارزیابی می‌کند.
	دسترسی به خطوط حیاتی	دسترسی آسان گزینه‌ها به آب آشامیدنی، برق، گاز، تلفن و راه های آسفالته بررسی شده است.
	امکان مهار سیلاب	زیرمعیاری که در این مورد بررسی می شود جمعیت ساکن در پائین دست هریک از ساختگاه‌های احداث سد هاست.
	وضعیت آب و هوایی امکان احداث کارگاه برای ساخت سد	بارش طولانی و یخبندان جلوی عملیات اجرایی پروژه را می گیرد. ساختگاه‌ها از این لحاظ بررسی شده‌اند. این زیرمعیار نیز از شاخص‌های کیفی بوده، و شرایط هریک از ساختگاه‌ها جهت احداث کارگاه را به صورت کیفی ارزیابی می نماید.
اقتصادی	نسبت فایده به هزینه	برای اطمینان خاطر از اقتصادی بودن پروژه نسبت فایده به هزینه هر ساختگاه استفاده شده است.
	منابع قرضه موجود	در این زیرمعیار دسترسی آسان به منابعی همچون خاک‌های ریز دانه، مخلوط برای بدنه سد، شن و ماسه برای بتن، میل گرد و آب و.. ملاک عمل قرار گرفته است.
	غرقابی شدن اراضی و خسارت مخزن	منظور از خسارت مخزن، ارزش مالی زمین‌های کشاورزی، جاده، خطوط حیاتی (آب، برق، گاز، تلفن)، آثار باستانی، فرهنگی و مذهبی، منازل مسکونی و ... می‌باشد که در مخزن غرقاب خواهند شد.
اجتماعی	مقبولیت اجتماعی و پذیرش افراد بومی	نسبت اشتغال زایی دائم و موقت به تعداد بیکار در مناطق تحت پوشش گزینه‌ها، به‌عنوان زیرمعیار کمی مقبولیت اجتماعی برای ارزیابی گزینه‌ها استفاده شده است.
	موقعیت اراضی آبیاری	مساحت اراضی دیم موجود نسبت به اراضی کشاورزی آبی و مساحت اراضی توسعه، برای مقایسه ساختگاه‌ها مد نظر قرار گرفته است.
زیست‌محیطی	اثرات زیست‌محیطی و تفرجگاه	این زیرمعیار کیفی بوده و جاذبه تفرجگاهی و آثار زیست‌محیطی گزینه‌ها را ارزیابی می‌کند.

نتایج و بحث

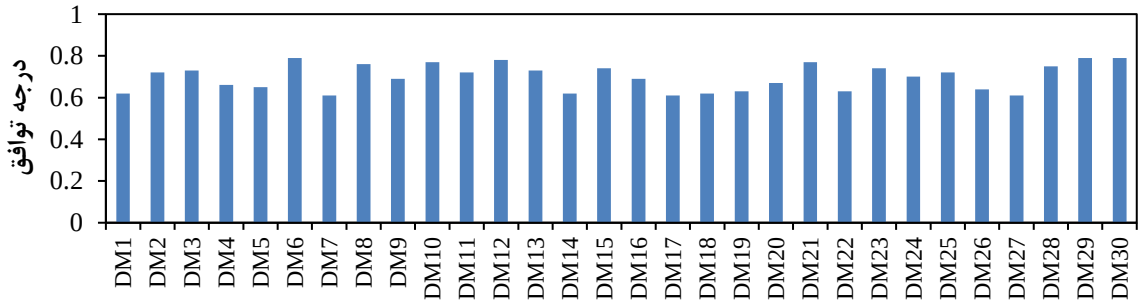
تصمیم‌گیری گروهی و بررسی میزان توافق

همان‌گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد، از نظرات کارشناسان خبره به منظور تعیین وزن زیرمعیارها استفاده شده است. تعداد کارشناس‌هایی که در این تحقیق از نظرات آن‌ها بهره گرفته شده ۳۰ نفر می‌باشد. لازم به ذکر است که تصمیم‌گیری جهت انتخاب مکان مناسب برای ساخت سد بر اساس اطلاعات و قضاوت این کارشناسان صورت گرفته است و کارشناسان به طور مستقیم زیرمعیارها را وزن‌دهی کردند. در مرحله بعد میزان توافق کارشناسان محاسبه گردید و در انتها از روش تصمیم‌گیری گروهی برای تعیین وزن معیارها استفاده شد. نتایج مربوط به نظرات کارشناسان در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴- مقادیر نرمال شده وزن زیر معیارها بر اساس تصمیم‌گیری گروهی

ردیف	معیار	وزن معیار	ردیف	معیار	وزن معیار
۱	توپوگرافی و حجم مخزن پشت سد	۰/۰۷۲	۱۰	امکان مهار سیلاب	۰/۰۶۰
۲	زمین شناسی مهندسی ساختگاه و مخزن	۰/۰۷۴	۱۱	موقعیت اراضی آبیاری	۰/۰۵۷
۳	هیدرولوژی	۰/۰۷۱	۱۲	امکان احداث کارگاه برای ساخت سد	۰/۰۴۷
۴	مدیریت منابع آب	۰/۰۶۱	۱۳	وضعیت آب و هوایی	۰/۰۴۶
۵	بار رسوب ورودی به مخزن	۰/۰۶۱	۱۴	دسترسی به خطوط حیاتی	۰/۰۴۷
۶	شرایط و محل سرریز	۰/۰۵۳	۱۵	اثرات زیست محیطی و تفرجگاه	۰/۰۴۸
۷	منابع قرضه موجود	۰/۰۵۸	۱۶	مقبولیت اجتماعی و پذیرش افراد بومی	۰/۰۵۵
۸	امکان و شرایط انحراف رودخانه	۰/۰۵۶	۱۷	نسبت فایده به هزینه	۰/۰۷۵
۹	غرقابی شدن اراضی و خسارت مخزن	۰/۰۵۹			

جهت اطمینان از پایدار بودن نتایج تصمیم‌گیری گروهی، میزان توافق میان تصمیم‌گیران با نظر گروهی بررسی گردید. شکل (۲) نتایج مربوط به ارزیابی میزان توافق هر یک از تصمیم‌گیران با تصمیم گروهی را با بکارگیری رابطه ۱۵ و فرض مقدار $\alpha = ۱$ (حداکثر اختلاف ممکن) نشان می‌دهد. همانگونه که گفته شد، حداقل مقدار قابل قبول درجه توافق برای نتایج تصمیم‌گیری‌های گروهی حدوداً معادل ۰/۶ است (Zarghami and Ehsani, 2011). بر اساس شکل (۲) می‌توان مشاهده کرد حداقل میزان درجه توافق، به ازا هر یک از کارشناسان ۰/۶ برآورد گردیده است که نشانگر وجود اتفاق نظر و هماهنگی بین نظرات کارشناسان است. بدین‌ترتیب نتایج مربوط به وزن معیارها بر اساس تصمیم‌گیری گروهی قابل قبول است.



شکل ۲- درجه توافق تصمیم گیران با تصمیم گروهی

اولویت‌بندی گزینه‌های ساختگاه سد

با استفاده از روش‌های معرفی شده در بخش قبل، (۴) گزینه مورد نظر برای ساختگاه سد ارزیابی و تحلیل شد. نتایج مربوط به مقادیر ارزیابی ساختگاه‌ها به ازا هر یک از معیارها در جدول (۵) نشان داده شده است. زیر معیارهای منتخب در این پژوهش در ستون دوم و شاخص ارزیابی زیرمعیار مربوطه در ستون سوم ارائه شده است. برای معیارهای کیفی، مجموعه‌ای از عوامل موثر در ارزیابی آن معیار، به‌عنوان شاخص ارزیابی آن در نظر گرفته شده که در جدول (۳) بیان شده است. با توجه به مطالب فوق و نظرات کارشناسی، از متغیرهای بیانی برای ارزیابی این معیارها استفاده شده است. همان‌طور که گفته شد، هدف از احداث سد مخزنی کندوله، تأمین آب کشاورزی می‌باشد. مقدار تأمین آب کشاورزی به‌صورت حجم تنظیم آب در ردیف چهارم جدول (۵) ارائه شده است. علاوه بر این، نتایج ارائه شده در خصوص معیار دوم در جدول

(۵) نشان می‌دهد شرایط کلیه ساختگاه‌ها از نظر وضعیّت ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی در مقایسه با یکدیگر تقریباً یکسان است و با یکدیگر تفاوت جزیی دارند. ذکر این نکته ضروری است که در زیر معیار هفتم، فاصله حمل اعمال شده براساس نیاز های طرح برای منابع قرضه شامل میانگین وزنی فواصل منابع قرضه مورد نیاز در طرح، با ضرایب وزنی ریزدانه ۰/۲۵، درشت‌دانه ۰/۶، فولاد ۰/۰۵، سیمان ۰/۰۵ و سنگ ۰/۰۵ استفاده شده است.

جدول ۵- مقادیر ارزیابی ساختگاه‌ها به ازای هر یک از معیارها

ردیف	معیار	شاخص ارزیابی	گزینه‌ها				ماهیت معیار
			ساختگاه ۱	ساختگاه ۲	ساختگاه ۳	ساختگاه ۴	
۱	توپوگرافی و حجم مخزن پشت سد	نسبت حجم مخزن به حجم عملیات خاکی	۳/۸	۳/۱۵	۳/۹۸	۳/۸۲	متبت
۲	زمین شناسی مهندسی ساختگاه و مخزن	معیار کیفی با توجه به مطالب جدول (۳)	متوسط	مطلوب	مطلوب	مطلوب	مثبت
۳	هیدرولوژی	نسبت آبدهی رودخانه به حجم مخزن	۱/۴	۲/۸	۲/۷۸	۱/۴۵	مثبت
۴	مدیریت منابع آب	حجم تنظیم آب (میلیون مترمکعب)	۲	۱/۱۸	۱/۹۵	۵/۸۲	مثبت
۵	بار رسوب ورودی به مخزن	نسبت باررسوب کل به آبدهی رودخانه (یک‌هزارم)	۱/۶۵	۵/۴۸	۶/۵۰	۲/۲۴	منفی
۶	شرایط و محل سرریز	معیار کیفی با توجه به مطالب جدول (۳)	نسبتا مناسب	نسبتا مناسب	مناسب	مناسب	مثبت
۷	منابع قرضه موجود	فاصله حمل برای منابع قرضه (کیلومتر)	۵۸/۲۷	۵۵/۲۷	۵۶/۹۵	۶۳/۷	مثبت
۸	امکان و شرایط انحراف رودخانه	معیار کیفی با توجه به مطالب جدول (۳)	آسان	متوسط	متوسط	کمی‌سخت	مثبت
۹	غرقابی شدن اراضی و خسارت مخزن	هزینه کل خسارت مخزن (میلیون ریال)	۷۸۲	۲۷۸۸	۲۹۶۷	۱۳۷۷۱	منفی
۱۰	امکان مهار سیلاب	جمعیت تحت پوشش	۲۰۳۸	۸۷۸	۶۳۱	۱۴۰۰	مثبت
۱۱	موقعیت اراضی آبیاری	مساحت اراضی کشاورزی (هکتار)	۲۱۹	۲۳۹	۴۰۹	۷۱۰	مثبت
۱۲	امکان احداث کارگاه برای ساخت سد	معیار کیفی با توجه به مطالب جدول (۳)	کمی‌سخت	آسان	آسان	متوسط	مثبت
۱۳	وضعیت آب و هوایی	دمای متوسط ماهانه (درجه سانتیگراد)	۱۰	۱۲	۱۲	۱۲	مثبت
۱۴	دسترسی به خطوط حیاتی	فاصله تا نزدیکترین روستا (کیلومتر)	۳/۶	۱	۰/۱۳	۰/۶	مثبت
۱۵	اثرات زیست محیطی و تفرجگاه	معیار کیفی با توجه به مطالب جدول (۳)	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	منفی (آثار زیست‌محیطی)
۱۶	مقبولیت اجتماعی و پذیرش افراد بومی	ایجاد اشتغال در اراضی آبی	۳۸	۱۱۶	۲۰۳	۱۲۴	مثبت
۱۷	نسبت فایده به هزینه	نسبت فایده به هزینه با نرخ بهره ۷ ٪	۲/۵۵	۱/۰۹	۱/۲	۲/۲۶	منفی

با توجه به مطالب ذکر شده در بخش اول روش تحقیق، ابتدا مقادیر کیفی در جدول (۵) به مقادیر کمی تبدیل شد و از رابطه (۱) برای نرمال‌سازی داده‌ها استفاده گردید. در این تحقیق برای اولویت‌بندی ساختگاه سد به روش‌های شباهت به گزینه ایده‌آل و تسلط تقریبی، داده‌ها توسط ماتریس تصمیم نرمال شده وزن‌دار به این مدل‌ها وارد شد. ماتریس تصمیم وزن‌دار از ضرب ماتریس تصمیم در ماتریس وزن معیارها به دست می‌آید که در جدول (۶) نشان داده شده است. پس از انجام محاسبات، نتایج رتبه بندی گزینه ها در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول ۶- ماتریس تصمیم نرمال شده وزن‌دار

معیارها	گزینه‌ها				معیارها	گزینه‌ها			
	ساختگاه ۱	ساختگاه ۲	ساختگاه ۳	ساختگاه ۴		ساختگاه ۱	ساختگاه ۲	ساختگاه ۳	ساختگاه ۴
۱	۰/۰۳۷	۰/۰۳۰	۰/۰۳۹	۰/۰۳۷	۱۰	۰/۰۴۵	۰/۰۱۹	۰/۰۱۴	۰/۰۳۱
۲	۰/۰۲۷	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۱۱	۰/۰۱۴	۰/۰۱۵	۰/۰۲۶	۰/۰۴۶
۳	۰/۰۱۷	۰/۰۴۶	۰/۰۴۵	۰/۰۲۴	۱۲	۰/۰۰۸	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱	۰/۰۱۵
۴	۰/۰۱۹	۰/۰۱۱	۰/۰۱۸	۰/۰۵۴	۱۳	۰/۰۲۰	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴
۵	۰/۰۱۱	۰/۰۳۸	۰/۰۴۴	۰/۰۱۵	۱۴	۰/۰۴۴	۰/۰۱۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷
۶	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۱۵	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴
۷	۰/۰۲۹	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۳۲	۱۶	۰/۰۰۸	۰/۰۲۴	۰/۰۴۲	۰/۰۲۶
۸	۰/۰۴۵	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۱۱	۱۷	۰/۰۵۰	۰/۰۲۲	۰/۰۲۴	۰/۰۴۵
۹	۰/۰۰۳	۰/۰۱۱	۰/۰۱۲	۰/۰۵۷					

جدول ۷- رتبه نهایی گزینه‌ها بر اساس مدل‌های TOPSIS و ELECTRE III

گزینه‌ها	ELECTRE III	TOPSIS	
	رتبه	شاخص شباهت	رتبه
گزینه اول	۱	۰/۴۸۷۷	۳
گزینه دوم	۲	۰/۳۴۱۹	۴
گزینه سوم	۳	۰/۴۹۷۹	۲
گزینه چهارم	۴	۰/۶۴۰۲	۱

با توجه به جدول (۷) مشاهده می‌شود که رتبه‌بندی گزینه ها در دو مدل تسلط تقریبی و شباهت به گزینه ایده‌آل متفاوت می‌باشد. مدل شباهت به گزینه ایده‌آل به‌ترتیب گزینه‌های ۴، ۳، ۱ و ۲ را پیشنهاد می‌کند در حالی‌که در مدل تسلط تقریبی اولویت‌بندی گزینه‌ها به‌ترتیب ۱، ۲، ۳ و ۴ می‌باشد. بنابراین مدل شباهت به گزینه ایده‌آل ساختگاه چهارم را به عنوان بهترین گزینه و مدل تسلط تقریبی ساختگاه اول را به عنوان بهترین ساختگاه برگزیده است. به‌نظر می‌رسد این تفاوت می‌تواند ناشی از جبرانی بودن مدل شباهت به گزینه ایده آل و غیر جبرانی بودن مدل تسلط تقریبی باشد. در مدل‌های غیرجبرانی عملکرد ضعیف یک گزینه در تعدادی از معیارها به وسیله عملکرد مناسب آن در معیارهای دیگر قابل جبران نیست و اثرات آن در عملکرد کلی آن گزینه لحاظ می‌گردد (Jeffreys, 2004; Banihabib *et al.*, 2017). به‌عبارت دیگر در مدل‌های غیرجبرانی هر معیار به طور مستقل نقش تعیین کننده‌ای در عملکرد کلی یک گزینه دارد (Banihabib *et al.*, 2017). به‌عنوان مثال در صورتی‌که دو گزینه مفروض داشته باشیم، اولی در کلیه معیارها نمره متوسط کسب کرده و دومی در اکثر معیارها ضعیف و تنها در یک معیار نمره عالی کسب کرده باشد، مدل غیرجبرانی گزینه اول را به‌عنوان گزینه برتر برمی‌گزیند. لذا امتیاز بالایی که گزینه دوم به ازاء یک معیار کسب کرده، سایر امتیازات پائین آن را جبران نمی‌کند. در این تحقیق نیز مدل تسلط تقریبی، به‌عنوان یک مدل غیرجبرانی، گزینه اول را به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب کرده است. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۶)، گزینه اول در معیارهای نسبت فایده به هزینه (معیار هفدهم)، امکان مهار سیلاب (معیار دهم)، دسترسی به خطوط حیاتی (معیار چهاردهم) و امکان‌پذیری انحراف رودخانه (معیار هشتم) بالاترین امتیاز را کسب کرده است. در واقع مدل تسلط تقریبی به دلیل این‌که گزینه اول در اکثر معیارها ارزش متوسطی را کسب کرده است، در مقایسه با سایر گزینه‌ها که تنها در برخی از معیارها برتر هستند (به ویژه گزینه دو و سه)، به‌عنوان ساختگاه بهینه معرفی نموده است.

بر اساس نتایج این تحقیق مدل شباهت به گزینه ایده‌آل به عنوان یک مدل جبرانی، گزینه چهارم را به‌عنوان گزینه برتر معرفی کرده است. در مدل‌های جبرانی عملکرد ضعیف یک گزینه در برخی معیارها می‌تواند توسط عملکرد خوب آن در معیارهای دیگر جبران شود. بنابراین عملکرد کلی یک گزینه ممکن است نقاط ضعف آن را نشان ندهد (Jeffreys, 2004; Banihabib *et al.*, 2017; Junior *et al.*, 2013). به‌عنوان مثال، ارزیابی وزن گزینه‌ها نسبت به هر معیار در جدول (۶) نشان می‌دهد در معیار اقتصادی نسبت فایده به هزینه (معیار هفدهم) که دارای اهمیّت بیشتری نسبت به دیگر معیارها است (جدول ۴)، گزینه اول بالاترین رتبه و گزینه چهارم در رتبه دوم قرار دارد. اما پس از ارزیابی وزن گزینه چهارم در سایر معیارها (جدول ۶) می‌توان دریافت، گزینه چهارم در اکثر معیارها رتبه اول به خود اختصاص داده است. لذا این برتری، ضعف آن را در معیار اقتصادی جبران کرده و در کل، گزینه چهارم را به عنوان گزینه برتر معرفی نموده است. بنابراین جهت رسیدن به یک نتیجه‌گیری کلی لازم است تا از راهبردهای تلفیق اولویت‌بندی استفاده نمائیم. بدین‌منظور ابتدا در جدول (۸) به کمک روش میانگین، گزینه‌ها را بر اساس میانگین رتبه‌های بدست آمده از مدل‌های مختلف تصمیم‌گیری، رتبه‌بندی می‌کنیم.

جدول ۸- رتبه‌بندی در روش میانگین

گزینه‌ها	ELECTRE	TOPSIS	میانگین رتبه‌ها	رتبه‌بندی روش میانگین
گزینه اول	۱	۳	۲	۱
گزینه دوم	۲	۴	۳	۳
گزینه سوم	۳	۲	۲/۵	۲
گزینه چهارم	۴	۱	۲/۵	۲

در مرحله بعد گزینه‌ها با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش روش‌های ادغام، توسط دو روش دیگر یعنی روش‌های بردا و کپ‌لند نیز رتبه‌بندی شد. جدول (۹) مقایسات زوجی و نتایج رتبه‌بندی در روش بردا را نمایش می‌دهد.

جدول ۹- مقایسات زوجی و رتبه‌بندی در روش بردا

گزینه‌ها	گزینه اول	گزینه دوم	گزینه سوم	گزینه چهارم	$\sum$C	رتبه‌بندی در روش بردا
گزینه اول	-	X	M	X	۱	۱
گزینه دوم	X	-	X	X	۰	۲
گزینه سوم	X	X	-	X	۰	۲
گزینه چهارم	X	X	X	-	۰	۲
$\sum$R	۰	۰	۱	۰		

با توجه به توضیحات قبل و جدول فوق گزینه‌ها به روش کپ‌لند نیز رتبه‌بندی شد، که نتایج این رتبه‌بندی به همراه دو روش میانگین رتبه‌ها و بردا در جدول (۱۰) نمایش داده شده است. در نهایت نیز نتایج این سه روش را با استفاده از روش میانگین ادغام نموده و بدین‌ترتیب رتبه‌بندی واحدی برای گزینه‌ها به‌دست آمده است. نتایج حاصل از رتبه‌بندی ادغام نهایی در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

جدول ۱۰- رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها حاصل از ادغام نهایی

گزینه‌ها	روش میانگین	روش کپ‌لند	روش بردا	میانگین رتبه‌های روش‌های ادغام	رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها
گزینه اول	۱	۱	۱	۱	۱
گزینه دوم	۳	۳	۲	۲/۶۶	۳
گزینه سوم	۲	۲	۲	۲	۲
گزینه چهارم	۲	۲	۲	۲	۲

با توجه به جدول فوق مشخص می شود که رتبه‌بندی گزینه‌ها توسط روش‌های میانگین و کپ‌لند با ادغام نهایی تطبیق دارد که علت آن توافق رتبه‌بندی دو روش از سه روش رتبه‌بندی با یکدیگر می‌باشد. همچنین با توجه به جدول فوق اولویت‌بندی ساختگاه‌ها حاصل از ادغام نهایی روش‌های فوق، گزینه اول را به عنوان ساختگاه برتر معرفی می‌کند. گزینه‌های سوم و چهارم نیز با کسب امتیاز برابر به صورت مشترک در رده دوم قرار گرفته و گزینه دوم نیز اولویت آخر را به‌دست آورده است که با توجه به این نتایج می‌توان نتیجه گرفت که رتبه‌بندی گزینه‌ها در مدل تسلط تقریبی تطبیق بهتری با نتیجه نهایی حاصل از روش‌های ادغام دارد. نتیجه تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات قبل توسط Samaras *et al.* (2014)، Dortaj *et al.* (2020b) و Malekmohammadi *et al.* (2011) مطابقت دارد. Samaras *et al.* (2014) در یک تحقیق کارایی روش‌های تحلیل چندمعیاره تحلیل سلسله مراتبی و ELECTRE I را برای ارزیابی ریسک سه پروژه سد در استان تریکا واقع در یونان نشان دادند. همچنین، نتایج تحقیق Dortaj *et al.* (2020b) بیانگر قابلیّت روش تصمیم‌گیری ELECTRE III برای مکانیابی سد زیرزمینی در استان اصفهان بود. Malekmohammadi *et al.* (2011) روش ELECTRE III را به‌عنوان یک ابزار توانمند برای رتبه‌بندی جواب‌های مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری مخازن دز و بختیاری معرفی کردند. در مطالعات مشابه توسط دیگر محققین از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره برای مدیریت پروژه‌های سدسازی استفاده شده است. Jozaghi *et al* (2018) از ترکیب مدل‌های شباهت به گزینه ایده‌آل و تحلیل سلسله مراتبی برای مکان‌یابی سدها در استان سیستان و بلوچستان استفاده کردند. Jozi و Malmir (2014) برای ارزیابی خطرات زیست‌محیطی سد پلرود در ایران از رویکردهای شباهت به گزینه ایده‌آل و تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. Othman *et al.* (2020) برای انتخاب ساختگاه مناسب سد در عراق از رویکردهای تحلیل سلسله مراتب فازی و مجموع وزنی استفاده کردند.

نتیجه‌گیری

در این مقاله اهمیت استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب ساختگاه سد مورد تأکید قرار گرفت. سپس با توجه به تأثیر معیارهای مختلف در انتخاب ساختگاه بهینه سد و نیز لحاظ تصمیم‌گیرانی با نگرش‌های مختلف، ابتدا برای استخراج وزن معیارها از تصمیم‌گیری گروهی استفاده گردید. سپس برای اولویت‌بندی گزینه‌ها از دو مدل تصمیم‌گیری چند معیاره تسلط‌تقریبی و شباهت به گزینه ایده‌آل استفاده شد. از آنجا که معمولاً نتایج رتبه‌بندی گزینه‌ها در مدل‌های جبرانی مشابه یکدیگر به‌دست می‌آید، در این تحقیق به‌منظور اطمینان از صحت نتایج حاصل، در خصوص انتخاب بهترین مکان برای ساخت سد کندوله، نتایج مدل جبرانی تصمیم‌گیری چندمعیاره با مدل غیرجبرانی مقایسه گردید و برای رسیدن به اجماع در رتبه‌بندی‌های این دو مدل، از روش‌های ادغام مانند میانگین

رتبه‌ها، کپ‌لند و بردا استفاده شد و در پایان نیز بر اساس میانگین رتبه‌های این سه روش، رتبه نهایی گزینه‌ها مشخص گردید. نتایج نشان داد که رتبه‌بندی گزینه‌ها در دو مدل تسلط تقریبی و شباهت به گزینه ایده‌آل متفاوت می‌باشد، مدل شباهت به گزینه ایده آل به‌ترتیب گزینه‌های ۴، ۳، ۱ و ۲ را به‌عنوان مکان مناسب ساختگاه سد پیشنهاد می‌کند در حالی‌که در مدل تسلط تقریبی اولویت‌بندی گزینه‌ها به‌ترتیب گزینه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که رتبه‌بندی گزینه‌ها در مدل تسلط تقریبی تطبیق بهتری با نتیجه نهایی حاصل از روش‌های ادغام دارد. نتایج حاصل از تصمیم‌گیری گروهی نیز مبین این مطلب است که باتوجه به نظرات کارشناسان در انتخاب ساختگاه سد، بالاترین امتیاز به معیار اقتصادی تعلق دارد. پس از آن اهمیت عوامل مؤثر بر انتخاب ساختگاه سد به‌ترتیب زمین شناسی مهندسی ساختگاه و مخزن، توپوگرافی و حجم مخزن پشت سد، هیدرولوژی، مدیریت منابع آب، بار رسوب مخزن، امکان مهار سیلاب، غرقابی شدن اراضی و خسارت مخزن، منابع قرضه موجود، موقعیت اراضی آبیاری، امکان انحراف رودخانه، مقبولیت اجتماعی و پذیرش افراد بومی، شرایط و محل سرریز، اثرات زیست محیطی و تفرجگاه، امکان احداث کارگاه، دسترسی به خطوط حیاتی و وضعیت آب و هوایی است. رویکرد پیشنهادی این تحقیق، با صرف حداقل هزینه و زمان ممکن، می‌تواند در برای مکانیابی مخازن ذخیره ای در طرح های توسعه آب و خاک براساس معیارهای توسعه پایدار استفاده شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Akter, A., & Ahmed, S. (2015). Potentiality of rainwater harvesting for an urban community in Bangladesh. *Journal of Hydrology*, *528*, 84-93.

Ashton, R. H. (1992). Effects of justification and a mechanical aid on judgment performance. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *52*(2), 292-306.

Ataei M. (2010) *Multi-Criteria Evaluation Method* (1 ed). Shahroud: University of Technology.

Ayoubi kia, R., Janatrostami, S., Ashrafzadeh, A., Shafiei-sabet, B. (2019). Equitable Allocation of Water Resources Using Shannon Entropy Theory in Compromise Programming Method. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(2), 297-312.

Banihabib, M.E., Hashemi-Madani, F.S. and Forghani, A., (2017). Comparison of compensatory and non-compensatory multi criteria decision making models in water resources strategic management. *Water Resources Management*, *31*(12), pp.3745-3759.

Beccali, M., Cellura, M., & Mistretta, M. (2003). Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable energy*, *28*(13), 2063-2087.

Buchanan, J., & Vanderpooten, D. (2007). Ranking projects for an electricity utility using ELECTRE III. *International Transactions in Operational Research*, *14*(4), 309-323.

Cables Perez, E.H., Garcia Cascales, M.S., and Lamat, M.T. (2008). The use of different norms in the TOPSIS decision making method. In *Computational Intelligence In Decision And Control*, 21-24 September 2008, Madrid, Spain, pp. 501-506.

Chezgi, J. (2019). Application of SWAT and MCDM Models for Identifying and Ranking Suitable Sites for Subsurface Dams. In *Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences* (pp. 189-211). Elsevier.

Chezgi, J., Pourghasemi, H. R., Naghibi, S. A., Moradi, H. R., & Kheirkhah Zarkesh, M. (2016). Assessment of a spatial multi-criteria evaluation to site selection underground dams in the Alborz Province, Iran. *Geocarto International*, *31*(6), 628-646.

Darvishi, S., Jozi, S.A., Malmasi, S. and Rezaian, S., (2020). Environmental risk assessment of dams at constructional phase using VIKOR and EFMEA methods (Case study: Balarood Dam, Iran). *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, *26*(4), pp.1087-1107.

Dortaj, A., Maghsoudy, S., Ardejani, F. D., & Eskandari, Z. (2020a). A hybrid multi-criteria decision making method for site selection of subsurface dams in semi-arid region of Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, *10*, 100284.

Dortaj, A., Maghsoudy, S., Ardejani, F. D., & Eskandari, Z. (2020b). Locating suitable sites for construction of subsurface dams in semiarid region of Iran: using modified ELECTRE III. *Sustainable Water Resources Management*, *6*(1), 7.

Georgopoulou, E., Lalas, D., & Papagiannakis, L. (1997). A multicriteria decision aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option. European journal of operational research, 103(1), 38-54.

Ghasemi L., Arabi A., A., Zahmatkesh Z., & Koneshloo A. (2010). Studies of the first phase of Kondoleh reservoir dam, Volume 1: Basic studies report, Gamasiab Consulting Engineers Company, Kermanshah, Iran.

Hwang C.L., Yoon K. (1981). Multiple attributes decision making methods and application applications. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, p. 260

Jeffreys, I., 2004. The use of compensatory and non-compensatory multi-criteria analysis for small-scale forestry. *Small-scale Forest Economics,*

Management and Policy, *3*(1), pp.99-117.

Jozaghi, A., Alizadeh, B., Hatami, M., Flood, I., Khorrami, M., Khodaei, N., & Ghasemi Tousi, E. (2018). A comparative study of the AHP and TOPSIS techniques for dam site selection using gis: A case study of sistan and baluchestan province, iran. *Geosciences*, *8*(12), 494.

Jozi, A., & Malmir, M. (2014). Environmental risk assessment of dams by using multi-criteria decision-making methods: A case study of the Polrood Dam, Guilan Province, Iran. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, *20*(1), 69-85.

Junior, F.R.L., Osiro, L. and Carpinetti, L.C.R., (2013). A fuzzy inference and categorization approach for supplier selection using compensatory and non-compensatory decision rules. Applied Soft Computing, 13(10), 4133-4147.

Kamangar, M., Ghaderi, F., Karami, P. (2016). Implementation of Shannon Entropy Method to Determine Areas Suitable for Artificial ground water recharge Case Study: Sarkhoon Plain. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(2), 247-258.

Kaya, T., & Kahraman, C. (2011). An integrated fuzzy AHP–ELECTRE methodology for environmental impact assessment. *Expert Systems with Applications*, *38*(7), 8553-8562.

Khan, C., Anwar, S., Bashir, S., Rauf, A., & Amin, A. (2015). Site selection for food distribution using rough set approach and TOPSIS method. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, *29*(6), 2413-2419.

Kharazi, P., Yazdani, M.R. and Khazealpour, P., (2019). Suitable identification of underground dam locations, using decision-making methods in a semi-arid region of Iranian Semnan Plain. Groundwater for Sustainable Development, 9, p.100240.

Khodashenas, S.R. and Yarahmadi, N., (2016). Storage dam's locality placing by MCDM techniques (case study: three dams in Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, *9*(13), p.612.

Kuncheva, L. I. (1994). Pattern recognition with a model of fuzzy neuron using degree of consensus. *Fuzzy Sets and Systems*, *66*(2), 241-250.

Malekmohammadi, B., Zahraie, B., & Kerachian, R. (2011). Ranking solutions of multi-objective reservoir operation optimization models using multi-criteria decision analysis. *Expert systems with applications*, *38*(6), 7851-7863.

Minatour, Y., Khazaei, J. and Gholami, A., (2013). Extension of an integrated AHP and TOPSIS approach in water resources management. In *9th International River Engineering Conference, Shahid Chamran University, Ahwaz.*

Minatour, Y., Khazaie, J., Ataei, M., & Javadi, A. A. (2015). An integrated decision support system for dam site selection. *Scientia Iranica*, 22(2), 319-330.

Othman, A.A., Al-Maamar, A.F., Al-Manmi, D.A.M.A., Liesenberg, V., Hasan, S.E., Obaid, A.K. and Al-Quraishi, A.M.F., (2020). GIS-Based Modeling for Selection of Dam Sites in the Kurdistan Region, Iraq. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(4), 244.

Rogers, M., & Bruen, M. (1998). Choosing realistic values of indifference, preference and veto thresholds for use with environmental criteria within ELECTRE. *European Journal of Operational Research*, *107*(3), 542-551.

Saaty, T.L. (1980) The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource, Allocation. RWS publication, New York: McGraw-Hill

Samaras, G.D., Gkanas, N.I. and Vitsa, K.C., (2014). Assessing risk in dam projects using AHP and ELECTRE I. International Journal of Construction Management, 14(4), 255-266.

Singh, L. K., Jha, M. K., & Chowdary, V. M. (2017). Multi-criteria analysis and GIS modeling for identifying prospective water harvesting and artificial recharge sites for sustainable water supply. *Journal of Cleaner Production*, *142*, 1436-1456.

Srdjevic, B., Medeiros, Y. D. P., & Faria, A. S. (2004). An objective multi-criteria evaluation of water management scenarios. *Water resources management*, *18*(1), 35-54.

Yasser, M., Jahangir, K., & Mohmmad, A. (2013). Earth dam site selection using the analytic hierarchy process (AHP): a case study in the west of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, *6*(9), 3417-3426.

Zarghami, M. & Ehsani, I. (2011). Evaluation of different Group Multi-Criteria Decision Making Methods in Selection of Water Transfer Projects to Urmia Lake Basin. *Iran Water Resources Research*, 7(2), 1-14.