

کاربرد شبیه‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در گزینه‌یابی سد و نیروگاه خرسان ۱

عباس روزبهانی^{۱*}، مهشید شهبازی سحرانی^۲

چکیده

امروزه با توجه به افزایش سریع جمعیت در دنیا و نیاز روز افزون جوامع به منابع آبی، طرح‌های توسعه‌ی منابع آبی و به‌گزینی آنها اهمیت بسیار زیادی پیدا کرده‌اند. هدف از این تحقیق به کارگیری شبیه‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) در به‌گزینی طرح‌های سدسازی می‌باشد. در این پژوهش به کاربرد سه دسته از این شبیه‌ها، شامل روش‌های تجمیع وزنی SAW، سازشی TOPSIS و سلسله‌مراتبی AHP در به‌گزینی محل و نوع سدهای مخزنی بلند، با توجه به شاخص‌های مهم تصمیم‌گیری، پرداخته شده است. برای تبیین کارایی شبیه‌های نامبرده مطالعه‌ی موردی در مورد به‌گزینی محل و نوع سد و نیروگاه خرسان ۱ در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از نظرات خبرگان و تصمیم‌گیرندگان انجام گرفته، و در نهایت، با تجمیع نتایج حاصل از هر سه روش تصمیم‌گیری نامبرده، و با استفاده از روش تصمیم‌گیری گروهی شمارش بوردا، برترین طرح انتخاب شده است. برای این منظور، ابتدا از بین ۶ محور اولیه‌ی A تا F، نخستین غربالگری صورت گرفت. سپس سه گزینه‌ی سد بتنی قوسی محور D، سد سنگریزه‌ای محور D و سد بتنی قوسی محور F از نظر ۸ معیار کمی و کیفی اقتصادی و فنی با یکدیگر مقایسه شده، و در نهایت سد بتنی قوسی محور D با استفاده از تحلیل حساسیت شبیه‌های مختلف تصمیم‌گیری به عنوان مناسبترین گزینه انتخاب شده است. نتایج این تحقیق کمک شایان توجهی به صنعت آب کشور در زمینه‌ی مدیریت صحیح طرح‌های سدسازی با استفاده از تلفیق روش‌های نوین تصمیم‌گیری و نظرات کارشناسی می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چند معیاره، طرح‌های سدسازی، SAW، TOPSIS، AHP

^۱ استادیار گروه آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران roozbahany@ut.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-محیط زیست، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی sehrani.1991@alumni.ut.ac.ir

مقدمه

در دنیای امروز، با توجه به رشد سریع جمعیت، و متناسب با آن، افزایش نیازهای جوامع به فرآورده‌های کشاورزی و صنعتی، محدودیت منابع آبی با کیفیت مناسب، و نیز بهره‌برداریهای نادرست از منابع مزبور، بحث به‌گزینی مطالعه و اجرای طرحهای توسعه‌ی منابع آبی و همچنین اولویت‌بندی آنها، اهمیت بسیار زیادی پیدا کرده‌اند. توسعه‌ی منابع آبی عبارت است از فعالیتهای فیزیکی به منظور بهبود بخشیدن به استفاده سودآور از منابع آب در تأمین آب، آبیاری، مهار کردن سیلاب، تولید کارمایه و غیره. احداث سدهای گوناگون در مناطق مختلف کشور ایران نیز بر اساس این اهداف صورت گرفته است. همچنین، با توجه به پیشرفت جوامع از جنبه‌های گوناگون، در دهه‌های اخیر برای اجرای بهینه و مناسبتر طرحهای توسعه‌ی منابع آبی، برای هر طرح، نمایشنامه‌هایی با شرایط متفاوت تعیین گشته و پس از بررسیهای لازم، نمایشنامه‌ای با بهترین شرایط انتخاب شده و به مرحله اجرا می‌رسد. انجام این فرایند، مزیت‌های بسیار زیادی از قبیل جلوگیری از خسارات ناشی از بلایای طبیعی و هدر رفتن سرمایه‌ی اقتصادی کشور، حفاظت از محیط زیست، افزایش رضایت اجتماعی، حفظ منابع آب و غیره را به همراه دارد، که به توسعه‌ی هر چه بیشتر کشور کمک خواهد کرد. یکی از بهترین روشها جهت ارزیابی نمایشنامه‌های نامبرده، استفاده از رویکرد شبیه‌های خبره‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره، یا همان چند شاخصه می‌باشد که در سالهای اخیر تحقیقاتی در این خصوص صورت گرفته است.

آناند و کومار (۱۹۹۶) با استفاده از روش ELECTRE، گزینه‌های مختلف مدیریت حوضه‌ی آبخیز رودخانه را رتبه‌بندی نمودند. فلاگ و همکاران (۲۰۰۰) به مدیریت چند هدفه‌ی سد عظیم گرند کانیون با رویکرد تصمیم‌گیری چند شاخصه پرداختند. ابریشم چی و همکاران (۲۰۰۵) از تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده کرده و نحوه‌ی مدیریت آب شهری، و در نتیجه انتخاب بهترین گزینه‌ی توزیع آب را بررسی کرده، برای این منظور ۸ گزینه و ۱۳ معیار در نظر گرفته، و به مقایسه و رتبه‌بندی آنها پرداختند. هلیلی و همکاران (۱۳۸۷) نحوه‌ی مدیریت یکپارچه‌ی آبخیز رامیان استان گلستان را با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چند

معیاره، و با در نظر گرفتن ۱۶ نمایشنامه‌ی مدیریتی و ۴ معیار مورد بررسی قرار دادند. روزبهنی (۱۳۸۷) گزینه‌های مختلف برنامه ریزی منابع آب را با شرایط متفاوت به منظور بهره‌برداری از منابع آب سد دره‌ی باد گرگ در استان آذربایجان شرقی تعریف نموده و با استفاده از روش ELECTRE III آنها را رتبه‌بندی کرد. میان‌آبادی و افشار (۱۳۸۷) از سه روش میانگین وزنی مرتب شده استقرایی (IOWA)، تخصیص خطی و TOPSIS برای بررسی و رتبه‌بندی طرحهای تأمین آب شهری زاهدان استفاده کرده و نتایج حاصل از روشهای مختلف را با نتایج روش برنامه ریزی سازشی مقایسه نمودند. صفاری و ضرغامی (۱۳۸۹)، به منظور تخصیص بهینه‌ی منابع آب سطحی دریاچه‌ی ارومیه به استانهای اطراف این دریاچه مطالعه‌ای را انجام دادند. در این پژوهش یک شبیه‌تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر فاصله به کمک شبیه‌های SAW (جمع وزنی ساده)، CP (برنامه ریزی سازشی) و TOPSIS به کار گرفته شد. از آنجا که شبیه‌برنامه‌ریزی سازشی، به دلیل رقابت درک فراسنج خطر کردن، نتایج بهتری را نسبت به روشهای SAW و TOPSIS ارائه می‌دهد، برنامه‌ی مزبور برگزیده شد. سوپریاسیلپ و همکاران (۲۰۰۹) به رتبه‌بندی ساختگاههای احداث سدهای برقابی در یکی از حوضه‌های آبخیز تایلند با لحاظ معیارهای اقتصادی و اجتماعی و زیست محیطی پرداختند. یلماز و هرمنسی اوغلو (۲۰۱۰) برای مدیریت منابع آبی در حوضه‌ی گدیز واقع در ترکیه از روشهای CP، TOPSIS و SAW استفاده کرده و نمایشنامه‌های تعریف شده را از نظر معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی رتبه‌بندی نمودند. روزبهنی و همکاران (۲۰۱۲) به ارائه‌ی روش نوین تصمیم‌گیری چند معیاره PPOC بدون نیاز به وزن دهی معیارها جهت ارزیابی و اولویت‌بندی نمایشنامه مدیریت تأمین آب شهری پرداختند، در نهایت، نیز بهترین نمایشنامه از میان تمامی آنها انتخاب شد. میناتور و همکاران (۲۰۱۵) با رویکرد روش تصمیم‌گیری چند معیاره VIKOR تعریف شود به به‌گزینی محل احداث سد‌ی خاکی در شهرستان هرسین در ایران پرداختند. در مطالعه‌ی حاضر، با توجه به محدودیت تحقیقات صورت گرفته در زمینه‌ی گزینه‌یابی صحیح محل و نوع احداث سدهای مخرنی بزرگ، که عدم انتخاب اصولی آن

شبیه‌های غیر جبرانی شامل روشهایی می باشند که مبادله در بین معیارهای آنها مجاز نیست؛ بدین معنا که نقطه‌ی ضعف موجود در یک معیار به وسیله‌ی مزیت موجود در معیار دیگر جبران نمی‌شود، در نتیجه، در این روشها هر شاخص به تنهایی مطرح بوده و مقایسه‌ها به صورت شاخص به شاخص صورت می‌پذیرد. مزیت این گونه روشها، سادگی آنهاست که با رفتار تصمیم‌گیرنده و محدود بودن اطلاعات او مطابقت دارد. شبیه‌های جبرانی شامل موردهایی می باشند که امکان مصالحه میان شاخصها در آنها وجود دارد؛ به عبارت دیگر، تغییر در یک معیار می‌تواند به وسیله‌ی تغییر در معیار دیگر تعدیل گردد، و یا کاهش یک شاخص در صورتی که سبب افزایش شاخص دیگر شود، قابل پذیرش خواهد بود. این گونه روشها مناسب مسائل مهندسی و بخصوص سیاست‌گذاری طرحهای منابع آبی می باشند.

لذا در طرحهای توسعه و بهره‌برداری منابع آب، روشهای جبرانی کاربرد بیشتری را دارند، اما بطور کلی می‌توان گفت برای انتخاب مناسبترین روش MCDM برای مسأله‌ی تصمیم‌گیری مورد نظر، یک الگوریتم نظام مند پیشنهاد می‌گردد که از هشت گام تشکیل شده است (یلماز و هرمنسی اوغلو، ۲۰۱۰): تعریف مسأله، تعیین معیارهای ارزیابی، غربال اولیه، تعیین اولویتها در معیارهای ارزیابی، تعیین روش MCDM انتخابی، ارزیابی روشهای MCDM، انتخاب بهترین و مناسبترین روش، و در نهایت انجام تجزیه و تحلیل حساسیت. این الگوریتم تکرار می‌گردد تا بهترین نمایشنامه‌ی تصمیم‌گیری مشخص شود. در این پژوهش نیز از سه روش جبرانی SAW، TOPSIS و AHP استفاده شده است که در ادامه به معرفی هر یک پرداخته می‌شود.

۲-۱- روش SAW (مجموع ساده‌ی وزین)

این روش یکی از روشهای شبیه جبرانی MADM در زیرگروه امتیازدهی می‌باشد. این روش را می‌توان به عنوان یکی از قدیمیترین روشهای تصمیم‌گیری چند شاخص دانست که نیازمند مقیاسهای مشابه، یا اندازه‌گیریهای بی‌مقیاس شده می‌باشد که بتوان آنها را با هم مقایسه کرد. در این روش، پس از تبدیل مقیاسهای کیفی به کمی و بهنجار کردن ماتریس تصمیم‌گیری با استفاده از روش نرم خطی و تعیین بردار W (وزن یا اهمیت

منجر به اتلاف هزینه‌های زیادی خواهد شد، از چندین روش تصمیم‌گیری چند معیاره با خصوصیات مختلف استفاده شده است. این روشها شامل SAW (با رویکرد امتیازدهی تجمیعی)، AHP (با رویکرد قضاوتی و سلسله مراتبی) و TOPSIS (با رویکرد فاصله‌ی محور و سازشی) می باشند و نهایتاً با تحلیل حساسیت نتایج رتبه‌بندی آنها به وسیله‌ی کاربرد روش تصمیم‌گیری مورد (۱۹۹۴) رتبه‌بندی نهایی به دست خواهد آمد. مطالعه‌ی موردی این تحقیق طرح سد و نیروگاه خرسان ۱ می‌باشد که یکی از مهمترین طرحهای مطالعاتی در استان چهارمحال و بختیاری بوده، و سه گزینه‌ی مختلف، که اجرای آنها در منطقه ممکن بود، مطرح شده است. بررسی اقتصادی این سه طرح نشان دهنده‌ی نزدیکی بسیار زیاد شاخصهای اقتصادی و مشکل بودن انتخاب از بین آنها شده است. به همین دلیل تصمیم گرفته شد تا تلفیقی از معیارهای کمی و کیفی در این سه گزینه بطور همزمان، و با استفاده از سه روش و رویکرد تصمیم‌گیری معرفی شده، بررسی گردند تا بهترین طرح برای اجرای سد و نیروگاه مورد نظر انتخاب شود. برای این منظور، ۸ معیار در نظر گرفته شد که ۷ معیار به صورت کیفی و ۱ معیار به صورت کمی بود. توضیحات در خصوص روشها و همچنین منطقه‌ی مورد مطالعه در ادامه ارائه شده است.

روشهای تصمیم‌گیری مورد استفاده

در دهه‌های اخیر محققین، برای تصمیم‌گیری در مورد مسائل پیچیده، استفاده از روشهای چند معیاره را مورد توجه قرار داده‌اند. این نوع روشهای تصمیم‌گیری خود به دو دسته‌ی چند هدفه (MODM) و تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM) تقسیم می‌گردند. شبیه‌های چند شاخصه برای انتخاب بهترین گزینه مورد استفاده قرار می‌گیرند، در واقع، تصمیم‌گیری چند معیاره یکی از شاخه‌های شناخته شده تحقیق در عملیات است که مسائل تصمیم‌گیری را در قالب تجمیع تعدادی از معیارها، یا همان شاخصهای تصمیم، بررسی می‌کند. در این تصمیم‌گیرها به جای یک معیار سنجش بهینگی، از چندین معیار برای سنجش استفاده می‌شود. شبیه‌های قابل ارزیابی که در MADM مورد استفاده قرار می‌گیرند، دو نوع می باشند: شبیه‌های جبرانی و شبیه‌های غیر جبرانی.

معیار سود، و بالعکس معیارهای منفی معیارهایی می‌باشند که مطلوبیت آنها در کمتر بودن آنهاست، مانند معیار هزینه:

$$A^+ = \{(\max V_{ij} | j \in J), (\min V_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m\} \quad (3)$$

$$A^- = \{(\min V_{ij} | j \in J), (\max V_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m\} \quad (4)$$

در این روابط در حقیقت نمایشنامه‌ی بهینه‌ی مثبت شامل بهترین مقدار معیارها و بهینه‌ی منفی شامل بدترین مقادیر معیارها در ماتریس تصمیم‌گیری می‌باشد. لازم به ذکر است که گزینه‌های بهینه‌ی می‌تواند به وسیله‌ی تصمیم‌گیرندگان طرح مشخص شود. به عنوان مثال، ممکن است بهترین درصد تامین نیاز آبی اراضی پایاب یک سد در انتخاب طرح توسعه از بین چند طرح موجود ۸۰ درصد باشد، اما کارفرمای طرح به دنبال رسیدن به عدد ۹۰ درصد به عنوان مقدار بهینه‌ی این معیار است.

۳- فاصله‌ی وزن دار بین هر گزینه از طرح بهینه‌ی مثبت و طرح بهینه‌ی منفی از روابط ۵ و ۶ محاسبه می‌گردد. لازم به ذکر است که V_j^+ و V_j^- به ترتیب عناصر گزینه‌ی بهینه‌ی مثبت (A^+) و گزینه‌ی بهینه‌ی منفی (A^-) می‌باشند.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j^2 (v_{ij} - V_j^+)^2} \quad (5)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j^2 (v_{ij} - V_j^-)^2} \quad (6)$$

۴- نزدیکی نسبی هر گزینه به طرح بهینه‌ی مثبت با استفاده از رابطه‌ی ۷ مشخص می‌گردد:

$$cl_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (7)$$

۵- گزینه‌ها بر اساس ترتیب نزولی cl_i رتبه بندی شده و برترین طرح مشخص می‌شود. در واقع، گزینه‌ی برتر فاصله‌ی نسبی بیشتری نسبت به گزینه‌ی بهینه‌ی منفی دارد.

۲-۳ روش AHP

روش AHP جزء زیرگروه سلسله مراتبی، یا مرحله‌ای، و در واقع یک فرآیند سلسله مراتبی می‌باشد. این روش از

معیارها)، بهترین گزینه با استفاده از رابطه‌ی ۱ محاسبه می‌شود:

$$A^* = \left\{ A_i \max \frac{\sum_{j=1}^n w_j r_{ij}}{\sum_{j=1}^n w_j} \right\} \quad (1)$$

در این رابطه n تعداد معیارها، w_j وزن یا اهمیت معیار j ام از نظر تصمیم‌گیرنده، و r_{ij} مقدار یا امتیاز شاخص j ام به ازای گزینه‌ی i ام از بین m گزینه موجود می‌باشد. در واقع، گزینه‌ای که بیشترین حاصل جمع وزنی معیارها را به خود اختصاص دهد به عنوان برترین گزینه (A^*) انتخاب می‌شود (یلماز و هرمنسی اوغلو، ۲۰۱۰). روش SAW برای مسائلی مناسب است که نرخ تبادل در بین شاخصهای آنها ثابت و برابر با یک باشد.

۲-۲ روش TOPSIS

این شبیه تصمیم‌گیری روشی دیگر از زیر گروه سازشی می‌باشد که در آن فاصله هر گزینه‌ی تصمیم‌گیری (A_i) از بهینه‌ی مثبت (بهترین نمایشنامه‌ی ممکن) و بهینه‌ی منفی (بدترین گزینه محتمل) در نظر گرفته می‌شود. با این مفهوم که در این روش برترین گزینه‌ای که انتخاب می‌شود، کمترین فاصله را از گزینه‌ی بهینه‌ی می‌باشد بیشترین فاصله را از گزینه‌ی بهینه‌ی منفی خواهد داشت. در این روش m گزینه به وسیله‌ی n معیار مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و می‌توان هر مسأله را به عنوان یک سامانه‌ی هندسی شامل m نقطه در یک فضای n بعدی در نظر گرفت. برای استفاده از این روش، پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری از یک الگوریتم ۵ مرحله‌ای به ترتیب زیر استفاده می‌شود (هوانگ و یون، ۱۹۸۱):

۱- ماتریس تصمیم‌گیری موجود با استفاده از روش نرم اقلیدسی (رابطه‌ی ۲) به یک ماتریس بی‌مقیاس (v_{ij}) عنصر بی‌مقیاس شده) تبدیل می‌شود:

$$v_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n r_{ij}^2}} \quad (2)$$

۲- گزینه‌ی بهینه‌ی مثبت (A^+) و گزینه‌ی بهینه‌ی منفی (A^-) طبق روابط ۳ و ۴ محاسبه می‌شوند. A^+ مربوط به معیارهای مثبت و A^- مربوط به معیارهای منفی می‌باشند. معیارهای مثبت معیارهایی به شمار می‌روند که هرچه میزان آنها بیشتر باشد مطلوبتر بوده، مانند

$$p = \begin{vmatrix} 1 & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & 1 & & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & & & 1 \end{vmatrix} \quad (8)$$

در این روش، ابتدا برای محاسبه‌ی اهمیت و وزن معیارها از ماتریس مقایسه‌ی زوجی که در قسمت قبلی توضیح داده شد استفاده می‌شود سپس گزینه‌های موجود از نظر هر یک از معیارها در ماتریسهای زوجی جداگانه به صورت دو به دو مقایسه می‌شوند، سپس ماتریسهای محاسبه ارزشیابی گزینه‌ها از نظر هر یک از معیارها تهیه می‌گردند. اعداد این ماتریسها از تقسیم اعداد موجود در ماتریسهای مقایسه‌ی گزینه‌ها از نظر هر یک از معیارها، بر جمع ستونهای این ماتریسها به دست می‌آیند. در این ماتریسها میانگین هر ردیف نیز محاسبه می‌شود. اعداد ستون میانگینهای این جداول به عنوان ضرایب معیارها در نظر گرفته می‌شوند (ساعتی، ۱۹۸۰).

گام بعدی، محاسبه‌ی ضریب سازگاری (CR) می‌باشد تا مشخص شود که آیا در تخصیص امتیازها به هر معیار، سازگاری رعایت شده است یا خیر. برای به دست آوردن ضریب سازگاری، محاسبه‌ی شاخص همخوانی (CI) و شاخص تصادفی بودن (RI) نیاز است. شاخص همخوانی از رابطه‌ی ۹ محاسبه می‌شود:

$$CI = \frac{L-n}{n-1} \quad (9)$$

L بزرگترین مقدار ویژه‌ی ماتریس مقایسه‌ی زوجی و n تعداد معیارهایی است که با هم مقایسه می‌شوند (بعد ماتریس مقایسه زوجی). برای به دست آوردن شاخص تصادفی بودن، از جدول ۲ استفاده می‌گردد، بدین ترتیب، با داشتن این دو شاخص، ضریب سازگاری از رابطه‌ی ۱۰ قابل محاسبه است:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (10)$$

سه سطح تشکیل شده است (ساعتی، ۱۹۸۰): ۱- سطح اول: هدف، ۲- سطح دوم: معیارها، ۳- سطح سوم: گزینه‌ها. این فرایند یکی از کارآمدترین روشهای تصمیم‌گیری است و اولین بار به وسیله‌ی توماس ساعتی در ۱۹۸۰ مطرح شد که بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی نمایشنامه‌های مختلف را به مدیران می‌دهد. کاربرد این روش بر اصولی همچون برپایی یک ساختار و قالب رده‌ای (سلسله مراتبی) برای مسأله، انجام مقایسات زوجی، ترکیب نمودن وزنها، انجام تحلیل حساسیت و رتبه بندی گزینه‌ها استوار است.

این روش در واقع راهی برای تبدیل ارزیابی ذهنی به مجموعه‌ای از وزنها از طریق مقایسه‌های دوبه‌دوی میان تمام معیارها می‌باشد. انجام مقایسه‌های زوجی بر اساس جدول ۱ انجام می‌شود. با توجه به اعداد این جدول، ماتریس مقایسات زوجی به نام P تشکیل می‌شود، به گونه‌ای که اعداد این ماتریس اهمیت نسبی معیار نام را در مقایسه با معیار نام نشان می‌دهد، و همان طور که قبلاً هم اشاره شد، n تعداد معیارها می‌باشد (رابطه ۸):

جدول ۱- مقیاس امتیازدهی در مقایسه دو به دو

معیارها..	
اهمیت	امتیاز
مساوی	۱
مساوی تا کمی بهتر	۲
کمی بهتر	۳
کمی تا خیلی بهتر	۴
خیلی بهتر	۵
خیلی تا فوق العاده بهتر	۶
فوق العاده بهتر	۷
فوق العاده بهتر تا بی نهایت بهتر	۸
بی نهایت بهتر	۹

جدول ۲- شاخص تصادفی بودن.

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
RI	۰/۰	۰/۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱

نظر شود (ساعتی، ۱۹۸۰). در مرحله‌ی نهایی، ماتریس وزن گزینه‌ها بر حسب عوامل در بردار وزن عوامل (که قبلاً محاسبه شده) ضرب شده و یک ماتریس جدید به

اگر عدد به دست آمده برای CR، کوچکتر از ۰/۱ باشد، به این معناست که ماتریس زوجی سازگاری بالایی را دارد؛ در غیر این صورت، باید در اعداد ماتریسها تجدید

گزینه ۱ با بزرگترین مقدار B_i ، انتخاب برتر می‌باشد که در واقع بر اساس تجمیع گروهی نتایج رتبه بندی R روش تصمیم‌گیری (در این مقاله سه روش) انتخاب شده است (بورد، ۱۹۹۴).

محدوده‌ی مطالعاتی

طرح سد و نیروگاه خرسان ۱ در بخش سفلاهی خرسان در استان چهارمحال و بختیاری و در حدود ۱۴ کیلومتری بالادست تلاقی‌های کارون و خرسان، و در ناحیه‌ای به طول شرقی حدود ۵۰ درجه و ۲۶ دقیقه و ۳۷ ثانیه، و عرض شمالی ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه و ۱۰ ثانیه واقع شده است. عرض بستر در دره‌ی ساختگاه سد ۴۰-۵۰ متر و شیب متوسط رودخانه در این محل حدود ۰/۶ می‌باشد. مساحت حوضه‌ی آبخیز این سد ۸۸۷۳/۲ کیلومتر مربع و دارای ارتفاع متوسط ۲۳۱۲ متری است. حداقل حجم مخزن برابر با ۲۶۲/۷ میلیون متر مکعب و حجم مخزن در رقوم بهنجار ۱۲۹۱ میلیون متر مکعب بوده و آبدهی در محل سد برابر با ۱۰۸/۶ متر مکعب بر ثانیه، بده‌ی طراحی نیروگاه ۲۸۲ متر مکعب بر ثانیه، و ظرفیت نصب نیروگاه آن ۳۹۰ مگاوات است. این طرح، یک برنامه‌ی توسعه‌ی منابع آب بسیار مهم در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. علاوه بر آن، طرح‌های توسعه دیگری نیز که همگی جزء طرح‌های شرکت توسعه‌ی منابع آب و نیروی ایران می‌باشند، در محدوده‌ی مطالعاتی وجود دارند. از جمله، سدهای خرسان ۲ و ۳ که در بالادست، و سد کارون ۳ که در پایین دست محور خرسان ۱ می‌باشند و تمام این طرح‌ها برای تولید کارمایه‌ی برقابی مورد استفاده قرار می‌گیرند. پیکربندی رودخانه خرسان و مخازن ذخیره در شکل ۱ قابل مشاهده است.

دست می‌آید که ارزش نهایی گزینه‌ها را به ترتیب مشخص می‌کند. هر گزینه‌ای که ارزش نهایی آن در مقایسه با سایر گزینه‌ها بیشتر شود، به عنوان برترین گزینه انتخاب می‌گردد. هرچند این روش یکی از راهکارهای نسبتاً ساده برای تعیین وزنهای معیارها می‌باشد ولی نیاز به قضاوت ذهنی دارد که این عمل گاهی دشوار، و با خطا همراه است، لذا همان طور که ملاحظه شد، هر سه روش دارای رویکردهای منحصر به فردی در امتیازدهی نمایشنامه‌ها می‌باشند.

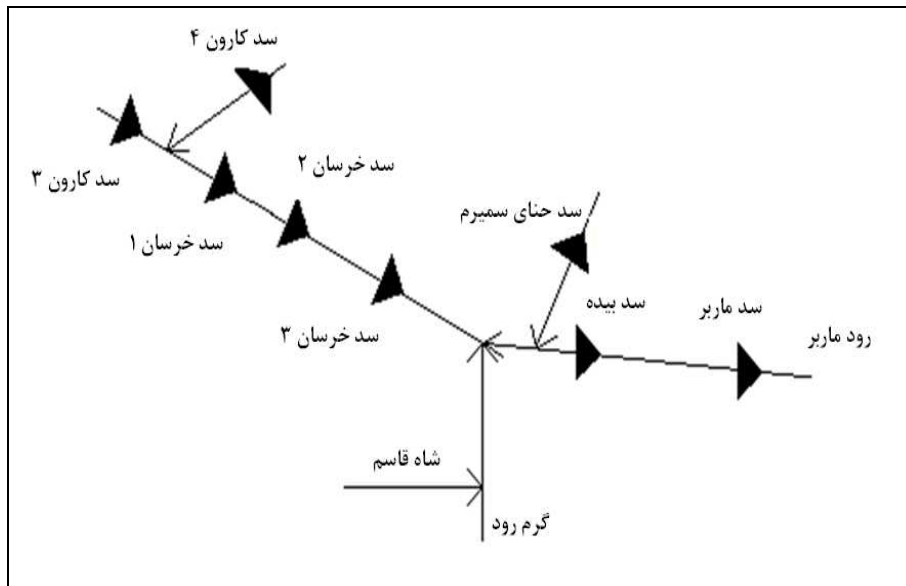
۲-۴- روش شمارش بوردا

این روش به وسیله‌ی بوردا (۱۹۹۴) با هدف تصمیم‌گیری گروهی ارائه شده است. در این روش، مسأله مورد بررسی رتبه بندی m گزینه مستقل از هم می‌باشد که از دیدگاه R تصمیم گیرنده یا R شبیه تصمیم‌گیری چند معیاره بطور جداگانه ارزیابی و رتبه‌بندی شده اند. در این روش و روشهایی مانند آن، به جای استفاده از مقادیر ارزیابی هر گزینه، تنها از رتبه‌ی مقایسه‌ای آنها، که با کاربرد روشهای مختلف مشخص شده است، استفاده می‌گردد تا عدم قطعیت در آنها به حداقل برسد. در ماتریس تصمیم‌گیری این روش، a_{ir} نشان دهنده‌ی رتبه‌ی گزینه ۱ ام از دیدگاه روش r ام می‌باشد. این روش بر اساس مجموع رتبه‌های هر گزینه تصمیم‌گیری می‌کند. اگر فرض شود بدترین گزینه، امتیاز صفر، و بهترین گزینه امتیاز $m-1$ را بگیرد؛ بنابراین، از مجموع امتیازهای هر گزینه می‌توان گزینه‌ای که بیشترین امتیاز را دارد، به عنوان انتخاب صحیح در نظر گرفت (روابط ۱۱ و ۱۲):

$$g(a_{ir}) = m - a_{ir} \quad (11)$$

(۱۲)

$$B_i = \sum_{r=1}^R g(a_{ir}) = mR - \sum_{r=1}^R a_{ir}$$



شکل ۱- پیکربندی رودخانه کارون و موقعیت سدهای برقایی خرسان.

اولویت برخوردار خواهد بود. مطالعات شاخصهای اقتصادی سه گزینه‌ی نامبرده نشان‌دهنده‌ی تفاوت‌های بسیار کم این سه گزینه نسبت به یکدیگر بوده و در نتیجه برای انتخاب گزینه‌ی برتر این طرح، مقایسه‌ی همزمان معیارهای کمی و کیفی بهترین راه می‌باشد.

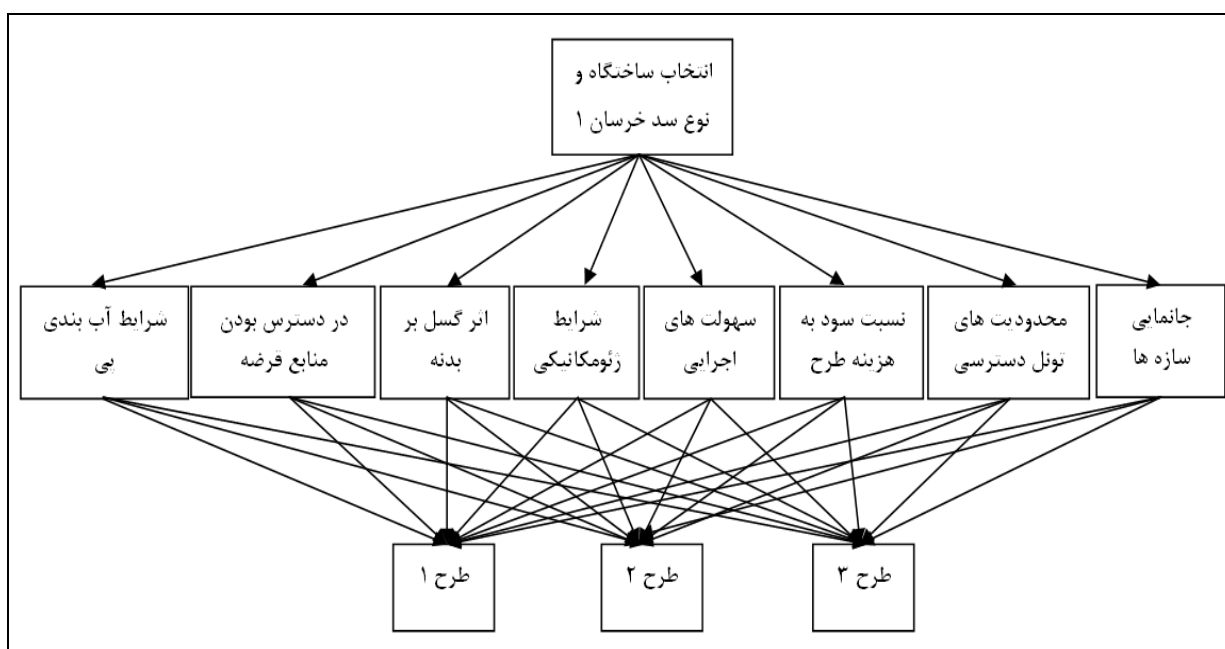
اجرای شبیه‌ها و تحلیل نتایج

در این طرح با کمک پرسشنامه و اخذ اطلاعات کارشناسان و مدیران طرح، ۷ معیار کیفی و ۱ معیار کمی تعریف شدند. این معیارها در جدول ۳ ارائه شده‌اند. شکل ۲ نیز ساختار سلسله‌مراتبی معیارها را نشان می‌دهد. لازم به توضیح است که در تدوین پرسشنامه‌ها، و استخراج اطلاعات و وزن دهی معیارها، از مصاحبه با ۱۶ کارشناس، ۵ خبره‌ی دانشگاهی و ۲ مدیر استفاده شده، مصاحبه‌ها در دو حالت مصاحبه حضوری و غیر حضوری صورت گرفته، و اطلاعات دریافتی طی چند مرحله صحت‌سنجی شده‌اند. ۷ معیار کیفی بنابر نظرات کارشناسان به معیارهای کمی تبدیل شده‌اند. نحوه‌ی کمی‌سازی معیارهای کیفی بر اساس مقیاس دو قطبی می‌باشد، بدین شکل که بر حسب مثبت یا منفی بودن جنس معیار، از کمترین تا بیشترین مقدار بیانی یا همان کیفی معیار، عددی از ۱ تا ۹ یا بالعکس به معیار مورد نظر اختصاص یافته است. برای استفاده از شبیه‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای این طرح نیاز بود تمام معیارها در یک بازه‌ی یکسان (از ۰ تا ۱۰) امتیازدهی شوند؛ بنابراین، اعداد

هدف اصلی از احداث سدهای خرسان ۱ و ۲، تولید کارمایه‌ی برقایی منطقه می‌باشد. در ابتدای مطالعات مرحله‌ی اول، با توجه به شرایط پستی و بلندی و طول نسبتاً زیاد دره ساختگاه خرسان ۱، ۶ گزینه‌ی محور سد برای بررسیها و مطالعات مقدماتی زمین‌شناسی تعیین، و امکان‌پذیری احداث سد در آنها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. از بین این محورها که به ترتیب از بالادست به پایین دست به نامهای A، B، C، D، E و F نام‌گذاری شده‌اند، ۴ محور A، B، C و E به دلیل شرایط نامناسب ژئوتکنیکی مردود شده و از دور مطالعات خارج شدند. در ادامه‌ی مطالعات تکمیلی در مورد دو محور باقی‌مانده انجام شد تا نوع سد مناسب برای احداث در هر یک از محورها تعیین شود. نتایج این بررسیها نمایانگر شرایط نسبتاً مناسب محور D برای احداث دو نوع سد بتنی قوسی و سنگریزه‌ای، و نیز شرایط مناسب محور F برای گزینه‌های سدهای بتنی وزنی، بتنی قوسی و سنگریزه‌ای، با در نظر گرفتن برخی روشهای مناسب طراحی بود (شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۶). از میان این ۵ گزینه، گزینه‌ی سد بتنی وزنی و سد سنگریزه‌ای در محور F، به دلیل عدم توجیه اقتصادی و فنی، حذف شده، و ۳ گزینه برای مقایسه باقی ماندند. از دیدگاه روش اجرا، خطر کردن تغییر و افزایش زمان و هزینه‌های اجرایی در گزینه‌ی سد بتنی قوسی در مقایسه با گزینه‌های سد سنگریزه‌ای به مراتب کمتر بوده و از این جهت نیز گزینه‌ی سد بتنی قوسی از

جدول ۳- معیارهای کمی و کیفی برای مقایسه گزینه‌ها.

معیار کمی	معیارهای کیفی
۸- شاخص اقتصادی B/C	۱- شرایط آب بندی پی در هر محور(گزینه)
	۲- در دسترس بودن منابع قرضه مناسب
	۳- اثر گسلها بر بدنه سد
	۴- ویژگیهای مکانیک زمین توده سنگ پی
	۵- سهولت های اجرایی هر گزینه
	۶- جانمایی سازه ها به لحاظ سادگی و انعطاف پذیری نسبت به تغییر
	۷- محدودیتها و مشکلات ناشی از راهها (تونلهای) دسترسی



شکل ۲- ساختار سلسله مراتبی تصمیم گیری.

خواهد شد، مقادیر بر اساس نظرات کارشناسی همراه با خطر کردن و بیشتر از مقدار واقعی در نظر گرفته شده اند. این افزایش هزینه‌ها و اعمال ضریب بر اساس تحلیل حساسیت و خطرکردن فراسنجهای اقتصادی، از جمله نرخ بهره و تورم در آینده به وسیله‌ی مشاور طرح بوده است. برای وزن دهی معیارها در هر سه شبیه تصمیم‌گیری، از روش ماتریس مقایسه‌های زوجی استفاده شده است.

موجود، به این بازه انتقال یافته و نتایج نهایی در جدول ۴ ثبت شده اند که این مقادیر میانگین نظرات دریافت شده می باشند. در واقع، از آن جا که معیارها از یک جنس و دارای یک مقیاس نیستند، بهنجار سازی معیارها از این طریق انجام می‌شود. لازم به ذکر است که جهت برآورد معیار سود به هزینه (B/C)، از آن جا که یک گروه از مسائل دارای عدم قطعیت باعث افزایش هزینه‌های طرح در آینده

جدول ۴- ماتریس تصمیم‌گیری.

گزینه معیار	شرایط						
	آب بندی پی (سد) (۱)	در دسترس بودن منابع قرضه (۲)	اثر گسل بر بدنه ی سد (۳)	ژئومکانیکی توده سنگ پی (۴)	سهولت‌های اجرایی (۵)	جانمایی سازه ها (۶)	محدودیت‌های ناشی از تونل دسترسی (۷)
طرح ۱- محور D- بتنی قوسی	۹	۹/۳۳	۹/۱۷	۷	۷	۷/۵	۶
طرح ۲- محور D- سنگریزه ای	۸	۶/۶۷	۹/۱۷	۹	۵	۶/۲۵	۴
طرح ۳- محور F- بتنی قوسی	۳/۷۵	۹/۳۳	۵/۸۳	۹	۹	۸/۷۵	۸

برای جمع بندی نتایج حاصل از سه روش و رسیدن به یک رتبه بندی واحد برای تصمیم‌گیری درباره ی طرح سد و نیروگاه خراسان ۱، از روش تصمیم‌گیری گروهی شمارش بوردا استفاده شد، و در نهایت، طرح سد بتنی قوسی محور D به عنوان گزینه برتر، سد بتنی قوسی محور F دومین گزینه و سنگریزه‌ای محور D آخرین گزینه برای اجرای این طرح معرفی گردیدند که نتایج آن در جدول ۹ قابل مشاهده اند. ۵- جمع بندی و نتیجه گیری در این تحقیق جهت تبیین کارایی شبیه‌های تصمیم‌گیری چند معیاره جبرانی، رتبه بندی سه طرح انتخابی که امکان‌پذیری آنها برای اجرای طرح سد و نیروگاه خراسان ۱ واقع بر روی خراسان در استان چهارمحال و بختیاری مورد تأیید بود، بررسی شد. با توجه به نزدیکی بسیار زیاد شاخص‌های اقتصادی در این سه گزینه، تصمیم‌گیری تنها با اتکا بر معیارهای مزبور ممکن نبود، در نتیجه، برای تصمیم‌گیری دقیقتر، هفت معیار دیگر نیز برای این عمل تعریف شدند تا تصمیم‌گیری با توجه به تلفیقی این معیارها صورت گیرد. برای این منظور از سه روش، TOPSIS و AHP استفاده شد.

مقایسه های دوبه‌دوی ۸ معیار مورد نظر با کاربرد نیروگاه خراسان ۱ انجام شد، و با استفاده از میانگین هندسی، تمام نظرات تجمیع گشته و نتایج این مقایسه ها در جدول ۵ ارائه شده اند. وزن های نهایی معیارها نیز در این جدول و در سطر آخر قابل مشاهده اند.

پس از مشخص شدن وزن های عوامل، می توان از روشهای مختلف، رتبه‌بندی سه طرح موجود را انجام داد. در رتبه بندی با استفاده از روش SAW (جدول ۶)، سد بتنی قوسی محور D به عنوان برترین طرح، سد بتنی قوسی محور F دومین طرح و سد سنگریزه‌ای محور D به عنوان آخرین گزینه مشخص گردیدند.

در روش TOPSIS ابتدا فاصله ی هر طرح از گزینه ی بهینه ی مثبت و بهینه ی منفی محاسبه شده، امتیاز نهایی هر نمایشنامه و در نهایت رتبه بندی آنها نیز به دست آمده است (جدول ۷). لازم به ذکر است که انتخاب دو گزینه بهینه ی نامبرده بر اساس ماتریس تصمیم‌گیری و استفاده از روابط ۳ و ۴ صورت گرفته است. این روش نیز بیانگر طرح سد بتنی قوسی محور D به عنوان مناسبترین گزینه برای اجرا می‌باشد، اما سد سنگریزه‌ای محور D را به عنوان دومین طرح و سد بتنی قوسی محور F را سومین طرح از نظر برتری معرفی می کند. نتایج به دست آمده از روش AHP، مشابه نتایج SAW می‌باشند، یعنی سد بتنی قوسی محور D برترین طرح، سد بتنی قوسی محور F دومین طرح و سد سنگریزه‌ای محور D سومین گزینه به شمار می روند (جدول ۸).

جدول ۵- ماتریس مقایسه‌های زوجی معیارها.

معیارها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	وزن نهایی
۱	۱	۱/۶۲۰	۱/۱۵۵	۱/۳۳۰	۱/۲۴۷	۱/۳۶۶	۱/۷۹۷	۰/۸۳۱	۰/۱۵۳
۲	۰/۶۱۷	۱	۰/۷۱۳	۰/۸۲۱	۰/۷۷۰	۰/۸۴۳	۱/۱۰۹	۰/۵۱۳	۰/۰۹۴
۳	۰/۸۶۶	۱/۴۰۳	۱	۱/۱۵۲	۱/۰۸۰	۱/۱۸۳	۱/۵۵۷	۰/۷۲۰	۰/۱۳۳
۴	۰/۷۵۲	۱/۲۱۸	۰/۸۶۸	۱	۰/۹۳۸	۱/۰۲۷	۱/۳۵۲	۰/۶۲۵	۰/۱۱۵
۵	۰/۸۰۲	۱/۲۹۹	۰/۹۲۶	۱/۰۶۶	۱	۱/۰۹۵	۱/۴۴۱	۰/۶۶۷	۰/۱۲۲
۶	۰/۷۳۲	۱/۱۸۶	۰/۸۴۵	۰/۹۷۳	۰/۹۱۳	۱	۱/۳۱۶	۰/۶۰۹	۰/۱۱۲
۷	۰/۵۵۶	۰/۹۰۱	۰/۶۴۲	۰/۷۴۰	۰/۶۹۴	۰/۷۶۰	۱	۰/۴۶۳	۰/۰۸۵
۸	۱/۲۰۳	۱/۹۴۹	۱/۳۸۹	۱/۵۹۹	۱/۵۰۰	۱/۶۴۳	۲/۱۶۲	۱	۰/۱۸۴

جدول ۶- رتبه بندی طرحها با استفاده از کاربرد روش SAW.

رتبه	وزن‌های به دست آمده از روش SAW	نام
۱	۰/۶۰۰۴۲	طرح ۱
۳	۰/۵۳۷۷۳	طرح ۲
۲	۰/۵۶۰۶۷	طرح ۳

جدول ۷- نتایج حاصل از کاربرد روش TOPSIS.

رتبه	وزنهای به دست آمده از روش TOPSIS	d_i^+	d_i^-	نام طرح
۱	۰/۷۰۹	۰/۰۳۲	۰/۰۷۸	طرح ۱
۲	۰/۵۱۲	۰/۰۵۹	۰/۰۶۲	طرح ۲
۳	۰/۴۵۸	۰/۰۷۱	۰/۰۶۰	طرح ۳

جدول ۸- نتایج حاصل از کاربرد روش AHP در دو حالت تعریف شده.

رتبه بندی	با اعداد تخمینی به وسیله ی AHP (کارشناسان)	طرح
۱	۰/۳۶۸۵۰	۱
۳	۰/۳۱۹۵۲	۲
۲	۰/۳۳۴۸۴	۳

جدول ۹- رتبه بندی نهایی طرحها با استفاده از روش شمارش بوردا.

رتبه بندی تهایی	(با اعداد تخمینی به وسیله ی AHP) کارشناسان	TOPSIS	SAW	طرح
۱	۱	۱	۱	۱
۳	۳	۲	۳	۲
۲	۲	۳	۲	۳

۲. روزبهرانی، ع. ۱۳۸۷. استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره در بهره‌برداری از منابع آب سدهای مخزنی. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه تبریز.

۳. شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۶. گزارش میانکار سوم مطالعات مرحله اول سد و نیروگاه خرسان ۱- گزارش انتخاب نوع سد.

۴. صفاری، ن؛ و ضرغامی، م؛ ۱۳۸۹. تخصیص بهینه منابع آب سطحی حوضه دریاچه ارومیه به استان‌های ذینفع با روش‌های تصمیم‌گیری فاصله محور. نشریه ی دانش آب و خاک. (۱)۲۳: ۱۴۹-۱۳۵.

۵. میان‌آبادی، ح؛ افشار، ع؛ ۱۳۸۷. تصمیم‌گیری‌های چند شاخصه در رتبه بندی طرح‌های تأمین آب شهری. مجله آب و فاضلاب. (۲)۱۹: ۴۵-۳۴.

۶. هلیلی، م؛ سعد الدین، ا؛ مساعدی، ا؛ سلمان ماهینی، ع؛ ۱۳۸۷. تصمیم‌گیری چند معیاره فازی به منظور مدیریت منابع آب سطحی در سد مخزنی بوستان، استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. (۴)۱۶: ۲۴-۱.

7. Abrishamchi, A., Ebrahimian, A., Tajrishi, M., and Marino, M. A. 2005. Case study: Application of multi criteria decision making to urban water supply. *Journal of Water Resources Planning and Management* 131: 326-335.

8. Anand Raj, P.A., and Kumar. D.N. 1996. Ranking of river basin alternatives using ELECTRE. *Hydrological Sciences* 41: 697-713.

9. Borda J.C. 1994. A Paper on Elections by Ballot. (English translation), In Fiona Hewitt and Ian McLean, editors, Condorcet: Foundations of Social Choice

نتیجه رتبه‌بندی با استفاده از روش‌های SAW و AHP یکسان بود، اما روش TOPSIS نتیجه‌ای متفاوت را به دست داد. تفاوت مزبور طبیعی است و این امکان وجود دارد که به کار بردن روش‌های متفاوت در یک طرح یکسان رتبه بندی‌های مختلفی را ارائه دهد. این مسأله ناشی از شباهت روش‌شناسی SAW و AHP در مقایسه با ماهیت سازشی و بهینه‌گرایی روش TOPSIS است. باید توجه داشت که در تمام این روشها، طرح سد بتنی قوسی در محور D به عنوان برترین طرح معرفی شد.

بطور کلی، رویکرد استفاده از نظرات خبرگان و تصمیم‌گیران و داده‌های مشاهداتی طرح در قالب یک ساختار پشتیبانی در تصمیم‌گیری چند معیاره، و با لحاظ وزنهای نسبی این معیارها از چند جهت در برنامه ریزی بهتر طرح‌های منابع آبی کشور ضروری است. اول آن که با به کارگیری روش‌های مختلف امکان تحلیل حساسیت در مورد نتایج فراهم کنند و انتخاب با اطمینان بیشتری صورت می‌گیرد. ثانيا، دارای یک ماهیت تصمیم‌گیری گروهی با دیدگاه مهندسی ارزش بوده، و ثالثا خطر کردن انتخاب غیر اصولی این طرحها را با در نظر گرفتن معیارهای مختلف فنی، اقتصادی، اجتماعی و غیره کاهش می‌دهد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از از همکاری و مساعدت‌های به عمل آمده به وسیله ی شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱. اصغرپور، م. ج. ۱۳۷۷. تصمیم‌گیری‌های چند معیاره. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ یازدهم.

- and Political Theory, p. 114.119. Edward Elgar, Brookfield.
10. Flug, M., Seitz, H.L.H, and Scott, J.F. 2000. Multicriteria decision analysis applied to Glen Canyon Dam. *Journal of Water Resources Planning and Management* 126: 270–276.
 11. Hwang, C.L., and Yoon, K.S. 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer Press, New York.
 12. Minatour, M., Khazaie, j., Ataei, M., and Javadi, AA. 2015. An integrated decision support system for dam site selection. *Scientia Iranica* 22: 319-330.
 13. Roozbahani, A., Zahraie, B., and Tabesh, M. 2012. PROMETHEE with Precedence Order in the Criteria (PPOC) as a New Group Decision Making Aid: An Application in Urban Water Supply Management. *Water Resources Management* 26: 3581-3599.
 14. Saaty T L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill. New York.
 15. Supriyasilp, T., Pongput, K., and Boonyasirikul, T. 2009. Hydropower development priority using MCDM method. *Energy Policy* 37: 1866–1875.
 16. Yilmaz, B., and Harmancioglu, N. 2010. Multi-criteria decision making for water resource management: a case study of the Gediz River Basin, Turkey. *Water SA* 36: 563-576.