نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۹، ص. ۳۳۲-۳۱۷

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 2, May-June 2020, p. 317-332

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی سناریوهای انتقال آب بین‌حوضه‌ای به فلات مرکزی ایران با روش تصمیم‌گیری چند معیاره COPRAS

حامد قاصد[۱]- عباس روزبهانی[۲*]- مهدی هاشمی شاهدانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰

چکیده

به‌منظور غلبه بر کمبود آب، تأمین افزایش تقاضا در بخش شرب، صنعت، کشاورزی، برقآبی و غیره و تحقق توسعه اقتصادی و اجتماعی یکی از راه کارهای نهایی و پر چالش برای رسیدن به تعادل منطقه‌ای طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای از طریق مرزهای بین‌المللی، ملی، منطقه‌ای و محلی می‌باشد که به عنوان یکی از روش‌های کاهش بحران در کنار دیگر روش‌ها نیز مطرح است. در این مطالعه، هشت سناریو به‌منظور اولویت‌بندی و ارزیابی سناریوهای انتقال آب بین حوضه‌ای از حوضه‌ی کارون بزرگ به فلات مرکزی ایران با استفاده از چهار معیار مهم و تأثیرگذار در انتقال آب بین حوضه‌ای با توجه به معیارهای یونسکو برای ارزیابی کمی و کیفی سناریوهای منتخب تعیین شد. در ادامه، وزن معیارها از سه روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، آنتروپی شانون و دیمتل (DEMATEL) بدست آمد. در نهایت، با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره کوپراس (COPRAS) که روشی کارآمد برای ارزیابی و رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها براساس درصد با درنظر گرفتن معیارهای مثبت و منفی در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره است، هشت سناریوی منتخب اولویت‌بندی شد. نتایج نشان داد، انتقال آب از حوضه بهشت‌آباد از طریق پمپاژ و تونل کوتاه از دبی پایه بهشت‌آباد برای استان اصفهان و از حوضه خرسان-سد خرسان ۳ برای استان‌های یزد و کرمان به عنوان سناریوی هشتم با توجه به تغییر در روش‌های وزن‌دهی سناریوی برتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: انتقال آب بین حوضه‌ای، تصمیم‌گیری چند معیاره، حوضه‌ی فلات مرکزی ایران، روش کوپراس (COPRAS)

مقدمه

پروژه‌های انتقال آب بین حوضه ای دارای پارامترهای چالش برانگیز، گوناگون، پیچیده و غالباً کیفی می‌باشند که تصمیم‌گیری در مورد آن‌ها به علت نقش متفاوت هرکدام از پارامترها بر پروژه مورد نظر، مقدار اثر بخشی متفاوت آن‌ها، کیفی بودن برخی معیارها و یکسان نبودن معیار سنجش در مورد بقیه عناصر باعث می‌شود که عدم‌قطعیت‌هایی در تصمیم‌گیری نهایی وجود داشته باشد و نتوان به راحتی درباره آن‌ها تصمیم‌گیری نمود. در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره [۳](MCDM)، گزینه‌های مورد نظر با توجه به شاخص‌های مختلف، که ممکن است در تعارض با یکدیگر باشند، اولویت‌بندی می‌شوند (۱۳). مطالعات فراوانی در مورد مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه [۴](MADM) و انتقال آب بین‌حوضه‌ای، بویژه در بحث تأمین آب شرب در طی سال‌های گذشته تا به امروز انجام شده است. ضرغامی و همکاران (۲۰۰۹) روشی برای تصمیم‌گیری کارآمد در انتقال بین‌حوضه‌ای آب در فلات مرکزی ایران (حوضه‌ی زاینده رود) با استفاده از عملگر میانگین وزنی مرتب شده [۵](OWA) به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه نمودند. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی بهتر از سایر روش‌های قدیمی MCDM است و تصمیم‌گیری‌های با حساسیت بالا را بایستی با روش‌های جدید به دست آورد (۱۸). سالیزایا و همکاران (۲۰۱۰) پیشنهادات و تجزیه و تحلیل روش تصمیم‌گیری چند معیاره را در حوضه‌ی دریاچه پوپو که با کمبود شدید کمیت و کیفیت آب مواجه است، بر اساس معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در یک محیط تصمیم‌گیری تحت

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد منابع آب و دانشیاران گروه مهندسی آبیاری، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: roozbahany@ut.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.v34i2.81708

3- Multi Criteria Decision Making
4- Multiple Attribute Decision Making
5- Ordered Weighted Averaging

عدم قطعیت برای حمایت از ذینفعان در مدیریت منابع آب، با استفاده از تئوری تحلیلی سلسله مراتبی[1](AHP) ارائه دادند. نتایج نشان داد روش به کار گرفته شده در تحقیق حاضر، بهترین راه حل را برای مدیریت منابع آب در حوضه‌ی پوپو ارائه می‌دهد (۸). محمدی و همکاران (۱۳۹۱) به رتبه‌بندی ۷ گزینه پیشنهادی طرح انتقال آب بهشت آباد با در نظر گرفتن ۶ معیار کمی و کیفی (اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و فنی) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اقدام نمودند. نتایج نشان داد که معیار سهولت بهره‌برداری مهم‌ترین معیار در این تحقیق می‌باشد. همچنین معیار زیست‌محیطی به عنوان چهارمین معیار حساس انتخاب شد و تغییر وزن معیارهای اجتماعی و زمین شناسی تغییری در رتبه بندی ایجاد نکرد (۱۲). روزبهانی و همکاران (۲۰۱۲) یک روش جدید از مجموعه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با ترکیب ارزیابی رتبه‌بندی (PROMETHEE)[2] و تصمیم‌گیری چند معیاره با لحاظ اولویت در معیارها را در قالب مدل جدیدی تحت عنوان PPOC[3] در مدیریت آبرسانی شهری ملبورن معرفی نمودند. نتایج نشان داد، روش پیشنهادی برای حل مسائل مختلف تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب شهری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (۱۴). عابد علم دوست و کراچیان (۲۰۱۳) مجموعه‌ای از معیارهای جامع از جمله، سود ناخالص منطقه‌ای، بهره‌وری آب، وجود منابع جایگزین آب، وجود زیرساخت‌های کشاورزی و صنعتی، حمایت سیاسی از دولت و مجلس و همچنین برخی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) از جمله فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فرآیند شبکه تحلیلی (ANP)[4]، روش ER[5] و روش تاپسیس TOPSIS[6] را برای تعیین قدرت کاربران در سیستم‌های تخصیص آب بین حوضه‌ای (انتقال آب بین‌حوضه‌ای از حوضه‌ی رودخانه کارون به دشت رفسنجان در فلات مرکزی ایران) به روش کمی به کار بردند (۲). رئوفی و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی طراحی مطلوب ابعاد یک سیستم انتقال آب بین‌حوضه‌ای در قالب مطالعه موردی طرح انتقال آب بهشت آباد از حوضه‌ی بالا دست کارون به حوضه‌ی آبریز گاوخونی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی منابع آب MODSIM، مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (برنامه‌ریزی سازشی، TOPSIS، SAW[7]، Fuzzy TOPSIS) در قالب ۶ سناریو پرداختند. نتایج مدل نشان داد که حجم آب قابل انتقال با لحاظ شرایط دوره هیدرولوژیک بلند مدت در حدود ۱۹۰ و در شرایط دوره هیدرولوژیک خشک در حدود ۱۴۷ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد (۱۵). آذرنیوند و همکاران (۲۰۱۵) به اولویت‌بندی گزینه‌های استراتژیک برای احیای منابع آب دریاچه ارومیه از طریق یک مدل MCDM، براساس توانایی‌های راهبرد رضایت از معیارهای توسعه پایدار با روش ماتریس نقاط قوت، ضعف، فرصت، تهدیدات (SWOT-TOWS) و مقایسه دوگانه FAHP پرداختند. نتایج نشان داد مدیریت منابع انسانی و ترویج مشارکت ذینفعان نسبت به سایر گزینه‌های استراتژیک برتر است. همچنین تجزیه و تحلیل حساسیت نشان داد که FAHP یک ابزار قوی برای تصمیم گیری در مسائل زیست محیطی جامع است و مشارکت قابل اعتمادی را در چارچوب مدیریت استراتژیک اعمال می‌کند (۳). فضل‌اللهی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی تأثیرات انتقال آب بین‌حوضه‌ای از دیدگاه فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی پرداختند. نتایج نشان داد طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای باعث افزایش ارزش اقتصادی منابع آب می‌شود امّا می‌تواند تغییرات چشم‌گیری در حوضه‌های مبداء و مقصد بخصوص حوضه‌ی مبدأ به همراه داشته باشد (۹). ژو و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل تامین مالی برای پروژه انحراف آب از Han به رودخانه Wei در استان Shaanxi با روش‌های تحلیل سلسله مراتبی AHP، روش دلفی، مدل وزن‌دهی خاکستری (بازه‌ای) توسعه دادند. نتایج نشان داد مدل توسعه یافته با توجه به وضعیت واقعی دیگر پروژه‌های انتقال آب منطقی و امکان‌پذیر است (۱۹). کفایتی و همکاران (۲۰۱۸) به توسعه شاخص‌های ارزیابی توسعه پایدار در حوضه‌های آبریزی که دارای طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای هستند پرداختند و ۱۵ شاخص در سه بخش اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ارایه داده و با استفاده از روش های PCA[8] و CIS[9] به ارزیابی و تلفیق این شاخص‌ها در طرح انتقال آب از حوضه‌ی کارون (طرح بهشت آباد) به حوضه‌ی گاوخونی پرداختند (۱۰). انجام مطالعات متنوع تصمیم‌گیری در مورد انتقال آب در سطح ایران و جهان، حاکی از اهمیت موضوع انتقال آب می‌باشد. امروزه استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره جهت پیش‌بینی، ارزیابی، رتبه‌بندی و مقایسه نتایج راه‌حل‌های موجود وانتخاب صحیح یکی از راه حل‌ها برای رسیدن به هدف مطلوب، رشد سریعی داشته است و بدین منظور مدل‌های متنوعی در این زمینه ارائه و مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه، از روش کوپراس (COPRAS)[10] قطعی که روش نسبتاً جدیدتری در مقایسه با

1- Analytic Hierarchy Process
2- Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
3- PROMETHEE with Precedence Order in the Criteria
4- Analytical Network Process
5- Evidential Reasoning
6- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
7- Simple Additive Weighting
8- Principal Component Analysis
9- Composite Indicators of Sustainability
10- Complex Proportional Assessment

روش‌های موجود تصمیم‌گیری می‌باشد، به صورت گروهی با وزن‌های بدست آمده از سه روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، دیمتل[1] (DEMATEL) و آنتروپی شانون (Entropy Shannon)، به‌منظور تحلیل حساسیت در وزن‌دهی برای نخستین بار با هدف اولویت بندی و ارزیابی سناریوهای انتقال آب بین حوضه‌ای به فلات مرکزی ایران استفاده شده است. همچنین لازم به ذکر است که این روش به طور محدودی تاکنون در حوضه مطالعات منابع آب در سطح ملی و بین المللی مورد استفاده قرار گرفته است. ویژگی مهمی که باعث انتخاب این مدل شد، توانایی تخمین زدن میزان بهتر یا بدتر بودن یک گزینه و درجه اهمیت هر گزینه و نشان دادن آن براساس درصد و مقایسه کامل میان گزینه‌ها است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه‌ی فلات مرکزی ایران با مساحتی غالب بر ۸۲۴/۳۵۶ کیلومتر مربع بیش از نیمی از مساحت ایران را در خود جای داده است. طرح انتقال آب بین حوضه‌ای فلات مرکزی ایران از سرشاخه‌های حوضه‌های آبریز کارون بزرگ متشکل از رودخانه‌های دز و کارون با مساحت ۶۷/۲۵۷ کیلومتر مربع به مختصات جغرافیایی '۴۸°۰۰ تا '۵۲°۳۰ درجه طول شرقی و'۳۰°۰۰ تا '۳۴°۰۵ درجه عرض شمالی می‌باشد که ۶۷ درصد آن را مناطق کوهستانی و کوهپایه و ۳۳ درصد آن را دشت‌های مرتفع تشکیل داده است. از این حوضه، حوضه‌های مبدأ شامل، بهشت آباد، بازفت، خرسان و گوکان که بخش عمده آن‌ها واقع در استان چهار محال و بختیاری می‌باشد به‌منظور تأمین بخشی از آب مورد نیاز سه استان اصفهان، یزد و کرمان در نظر گرفته شده‌اند. در این انتقال آب بین حوضه‌ای، حوضه‌های مقصد شامل استان اصفهان با مساحت ۱۰۷/۰۴۵ کیلومتر مربع (معادل ۶/۵۷ درصد از مساحت کشور) در بخش مرکزی ایران واقع است، استان یزد با مساحت ۱۳۱/۵۷۵کیلومتر مربع در قسمت مرکزی فلات ایران و استان کرمان با مساحت بیش از ۱۸۳/۲۸۵ کیلومتر مربع و با در بر گرفتن حدود یازده درصد کل کشور پهناورترین استان ایران است که در جنوب خاوری ایران واقع شده است. موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ ارایه شده است.

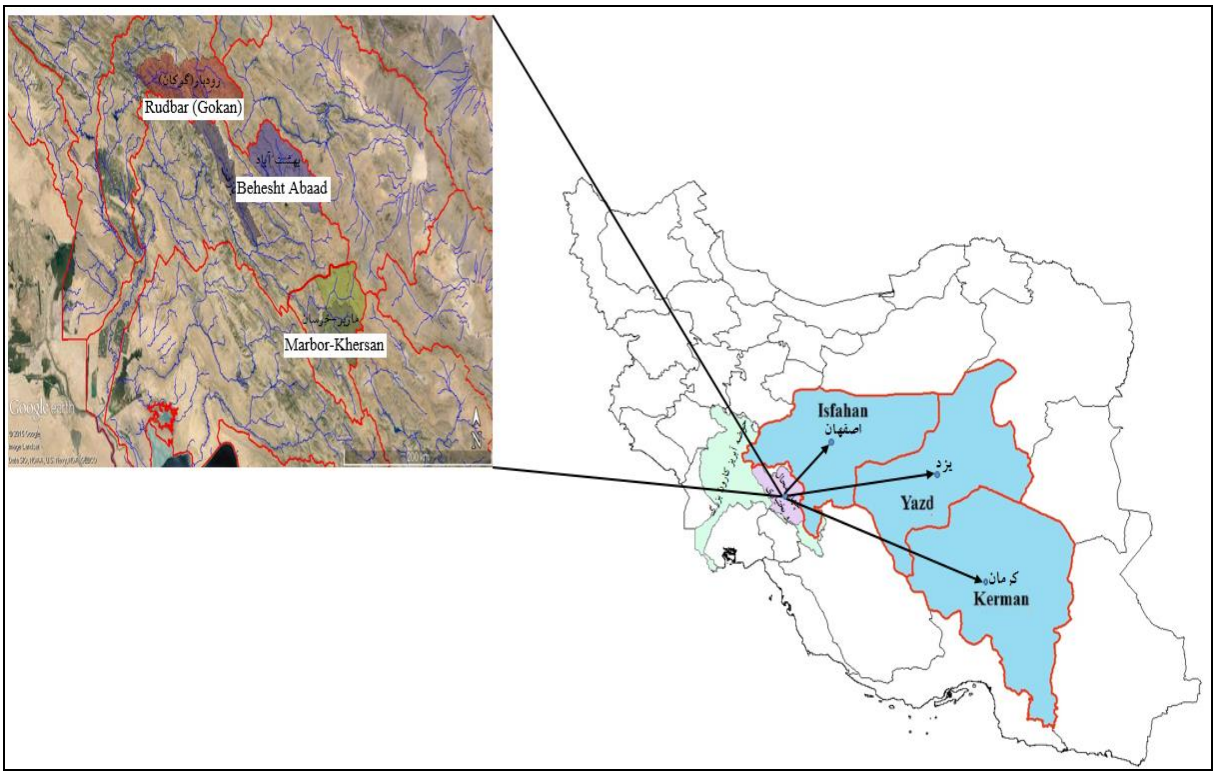
معرفی معیارهای تصمیم‌گیری

پروژه‌های انتقال‌آب که یکی از راه حل‌های نهایی جهت حل کمبود منابع آب به شمار می رود، بایستی براساس لحاظ کردن معیارهای مختلف اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، مسائل سیاسی و غیره صورت پذیرد. یونسکو در سال ۱۹۹۹ بمنظور توجیه یا کنار گذاشتن طرح‌های انتقال بین‌حوضه‌ای آب معیارهایی را تدوین نموده است (کاکس، ۱۹۹۹). این معیارها عبارتند از: ۱- ناحیه مقصد با وجود استفاده از منابع جایگزین تامین آب و انجام تمامی اقدامات منطقی برای کاهش تقاضای آن، باز هم در تامین نیازهای فعلی و پیش‌بینی شده، کمبود جدی داشته باشد. ۲- حوضه‌ی مقصد در حال حاضر یا آینده نزدیک دچار بحران آبی شده و یا رشد و توسعه منطقه از لحاظ مسائل مختلف منوط به تأمین آب به روش انتقال باشد و انتقال آب از حوضه‌ی مبدأ نیز توسعه این منطقه را در حال حاضر یا آینده دچار بحران و مشکل جدی نکند. ۳- طرح نباید بر محیط‌زیست اثرات تخریبی زیاد و غیرقابل جبران داشته باشد. ارزیابی جامع پیامدهای زیست‌محیطی بایستی نشان‌دهد که سطح معقولی از قطعیت وجود دارد که طرح انتقال، به شکل اساسی، کیفیت زیست‌محیطی را در حوضه‌ی مبدأ یا مقصد تخریب نمی‌کند. با این حال چنانچه هزینه‌های جبران خسارت زیست‌محیطی فراهم شود، طرح انتقال ممکن است توجیه‌پذیر باشد. ۴- ارزیابی جامع پیامدهای اجتماعی، فرهنگی باید نشان دهد سطح معقولی از قطعیت وجود دارد که طرح انتقال، سبب بروز اختلال اساسی اجتماعی و فرهنگی در حوضه‌ی مبدأ یا مقصد نخواهد شد. اگر طرح در حوضه‌ی مبدا یا در طول مسیر، مسایل اجتماعی فراوان داشته باشد، نباید اجرا شود. ۵- منافع خالص ناشی از اجرای طرح بایستی عادلانه میان حوضه‌های مبدأ و مقصد تقسیم شود. پس نه‌تنها طرح باید بازده اقتصادی داشته باشد، بلکه منافع آن نیز نباید فقط برای مجری طرح یا مقصد صرف شود (۷).

معیارهایی که با در نظر گرفتن معیارهای تدوین شده یونسکو در سال (۱۹۹۹) به‌منظور توجیه و یا کنار گذاشتن طرح‌های انتقال‌آب بین‌حوضه‌ای انتخاب گردیده است؛ عبارت‌اند از:

۱- ریسک‌های فنی و صعوبت اجراء (C_1)؛ شامل: مشکلات زمین‌شناسی و آب‌بندی مخزن، مراحل بررسی فنی و مطالعات اولیه برخی سدها و مسائل فنی آن‌ها، ریسک درخواست تخصیص آب برخی مناطق از منابع انتقال اجرای طرح‌ها، شروع نشدن طراحی‌های آبگیری آب شرب، مدت زمان اجرای طرح، مشکلات زمین شناسی سد و سامانه انتقال آب، انرژی مورد نیاز سامانه، تضمین بالای تامین آب شرب، طول لوله و تونل ها، عبور از مناطق گسله و کارستیک، پمپاژ بلند با حجم زیاد، سهولت بهره‌برداری.

1- DEcision-Making Trial and Evaluation Laboratory



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Study area

۲- مشکلات سیاسی و اجتماعی (C_2)؛ شامل: مسائل حقوقی و قانونی تملک اراضی، خسارت مخزن ناشی از زیر آب رفتن شهر کاج در صورت احداث سد بهشت‌آباد و برخی روستاها و واحدها، مهاجرت، وجود مناطق محافظت شده، شرایط قومی، فرهنگی، بافت عشایری و ایلاتی محدوده مطالعاتی، تهیه و ارائه نقشه کاربری اراضی و نقشه کاداستر مسیر سامانه پس از انتخاب سناریو برتر و بهینه و ضرورت مستند سازی میراث فرهنگی و آثار تاریخی محدوده اجرای طرح.

۳- مشکلات زیست محیطی (C_3)؛ شامل: تخریب محیط زیست هنگام ایجاد خط لوله و تونل، کاهش کیفیت آب و آلودگی منابع آب و خشک شدن چاه و چشمه.

۴- قیمت تمام شده هر متر مکعب آب (C_4)؛ شامل: سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز برای احداث سامانه انتقال آب، میزان تولید انرژی برقابی (انرژی تولیدی)، هزینه و میزان برق مصرفی (انرژی مصرفی)، هزینه جاری، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری) می‌باشد. لازم به ذکر است که قیمت تمام شده هر متر مکعب آب توسط شرکت توسعه منابع‌آب و نیروی ایران برآورد گردیده و به صورت عددی و کمی بر خلاف سه معیار دیگر که به صورت کیفی می‌باشد، در نظر گرفته شده است.

معرفی سناریوها

به‌منظور انتقال آب بین حوضه‌ای به فلات مرکزی ایران برای تأمین کمبود ۵۸۰ میلیون متر مکعب آب شرب سه استان اصفهان، یزد و کرمان، هشت سناریوی انتقال آب برای ارزیابی، اولویت‌بندی و ارائه گزینه برتر با اعمال نظرات متخصصین آب و با توجه به گزارشات شرکت توسعه منابع‌آب و نیروی ایران، تعیین شد که هر کدام به صورت جداگانه به شرح زیر است. لازم به ذکر است که قطعا هیچ یک از این سناریوها قادر به تامین کلیه اهداف و استانداردهای انتقال آب بین حوضه ای نیستند لیکن در این تحقیق سعی شده است تا با به کارگیری ارزیابی چند شاخصه سناریویی انتخاب شود که بیشترین نزدیکی را به این اهداف و معیارها دارا است.

۱- انتقال آب از حوضه‌ی بازفت-سد چمن‌گلی (از طریق تونل کوهرنگ۳) به استان‌های اصفهان، یزد و کرمان (A_1)؛ این گزینه مبتنی به انتقال آب به دره کوهرنگ و استفاده از سامانه کوهرنگ ۳ برای انتقال آب به فلات مرکزی ایران است. اجزاء اصلی طرح انتقال شامل یک سد حدود ۱۵۰ متری در دره بازفت، در حوالی روستای چمن‌گلی با گنجایش مخزن حدود ۷۰۰ میلیون متر مکعب است که وظیفه تنظیم آب را به عهده خواهد داشت. انتقال آب با حجم ۵۸۰ میلیون متر مکعب توسط شبکه‌ای تشکیل شده از ۱۳ کیلومتر تونل و

۱۹ کیلومتر لوله به همراه ۴ ایستگاه پمپاژ بـه دره کوهرنـگ صـورت می‌گیـرد، در ادامـه آب بعـد از خـروج از تونـل کوهرنـگ ۳ در بسـتر زاینده‌رود جریان می‌یابد و تا باغ بهادران (محـل فعلـی تصـفیه خانـه اصفهان (بابا شیخ علی) و محل فعلی برداشت آب انتقالی به یزد) ادامه می‌یابد، سپس آب استان اصفهان (۲۵۰ میلیون متر مکعـب) از یـزد و کرمان جدا می‌شود، آب یـزد بـه میـزان ۱۵۰ میلیـون متـر مکعـب از طریق احداث خط لوله به موازات خط اول به طول ۳۵۲ کیلومتر و آب کرمان به میزان ۱۸۰ میلیون متر مکعب از طریق احداث خط لوله بـه طول ۶۶۰ کیلومتر انتقال می‌یابد.

۲- انتقال آب از حوضه‌ی بهشت‌آباد از طریق پمپاژ مستقل از سد بهشت آباد با استفاده از خط لوله و تونل کوتاه به استان‌های اصفهان، یزد و کرمان(A_2)؛ این سناریو، شامل احداث یـک سـد بلنـد بـیش از ۱۷۰متری در پایین‌دست محـل الحـاق رودخانـه‌هـای بهشـت‌آبـاد و کوهرنگ با خسارت مخزن زیاد با توجه به زیر آب رفـتن شـهر۴۰۰۰ نفری کاج است. بر مبنای این سـناریو، سـد بلنـد حـدود ۱۷۰ متـری وظیفه ذخیره و تنظیم آب را انجام خواهد داد. انتقال‌آب با حجـم ۵۸۰ میلیون متر مکعب، توسط شبکه‌ای تشکیل شده از تونل، خـط لولـه و پمپاژ از مبداء تا مقصد برای اصفهان (تونل ۷٫۸ کیلـومتر، طـول لولـه ۶۲٫۸ کیلومتر، ۴ مرحله پمپاژ)، یزد (تونل ۶٫۴ کیلومتر، طول لوله ۴۳۰ کیلومتر، ۴ مرحله پمپاژ)، کرمان (تونل۶٫۴ کیلـومتر، طـول لولـه ۷۱۳ کیلومتر، ۶ مرحله پمپاژ) انجام می‌گیرد.

۳- انتقال آب از حوضه‌ی خرسان-سد خرسان۳ و رودخانه مـاربر به سه استان اصفهان، کرمان و یزد (A_3)؛ در این سناریو انتقال‌آب بـا حجم ۵۸۰ میلیون متر مکعـب از مبـداء تـا مقصـد بـه ترتیـب بـرای اصفهان از بند ماندگان واقع بر روی رودخانه ماربر (تونل ۲٫۸ کیلومتر، طول لوله ۱۹۸٫۱ کیلومتر، ۴ مرحله پمپاژ)، یزد از سد خرسان ۳ (تونل ۲۲ کیلومتر، طول لوله ۴۶۲ کیلومتر، ۶ مرحله پمپاژ) و کرمـان از سـد خرسان ۳ (تونل۲۱٫۳ کیلومتر، طول لوله ۶۵۵ کیلومتر، ۶ مرحله پمپاژ) انجام می‌گیرد.

۴- انتقال آب از حوضه‌ی بازفت-سد شیخ‌عالی به اصفهان و یـزد و از سد خرسان ۳ و رودخانه ماربر برای کرمـان (A_4)؛ در بخـش اول این سناریو سالانه ۴۰۰ میلیون متر مکعب آب، از بازفت به استان‌های اصفهان و یزد با احداث یک سد با ارتفاع ۱۰۶ متر و حجم کل مخزن معادل ۵۸۰ میلیون متر مکعب در ساختگاه شیخ‌عالی و بـا اسـتفاده از یک خط انتقال ۱۱ کیلومتری، ۳ مرحله پمپـاژ و بـا مجمـوع ۵ قطعـه تونل به طول کل ۲۵ کیلومتر با اضافه شدن آب سرشاخه‌های نازی و الگی به دره کوهرنگ منتقل و در ادامه تـا سـد چـم آسـمان (محـل آبگیری فعلی تصفیه خانه اصفهان و آبگیر طرح در حال بهـره‌بـرداری انتقال آب به یزد) از طریق رودخانه زاینده‌رود ادامه مـی‌یابـد. در ایـن نقطه سهم‌آبه اصفهان به تصفیه خانه منتقل شده و ۱۵۰ میلیـون متـر مکعب سهم یزد به موازات خط انتقالی قبلی با احداث خط لوله جدیـد به طول ۳۶۵ کیلومتر انتقال خواهد یافت. بخش دوم سناریو، انتقال‌آب از سد خرسان ۳ و رودخانه ماربر به کرمان نیز با حجم انتقال آب برابر با ۱۸۰ میلیون متر مکعب با احداث تونلی بـه طـول ۲۱٫۳ کیلـومتر و خط لوله‌ای به طول ۶۵۵ کیلومتر با ۶ مرحله پمپاژ بلند با حجـم زیـاد تا ارتفاع حدود ۱۲۰۰ متر صورت می‌گیرد.

۵- انتقال آب از حوضه‌ی بهشت‌آباد از طریق پمپاژ و تونل کوتـاه از سد بهشت آباد برای استان‌های اصفهان و یزد و از حوضه خرسان-سد خرسان ۳ برای کرمان (A_5)؛ شرایط و ویژگی‌های سـد و سـامانه انتقال آب در بخش اول ایـن سـناریو (انتقـال آب بـرای اسـتان‌هـای اصفهان و یزد از طریق پمپاژ و تونل کوتاه از سد بهشـت‌آبـاد) مشـابه سناریوی ۲ می‌باشد، انتقال‌آب در این بخش با حجم ۴۰۰ میلیون متر مکعب توسط شبکه‌ای تشکیل شده از تونل، خط لوله و پمپاژ از مبداء تا مقصد به ترتیب برای اصفهان (تونل ۷٫۸ کیلومتر، طول لولـه ۶۲٫۸ کیلومتر، ۴ مرحله پمپاژ) و یـزد (تونـل ۶٫۴ کیلـومتر، طـول لولـه۴۳۰ کیلومتر، ۴ مرحله پمپاژ) صورت می‌پذیرد. بخش دوم سـناریو، انتقـال ۱۸۰ میلیون متر مکعب آب تخصیص یافته به اسـتان کرمـان از سـد خرسان ۳ می‌باشد، که این بخش از سـناریو کـاملاً مشـابه سـناریو ۴ است.

۶- انتقال‌آب از حوضه‌ی بهشت‌آباد از طریق پمپاژ و تونل کوتـاه از دبی پایه بهشت‌آباد برای استان‌های اصـفهان و یـزد و از حوضـه‌ی خرسان-سد خرسان ۳ بـرای اسـتان کرمـان (A_6)؛ بخـش اول ایـن سناریو، تامین ۴۰۰ میلیون متر مکعب آب شرب دو استان اصـفهان و یزد از آب موجود معادل ۶۴۷ میلیون متر مکعـب دبـی پایـه رودخانـه بهشت‌آباد پس از تخصیص و کسر نیـاز آبـی طـرح‌هـای بالادسـت و رهاسازی نیاز زیست‌محیطی طرح بهشـت‌آبـاد، بـرای اهـداف شـرب اصفهان و یزد است. در این سامانه بند و آبگیری با ظرفیت بیشینه ۳۰ متر مکعب بر ثانیه بـر روی رودخانـه بهشـت‌آبـاد احـداث مـی‌گـردد. انتقال‌آب توسط سه مرحله پمپاژ از تراز ۱۶۶۰ با خط لوله‌ای به طـول ۴۳ کیلومتر و تونلی آب بر به طول ۵ کیلومتر تا دره منتهی به مخـزن سد کوهرنگ ۳ انجام می‌پذیرد. سامانه در حـال احـداث کوهرنـگ ۳ شامل سد و تونل، آب دریافتی را به رودخانه طبیعی بالادست مخـزن سد زاینده رود هدایت می‌کند. انتقال‌آب سهم یزد از آبگیری در محـل سد چم آسمان واقع در باغ بهادران توسط خط لوله‌ای به طول حـدود ۳۳۵ کیلومتر با دو مرحله پمپاژ در ابتدا و میانه مسیر انجام مـی‌گیـرد. بخش دوم سناریو، انتقال ۱۸۰ میلیون متر مکعب آب تخصیص یافتـه به استان کرمان از سد خرسان ۳ اسـت کـه کـاملاً مشـابه سـناریو ۴ می‌باشد.

۷- انتقال آب از حوضه‌ی گوکان-سد گوکان به استان اصفهان و از حوضه‌ی خرسان-سد خرسان ۳ برای یزد و کرمـان (A_7)؛ در ایـن سناریو خط اول انتقال آب به یزد به میـزان ۹۸ میلیـون متـر مکعـب حذف می‌گردد، بنابراین میزان آب مورد نیاز برای استان اصـفهان بـه

۱۵۰ میلیون متر مکعب کاهش یافته و ۹۸ میلیون متر مکعب به آب مورد نیاز استان یزد اضافه می‌گردد. در بخش اول این سناریو سازه اصلی تنظیم کننده آب یک سد مخزنی به ارتفاع ۱۶۸ متر با حجم مخزن ۱۵۷ میلیون متر مکعب است که در دره گوکان و حوالی روستای وزوه احداث خواهد گردید. در این طرح کل مسیر انتقال شامل: تونل‌های فرعی و اصلی، دو بند انحرافی به ارتفاع حدود ۵ متر و ۳ قطعه تونل با مجموع طول ۶/۹۷ کیلومتر به صورت ثقلی با عبور از مناطق کارستیک و گسله طراحی شده است. در این سناریو انتقال آب به میزان ۱۵۰ میلیون متر مکعب از خروجی آخرین تونل تا محل مصرف آب (تصفیه خانه باباشیخ علی) بر بستر رودخانه زاینده رود در نظر گرفته شده و در صورت نیاز به احداث خط لوله مستقل جهت این انتقال بایستی هزینه های آن جداگانه محاسبه گردد. بخش دوم سناریو، انتقال‌آب از سد خرسان ۳ به دو استان یزد و کرمان می‌باشد که با حجم ۴۳۰ میلیون متر مکعب توسط شبکه‌ای تشکیل شده از تونل، خط لوله و پمپاژ از مبداء تا مقصد به ترتیب برای یزد (تونل ۲۲ کیلومتر، طول لوله ۴۶۲ کیلومتر، ۶ مرحله پمپاژ) و کرمان (تونل ۲۱/۳ کیلومتر، طول لوله ۶۵۵ کیلومتر، ۶ مرحله پمپاژ) انجام می‌پذیرد.

۸- انتقال آب از حوضه‌ی بهشت‌آباد از طریق پمپاژ و تونل کوتاه از دبی پایه بهشت‌آباد برای استان اصفهان و از حوضه‌ی خرسان-سد خرسان ۳ برای استان‌های یزد و کرمان (A_8)؛ در بخش اول سناریو، سامانه‌ای برای برداشت و انتقال سالانه ۲۵۰ میلیون متر مکعب برای تامین کمبود آب شرب اصفهان دیده شده است. بدین منظور بر روی رودخانه بهشت‌آباد بند و آبگیری با ظرفیت بیشینه ۱۴ متر مکعب بر ثانیه احداث می‌گردد که وظیفه برداشت آب از تراز ۱۶۶۰ را برعهده دارد، از این نقطه آب توسط خط لوله‌ای به طول ۴۳ کیلومتر و تونلی آب بر با قطر کم‌تر نسبت به سناریو ۶ به طول ۵ کیلومتر بوسیله سه مرحله پمپاژ انتقال می‌یابد، هدایت آب تا رودخانه طبیعی بالادست مخزن سد زاینده‌رود بوسیله سامانه سد و تونل کوهرنگ ۳ صورت می‌گیرد. بخش دوم انتقال آب از سد خرسان ۳ برای دو استان یزد و کرمان به میزان۳۳۰ میلیون متر مکعب توسط شبکه‌ای تشکیل شده از تونل، خط لوله و پمپاژ از مبداء تا مقصد به ترتیب برای یزد (تونل ۲۲ کیلومتر، طول لوله ۴۶۲ کیلومتر، ۶ مرحله پمپاژ) و کرمان (تونل ۲۱/۳ کیلومتر، طول لوله ۶۵۵ کیلومتر، ۶ مرحله پمپاژ) انجام می‌پذیرد.

معرفی روش تصمیم‌گیری چند معیاره

در این تحقیق، پس از تعیین گروه تصمیم‌گیرندگان و تعیین معیارها و گزینه‌ها، ماتریس معیارها و ماتریس تصمیم‌گیری گروهی تشکیل شد. در ادامه، با استفاده از سه روش تحلیل سلسله مراتبی، روش آنتروپی شانون و روش دیمتل وزن معیارها بدست آمد. سپس، از روش کوپراس برای ارزیابی و اولویت‌بندی سناریوها استفاده شد. شکل ۲ فلوچارت مراحل مدلسازی تحقیق را نشان می‌دهد.

روش وزن‌دهی (AHP)

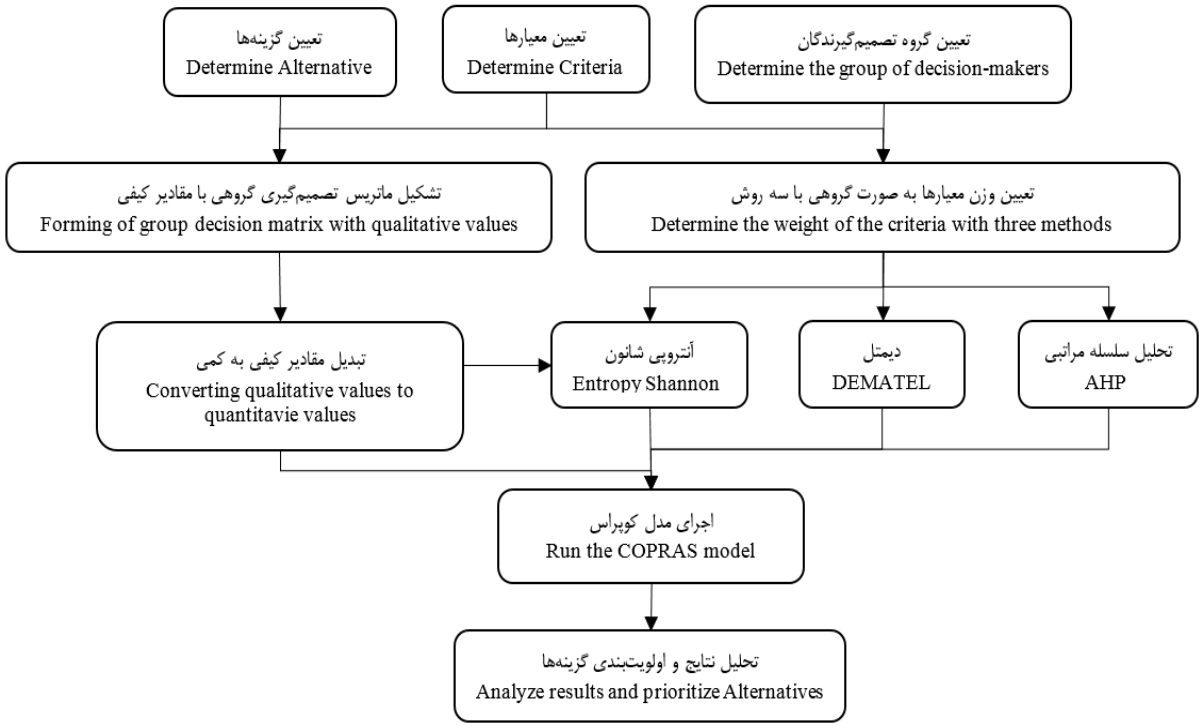
این روش توسط محققی به نام توماس-ال-ساعتی عراقی الاصل، در سال ۱۹۸۰ میلادی ارائه شد (۱۶). روش تحلیل سلسله مراتبی در زمانی که تصمیم‌گیری با چند گزینه و معیار تصمیم‌گیری مواجه است می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. این نوع روش تصمیم‌گیری بر پایهٔ مقایسات زوجی با در نظر گرفتن کمی و کیفی بودن معیارهای مورد نظر است. در این تحقیق، به‌منظور بدست آوردن وزن معیارها و اولویت‌بندی آن‌ها بر اساس اهمیّت هر کدام از معیارها از این روش استفاده شده است. مراحل محاسبات برای بدست آوردن وزن معیارها به شکل زیر است:

مرحله ۱- در این مرحله عناصر هر سطح نسبت به سایر عناصر مربوط خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه می‌شود و ماتریس‌های مقایسه زوجی تشکیل می‌گردد. تخصیص امتیازهای عددی مربوط به مقایسه زوجی اهمیّت دو معیار، بر اساس جدول ۱ صورت می‌گیرد.

جدول ۱- مقیاس مقایسات زوجی (Saaty, 1980)

Table 1- Scale for pairwise comparisons (Saaty, 1980)

معادل لفظی Verbal equivalent	اهمیّت مساوی Equal importance	نسبتاً با اهمیّت‌تر Moderate importance	با اهمیّت‌تر Strong importance	بسیار با اهمیّت‌تر Very strong or demonstrated Importance	مطلقاً با اهمیّت‌تر Extreme importance	مقادیر بینابین Intermediate values
درجه Degree	1	3	5	7	9	2,4,6,8



شکل ۲- فلوچارت تحقیق

Figure 2- Research Flowchart

مرحله ۲- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی تجمیع شده از نظرات گروهی خبرگان: هر عنصر در ماتریس نهایی از میانگین هندسی عناصر ماتریس پاسخ دهندگان طبق رابطه (۱) به‌دست می‌آید.

$$a_{ij} = \left(\prod_{l=1}^{k} a_{ijl}\right)^{\frac{1}{k}} = \sqrt[n]{1 \times 2 \times 3 \times \dots \times n} \qquad i,j = 1,2,\dots,n;\ i \neq j \qquad l = 1,2,\dots,k \quad (۱)$$

در این رابطه، k و n تعداد معیار، a_{ij} درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی و l تعداد تصمیم گیرندگان می‌باشد.

مرحله ۳- محاسبه وزن نسبی با استفاده از روش میانگین هندسی: روش‌های مختلفی برای محاسبه وزن نسبی براساس ماتریس مقایسه زوجی وجود دارد. در این پژوهش، برای بدست آوردن وزن معیارها از بین روش‌های موجود، روش میانگین هندسی استفاده شده است. گام‌های محاسبه وزن معیارها به صورت زیر است:

- میانگین هندسی عناصر هر سطر از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. نرمال شده بردار حاصل، بردار وزن خواهد بود.

$$a_{ij} = \left(\prod_{j=1}^{k} a_{ij}\right)^{\frac{1}{k}} = \sqrt[n]{1 \times 2 \times 3 \times \dots \times n} \qquad i,j = 1,2,\dots,n;\ i \neq j \quad (۲)$$

در این رابطه، k و n تعداد معیار، a_{ij} درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی می‌باشد.

- برای تعیین بردار نرمال شده (بردار وزن) از رابطه (۳) استفاده می‌شود: در این رابطه، l_n درایه‌های بردار حاصل شده از رابطه (۲) می‌باشد.

$$W_i = \frac{l_n}{\sum_{i=1}^{n} l_n} \quad (۳)$$

مرحله ۴- محاسبه نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی: یکی از مزایای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کنترل سازگاری تصمیم است، نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی با اعمال وزن عناصر سازنده سلسله مراتبی محاسبه می‌شود. به طور خلاصه نحوه تعیین نرخ ناسازگاری به شرح زیر است:

۱- تشکیل مارتیس مقایسه زوجی (A)

۲- محاسبه بردار وزن (W_i)

۳- ضرب بردار وزن در ماتریس A

۴- طبق رابطه $A \times W = \lambda . W$ برای محاسبه مقادیر ویژه (λ)، حاصل ضرب مرحله ۳ بر بردار وزن (W_i) تقسیم می‌شود.

۵- با میانگین‌گیری از مقادیر λ بزرگترین مقدار ویژه (λ_{max}) تخمین زده می‌شود.

۶- با استفاده از رابطه (۴) شاخص ناسازگاری محاسبه می‌شود: در این رابطه n تعداد معیارها می‌باشد.

$$I.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (۴)$$

۷- با استفاده از رابطه (۵) و یا جدول ۲ شاخص ناسازگاری تصادفی محاسبه می‌شود:

$$R.I.I = 1.98\,\frac{n-2}{n} \quad (۵)$$

جدول ۲- شاخص تصادفی R.I.I (الونسو و لاماتا، ۲۰۰۶)

Table 2- Random Index R.I.I (Alonso & Lamata, 2006)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.52	0.88	1.10	1.24	1.34	1.4	1.44	1.48	1.51	1.53	1.55	1.57	1.58

۸- با استفاده از رابطه (۶) نرخ ناسازگاری محاسبه می‌شود: دراین مرحله، نتیجه نرخ ناساگاری محاسبه شده اگر ۰/۱ و یا کمتر از آن باشد ماتریس تصمیم کاملاً سازگار بوده و قضاوت ها منطقی می‌باشد در غیر این صورت بایستی به کارشناسان مورد نظر مراجعه و تغییری در نظرات ایجاد گردد.

$$I.R = \frac{I.I}{R.I.I} \qquad (۶)$$

روش دیمتل (DEMATEL)

روش آزمایشگاه ارزیابی و آزمون تصمیم‌گیری (DEMATEL)، برای اولین بار بین سال‌های ۱۹۷۲ تا ۱۹۷۶ توسط فونتلا و گابوس به کار برده شد (۴). به طور عمده از این روش برای شناسایی و بررسی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری معیارها، مشخص کردن روابط علّت و معلولی و اولویت‌بندی آن‌ها استفاده می‌شود. مراحل محاسبات در این روش به شرح زیر می‌باشد:

مرحله ۱- محاسبه ماتریس میانگین: در این مرحله، از پاسخ دهنگان خواسته می‌شود تا بر طبق قضاوتشان، اثر مستقیم میان عناصر را مطابق طیف لیکرت (جدول ۳) ارزیابی کنند. هر عنصر در ماتریس نهایی از میانگین حسابی عناصر ماتریس‌های مختلف پاسخ دهندگان به‌دست می‌آید.

جدول ۳- مقیاس زبانی برای اثر معیارها (Kamalian, 2015)

Table 3- Linguistic scale for influence of criteria (Kamalian, 2015)

اصطلاح زبانی Linguistic term	بدون تأثیر No influence	تأثیر بسیار کم Very Low influence	تأثیر کم Low influence	تأثیر زیاد High influence	تأثیر بسیار زیاد Very high influence
درجه Degree	0	1	2	3	4

مرحله ۲- محاسبه ماتریس اثر مستقیم اولیه: ماتریس اثر مستقیم اولیه ($Z_{n\times n}$) از تجمیع نظرات خبرگان تشکیل می‌شود:

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & \cdots & z_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & \cdots & z_{nm} \end{bmatrix}$$

Z_{nm} در ماتریس اثر مستقیم اولیه، درایه ماتریس ارتباط مستقیم برای معیار n در معیار m می‌باشد.

مرحله ۳- ماتریس بی مقیاس شده حاصل از ماتریس ارتباط Z با X نام‌گذاری شده و از طریق رابطه (۷) محاسبه می‌گردد.

$$X = {}^{Z}/_{r} \quad r = \max_{1\le i\le n}\left[\sum_{j=1}^{n} Z_{ij}\right] \quad i,j = 1,2,\ldots,n \qquad (۷)$$

در این رابطه، Z_{ij} مقادیر درایه‌های ماتریس اثر مستقیم اولیه می‌باشد که i سطرها و j ستون‌ها را نشان می‌دهد.

مرحله ۴- هنگامی که ماتریس X یعنی ماتریس بی مقیاس شده ماتریس ارتباط محاسبه شد، ماتریس ارتباط کل با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می‌شود که در آن I ماتریس همانی است.

$$T = X(I - X)^{-1} \qquad (۸)$$

مرحله ۵- تحلیل نتایج اثرها و روابط: با توجه به ماتریس روابط کلی (T)، مجموع ستون‌ها (C_j) و مجموع ردیف‌ها (R_i)، محاسبه می‌شود. اگر i=j باشد، مقدار ($R_i + C_j$) میزان تأثیر و تأثر شاخص i می‌باشد. به عبارت دیگر هر چه مقدار ($R_i + C_j$) بیشتر باشد، آن شاخص تعامل بیشتری با سایر شاخص‌ها دارد و نشان‌دهنده درجه اهمیّتی است که پارامتر i در سیستم دارد. این مقدار را برتری یا تأثیر می‌نامند. بردار عمودی ($R_i - C_j$) قدرت تاثیرگذاری شاخص i و علّت و معلولی بودن آن را نشان می‌دهد.

مرحله ۶- تعیین مقدار آستانه (a): جهت ترسیم نمودار علّت و معلولی باید مقدار آستانه تعیین گردد. تنها روابطی که مقادیر آن‌ها در ماتریس نفوذ کامل از مقدار آستانه بزرگتر باشد در نمودار علّت و معلولی رسم می‌گردند. میانگین عناصر ماتریس نفوذ از رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}[t_{ij}]}{N} \quad ; i,j \in \{1,\ldots,n\} \qquad (۹)$$

در این رابطه، N تعداد درایه های ماتریس ارتباط کل و t_{ij} مجموع

مقادیر سطر i و ستون j ماتریس ارتباط کل می‌باشد.

مرحله ۷- تشکیل ماتریس تعیین ارتباط میان معیارها: به منظور ترسیم نمودار علّی و معلولی پس از تعیین مقدار آستانه، تمامی مقادیر ماتریس T که کوچکتر از مقدار آستانه باشد صفر (یعنی آن رابطه علّی در نظر گرفته نمی‌شود) و بقیه یک قرار داده می‌شود.

مرحله ۸- تعیین وزن معیارها (W_i): پس از تعیین مقادیر ماتریس T، وزن نرمالایز شده هر کدام از معیارها از ستون (R_i+C_j) و با استفاده میانگین حسابی محاسبه می‌شود.

روش آنتروپی شانون (Entropy Shannon)

آنتروپی یک مفهوم عمده در علوم فیزیکی، علوم اجتماعی، و تئوری اطلاعات می‌باشد به طوری که نشان‌دهنده مقدار عدم اطمینان موجود از محتوای مورد انتظار اطلاعاتی از یک پیام است. به لفظ دیگر آنتروپی در تئوری اطلاعات معیاری است برای مقدار عدم اطمینان بیان شده توسط یک توزیع احتمال گسسته (P_i) به طوری که این عدم اطمینان، در صورت پخش بودن توزیع، بیشتر از موردی است که توزیع فراوانی تیزتر باشد (۶). مراحل زیر برای بدست آوردن وزن معیارها بر اساس مقادیر پراکندگی صورت می‌گیرد.

مرحله ۱- ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری که سطرهای آن گزینه‌ها و ستون‌های آن معیارها می‌باشد. در این گام از ماتریس تصمیم‌گیری تجمیع شده از نظرات خبرگان استفاده می‌شود. مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری R_{ij} که نسبت ارجحیت گزینه i نسبت به معیار j را نشان می‌دهد پس از تبدیل مقادیر کیفی به کمّی و محاسبه میانگین حسابی بدست می‌آید.

مرحله ۲- بی‌مقیاس سازی ماتریس تصمیم‌گیری: با استفاده از رابطه (۱۰) ماتریس تصمیم‌گیری نرمالایز شده و به صورت P_{ij} بدست می‌آید. بی‌مقیاس‌سازی به این صورت است که درایه هر ستون بر مجموع ستون تقسیم می‌شود.

$$P_{ij} = \frac{R_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} R_{ij}} \; ; \forall i \, , j \qquad (۱۰)$$

در این رابطه، i نشان دهنده سطرها و j نشان‌دهنده ستون ماتریس تصمیم‌گیری می‌باشد.

مرحله ۳- محاسبه آنتروپی هر شاخص: آنتروپی (E_j) با رابطه (۱۱) محاسبه می‌گردد که در این رابطه j نشان دهنده ستون ماتریس تصمیم‌گیری نرمالایز شده، k به عنوان مقدار ثابت و m تعداد گزینه‌ها است که از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^{m} [P_{ij} . \mathrm{Ln}\, P_{ij}]; \; \forall j, k \qquad (۱۱)$$

$$k = \frac{1}{\mathrm{Ln} m} \qquad (۱۲)$$

مرحله ۴- مقدار عدم اطمینان و یا درجه انحراف d_j با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود که بیان می‌کند شاخص مربوطه (d_j) چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد. هر چه مقادیر اندازه‌گیری شده شاخصی به هم نزدیک باشد، نشان‌دهنده آن است که گزینه‌های رقیب از نظر آن شاخص تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند.

$$d_j = 1 - E_j \; ; \; \forall j \qquad (۱۳)$$

مرحله ۵- وزن (W_j) هر معیار با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j} \; ; \; \forall j \qquad (۱۴)$$

روش تصمیم‌گیری کوپراس

این روش توسط زاوداسکاس و همکاران در سال ۱۹۹۴ معرفی شد (۱۷). روش COPRAS بهترین گزینه را از بین گزینه‌های دیگر تعیین می‌کند. در این روش برای ارزیابی ارزش، هر دو شاخص کمینه و بیشینه مورد استفاده قرار می‌گیرد و تأثیر شاخص‌های کمینه و بیشینه روی ارزیابی نتایج به صورت جداگانه در نظر گرفته می‌شود (۴). مراحل روش کوپراس به صورت زیر است:

مرحله ۱- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری تجمیع شده نظرات خبرگان: در این ماتریس گزینه‌ها و شاخص‌ها بیان می‌شود که براساس اطلاعات دریافتی از تصمیم‌گیرندگان و تخصیص امتیازهای کیفی و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی مربوط به مقایسه گزینه‌ها نسبت به هر کدام از معیارها، بر اساس جدول ۴ صورت می‌پذیرد. هر عنصر در ماتریس نهایی پس از تبدیل اعداد کیفی به کمی، از میانگین حسابی عناصر ماتریس‌های مختلف پاسخ دهندگان به‌دست می‌آید.

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nm} \end{bmatrix} ; i = \overline{1,n} \text{ and } j = \overline{1,m}$$

در این ماتریس، X_{ij} درایه‌ی ماتریس تصمیم برای گزینه i در معیار j می‌باشد.

جدول ٤- امتیاز زبانی برای معیارها

Table 4- Linguistic rating for criteria

خیلی‌کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی‌زیاد
Very low	Low	Medium	High	Very high
1	3	5	7	9

مرحله ۲- بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم: جهت بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم از رابطه (۱۵) استفاده می‌گردد:

$$\overline{X}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} X_{ij}} ; i = \overline{1,n} \text{ and } j = \overline{1,m} \qquad (۱۵)$$

در این رابطه، X_{ij} مقادیر درایه های ماتریس تصمیم‌گیری گزینه i در معیار j می‌باشد.

مرحله ۳- تعیین مقادیر ماتریس بی مقیاس وزین: با استفاده از رابطه زیر، ماتریس وزن‌دار بدست می‌آید:

$$\widehat{X}_{ij} = \overline{X}_{ij} \cdot W_i; i = \overline{1,n} \text{ and } j = \overline{1,m}, \quad (۱۶)$$

در این رابطه، W_i وزن معیارها $[W_1,W_2,\ldots,W_n]$ می‌باشد.

مرحله ۴- تعیین ارزش نهایی شاخص‌ها: برای تعیین ارزش نهایی شاخص‌ها ابتدا باید نوع منفی یا مثبت بودن معیارها مشخص گردد. منظور از معیار مثبت، معیاری است که افزایش آن باعث بهتر شدن شرایط می‌شود و معیار منفی معیاری است که کاهش آن به صرفه‌تر و در نتیجه باعث بهتر شدن شرایط می‌شود. سپس، با در نظر گرفتن نوع منفی یا مثبت بودن شاخص‌ها، ارزش نهایی هر شاخص از روابط (۱۷) و (۱۸) بدست می‌آید:

$$P_{+i} = \sum_{j=1}^{k} \widehat{X}_{ij} \quad ;i = 1,2,\ldots,m \quad (۱۷)$$

$$R_{-i} = \sum_{j=k+1}^{m} \widehat{X}_{ij} \quad ;i = 1,2,\ldots,m \quad (۱۸)$$

در این روابط، k تعداد معیارهای مثبت در رابطه (۱۷) و m-k تعداد معیارهای منفی در رابطه (۱۸) می‌باشند و P_i و R_i نیز با توجه به نوع مثبت و منفی بودن معیار، ارزش نهایی معیار i می‌باشد.

مرحله ۵- تعیین کمترین مقدار بدست آمده از رابطه (۱۸):

$$R_{min} = \min_i R_i; i = \overline{1,n}; \quad (۱۹)$$

مرحله ۶- رتبه بندی نهایی گزینه‌ها: مقدار ارزش نهایی هر یک از گزینه‌ها از طریق یکی از روابط (۲۰) و (۲۱) محاسبه می‌شود:

$$Q_i = P_i + \frac{R_{min}\sum_{i=0}^{n} R_i}{R_i \sum_{i=0}^{n} \frac{R_{min}}{R_i}} \quad (۲۰)$$

$$Q_i = P_i + \frac{\sum_{i=0}^{n} R_i}{R_i \sum_{i=0}^{n} \frac{1}{R_i}} \quad (۲۱)$$

مرحله ۷- تعیین بیشترین مقدار بدست آمده از مرحله (۶):

$$K = \max_i Q_i; i = \overline{1,n}; \quad (۲۲)$$

مرحله ۸- محاسبه درصد امتیاز هر گزینه و رتبه بندی آن‌ها با استفاده از رابطه (۲۳):

$$N_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} \times 100\%. \quad (۲۳)$$

در این رابطه، Q_i و Q_{max} به ترتیب مقدار بدست آمده و بیشترین مقدار بدست آمده از مرحله (۷) می‌باشد.

نتایج و بحث

در این مطالعه، از روش کوپراس با سه تکنیک متفاوت وزن‌دهی برای اولویت‌بندی سناریوهای انتقال آب بین حوضه‌ای به فلات مرکزی ایران استفاده شد. در این روش پس از تعیین معیارها و همچنین سناریوها، و تعیین طیف‌های موردنظر که در بخش روش‌شناسی تحقیق به آن‌ها پرداخته شد، از ۱۰ تصمیم‌گیرنده خواسته شد تا پرسشنامه‌های معیارها و همچنین ماتریس تصمیم‌گیری نهایی را با توجه به طیف‌های مورد نظر پاسخ دهند. این تصمیم گیرندگان عمدتا از وزارت نیرو، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران و شرکت مدیریت منابع آب ایران بوده‌اند و معیار انتخاب ایشان بر مبنای سابقه کار، تسلط و آشنایی با این طرح و ابعاد مختلف فنی آن بوده است. در ادامه، پس از تبدیل مقادیر کیفی به کمی، ماتریس تصمیم‌گیری نهایی از تجمیع نظرات تصمیم‌گیرندگان با استفاده از میانگین حسابی طبق جدول ۵ تشکیل شد. سپس، ماتریس‌های معیارها به صورت کمی از تجمیع نظرات تصمیم-گیرندگان با استفاده از روابط هر یک از روش‌ها بدست آمد. در این مطالعه، ابتدا از ماتریس تصمیم‌گیری نهایی تجمیع شده از نظرات تصمیم‌گیرندگان (جدول ۵) برای بدست آوردن وزن معیارها در روش آنتروپی شانون استفاده شد و با استفاده روابطی که در بخش روش شناسی به آن پرداخته شد وزن معیارها محاسبه گردید. در ادامه، از ماتریس مقایسه زوجی تشکیل شده از نظرات تصمیم‌گیرندگان (جدول۶) برای روش تحلیل سلسله مراتبی و محاسبه نرخ ناسازگاری استفاده و وزن معیارها تعیین شد. روش تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که ماتریس مقایسه زوجی تعیین شده برای بدست آوردن وزن معیارها با نرخ ناسازگاری ۰/۰۵۷ سازگار و منطقی است. در ادامه، به‌منظور تعیین وزن معیارها، بدست آوردن میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری و علّت و معلولی بودن معیارها از روش دیمتل استفاده شد. در این روش ابتدا ماتریس مقایسه زوجی تصمیم‌گیرندگان طبق جدول ۷ تشکیل و در ادامه با استفاده از روابط، وزن معیارها بدست آمد.

به طور کلی جدول ۹ نتایج روش‌های وزن دهی را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، نتایج وزن‌دهی از روش تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که معیار ریسک‌های فنی و صعوبت اجراء با بیشترین وزن دارای اهمیّت بیشتر نسبت به سایر معیارها و معیار مشکلات زیست‌محیطی با کمترین وزن، کم اهمیّت ترین معیار است. در ادامه وزن‌دهی با روش دیمتل انجام شد و نتایج اثرها و روابط در قالب جدول ۸ بدست آمد.

جدول ۵- ماتریس تصمیم‌گیری نهایی

Table 5– Pairwise comparison matrix for AHP Method

نوع معیار Criteria type	(-)	(-)	(-)	(-)
	C_1	C_2	C_3	C_4
A_1	6.1429	5.2857	4.7143	33691
A_2	8.4286	6.4286	7.8571	42553
A_3	4.4286	4.7143	4.7143	41808
A_4	5.5714	6.7143	4.4286	33968
A_5	7.8571	5.5714	5.8571	38713
A_6	3.2857	3.2857	4.7143	38730
A_7	3.5714	3.5714	3.5714	33571
A_8	2.4286	3.2857	3.2857	43385

جدول ٦- ماتریس مقایسه زوجی برای روشAHP

Table 6- Pairwise comparison matrix for DEMATEL Method

معیار Criterion	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1	1	3.620	5.924	2.904
C_2	0.276	1	4.272	0.530
C_3	0.169	0.234	1	0.370
C_4	0.344	1.886	2.704	1

جدول ۷- ماتریس مقایسه زوجی برای روش DEMATEL

Table 7- The Final decision making matrix

معیار Criterion	C1	C2	C3	C4
C1	0	0.286	1.143	3.143
C2	1.857	0	1.429	1.714
C3	1.571	1.286	0	1.429
C4	0.714	0.714	1.000	0

جدول ۸- ماتریس اثرها و روابط

Table 8- Matrix of Influences and Relationships

معیار Criterion	C_j	R_i	(R_i+C_j)	رتبه RANK	(R_i-C_j)	رتبه RANK	W_i	رتبه RANK
C_1	3.415	3.290	6.706	2	0.125	3	0.250	2
C_2	4.091	2.138	6.228	4	1.953	1	0.232	4
C_3	3.635	3.064	6.699	3	0.571	2	0.249	3
C_4	2.285	4.934	7.219	1	-2.649	4	0.269	1

نتایج در این روش با در نظر گرفتن نمودار علّت و معلولی و نیز مقادیر تأثیرگذاری و تأثیرپذیری معیارها، نشان داد که معیار ریسک-های فنی و صعوبت اجراء (C_1)، با توجه به تعامل متوسط به بالا با سایر معیارها و همچنین اثرگذاری و اثرپذیری متوسط رتبه دوم را دارد و یک معیار علّت است، معیار مشکلات سیاسی و اجتماعی (C_2)، به دلیل تعامل حداقل با سایر عوامل در رتبه چهارم قرار دارد و به دلیل اثرگذاری بیشتر بر روی عوامل دیگر یک معیار علّت محسوب می‌شود، همچنین معیار مشکلات زیست محیطی (C_3)، به دلیل تعامل متوسط، در رتبه سوم قرار می‌گیرد و بدلیل اثرگذاری و اثرپذیری بیشتر یک معیار علّت می‌باشد و درآخر نیز معیار قیمت تمام شده هر متر مکعب آب (C_4)، با در نظر گرفتن تعامل بیشتر و اثرپذیری بیشتر از سایر عوامل، در رتبه نخست است و یک معیار معلول محسوب می‌گردد. در ادامه وزن معیارها از روش آنتروپی شانون نیز محاسبه شد. نتایج این روش نشان داد که معیار قیمت تمام شده هر متر مکعب آب (C_4) با داشتن کمترین مقدار وزن (W_j) و بیشترین مقدار E_j دارای اثرگذاری یکسان برای کلیه گزینه‌ها و کم

اهمیّت ترین معیار برای تعیین سناریوها می‌باشد و معیار ریسک‌های فنی و صعوبت اجراء (C_1)، با داشتن بیشترین مقدار وزن و کمترین مقدار E_j اثرگذارترین و با اهمیّت‌ترین معیار می‌باشد. به طور کلی نتایج بدست آمده از روش‌های وزن‌دهی نشان می‌دهد که رتبه‌بندی معیارها با تغییر در روش وزن‌دهی تغییر پیدا می‌کند که این نتیجه به ساختار و اصول روش‌ها برمی‌گردد که هرکدام براساس اهمیّت، تأثیرگذاری و تأثیرپذیری و همچنین براساس وضعیت سناریوها از لحاظ هر کدام از معیارها تعیین می‌شوند.

در ادامه این تحقیق، به منظور انتخاب گزینه برتر از بین سناریوهای مورد نظر از روش کوپراس استفاده شد. در این روش بنا به‌دلیل وجود ۳ روش برای وزن‌دهی، ۳ نوع ماتریس تصمیم‌گیری برای رتبه‌بندی نهایی ایجاد گردید. جدول ۱۰ نتایج نهایی رتبه‌بندی گزینه‌ها را به تفکیک با هر یک از روش‌های وزن‌دهی نشان می‌دهد.

جدول ۹- رتبه‌بندی نهایی معیارها

Table 9- Final ranking of criteria

معیار Criteria	وزن تحلیل سلسله مراتبی AHP weight	رتبه Rank	وزن دیمتل Dematel weights	رتبه Rank	وزن آنتروپی شانون Entropy Shannon weights	رتبه Rank
C_1	0.541	1	0.250	2	0.5030	1
C_2	0.171	3	0.232	4	0.2330	2
C_3	0.067	4	0.249	3	0.2305	3
C_4	0.221	2	0.269	1	0.0334	4

جدول ۱۰- رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

Table 10- Final Ranking of alternatives

سناریو Scenario	Entropy-COPRAS (N_i%)	رتبه Rank	AHP-COPRAS (N_i%)	رتبه Rank	Dematel-COPRAS (N_i%)	رتبه Rank
A_1	53.2565	5	61.2884	6	72.8180	5
A_2	38.2379	8	45.6292	8	52.8571	8
A_3	64.1004	4	71.2182	4	76.7488	4
A_4	53.2468	6	61.9298	5	70.8633	6
A_5	43.7898	7	50.4528	7	61.4535	7
A_6	80.0236	3	89.0615	3	90.1728	3
A_7	81.9398	2	89.7575	2	98.1477	2
A_8	100.0000	1	100.0000	1	100.0000	1

با توجه به نتایج روش کوپراس با وزن‌های بدست آمده از سه روش متفاوت، سناریوی ششم با عنوان انتقال‌آب از حوضه‌ی بهشت‌آباد از طریق پمپاژ و تونل کوتاه از دبی پایه بهشت‌آباد برای استان‌های اصفهان و یزد و از حوضه‌ی خرسان-سد خرسان ۳ برای استان کرمان، رتبه سوم را با هر سه روش وزن‌دهی آنتروپی، تحلیل سلسله مراتبی و دیمتل با درصدهای به ترتیب ۸۰/۰۲، ۸۹/۰۶، ۹۰/۱۷ کسب کرد و سناریوی هفتم با عنوان انتقال آب از حوضه‌ی گوکان-سد گوکان به استان اصفهان و از حوضه‌ی خرسان-سد خرسان ۳ برای یزد و کرمان، رتبه دوم را با هر سه روش وزن‌دهی با درصدهای به‌ترتیب ۸۱/۹۳۹، ۸۹/۷۵۷، ۹۸/۱۴۷ بدست آورد و سناریوی هشتم با عنوان سناریوی انتقال آب از حوضه‌ی بهشت‌آباد از طریق پمپاژ و تونل کوتاه از دبی پایه بهشت‌آباد برای استان اصفهان و از حوضه‌ی خرسان-سد خرسان ۳ برای استان‌های یزد و کرمان، سناریوی برتر و مناسب‌ترین گزینه برای انتقال آب به فلات مرکزی ایران شناخته شد. اما همان طور که در نتایج رتبه‌بندی مشاهده می‌شود به جز سناریوهای پنج تا هشتم و سناریوی دوم باقی رتبه‌های سناریوها با توجه به وزن‌های متفاوت از روش های مختلف تغییر پیدا می‌کنند که این نیز به دلیل تغییر در مقادیر وزنی بدست آمده از سه روش متفاوت و همچنین ساختار هر کدام از روش‌ها می‌باشد که در تحلیل نتایج معیارها به آن پرداخته شد.

نتیجه‌گیری

حوضه‌ی فلات مرکزی ایران که از لحاظ مساحت بزرگترین حوضه‌ی آبریز کشور محسوب می‌شود، در طی چند دهه اخیر با توجه به افزایش و پراکندگی جمعیت و توسعه فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی با مشکل جدی کمبود آب شرب مواجه شده است. در صورتی که روش های مؤثرتر بویژه مدیریت تقاضا و بارچرخانی پساب در حوضه‌های مقصد امکان تأمین کمبودها را میسر نسازد، یکی از راه‌کارهای نهایی برای مقابله با این کمبود انتقال آب بین‌حوضه‌ای می‌باشد. با توجه به پیچیده بودن این طرح‌ها از نظر مسائل اقتصادی، فنی، اجتماعی، زیست‌محیطی و قانونی اجرای این طرح‌ها با مشکلات

بیشتری مواجه بوده و تصمیم‌گیری در مورد آن‌ها به مراتب سخت‌تر است. در این مطالعه، برای انتقال آب بین‌حوضه‌ای به فلات مرکزی ایران و تامین کمبود ۵۸۰ میلیون متر مکعب آب شرب استان‌های اصفهان، یزد و کرمان، هشت سناریو با در نظر گرفتن چهار معیار ریسک‌های فنی و صعوبت اجراء، مشکلات سیاسی و اجتماعی، مشکلات زیست محیطی و قیمت تمام شده هر متر مکعب آب انتخاب شد. در ادامه، از سه روش آنتروپی شانون، تحلیل سلسله مراتبی و دیمتل برای وزن‌دهی و از روش کوپراس برای اولویت‌بندی سناریوها استفاده شد. نتایج کلی به دست آمده از مدل کوپراس با سه روش متفاوت وزن‌دهی نشان داد که سناریوی هشتم با عنوان سناریوی انتقال آب از حوضه‌ی بهشت‌آباد از طریق پمپاژ و تونل کوتاه از دبی پایه بهشت‌آباد برای استان اصفهان و از حوضه‌ی خرسان–سد خرسان ۳ برای استان‌های یزد و کرمان، رتبه نخست و به عنوان سناریوی برتر و مناسب‌ترین گزینه برای انتقال آب به فلات مرکزی ایران است. با توجه به کارایی این روش در رتبه‌بندی و ارزیابی کامل گزینه‌ها و نشان دادن آن بر اساس درصد، می‌توان از این روش در تصمیم‌گیری‌های پیچیده منابع‌آب که اغلب با تضاد معیارها و کمی و کیفی بودن آن‌ها مواجه است و حل کردن آن‌ها را مشکل می‌سازد، استفاده کرد. قطعا انتقال آب بین حوضه ای پیشنهاد محققین این تحقیق نیست لیکن نشان داده شد که در صورت نیاز به این راهکار استفاده از رویکردهای تصمیم‌گیری چند شاخصه جدید می‌تواند به انتخاب مؤثرتر طرح با لحاظ معیارهای مختلف توسعه پایدار کمک نماید. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، نتایج حاصله از این تحقیق با دیگر روش‌های مرسوم و جدید تصمیم‌گیری چند معیاره مقایسه شود و همچنین جهت تعیین معیارها و استراتژی‌های مؤثر انتقال آب از روش‌های معتبری مانند روش آنالیز SWOT[1] استفاده شود. لازم به ذکر است که با هدف تحلیل عدم قطعیت در ارزیابی‌های کیفی صورت گرفته توسط تصمیم‌گیرندگان، محققین پژوهش حاضر در حال توسعه مدل با قابلیت در نظر گرفتن مقادیر معیارها به صورت فازی و بازه‌ای نیز می‌باشند.

منابع

1- Alonso J., and Lamata M.T. 2006. Consistency in the Analytic Hierarchy Process: a New Approach. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems 14: 445-459.
2- Abed-Elmdoust A., and Kerachian R. 2013. Potential for cooperation in inter basin transfers of water: Economic and political perspectives. 6th International Perspective on Water Resources and the Environment (IPWE), Izmir-Turkey.
3- Azarnivand A., Hashemi-Madani FS., and Banihabib ME. 2015. Extended fuzzy analytic hierarchy process approach in water and environmental management (case study: Lake Urmia Basin, Iran). Environmental Earth Sciences 73(1): 13-26.
4- Ataei M. 2016. Multi-criteria Decision Making. Shahrood University of Technology Press, 342 pp.
5- Alinezhad A., Khalili J. 2017. Multiple Attribute Decisions Making. Amirkabir Industrial University Jihad Press. 80 pp.
6- Asgharpour M.J. 2018. Multiple Criteria Decisions Making. University of Tehran Press.
7- Cox WE. 1999. Determining when interbasin water transfer is justified: criteria for evaluation. Proceedings, International Workshop on Interbasin Water Transfer, UNESCO, Paris, pp. 173-178.
8- Calizaya A., Meixner O., Bengtsson L., and Berndtsson R. 2010. Multi-criteria decision analysis (MCDA) for integrated water resources management (IWRM) in the Lake Poopo Basin, Bolivia. Water Resources Management 24(10): 2267-89.
9- Fazlollahi H., Fattahi R., and Ebrahimi K. 2017. The Impact of Inter basin Water Transfer on the Economic Value of Water. Second National Conference on Hydrology of Iran. (In Persian)
10- Kefayati M., Saghafian B., Ahmadi A., and Babazadeh H. 2018. Empirical evaluation of river basin sustainability affected by inter-basin water transfer using composite indicators. Water and Environment Journal 32(1): 104-11.
11- Kamalian A. 2015. Identify and Ranking Key Indicators Performance of Green Supply Chain Using Combinational Method DEMATEL and ANP With Fuzzy Approach (The Case Food Industry in Iran). International Journal of Business and Development Studies Pp 116-136.
12- Mohammadi F., Fatahi R., Samadi Boroujeni H., and Javadi M. 2012. Assessment of the sensitivity of environmental and social criteria in the ranking of suggested alternatives for the Beheshtabad inter-basin Water Transfer Project using the AHP method. National Conference on Inter-basin Water Transfer (Challenges and Opportunities). (In Persian)

1- Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats

13- Razavi Toosi S., Samani J.M.V., and Koorehpazan Dezfuli A. 2007. Ranking Inter-basin Water Resources Projects Using Fuzzy Multiple Attribute Group Decision Making Method. Iran Water Resources Research 3(2): 1-9. (In Persian with English abstract)
14- 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(12): 3581-99.
15- Raoofi y., Shorian M., and Attari C. 2014. Designing the Dimensions of Interconnecting Water Transfer System in terms of Decision-making Indicators in Origin and Destination Basins. Iran Water Resources Research 11(1): 60-49. (In Persian with English abstract)
16- Saaty T.L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill.
17- Zavadskas EK., Kaklauskas A., and Sarka V. 1994. The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. Technological and Economic Development of Economy 1(3): 131-9.
18- Zarghami M., Szidarovszky F., and Ardakanian R. 2009. Multi-attribute decision making on inter-basin water transfer projects. Scientia Iranica. Transaction E, Industrial Engineering 16(1): 73-80.
19- Zhu JW., Zhou LN., Zhai Z., and Wang C. 2016. Financing Model Decision of Inter-basin Water Transfer Projects. Frontiers of Engineering Management 4:013.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 2, May-June 2020, p. 317-332

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۹، ص. ۳۳۲-۳۱۷

Evaluation of Inter-basin Water Transfer Project Scenarios to Central Plateau of Iran Employing COPRAS Multi-criteria Decision Making Method

H. Ghased[1]- A. Roozbahani[2*]- M. Hashemy Shahedany[3]

Received: 08-07-2019
Accepted: 09-02-2020

Introduction: Inter-basin water transfer projects include essential, various, complex parameters where mostly have a qualitative inherent. Making an appropriate decision on these projects have not been convenient due to diverse impacts and effectiveness of the parameters as well as irregular and qualitative intrinsic of the criteria. The main objective of this study is the evaluating and prioritizing of the practical inter-basin water transfer scenarios to Central Plateau of Iran employing three approaches of the analytic hierarchy process (AHP), DEMATEL and Shannon Entropy, and proposing this approach for decision making in water resources.

Materials and Methods: In this study to supply municipal water consumption deficit of 580 Million cubic meters for three provinces of Esfahan, Yazd, and Kerman, eight practical inter-basin water transfer scenarios were selected. The scenarios transfer water from the great Karun watersheds, including Behesht-Abad, Bazoft, Khersan, and Gukan basins, to the mentioned provinces located in the Central Plateau of Iran. Four criteria, considering the proposed UNESCO criteria for the qualitative and quantitative evaluation of these projects, were assigned including technical risks and performance difficulty (C1); political and social obstacles (C2); environmental difficulties (C3); and prime cost of a cubic meter of water (C4). Upon employing three approaches of the AHP, Shannon Entropy, and DEMATEL, the criteria weights for decision making were determined. Finally, the selected eight scenarios of the study were prioritized, considering the positive and negative measures within the multi-criteria decision making, by using the COPRAS technique.

Results and Discussion: Regarding the results of the AHP method, criteria with the highest and the lowest importance were obtained as the technical risks and performance difficulty and the environmental challenges respectively. In the following, results of the DEMATEL method, considering cause and effect graphs, as well as the impact and influence of the criteria, revealed that criteria of C1, C2, and C3, got the second, fourth, and the third ranks respectively, while the C4 criterion was placed in the first rank. Also, the results showed that the former criteria, C1 to C3, were considered as cause criteria, and the latter one, C4, was an effect criterion. In the following, the weight of the criteria was computed using the Shannon Entropy method. Accordingly, the C4 criterion, including the lowest weight (W_j) and the highest E_j value, had a common impact on the scenarios. While, the C1, with the highest weight and the lowest E_j value, was selected as the most influential and essential criterion. Then, the COPRAS technique was employed to find out the best scenario. The obtained results revealed that the 8th scenario was selected as the best scenario and the most suitable one was based on the assigned criteria. Moreover, the results showed that, except the scenarios 5 to 8 and the second one, other scenarios had various weights by using the different weighting method.

Conclusion: In this study, eight inter-basin water transfer scenarios were evaluated upon four criteria, including technical risks and performance difficulty; political and social obstacles; environmental challenges; and prime cost of a cubic meter of water. In the following, weights of the mentioned criteria were determined to employ three approaches of the AHP, Shannon Entropy, and DEMATEL, and COPRAS technique was used to prioritizing of the criteria. The obtained results revealed that 8th scenario, including water transfer from the base flow of the Behesht-Abad basin to Esfahan province, through the pumping and short water conveyance tunnel, and from the Kheran-Kersan Dam 3 to Yazd and Kerman provinces was selected as the best scenario for water transfer to central plateau of Iran. Application of the approach is recommended in complex decision making in water resources management, mostly incorporated with conflicts and inhomogeneous qualitative and quantitative

1, 2 and 3- M.Sc. Graduate in Water Resources Engineering and Associate Professors, Department of Irrigation Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: roozbahany@ut.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.v34i2.81708

criteria, due to practical utilization of this method in the evaluation and prioritizing of scenarios. It is worth noting that the proposed method was conducted in forms of fuzzy and crisp configurations.

Keywords: Inter-basin water transfer, Multi criteria decision making, COPRAS technique, Central plateau of Iran