

ارزیابی گزینه‌های مختلف سیستم انتقال آب بین حوضه‌ای با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند-معیاره (مطالعه موردی: طرح انتقال آب بهشت‌آباد)

عفت زمانی^{۱*}، سعید کیوه‌چی^۲

۱- کارشناس شرکت مدیریت منابع آب ایران، تهران، ایران

۲- دانشیار، برنامه‌ریزی مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: efatzamani@gmail.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۰۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۲۶

چکیده

نیاز روز افزون منابع آب برای اهداف مختلف همچون کشاورزی، شرب و صنعت، دستیابی به آب قابل برنامه‌ریزی را با مشکلات و محدودیت‌های فراوانی مواجه کرده است. در سال‌های اخیر، به سبب افزایش جمعیت شهرها و عدم توزیع مکانی منابع آب، انتقال آب بین حوضه‌ای اجتناب‌ناپذیر بوده و به عنوان یکی از راهکارهای حل مشکلات کمبود آب مطرح است. با توجه به پیچیدگی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای به سبب تعدد عوامل درگیر مانند مسائل زیست‌محیطی، حقایق و بیلان آب، توجهات اجتماعی و مهاجرت، تصمیم‌گیری در خصوص انتقال آب و یا تاثیر انتقال آب حوضه‌ای بسیار مهم است. علی‌رغم وجود روش‌های متنوع تصمیم‌گیری چندمعیاره، هنوز این روش‌ها به شیوه مناسب در پروژه‌های اجرایی و زیربنایی ملی همچون انتقال آب حوضه‌ای استفاده نشده‌اند. یکی از طرح‌های زیربنایی انتقال آب حوضه‌ای، انتقال آب از چهارمحال و بختیاری به فلات مرکزی ایران موسوم به طرح بهشت‌آباد است. در پژوهش حاضر سه گزینه پیشنهادی طرح انتقال آب بهشت‌آباد با در نظر گرفتن ۱۴ معیار کمی و کیفی با استفاده از پرسش‌نامه مقایسات زوجی، نظر خبرگان و متخصصان با روش تحلیل سلسله‌مراتبی که از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشند، رتبه‌بندی گردیدند و گزینه برتر برای انتقال آب مشخص شد. نتایج نشان داد، معیار هزینه جاری و هزینه سرمایه مهم‌ترین معیار بود و معیار مشکلات زمین‌شناسی مخزن به عنوان کم اهمیت‌ترین معیار معرفی شده‌اند. همچنین با تغییر در مقادیر وزن هر معیار، تحلیل حساسیت معیارهای مورد مطالعه سنجیده شد. نتایج این پژوهش می‌تواند مسیر ساده‌ای به جهت بکارگیری روش‌شناسی پروژه‌های انتقال آب حوضه‌ای علی‌الخصوص در برخی موارد که هیچ گونه دید روشنی از مخاطرات و فرجام آن‌ها نیست؛ ارائه دهد.

واژه‌های کلیدی: انتقال آب، تأمین آب، توسعه پایدار، زاینده‌رود، مدیریت یکپارچه منابع آب.

مقدمه

ضروری می‌باشد و می‌تواند درمانی پیش‌گیرانه برای جلوگیری از ایجاد شرایط بحرانی باشد. نیاز روز افزون منابع آب برای اهداف مختلف همچون کشاورزی، شرب و صنعت، دستیابی به آب قابل برنامه‌ریزی را با مشکلات و محدودیت‌های فراوانی مواجه کرده است. براساس برآوردهای انجام‌گرفته برای نیمی از جمعیت جهان سرانه آب قابل دسترس کمتر از ۲۰۰۰ متر مکعب در سال و برای ۳۵ درصد از جمعیت جهان این رقم کمتر از ۱۰۰۰

مدیریت منابع آب را می‌توان مجموعه‌ای از تمهیدات فنی، اداری و قانونی دانست که هدف آن برقراری تعادل و توازن میان تقاضا برای آب از یک سو و تأمین آب از سوی دیگر می‌باشد. می‌توان مدیریت منابع آب را به دو گروه مدیریت تأمین و عرضه آب و مدیریت تقاضا و مصرف آب تقسیم‌بندی نمود که رعایت آن برای ایجاد توسعه‌ای پایدار در مقصد و مبدأ جزو نیازهای

حاضر اتمام یافته و یا در حال بهره‌برداری هستند. از جمله طرح‌های مهم انتقال آب بین حوضه‌ای در کشور می‌توان به طرح انتقال آب قمرود، تونل خدنگستان و چغیورت، انتقال آب زاب به دریاچه ارومیه (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۵)، تونل‌های اول، دوم و سوم کوهرنگ، انتقال آب از سد تالوار، انتقال آب از سد مخزنی ششپیر، انتقال آب از سد دوستی به مشهد، انتقال آب از زاینده‌رود به کاشان، تیران و کرون، انتقال آب از سد طالقان، انتقال آب از زاینده‌رود به یزد، انتقال آب از زاینده‌رود به محور بن-بروجن، انتقال آب از سد لار، انتقال آب از سد ژاو به دشت قروه دهگلان و طرح انتقال آب بهشت‌آباد اشاره کرد (صمدی بروجنی، ۱۳۸۹). طرح‌های در حال اجرا و یا انجام شده نشان می‌دهد مدیریت آب کشور به طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای توجه ویژه دارد و بر این اساس می‌توان اذعان داشت سیاست بخش آب کشور در پاسخ‌گویی به نیاز روزافزون آب به‌جای این‌که بر پایه مدیریت تقاضا باشد؛ بر مبنای مدیریت عرضه پایه‌گذاری شده است.

براساس مطالعات و پژوهش‌های انجام شده در ابعاد مختلف سیاسی، امنیتی، اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و زیست محیطی، اثرات مثبت و منفی انتقال آب در حوضه‌های آبریز را می‌توان بررسی نمود. تاکنون اغلب موافقان و منتقدان طرح‌های انتقال آب بیشتر به پیامدهای منفی زیست‌محیطی انتقال آب تمرکز و دقت نظر داشته‌اند (خدابخشی و خدابخشی، ۱۳۸۵). از دیدگاه اجتماعی، سیاسی و امنیتی نیز انتقال آب پیامدهای مثبتی دارد که می‌تواند منجر به افزایش سرمایه‌های اجتماعی و جلوگیری از اختلافات و مناقشات گردد (صفوی و راست قلم، ۱۳۹۵؛ فریادی، ۱۳۹۷). اگرچه در حوضه مقصد احیای آبخوان، تالاب‌ها و رودخانه‌ها از جمله پیامدهای مثبت انتقال آب است؛ اما منتقدان به پیامدهای منفی انتقال بین حوضه‌ای همچون برهم خوردن اکوسیستم آبی، خشک‌شدن منابع آبی و تغییر اقلیم در دراز مدت در هر دو حوضه مبدا و مقصد تأکید دارند (کاراکایا و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای می‌تواند به-عنوان گزینه مناسب به‌جهت تعادل بخشیدن و توزیع یکنواخت مکانی و زمانی منابع و مصارف آبی به‌خصوص در مناطق خشک

مترمکعب در سال است. با توجه به افزایش فزاینده جمعیت، در آینده نیز بر جوامعی که با کمبود آب مواجه هستند؛ افزوده می‌شود و این به معنی وقوع بحران آب در آینده نه‌چندان دور است. بنابراین یکی از راهکارها، انتقال آب از منابع سطحی و یا زیرزمینی حوضه‌ای که کمیت و کیفیت بهتری دارد به حوضه دیگری که نیازمند آب برای مصارف کشاورزی، صنعت و آب شرب است، می‌باشد. بنابراین هدف از انتقال آب بین‌حوضه‌ای رسیدن به تعادل و توسعه پایدار بوده، اگرچه به باور بسیاری از محققین و صاحب نظران، اغلب کشورهای جهان بیشتر از آنکه از کمبود منابع آب و یا عدم توزیع عادلانه منابع آب رنج ببرند؛ با بحران مدیریت منابع آب و نبود مدیریت یکپارچه منابع آب روبرو هستند (ضرغامی، ۱۳۸۴؛ سامانی، ۱۳۹۹).

به‌علت همراه داشتن پیامدهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی، انتقال آب بین‌حوضه‌ای ممکن است مناقشات منطقه‌ای و بین‌المللی بر سر آب را گسترش دهد (مظلوم شهرکی و همکاران، ۱۳۹۲؛ صادقی و همکاران، ۱۳۹۵). لذا انتقال آب بین حوضه‌ای به شرط آنکه سازگار با محیط زیست بوده و از نظر اقتصادی به‌صرفه باشد، می‌تواند در برقراری توازن و توزیع همگن‌تر منابع و نیازهای آب، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک مؤثر باشد (کارآموز و همکاران، ۲۰۱۰؛ احمدی نجل و همکاران، ۲۰۱۶). هنگامی که میزان نیاز آبی با تأمین منابع آبی نزدیک می‌شود؛ تأمین نیاز آبی از حالت مرسوم خارج شده و رهیافت‌های جدید تأمین آب همچون انتقال آب بین حوضه‌ای مطرح می‌گردد که توسط آلان و همکاران (۲۰۰۳) با عنوان ماموریت هیدرولیکی معرفی شد. به‌صورت کلی، انتقال آب بین حوضه‌ای، ابزاری سازه‌ای در جهت کاهش تنش آبی و برقراری توازن آبی در بین دو حوضه است که نیاز به مدیریت یکپارچه منابع آب حوضه آبد و حوضه آبرگیر دارد (حافظی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹).

در حال حاضر تعداد زیادی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در جهان در حال اجرا بوده و یا اتمام یافته است (صادقی و همکاران، ۱۳۹۵). در ایران نیز تعدادی طرح فعال انتقال آب بین حوضه‌ای در حال اجرا و یا در مرحله مطالعه هستند. برخی نیز در حال

و نیمه خشک در نظر گرفته شود (کارآموز و همکاران، ۲۰۱۰). به صورت کلی، انتقال بین حوضه‌ای آب می‌تواند منشأ تغییرات زیادی در حوضه‌های مبدا و مقصد باشد که می‌بایست از دیدگاه‌های مختلف و با لحاظ نمودن عوامل فنی، اقتصادی و زیست محیطی و تأکید بر ملاحظات اجتماعی و سیاسی مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد (حلییان و شبانکاری، ۱۳۸۹). از این رو پروژه انتقال آب در صورتی قابل اجرا است که امکان‌پذیری فنی آن تأیید شده و ارزیابی زیست محیطی و اقتصادی انجام آن نیز قابل توجیه باشد.

تاکنون مطالعات مختلفی در کشور به منظور بررسی طرح‌های انتقال آب انجام شده است. برای مثال، رضوی طوسی و همکاران (۱۳۸۶) از روش‌های چندمعیاره گروهی فازی استفاده کردند. در اولویت‌بندی گزینه‌ها، ابتدا معیارها و وزن آن‌ها را تعیین نمودند. در این تحقیق، ۱۰ طرح انتقال آب بین حوضه‌ای کارون بزرگ با ۸ معیار در نظر گرفته شد. وزن‌های فازی گزینه‌ها، با استفاده از استانداردهای ریاضیات فازی و نظریه مجموعه‌های حداکثر و حداقل محاسبه گردید. احسانی و ضرغامی (۱۳۸۸) نیز با اشاره به این واقعیت که معیارهای زیست محیطی مختلفی در مدیریت ساخت پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای ضروری است؛ ابتدا، اثرات زیست محیطی سه مسیر پیشنهادی برای ساخت سامانه انتقال آب از رودخانه ارس به مناطق شرق و شمال شرقی دریاچه ارومیه، از منظر ۵ معیار ارزیابی نمودند. سپس با استفاده از نتایج این ارزیابی، گزینه‌های مختلف با استفاده از ۴ روش از جمله روش فازی اولویت‌بندی شده و در نهایت گزینه مناسب معرفی شده است. در مطالعه دیگری، رحیمی‌زاده و بزرگ حداد (۱۳۹۷) در تحقیقی به بررسی اثرهای انتقال آب بین حوضه‌ای بر منابع آب ایران پرداختند. در این پژوهش محققان تلاش داشته‌اند با نگاه کمی حوضه‌ای و استانی، پتانسیل طرح‌های انتقال آب ایران را بررسی کنند. پس از یک مرور کلی بر طرح‌های در حال بهره‌برداری یا ساخت، تغییرهای ذخیره‌های آبی به تفکیک حوضه و استان محاسبه نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که استان‌های غربی ایران در آینده دچار تخلیه ذخیره‌های آبی خواهند شد. مهرشاد و همکاران (۱۳۹۷) نیز اثرهای سناریوهای

توسعه‌ای و اقلیمی بر آینده منابع و مصارف آبی حوضه بهشت‌آباد را ارزیابی نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که روند توسعه باعث افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های حوضه شده و منجر به بحرانی شدن وضعیت آبخوان‌ها خواهد شد. شادابی‌پور و امیری (۱۳۹۹) به مطالعه و تبیین پیامدها و آثار انتقال آب دریای خزر به استان سمنان پرداختند. با توجه به بررسی‌های انجام شده توسط آن مولفین، آب دریای خزر بعد از شیرین شدن بیشتر به منابع زیستی محیطی حومه دریای خزر آسیب می‌زند، همچنین این میزان انتقال آب دریا به سمنان با در نظر گرفتن مساحت و جمعیت استان سمنان قابل توجیه نیست. در مطالعه دیگری تموری (۱۳۹۹) به بررسی انتقال آب از دریای عمان به استان‌های نوار شرقی کشور و راه حل‌های جایگزین با تأکید بر استان خراسان جنوبی پرداخت. نتایج بررسی ایشان نشان داد تأکید بر مدیریت عرضه و انتقال بین حوضه‌ای آب به هیچ‌وجه نمی‌تواند تنها راهکار تأمین نیاز آبی استان خراسان جنوبی باشد. لذا ناگزیر به مدیریت تقاضا از طریق درهم آمیختن آموزش، فناوری، اصلاحات قیمت‌گذاری، قانون‌گذاری، بازچرخانی و در نهایت سازگاری با کم آبی در استان خراسان جنوبی هستیم.

در سطح بین‌المللی نیز مطالعات مختلفی در راستای بررسی طرح‌های انتقال آب انجام شده است. برای نمونه، فنگ و همکاران (۲۰۰۷) اثر انتقال آب از جنوب به شمال چین را که تأثیر زیادی در رشد اقتصادی این منطقه خواهد داشت؛ را بررسی کردند. در این تحقیق یک سیستم پشتیبانی برای ارزیابی اثرات اجتماعی و اقتصادی طرح انتقال آب ارائه شد. این سیستم قابلیت تحلیل کیفی آسیب‌پذیری منابع آبی منطقه‌ای با استفاده از مدل‌سازی ریاضی را دارا است. همچنین این سیستم توانایی بررسی پویایی تعادل تقاضا و تأمین آب بر پایه سناریوهای مختلف برای افق زمانی طولانی را دارد. ترابی پوده و همکاران (۲۰۱۶) هزینه انتقال آب بین دو سد با استفاده از برنامه‌ریزی پویا و تحلیل معادله بیلان آب و مدل هیدرولیکی تونل همزمان شبیه‌سازی و بهینه‌سازی نمودند. در این تحقیق، در ابتدا معادله بیلان فقط برای سد شماره یک حل شد و سپس با مشخص شدن جریان ورودی و تراز آب در سد شماره یک، دبی تونل با استفاده از نرم‌افزار

زمانی‌پور و همکاران (۱۳۹۷) با رویکرد شبیه‌سازی-بهینه‌سازی مبتنی بر فرامدل به طراحی بهینه سیستم انتقال آب بین حوضه-ای بهشت‌آباد پرداختند. کاهش کمبودهای تأمین نیاز مصارف شرب و زیست‌محیطی حوضه‌های مبدأ و مقصد و نیز کاهش هزینه‌های اجرای طرح، از اهداف تعریف شده تحقیق بود. نتایج نشان داد الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی قادر به ارائه جواب‌های منطقی و متنوع با صرف زمان کمتر و دقت قابل قبول در مسأله مورد بررسی است.

از آنجاکه براساس اصول مدیریت جامع منابع آب شایسته است در اجرای طرح، راهکارها و گزینه‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد؛ در مطالعات طرح بهشت‌آباد تنها یک گزینه برای انتقال آب مورد توجه قرار گرفته است و گزینه‌های دیگر مورد مطالعه قرار نگرفت. بدین ترتیب تنها گزینه مطرح، احداث سد مخزنی بهشت‌آباد در پایین‌دست محل تلاقی دو رودخانه کوهرنگ و بهشت‌آباد و همچنین احداث تونلی مستقیم به طول ۶۵ کیلومتر در نزدیکی محل سد بهشت‌آباد تا حوالی شهر باغ بهادران است. براساس مطالعات مختلف، انتقاد اصلی به طرح انتقال آب بهشت‌آباد در خصوص برآورد آب قابل انتقال است؛ که در محاسبات آب قابل انتقال از فرضیات دست بالا استفاده شده است. بدین ترتیب که در ابتدا اعداد ۱۱۰۰ میلیون مترمکعب در سال و ۷۴۶ میلیون مترمکعب مطرح بوده است (صمدی بروجنی، ۱۳۸۹).

تاکنون اغلب مطالعات در خصوص طرح انتقال آب بهشت‌آباد با رویکرد مدل‌های شبیه‌سازی و یا رویکرد شبیه‌سازی-بهینه‌سازی انجام شده است. مدل‌های شبیه‌سازی امکان مقایسه بین گزینه-های مختلف را فراهم می‌نمایند؛ اما بهترین گزینه را معرفی نمی‌کنند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۷)؛ لذا استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره همچون تحلیل سلسله مراتبی در پژوهش حاضر، می‌تواند رهگشا باشد. از اینرو به‌نظر می‌رسد مطالعات گزینه‌های مختلف و بررسی سایر گزینه‌های قابل طرح نیز می‌تواند مورد توجه و نظر محققان، کارشناسان و تصمیم‌گیران قرار گیرد که هدف اصلی پژوهش حاضر است. در این مطالعه، پس از انتخاب معیارهای موثر و متناسب با هدف پژوهش و وزن‌دهی آن‌ها

EPANET محاسبه گردید. ما و همکاران (۲۰۲۰) به منظور ارزیابی گزینه‌های برتر انتقال آب در حوضه رودخانه‌ای به هم پیوسته از میان چندین منبع دریافت آب مختلف، گزینه‌های مختلف انتقال را بررسی و بهینه‌سازی نمودند. نتایج نشان داد بهینه‌یابی چند هفته در تعیین گزینه برتر بسیار راهگشا است. در مطالعه دیگری روزبهرانی و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی برنامه-ریزی آب بین حوضه‌ای با استفاده از روش‌های COPRAS و fuzzy COPRAS پرداختند. روش‌های مذکور در پهنه فلات مرکزی ایران مورد بررسی قرار گرفت. سینه‌ها و همکاران (۲۰۲۰) نیز چارپوب نوینی برای ارزیابی رویه‌های تاریخی، یکپارچه و انتقال آن دست یافتند. براین اساس، رویه مذکور چارپوب قابل انعطاف در ارزیابی منابع آب ارائه داده است.

در خصوص طرح انتقال آب بین حوضه‌ای بهشت‌آباد یا به‌صورت دقیق‌تر انتقال آب از بهشت‌آباد به فلات مرکزی ایران نیز مطالعات مختلفی انجام شده است. برای نمونه، سعیدی‌نیا و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از مدل WEAP به مطالعه طرح انتقال آب بین حوضه‌ای بهشت‌آباد پرداختند. نتایج مدل‌سازی نشان داد که حجم مفید موردنیاز به‌جهت ذخیره و تنظیم آب برابر ۶۰۰ میلیون مترمکعب در سال است که با رقم ۱۸۰۰ میلیون مترمکعب در سال ارائه شده توسط مشاور طرح انتقال آب، اختلاف بالایی دارد. مظلوم شهرکی و همکاران (۱۳۹۲) نیز به بررسی طرح انتقال آب بین حوضه‌ای بهشت‌آباد پرداختند و تاثیر این طرح را در هر دو منطقه مبدأ و مقصد بررسی نمودند و پیشنهادهای علمی و عملی در خصوص کاهش مشکلات حوضه مبدأ و مقصد ارائه گردید. همچنین رؤفی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از مدل MODSIM طرح انتقال آب به فلات مرکزی را در دو شرایط لحاظ دوره هیدرولوژیک بلندمدت و خشک به‌صورت مجزا و در قالب شش سناریو شبیه‌سازی کرده و با توجه به خروجی‌های این مدل، تاثیر طرح انتقال آب بهشت‌آباد بر تأمین نیازها و محیط زیست و منابع آب زیرزمینی دو حوضه مبدأ و مقصد را ارزیابی نمودند.

بهشت‌آباد به مراتب کمتر بوده، به طوری که تنها حدود ۳ درصد جمعیت استان چهارمحال و بختیاری در حوضه کوهرنگ زندگی می‌کنند. براین اساس می‌توان پیش‌بینی نمود با گذشت زمان، در حوضه بهشت‌آباد نسبت به کوهرنگ به سبب افزایش جمعیت، منابع آلاینده بیشتری وجود خواهد داشت و منابع آب‌های سطحی این حوضه در معرض افت کیفیت و آلودگی خواهند بود. به طور کلی، حوضه‌های آبریز مقصد (آبگیر یا دریافت کننده منابع آب انتقالی) از مزایای بیشتری متبّع می‌گردند؛ در حالی که حوضه مبدأ (آبده یا ارسال کننده منابع آبی) ممکن است متحمل زیان‌هایی گردد (زمانی‌پور و همکاران، ۱۳۹۷).

اشکالات و ایرادات اصلی طرح بهشت‌آباد از دیگاه حوضه آبده شامل موارد متعددی است. از جمله اشکالات و ایرادات اصلی می‌توان به اثرات مخرب تونل انتقال آب و همچنین تونل دسترسی با توجه به نوع و روش حفر (مهدوری و آیتی، ۱۳۹۲) و شرایط زمین‌شناسی منطقه، عدم قطعیت فنی و اقتصادی در حفر تونل، مشکلات مخزن از نظر زمین‌لرزه القائی (صدافت و همکاران، ۱۳۹۵) و ناپایداری دیواره‌های مارنی مخزن اشاره نمود. همچنین از نظر محاسبات آب قابل برنامه‌ریزی نیز می‌توان به دست بالا گرفتن ظرفیت انتقال آب قابل انتقال اشاره نمود. مشکلات اجتماعی چون افزایش مهاجرت به دلیل خشک یا کم آب شدن چشمه‌ها، قنات و چاه‌های منطقه و زیر آب رفتن زمین‌های کشاورزی نیز از دیگر اشکالات و ایرادات اصلی طرح بهشت‌آباد از دیگاه حوضه آبده است. در نهایت این طرح باعث کاهش آب ورودی به پایین‌دست و رودخانه کارون شده که در درازمدت منجر به افزایش شوری آب رودخانه‌ها در استان خوزستان خواهد شد. در حوضه آبگیر نیز اشکالات و ایرادات متعددی بر طرح بهشت‌آباد وارد است که می‌توان به مواردی همچون زمان بر بودن اجرای تونل، تاثیر منفی بر فرهنگ کم‌آبی، هزینه ریالی بالای اجرای تونل و کاهش توجه به مدیریت و حفاظت منابع آب در حوضه مقصد و همچنین افزایش بارگذاری بر رودخانه زاینده‌رود با توجه به فرض دست بالا در تعیین ظرفیت انتقال آب اشاره نمود.

توسط کارشناسان خبره منابع آب، ارزش هریک از آن‌ها در هریک از سناریوها مشخص و بدین ترتیب ماتریس تصمیم‌گیری چندمعیاره تشکیل شد. در ادامه از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد و معیارهای کمی و کیفی، رتبه‌بندی شدند تا گزینه برتر برای انتقال آب مشخص شود.

مواد و روش‌ها

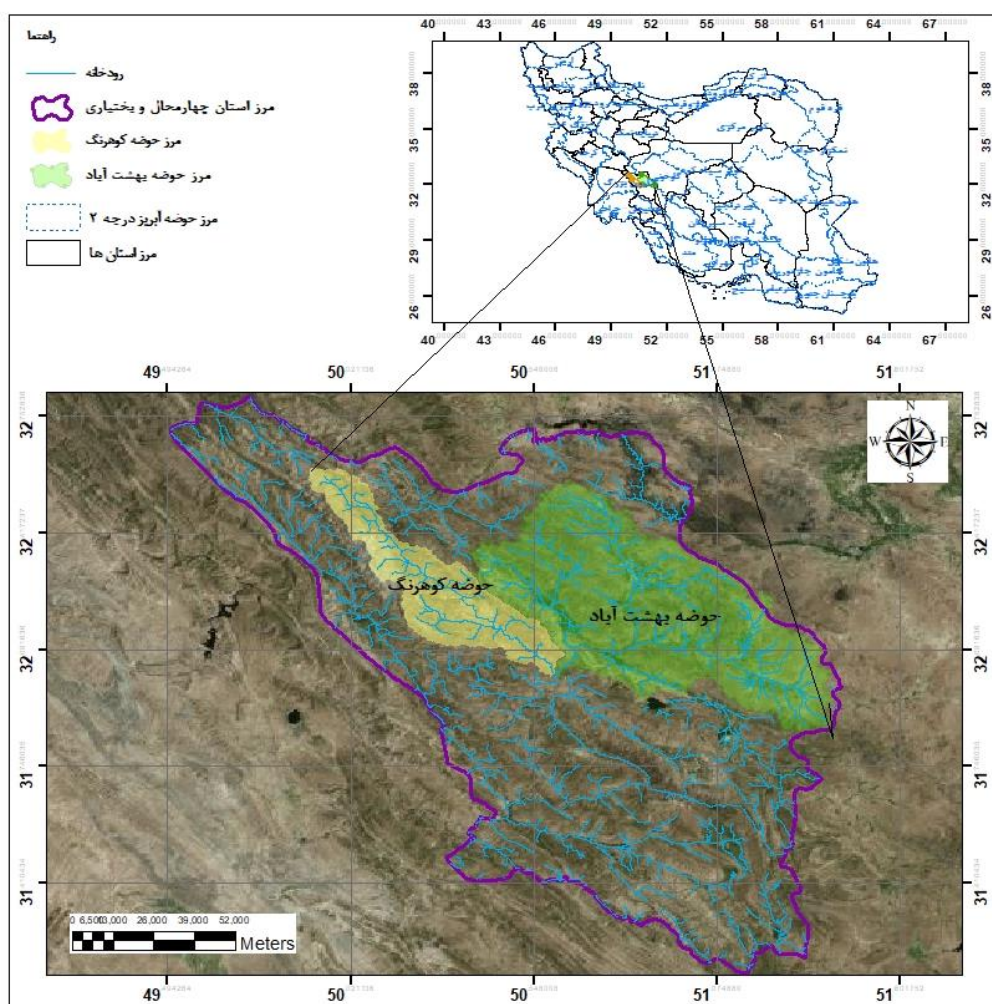
منطقه مورد مطالعه

انتقال آب بین حوضه‌ای عبارت است از انتقال فیزیکی آب از یک حوضه آبریز به حوضه آبریز دیگر که در این انتقال، یک حوضه آب از دست داده و حوضه دیگر آب به دست می‌آورد. در طرح انتقال آب بین حوضه‌ای بهشت‌آباد، حوضه‌های بهشت‌آباد و کوهرنگ به عنوان حوضه مبدأ در نظر گرفته شده‌اند. حوضه بهشت‌آباد با مساحتی بالغ بر ۳۸۸۰/۹ کیلومتر مربع در محدوده شهرستان شهرکرد، فارس و کیار در قسمت شمال و شمال شرقی و حوضه کوهرنگ در شهرستان کوهرنگ در قسمت شمال غربی استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. در حوضه‌های بهشت‌آباد و کوهرنگ پتانسیل منابع آب‌های زیرزمینی به ترتیب به میزان ۸۹۳/۳ و ۶۳۶/۷ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد که به ترتیب حدود ۴۳۳/۳ و ۲/۰۵ میلیون متر مکعب تخلیه از طریق چاه، ۵۵/۸۱ و ۰/۸۲ میلیون مترمکعب از طریق قنات و ۴۰۴/۲ و ۶۳۳/۸ میلیون متر مکعب تخلیه از طریق چشمه‌ها انجام می‌شود (صمدی بروجنی، ۱۳۸۹).

حوضه‌های آبریز بهشت‌آباد و کوهرنگ از جمله سرشاخه‌های حوضه کارون به حساب می‌آید. با آن که این حوضه‌ها درصد نسبتاً کمی از وسعت استان چهارمحال و بختیاری را به خود اختصاص می‌دهند، ولی به لحاظ منابع آب، اهمیت بسیار بالایی برای استان دارند. برخلاف حوضه بهشت‌آباد، اراضی قابل توسعه در حوضه کوهرنگ به دلیل کوهستانی بودن عمدتاً ناهموار بوده و شرایط برای توسعه باغات کارآمدتر بوده است. این حوضه به دلیل بارش زیاد، نسبت به سایر زیرحوضه‌های کارون دارای بیشترین آبدهی است. به همین دلیل در سال‌های گذشته، تونل‌های ۱، ۲ و ۳ کوهرنگ برای انتقال منابع آب به حوضه زاینده‌رود احداث شده است. تمرکز جمعیت نیز در حوضه کوهرنگ نسبت به حوضه

یا کم آب نشدن چشمه‌ها، قنات و چاه‌های محدوده مسیر عبور تونل است. همچنین کاهش زمان و هزینه اجرای طرح با توجه به ریسک بالای حفر تونل در اعماق زیاد و تورم سالانه از سایر مزایای لوله‌گذاری به جای حفر تونل است. با توجه به مسیر طولی خط لوله، پس از پمپاژ از رودخانه و تخلیه در مخزن، آب به دلیل اختلاف فاحش توپوگرافی (تراز در حدود ۲۱۰۰ متر از سطح آب‌های آزاد به تراز ۱۸۰۰ متر) نیاز به تأمین انرژی جهت انتقال آب نخواهد داشت. در شکل ۱، موقعیت حوضه‌های بهشت‌آباد و کوهرنگ در استان چهارمحال و بختیاری ارائه شده است.

با توجه به مخزن بالادست و تونل انتقال آب به پایین‌دست، طرح‌های انتقال آب شرایطی ترکیبی از مسائل هیدرولیکی (هیدرولیک لوله یا تونل انتقال) و هیدرولوژی (تراز آب مخزن) را شامل می‌شود. از این‌رو تحلیل هیدرولوژی و هیدرولیکی حوضه‌های مبدأ و مقصد برای به‌دست آوردن شرایط موردنظر می‌بایست به‌صورت همزمان صورت گیرد (منصوری و همکاران، ۱۳۹۶). مطالعات انجام شده تاکنون به صورت تک‌گزین‌های بوده و تمرکز بر حفر تونل بوده است. با توجه به خطرات حفر تونل و همچنین شرایط زمین‌شناسی امکان جایگزینی حفر تونل با لوله‌گذاری وجود دارد. سایر مزایای حذف تونل شامل خشک نشدن



شکل ۱- موقعیت حوضه‌های بهشت‌آباد و کوهرنگ در استان چهارمحال و بختیاری.

معیارهای مورد مطالعه

تولیدی؛ ۱۲. انرژی مصرفی؛ ۱۳. سهولت بهره‌برداری؛ ۱۴. مدت زمان اجرای طرح.

باتوجه به مطالعه گزینه‌ها و تعیین مقادیر هر معیار برای هرگزینه، ماتریس تصمیم‌گیری شکل گرفت. در حالت دوم اجرای مدل، زیرمعیارها تعریف شدند و هر معیار به چند زیرمعیار تقسیم گردید و سپس ماتریس به همراه زیرمعیار به مدل معرفی شد. زیر معیارهای مورد مطالعه به شرح زیر تعریف شدند.

۱. اجتماعی: شامل ۳ زیر گروه تملک اراضی، زلزله القایی و مهاجرت؛

۲. زیست‌محیطی: شامل ۲ زیرگروه کاهش کیفیت آب و آلودگی منابع آب و خشک‌شدن چاه و چشمه؛

۳. مشکلات زمین‌شناسی و اجرایی: شامل ۳ زیرگروه مشکلات زمین‌شناسی سد، مشکلات زمین‌شناسی مخزن و مشکلات اجرای خط انتقال؛

۴. اقتصادی: شامل ۴ زیرگروه هزینه جاری، هزینه سرمایه، انرژی مصرفی و انرژی تولیدی؛

۵. سهولت بهره‌برداری؛

۶. مدت زمان اجرای طرح.

روش تحلیل سلسله‌مراتبی توانایی فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله‌مراتبی دارد و در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در فرآیند تصمیم‌گیری را امکان‌پذیر می‌سازد (مصدق و همکاران، ۲۰۱۵). فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی مسائل پیچیده را از طریق تجزیه آن به عناصر جزئی که به صورت سلسله‌مراتبی به هم مرتبط بوده و ارتباط هدف اصلی مسئله با پایین‌ترین سطح سلسله‌مراتبی مشخص است؛ را به شکل ساده‌تری در می‌آورد. درخت سلسله‌مراتبی نمایشی گرافیکی از مسأله واقعی دارای پیچیدگی است که در رأس آن هدف کلی و در سطوح بعدی معیارها و گزینه‌های مسأله قرار می‌گیرد. با توجه به مبنای نظری روش تحلیل سلسله‌مراتبی، معیارها بر مبنای هدف و زیر معیارها بر مبنای معیار سطح بالای آن‌ها، می‌بایست به صورت دو به دو با همدیگر به صورت کمی و یا

در پژوهش حاضر، به دلیل ماهیت هدف و مسأله، رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس معیارهای تعریف شد و با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی ۱ گزینه برتر انتخاب شده است. پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری در دو حالت مورد مطالعه، ماتریس‌ها به نرم‌افزار معرفی و مدل اجرا گردید. در هر تصمیم‌گیری لازم است پروژه‌ها بر اساس معیارهای موردنظر تصمیم‌گیرنده اولویت‌بندی شوند. هدف از استفاده روش تحلیل سلسله‌مراتبی، شناسایی گزینه برتر و همچنین تعیین رتبه گزینه‌ها با لحاظ همزمان کلیه معیارهای تصمیم‌گیری است (مقدم و همکاران، ۱۳۹۹). در جدول ۱، مشخصات کلی هریک از سه گزینه ارائه شده است. در این پژوهش بر اساس ماهیت مسأله، معیارهای تصمیم‌گیری تعیین و مقدار هر معیار در هر پروژه محاسبه شد. شاخص‌های مورد استفاده در تحقیقات مدیریت منابع آب بیشتر به محاسبه نسبت سود بر هزینه برمی‌گردد. میزان اشتغال‌زایی طرح از دیگر معیارهای مهمی است که برای انتخاب بهترین پروژه می‌تواند نقش به‌سزایی داشته باشد. همچنین با توجه به منطقه مورد نظر استقبال مردم و میزان رضایت‌مندی آن‌ها از اجرای طرح و نیز همکاری و مشارکت مردم در طرح معیار بسیار مهمی است که به آن در این پژوهش توجه شده است. باتوجه به بررسی منابع گوناگون، معیارهای تصمیم‌گیری تعریف شدند و ماتریس تصمیم‌گیری شکل گرفت. لازم به ذکر است که اجرای مدل با ۲ حالت کلی بررسی شد. الف) اجرای مدل با در نظر گرفتن کل معیارها به صورت مجزا؛ ب) اجرای مدل با در نظر گرفتن زیرمعیار.

پس از تعیین معیارها، وزن هر معیار نسبت به سایر معیارها تعیین شد. در حالت اول ۱۴ معیار مورد مطالعه به صورت مجزا در ماتریس تصمیم‌گیری آورده شده که شامل موارد زیر است:

۱. تملک اراضی؛ ۲. زلزله القایی؛ ۳. مهاجرت؛ ۴. کاهش کیفیت آب و آلودگی منابع آب؛ ۵. خشک‌شدن چشمه و چاه؛ ۶. مشکلات زمین‌شناسی سد؛ ۷. مشکلات زمین‌شناسی مخزن؛ ۸. مشکلات اجرای خط انتقال؛ ۹. هزینه جاری؛ ۱۰. هزینه سرمایه؛ ۱۱. انرژی

¹ Analytic Hierarchy Process

رایانه است. نرم‌افزار *Expert choice* با توجه به توانمندی آن در طراحی نمودار سلسله‌مراتبی، تصمیم‌گیری، تعیین اولویت‌ها، محاسبه وزن نهایی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به مطالعه گزینه‌ها و تعیین مقادیر هر معیار برای هر گزینه، ماتریس تصمیم‌گیری حالت دوم نیز شکل گرفت. در این پژوهش سه گزینه انتقال آب بررسی شد که اطلاعات ارائه شده در حد فاز شناسایی اولیه بوده و برآورد هزینه‌ها بر مبنای بازه سال یکسان انجام شده است.

کیفی مقایسه شوند. روش معمول برای انجام مقایسه زوجی، تشکیل ماتریس مربعی به مرتبه تعداد معیارها یا زیر معیارهاست. نرم‌افزار *Expert choice* یک ابزار حمایت از تصمیم چندشاخصه بر مبنای فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است و در موارد مختلف از جمله تخصیص منابع، انتخاب گزینه‌ها، برنامه‌ریزی تحلیلی، آنالیزهای سود و هزینه، مدیریت عملکرد و تولید استفاده و جهت تحلیل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره با استفاده از تکنیک فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی طراحی شده و قابل اجرا بر روی

جدول ۱- مشخصات کلی گزینه‌های پیشنهادی انتقال آب بهشت‌آباد.

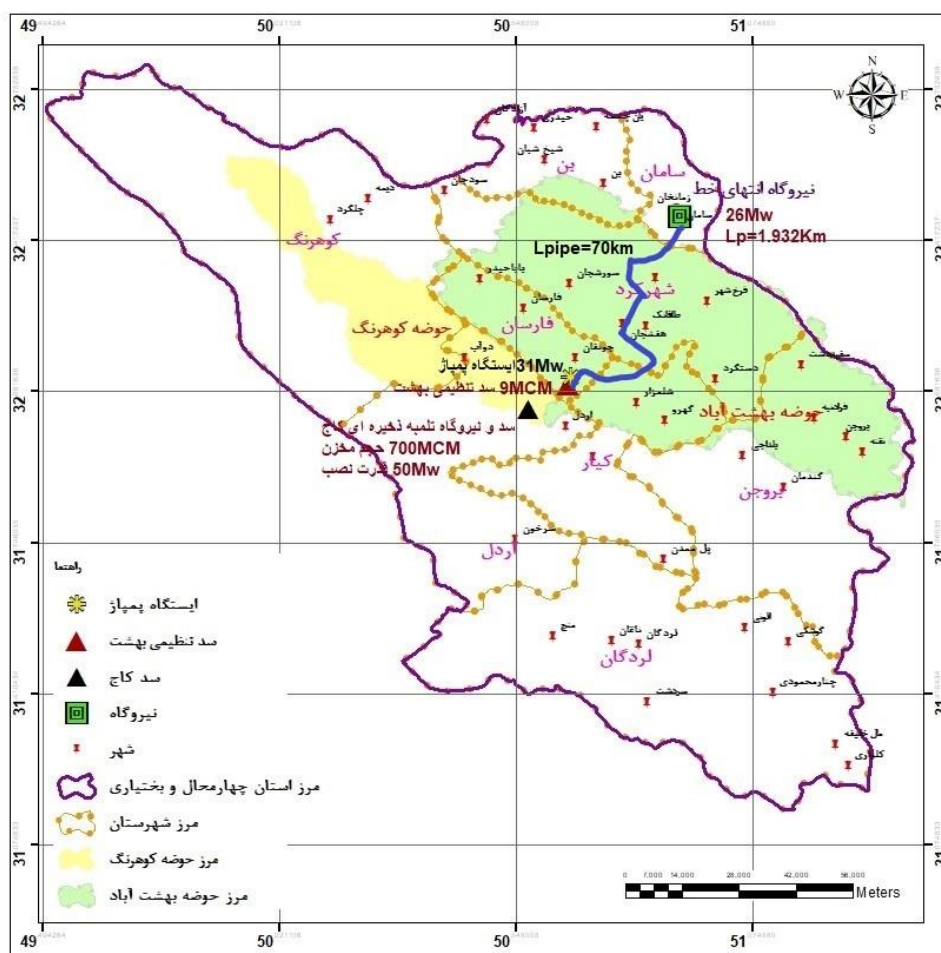
پارامتر	واحد	گزینه اول	گزینه دوم	گزینه سوم
نام سد مخزنی	----	کاج	کاج	بهشت آباد
حجم مخزن	MCM	۷۰۰	۷۰۰	۱۸۰۰
طول خط لوله	کیلومتر	۶۸/۱	۴۸	۰
طول تونل و پنستاک	کیلومتر	۱۱/۷	۲۵/۰۴	۷۸
طول پنستاک ابتدای خط	کیلومتر	۳۴/۵	۵۳۴۰	
طول پنستاک انتهای خط	کیلومتر	۱/۲	۲۴۰۰	
کل ارتفاع پمپاژ	متر	۱۷۳/۱	۱۳۶	
قدرت پمپاژ مورد نیاز	Kw	۳۱۱۳	۲۴۴۵۹/۶	
قدرت برق تولیدی	Kw	۲۶۰۱۸/۱	۲۵۵۰۳/۴	
قدرت تلمبه ذخیره	Kw	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	
انرژی مصرفی تلمبه ذخیره‌ای	Mwh	۵۵۰۰۰	۵۵۰۰۰	
کل مصرف خالص انرژی	Gwh	۹۵	۴۷	
نرخ مصرف انرژی	Kwh/m ³	۰/۳	۰/۱۵	
هزینه سد	میلیارد ریال	۷۸۰	۷۸۰	۸۶۷۰
خسارت مخزن	میلیارد ریال	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۲۲۰
هزینه پمپاژ	میلیارد ریال	۳۲۳/۷	۲۵۴/۳	۰
هزینه نیروگاه	میلیارد ریال	۱۴۸۲/۳	۱۴۷۲/۳	۰
کل هزینه سرمایه‌ای	میلیارد ریال	۸۶۶۷	۶۲۹۰	۱۱۵۷۱۰
هزینه بهره‌برداری	میلیارد ریال	۷۱/۵	۶۸/۹	۲۳۱
هزینه برق	میلیارد ریال	۹۶/۰۶	۴۶/۶	۰
جمع هزینه جاری	میلیارد ریال	۱۶۷/۶	۱۱۵/۶	۲۳۱
هزینه تمام شده سالانه	میلیارد ریال	۷۹۵	۵۷۱/۳	۸۶۱۶
هزینه تمام شده با نرخ غیر سوبسیدی برق	ریال بر متر مکعب	۲۵۲۶	۱۸۱۴	

گزینه اول

ارتفاع استاتیکی ۱۲۰ متر و آبدهی ۱۱ مترمکعب بر ثانیه احداث شود. طول خط انتقال آب در این گزینه ۶۸/۱ کیلومتر است که از تنگ خراجی به سامان و سپس به رودخانه زاینده‌رود انتقال می‌یابد. در انتهای مسیر انتقال نیروگاه آبی با امکان تأمین ۷۲

در این گزینه پیشنهاد شده در محل پائین‌دست تلاقی دو رودخانه کیار و جونقان واقع در محل بند اردل و ابتدای رودخانه بهشت‌آباد، سد تنظیمی با ارتفاع ۲۷ متر و حجم کل ۹ میلیون مترمکعب احداث گردد. سپس در این محل ایستگاه پمپاژی با

درصد برق موردنیاز ایستگاه پمپاژ طرح را تأمین می‌نماید. به دلیل این‌که در تمامی فصول سال، آب کافی در محل سد تنظیمی بهشت‌آباد وجود ندارد، لازم است در بالادست روستای کاج سد مخزنی خاکی با ارتفاع ۱۰۴ متر و حجم کل بالغ بر ۷۰۰ میلیون متر مکعب احداث شود و در ماه‌های کم‌آبی، با استفاده از نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای (با توجه به اختلاف ارتفاع حدود ۳۰۰ متر بین دو مخزن سد) آب از مخزن سد کاج به پشت مخزن سد



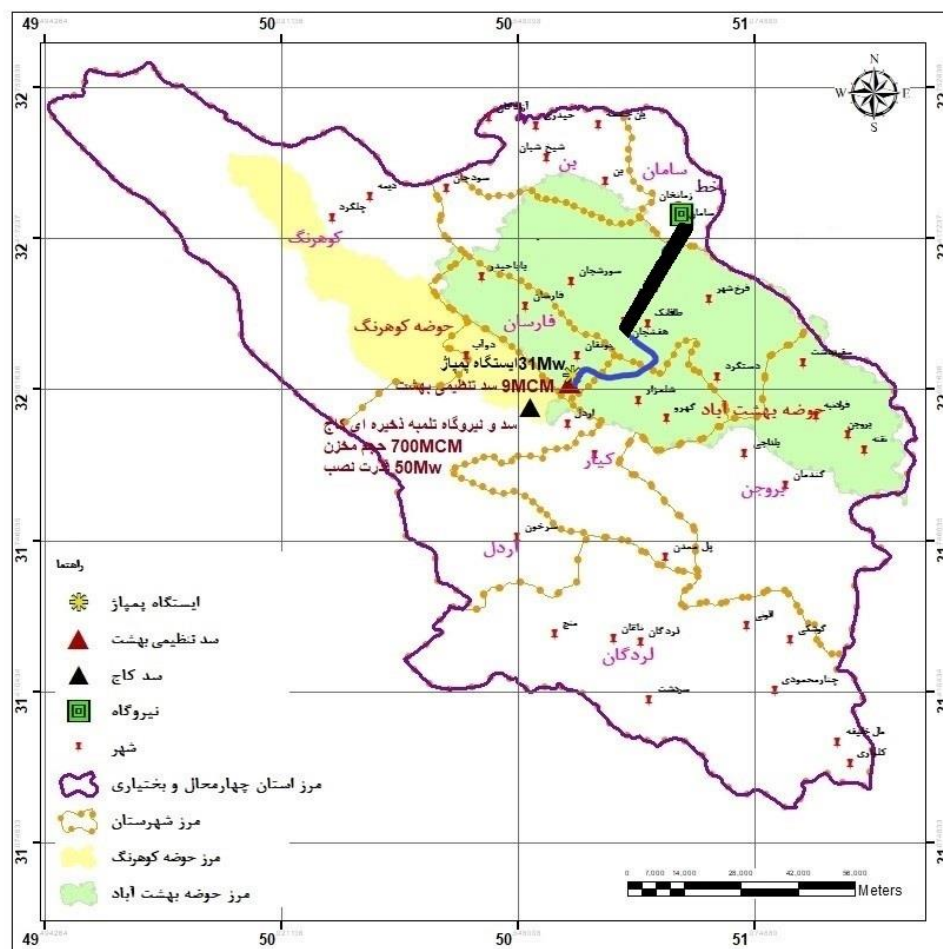
شکل ۲- شمای کلی از اجزا و جانمایی گزینه پیشنهادی اول طرح انتقال آب بهشت آباد.

گزینه دوم

در این گزینه پیشنهاد شد در محل بند اردل و ابتدای رودخانه بهشت‌آباد، سد تنظیمی با ارتفاع ۲۷ متر و حجم کل ۹ میلیون مترمکعب احداث گردد. سپس در این محل ایستگاه پمپاژی با ارتفاع استاتیکی ۱۲۰ متر و آبدهی ۱۱ مترمکعب بر ثانیه احداث شود. طول خط انتقال آب در این گزینه ۴۸ کیلومتر

شود. بر اساس تحلیل اقتصادی، هزینه احداث پروژه حدود ۶۲۹۰ میلیارد ریال است. لازم به ذکر است این گزینه تبعات منفی از جمله زیر آب رفتن روستاهای کاج، بهشت آباد، شیخ محمود و چشمه باغ رستم و... را نداشته و اثرات احداث تونل بر تخلیه

آب های زیرزمینی منطقه را نیز نخواهد داشت. طرح کلی گزینه دوم انتقال آب بهشت آباد به همراه اجزا و جانمایی آن در شکل ۳ ارائه شده است.

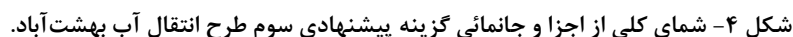


شکل ۳- شمای کلی از اجزا و جانمایی گزینه پیشنهادی دوم طرح انتقال آب بهشت آباد.

آن و شرایط خاص زمین شناسی مسیر عبور تونل و فرضیات دست بالا در میزان آب قابل انتقال تبعات منفی و مشکلات این گزینه است. همچنین براساس شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه نیز، تونل انتقال آب همانند زهکش عمل نموده و منجر به خشک شدن چشمه ها و قنوات متعددی در منطقه می شود. طرح کلی گزینه سوم انتقال آب بهشت آباد به همراه اجزا و جانمایی آن در شکل ۴ ارائه شده است.

گزینه سوم

در این گزینه پیشنهاد شد در پائین دست محل تلاقی دو رودخانه کوهرنگ و بهشت آباد، سد مخزنی بهشت آباد احداث شود و همچنین احداث تونلی به طول ۶۵ کیلومتر به صورت مستقیم و یکسره در عمق بیش از ۳۰۰ متر زیرزمین که ورودی آن در نزدیکی محل سد بهشت آباد و خروجی آن حوالی شهر باغ بهادران در نظر گرفته شده است. عمق قرارگیری زیاد تونل و طولانی بودن



حالت اول بدون در نظر گرفتن زیرمعیار

تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. زیرا این روش امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را دارد (هوانگ و میلر، ۲۰۰۳). فرآیند شناسایی عناصر و ارتباط بین آن‌ها که منجر به ایجاد ساختاری سلسله‌مراتبی می‌شود؛ ساختن سلسله‌مراتب نامیده می‌شود. محاسبه وزن در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به صورت وزن نسبی و وزن نهایی انجام می‌شود. در فرآیند وزن نسبی، عناصر هر سطح

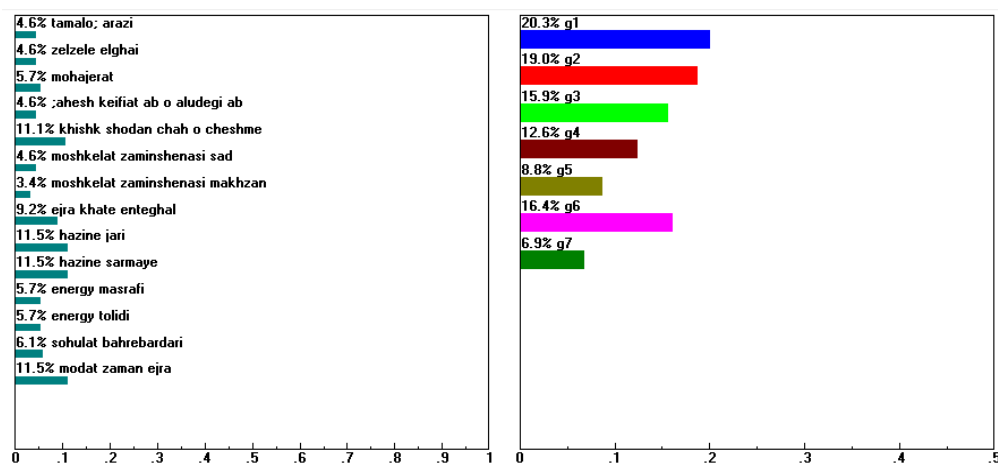
جدول ۲- ماتریس تصمیم‌گیری کارایی بدون در نظر گرفتن زیر معیار.

معیار	تملک اراضی	مهاجرت	زلزله القایی	کاهش کیفیت آب	خشک شدن چشمه و چاه	مشکلات زمین‌شناسی سد	مشکلات زمین‌شناسی مخزن	اجرای خط انتقال	هزینه جاری	هزینه سرمایه	انرژی تولیدی	انرژی مصرفی	سهولت بهره‌برداری	مدت زمان اجرای طرح
گزینه ۱	۲-	۵	۱-	۱-	۱-	۱-	۱-	۰/۵-	۲۸۰/۲	۱۸۳	۵	۲/۹۷	۵-	۱/۲۵
گزینه ۲	۱-	۵	۱-	۱-	۱-	۱-	۱-	۱-	۷۶/۲	۱۹۵	۴/۹	۲/۴۵	۴-	۱/۷۵
گزینه ۳	۲-	۵-	۴-	۴-	۱۰-	۴-	۳-	۸-	۱۱۴-	۳۰	.	۰	۴	۱۰

جدول ۳- وزن معیارها به صورت مجزا.

معیار	تملک اراضی	زلزله القایی	مهاجرت	کاهش کیفیت آب	خشک شدن چاه و چشمه	مشکلات زمین‌شناسی سد	مشکلات زمین‌شناسی مخزن	اجرای خط انتقال	هزینه جاری	هزینه سرمایه	انرژی مصرفی	انرژی تولیدی	سهولت بهره‌برداری	مدت زمان اجرا طرح
وزن	۴	۴	۵	۴	۱۰	۴	۴	۸	۳۰	۳۰	۵	۵	۵	۱۰

در روش تحلیل سلسله مراتبی با توجه به اطلاعات ورودی به مدل شامل ماتریس کارایی (جدول ۲) و وزن معیارها (جدول ۳)، مقایسات زوجی معیارها و گزینه‌ها نسبت به هم انجام گرفت و نهایتاً نرم‌افزار وزن نهایی معیارها و گزینه‌ها را ارائه داد. شکل ۵



شکل ۵- نتایج مدل تحلیل سلسله مراتبی در نرم‌افزار Expert Choice.

بررسی می‌شود. به عبارت دیگر مشخص خواهد شد تغییرات مقادیر کدام معیار حساسیت کمتر و کدام معیار حساسیت بیشتری در رتبه‌بندی پروژه‌ها ایجاد کرده است. در جدول ۴،

تحلیل حساسیت حالت اول

در این بخش نتایج تحلیل حساسیت تغییرات وزن معیارها، به میزان ۲۰ و ۴۰٪ (افزایش و کاهش)، بر گزینه‌های مورد مطالعه

در این حالت نیز، با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی با توجه به اطلاعات ورودی به مدل شامل ماتریس کارایی و وزن معیارها، مقایسات زوجی معیارها و گزینه‌ها نسبت به هم انجام گرفت و نهایتاً نرم‌افزار وزن نهایی معیارها و گزینه‌ها را ارائه داد. معیار مدت زمان اجرای طرح مهم‌ترین معیار و معیار اجتماعی به‌عنوان کم اهمیت‌ترین معیار معرفی شدند. درنهایت اولویت پروژه‌ها (گزینه‌ها) در نرم‌افزار مشخص شد. نتایج حاصل در شکل ۶ ارائه شده است. ملاحظه می‌گردد که گزینه ۱ و ۳ به‌ترتیب اولین و آخرین رتبه را به خود اختصاص دادند.

نتایج حاصل ارائه شده است و مشاهده می‌شود تغییرات افزایشی وزن معیارها تغییری در رتبه‌بندی گزینه‌ها ایجاد نمی‌کند. کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی وزن معیار هزینه جاری باعث ۱۴/۲٪ تغییرات در رتبه‌بندی گزینه‌ها شده است که در کل می‌توان گفت افزایش ۲۰٪ و ۴۰٪ وزن معیارها باعث ۱۴/۲٪ تغییرات در رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌گردد.

حالت دوم با در نظر گرفتن زیرمعیار

ماتریس‌های حاصل در حالت دوم برای معرفی زیرمعیارها شامل ۲ ماتریس مقادیر معیارها و وزن هر معیار گردید که در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است.

جدول ۴- درصد تغییرات رتبه‌بندی پروژه‌ها حاصل از تغییرات وزن معیارها.

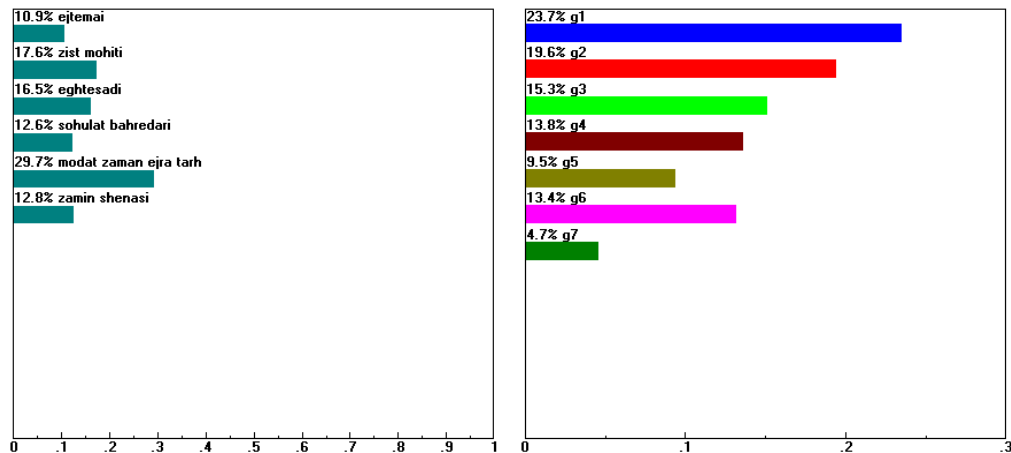
معیار	وزن معیار			
	۲۰٪ افزایش	۴۰٪ افزایش	۲۰٪ کاهش	۴۰٪ کاهش
تملك اراضی	.	.	.	.
زلزله القایی	.	.	.	.
مهاجرت	.	.	.	.
کاهش کیفیت آب	.	.	.	.
خشک شدن چاه و چشمه	.	.	.	.
مشکلات زمین‌شناسی سد	.	.	.	.
مشکلات زمین‌شناسی مخزن	.	.	.	.
اجرای خط انتقال	.	.	.	.
هزینه جاری	.	.	۱۴/۲	۱۴/۲
هزینه سرمایه	.	.	.	.
انرژی مصرفی	.	.	.	.
انرژی تولیدی	.	.	.	.
سهولت بهره برداری	.	.	.	.
مدت زمان اجرا	.	.	.	.
کل	.	.	۱۴/۲	۱۴/۲

جدول ۵- ماتریس تصمیم‌گیری کارایی با در نظر گرفتن زیرمعیار.

معیار	اجتماعی	زیست‌محیطی	زمین‌شناسی و حفاری	اقتصادی										
زیرمعیار	تملك اراضی	مهاجرت	زلزله القایی	كاهش کیفیت آب	خشك شدن چشمه و چاه	مشكلات زمین‌شناسی سد	مشكلات زمین‌شناسی مخزن	اجرای خط انتقال	هزینه جاری	هزینه سرمایه	انرژی تولیدی	انرژی مصرفی	سهولت بهره‌برداری	مدت زمان اجرای طرح
گزینه ۱	-۲	۵	-۱	-۱	۰	-۱	-۱	۰	۲۸۰/۲	۱۸۳	۵	۲/۹۷	۵	۱/۲۵
گزینه ۲	-۱	۵	-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	۷۶/۲	۱۹۵	۴/۹	۲/۴	۳/۴	۱/۷۵
گزینه ۳	-۲	-۵	-۴	-۴	-۱۰	-۴	-۳	-۸	-۱۱۴	۳۰	.	۰	۰	۱۰

جدول ۶- وزن معیارها با در نظر گرفتن زیرمعیار.

معیار	اجتماعی	زیست محیطی	مشکلات زمین شناسی و حفاری	اقتصادی	سهولت بهره برداری	مدت زمان اجرا طرح
وزن	۴/۳	۷	۵	۷/۵	۵	۱۰



شکل ۶- نتایج مدل تحلیل سلسله مراتبی در نرم افزار Expert Choice.

همان طور که از جدول ۷ مشخص است، مدل نسبت به افزایش معیار اجتماعی و اقتصادی بیشترین حساسیت (۲۸/۵ درصد) را دارد. افزایش وزن معیارهای سهولت بهره برداری، مدت زمان اجرای طرح و معیارهای زیست محیطی، تغییری در رتبه بندی سایر گزینه ها ایجاد نکرد. مدل نسبت به کاهش معیار اجتماعی و اقتصادی حساس نیست. با کاهش وزن معیار زمین شناسی تغییری در رتبه بندی گزینه ها به وجود نیامد.

تحلیل حساسیت حالت دوم

نتایج تحلیل حساسیت تغییرات وزن معیارها، در حالت دوم برای گزینه های مورد مطالعه بررسی شد. به عبارت دیگر در این بخش مشخص خواهد شد تغییرات مقادیر کدام معیار حساسیت کمتر و کدام معیار حساسیت بیشتری در رتبه بندی پروژه ها ایجاد کرده است. در جدول ۷ نتایج حاصل آورده شده است.

جدول ۷- درصد تغییرات رتبه بندی پروژه ها حاصل از تغییرات وزن معیارها.

معیار	وزن معیار			
	۴۰٪ افزایش	۴۰٪ کاهش	۲۰٪ افزایش	۲۰٪ کاهش
اجتماعی	۱۴/۲۸	۱۴/۲۸	۰	۰
زیست محیطی	۰	۰	۱۴/۲۸	۱۴/۲
زمین شناسی	۰	۰	۱۴/۲۸	۰
اقتصادی	۱۴/۲۸	۱۴/۲۸	۰	۰
سهولت بهره برداری	۰	۰	۱۴/۲۸	۱۴/۲۸
مدت زمان اجرا طرح	۰	۰	۱۴/۲۸	۱۴/۲۸
کل	۲۸/۵	۴۲/۸	۲۸/۵۷	۴۲/۸

مقایسه نتایج

حالت اول

نتایج نشان داد که گزینه ۱ و ۷ به ترتیب اولین و آخرین رتبه‌بندی را به خود اختصاص می‌دهند. تحلیل حساسیت مدل نشان داد که مدل به کاهش معیار هزینه جاری حساسیت بیشتری (۱۴/۲۸ درصد) نسبت به سایر معیارها دارد و نسبت به مقادیر کاهش ۲۰٪ و ۴۰٪ حساسیت (۱۴/۲۸ درصدی) داشته است. این درحالی است که هیچ حساسیتی نسبت به مقادیر افزایشی در رتبه‌بندی گزینه‌ها ایجاد نشد. همچنین نتایج حاصل نشان داد؛ در مدل کاربردی در این مطالعه تنها رتبه‌های میانی سوم و چهارم تغییر کرده ولی دو رتبه اول و سه رتبه آخر تغییری نداشتند.

حالت دوم

به‌طور کلی می‌توان گفت معیار اجتماعی و اقتصادی حساس‌ترین معیار (۲۸/۵ درصد) نسبت به افزایش وزن معیارها می‌باشد و پس از آن معیار مشکلات زمین‌شناسی حساس است. افزایش وزن دیگر معیارها تأثیری در رتبه‌بندی ایجاد نمی‌کند. همچنین می‌توان بیان نمود که معیار سهولت بهره‌برداری و مدت زمان اجرای طرح حساس‌ترین معیار (۲۸/۵ درصد) نسبت به کاهش وزن معیارها می‌باشد و پس از آن معیار زیست‌محیطی حساس است. کاهش وزن دیگر معیارها تغییری در رتبه‌بندی گزینه‌ها ایجاد نمی‌کند. در کل می‌توان بیان نمود که بیشترین حساسیت (۴۲/۸ درصد) در مقادیر افزایشی و کاهش ۴۰٪ وزن معیارها است.

نتیجه‌گیری

بررسی اثرات پروژه‌های کلان ملی همچون طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای باتوجه به گستردگی و تنوع معیارهای هیدروژئولوژیکی، اجتماعی و زیست‌محیطی بسیار پیچیده است. در این مطالعه از روش تصمیم‌گیری چند معیاره به‌جهت ارزیابی گزینه‌های سیستم انتقال آب بین حوضه‌ای از بهشت‌آباد به فلات مرکزی ایران بهره گرفته شد. با توجه به تأثیر ۱۴ معیار کمی و کیفی مختلف در انتقال آب بین‌حوضه‌ای و همچنین لحاظ

نمودن کارشناسان تصمیم‌گیرنده با نگرش‌های مختلف، ابتدا وزن معیارها تعیین شد؛ سپس برای اولویت‌بندی گزینه‌ها، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. با توجه به این‌که در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مدلی برتر است که حساسیت کمتر یا به‌عبارتی دیگر درصد تغییرات کمتری در رتبه‌بندی ایجاد کند، نتایج حاصله از اجرای مدل در دو حالت تعریف زیرمعیار و بدون در نظر گرفتن زیرمعیار، مشخص گردید در حالتی که زیرمعیار برای تحلیل در نظر گرفته نشود، مدل حساسیت کمتری نسبت به تغییرات مقادیر داشته و اعتمادپذیری بیشتری جهت تصمیم‌گیری به‌دنبال خواهد داشت. به‌صورت کلی می‌توان نتیجه گرفت گزینه اول که انتقال آب با روش لوله از محل تنگ بهشت‌آباد به گردنه سامان و سپس الحاق به رودخانه زاینده‌رود است؛ به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب می‌شود و گزینه حفر تونل ۶۵ کیلومتری بهشت‌آباد به‌عنوان بدترین گزینه معرفی می‌گردد؛ چراکه عمق زیاد تونل، طولانی بودن مسیر تونل و شرایط خاص زمین‌شناسی مسیر عبور تونل و فرضیات دست بالا در برآورد میزان انتقال و آورد آبی رودخانه که دور از واقعیت است؛ جزو ایرادات گزینه پیشنهادی است. همچنین براساس شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه نیز، تونل انتقال آب همانند زهکش عمل نموده و منجر به خشک‌شدن چشمه‌ها و قنوات متعددی در منطقه می‌شود. بنابراین توصیه می‌شود استاندارد ارزیابی طرح-های انتقال آب بین حوضه‌ای تهیه گردد و روش استفاده شده در این پژوهش می‌تواند در تهیه استاندارد ارزیابی طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای موردتوجه قرار گیرد. راهکار برون‌رفت بحران آب مدیریت مصرف، آموزش عمومی، اصلاح شبکه‌های آبرسانی موجود، کاربرد روش‌های نوین آبیاری و استفاده از پساب در صنعت است و انتقال آب بین حوضه‌ای به‌دلیل در پی داشتن برخی آثار محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی می‌تواند به‌عنوان واپسین راهکار انتخاب شود.

منابع

احسانی، ا.، زرغامی، م.، ۱۳۸۸. استفاده از تحلیل چندمعیاره در مدیریت ساخت طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای آب. اولین

- کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، استان تهران.
- تیموری، محمود، ۱۳۹۹، انتقال آب از دریای عمان به استان های نوار شرقی کشور و راه حل های جایگزین با تأکید بر استان خراسان جنوبی، همایش ملی آب، فرهنگ و پژوهش های علوم انسانی، بیرجند.
- حافظی زاده، س.، علیخانی، ا.، هاشمی، غ.، ۱۳۸۹. اهمیت انتقال آب حوضه به حوضه در کاهش بحران آبی مناطق و ملاحظات و چالش های پیش روی آن. همایش علمی چالش در آب در استان قم، استان قم.
- حسینی، ز.، میرعباسی نجف آبادی، ر.، قاسمی، ا.، ۱۳۹۷. پیش بینی کیفیت آب زیرزمینی دشت خاتمیرزا با استفاده از روش تصمیم گیری درختی. هیدروژئولوژی، جلد ۳، شماره ۱، ۹۹-۱۱۰.
- حلیبان، ا.، شبانکاری، م.، ۱۳۸۹. مدیریت منابع آب در ایران (مطالعه موردی: چالش های انتقال آب از بهشت آباد به زاینده رود). چهارمین کنگره بین المللی جغرافی دانان جهان اسلام، دانشگاه سیستان و بلوچستان، استان سیستان و بلوچستان.
- خدابخشی، ب.، خدابخشی، ف.، ۱۳۸۵. انتقال بین حوضه های آب، رویکردی پایدار در مدیریت منابع آب کشور. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه اصفهان، استان اصفهان.
- رحیمی زاده، م.، بزرگ حداد، ا.، ۱۳۹۷. بررسی اثر انتقال آب بین حوضه های بر منابع آب ایران. پژوهش های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۳، شماره ۱، ۲۷-۴۲.
- رضوی طوسی، س.، سامانی، م.، کوره پزان دزفولی، ا.، ۱۳۸۶. اولویت بندی پروژه های انتقال آب بین حوضه های با استفاده از روش تصمیم گیری چند شاخصه ای گروهی فازی. تحقیقات منابع آب ایران، جلد ۳، شماره ۲، ۱-۹.
- رؤفی، ی.، شوربان، م.، و عطاری، ج.، ۱۳۹۴. طراحی ابعاد سیستم انتقال آب بین حوضه های با لحاظ شاخص های تصمیم گیری
- در حوضه های آبریز مبدا و مقصد. علوم و مهندسی منابع آب، جلد ۱۱، شماره ۱، ۴۹-۶۱.
- زمانی پور، م.، سعادت پور، م.، ذهیون، ب.، ۱۳۹۷. رویکرد شبیه سازی- بهینه سازی مبتنی بر فرامدل در طراحی بهینه سیستم انتقال آب بین حوضه ای. تحقیقات منابع آب ایران، جلد ۱۴، شماره ۱، ۱۹۸-۲۱۵.
- سامانی، س.، ۱۳۹۹. بررسی نظام شبکه پایش آب زیرزمینی در ایران و کشورهای منتخب و آسیب شناسی مبتنی بر آن. هیدروژئولوژی، جلد ۵، شماره ۲، ۴۳-۶۰.
- سعیدی نیا، م.، صمدی بروجنی، ح.، فتاحی، ر.، ۱۳۸۷. بررسی طرح های انتقال آب بین حوضه ای با استفاده از مدل WEAP (مطالعه موردی: تونل بهشت آباد). پژوهش آب ایران، جلد ۲، شماره ۳، ۳۳-۴۴.
- سلطانی، ن.، موسوی، م.، احمداقبال، گ.، ۱۳۹۵. ارزیابی پیامدهای احتمالی انتقال آب حوضه زاب به دریاچه ارومیه. جغرافیا و پایداری محیط، جلد ۶، شماره ۱۹، ۳۵-۵۱.
- شادابی بجند، م.، امیری، ا.، ۱۳۹۹. مطالعه و تبیین پیامدها و آثار انتقال آب دریای خزر به استان سمنان، کنفرانس بین المللی عمران، معماری، توسعه و بازآفرینی زیرساخت های شهری در ایران، تهران.
- صادقی، س.ح.، کاظمی کیا، س.، حزبوی، ز.، ۱۳۹۵. تجارب و پیامدهای انتقال آب بین حوضه ای در جهان. تحقیقات منابع آب ایران، جلد ۱۲، شماره ۲، ۱۲۰-۱۴۰.
- صداقت، م.، شیرانی، ک.، قاضی فرد، ا.، ۱۳۹۵. بررسی فعالیت گسل ها در محل ساختگاه سد بهشت آباد به کمک نهشته های کواترنری ایران، جلد ۲، شماره ۲، ۱۳۵-۱۴۲.
- صفوی، ح.، راست قلم، م.، ۱۳۹۵. راهکار برون رفت از بحران آب در حوضه آبریز زاینده رود: مدیریت توأمان تأمین و مصرف آب. جلد ۱۲، شماره ۴، ۱۲-۲۲.
- صمدی بروجنی، ح.، ۱۳۸۹. انتقال آب بین حوضه ای (فرصت ها و چالش ها)، چاپ اول، ۳۶۰ صفحه.
- ضرغامی، م.، ۱۳۸۴. مدل اولویت بندی طرح های انتقال آب از حوضه های آبریز مشترک در ایران. دومین همایش تبادل

- Feng, S., Li, L.X., Duan, Z.G., Zhang, J.L., 2007. Assessing the impacts of South-to-North Water Transfer Project with decision support systems. *Decision support systems*, 42(4): 1989-2003.
- Huang, H., Miller, G.Y., 2003. Evaluation of swine odor management strategies in a fuzzy multi-criteria decision environment, *American agricultural economics association*, Montreal, Canada.
- Karakaya, N., Evrendilek, F., Gonenc, I.E., 2014. Interbasin Water Transfer Practices in Turkey. *Journal of ecosystem ecology*, 4(2): 1-5.
- Karamouz, M., Mojahedi, S.A., and Ahmadi, A., 2010. Interbasin water transfer: Economic water quality-based model. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 136(2): 90-98.
- Ma, Y., Chang, J., Guo, A., Wu, L., Yang, J., Chen, L., 2020. Optimizing Inter-basin water transfers from multiple sources among interconnected River basins. *Journal of Hydrology*, 590, 125461.
- Mosadeghi, R., Warnken, J., Tomlinson, R., Mirfenderesk, H., 2015. Comparison of Fuzzy-AHP and AHP in a spatial multi-criteria decision making model for urban land-use planning. *Computers environment and urban systems*, 49(1): 54-65.
- Roozbahani, A., Ghased, H., Shahedany, M.H., 2020. Inter-basin water transfer planning with grey COPRAS and fuzzy COPRAS techniques: A case study in Iranian Central Plateau. *Science of the Total Environment*, 138499.
- Sinha, P., Rollason, E., Bracken, L.J., Wainwright, J., Reaney, S.M., 2020. A new framework for integrated, holistic, and transparent evaluation of inter-basin water transfer schemes. *Science of the Total Environment*, 721, 137646.
- Torabi Pudeh, H.T., Mansouri, R., Haghiabi, A.H., Yonesi, H.A., 2016. Optimization of hydraulic-hydrologic complex system of reservoirs and connecting tunnel. *Water resources management*, 30(14): 5177-5191.
- تجربه‌های پژوهشی، فنی و مهندسی، آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی، استان آذربایجان شرقی.
- فریادی، م.، ۱۳۹۷. انتقال میان حوضه‌ای آب: مبانی و چالش‌های حقوقی. پژوهش حقوق عمومی، سال ۲۰، شماره ۶۱، ۱۱۵-۱۴۲.
- مظلوم شهرکی، ر.، خاشعی سیوکی، ع.، نجفی مود، م.، خزیمه نژاد، ح.، ۱۳۹۲. بررسی طرح انتقال آب بین حوضه‌ای بهشت آباد و تاثیر آن بر روی مناطق مبدا و مقصد. اولین همایش ملی آبیاری و بهره‌وری آب، مشهد مقدس، استان خراسان رضوی.
- مقدم، س.، احمدی، ح.، زینال زاده، ک.، حصاری، ب.، ۱۳۹۹. مکانیابی پتانسیل آبهای زیرزمینی تجدید شونده حوضه آبریز دریاچه ارومیه با تحلیل AHP و تکنیک فازی فضایی (مطالعه موردی: دشت ارومیه. هیدروژئولوژی، جلد ۵، شماره ۲، ۱۴۲-۱۵۴).
- منصوری، ر.، ترابی پوده، ح.، حق‌آبی، ا.، یونسی، ح.، ۱۳۹۶. بهینه‌سازی و مدل‌سازی تلفیقی هیدرولیک و منابع آب پروژه انتقال آب بین حوضه‌ای با استفاده از برنامه‌ریزی پویا اصلاح شده (مورد مطالعاتی: فلات مرکزی ایران). تحقیقات منابع آب ایران. جلد ۱۳، شماره ۱. ۵۳-۶۸.
- مهدوری، س.، آیتی، ف.، ۱۳۹۲. بررسی تراست لازم حفاری در تونل انتقال آب بهشت آباد. زمین‌شناسی مهندسی، جلد ۷، شماره ۱، ۱۷۰۷-۱۷۲۴.
- مهرشاد، ف.، اسماعیلیان، م.، رحیمی، د.، ۱۳۹۷. ارزیابی اثرهای سناریوهای توسعه‌ای و اقلیمی بر آینده منابع و مصارف آبی حوضه بهشت آباد با استفاده از رویکرد پویایی سیستم. پژوهش آب ایران، جلد ۱۲، شماره ۴، ۱۱-۲۴.
- Ahmadi Najl, A., Haghighi, A., Vali Samani, H.M., 2016. Driving optimum trade-off between the benefits and costs of Interbasin water transfer projects. *Iran University of Science technology*, 6(2): 173-185.
- Allan, T., 2003. IWRM/IWRAM: a new sanctioned discourse. *Occasional paper*, 50(1): 1-27.