



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۴

صفحه‌های ۹۷-۱۱۳

اولویت‌بندی سناریوهای تخصیص آب سد زاینده‌رود به مصرف‌کنندگان مختلف؛ با رویکرد مدل‌های خبره تصمیم‌گیری چندشاخصه

محبوبه غزالی*^۱، عباس روزبهانی^۲، تورج هنر^۳، فاطمه محمدی^۴

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، بخش مهندسی آب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲. استادیار گروه آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. دانشیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۴. دانشجوی دکتری منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۱۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰

چکیده

رشد جمعیت و توسعه صنعت و کشاورزی، سبب افزایش تقاضا و رقابت بر سر منابع آب در حوضه‌های آبریز بزرگ کشور، به‌خصوص حوضه زاینده‌رود گشته و به‌شدت بر بخش‌های کشاورزی و محیط زیست تأثیر گذاشته است. بنابراین، بررسی و ارائه سناریوی برتر برای تخصیص آب در این حوضه ضروری است. در این تحقیق، با توجه به وجود دوره‌های متناوب ترسالی، خشک‌سالی و نرمال، برای هر یک از این شرایط، پنج سناریوی تخصیص آب تعریف شده است. همچنین پنج شاخص شامل معیارهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی برای ارزیابی کمی سناریوهای اجرایی انتخاب شده است. برای رتبه‌بندی سناریوهای تخصیص، از چهار تکنیک کارآمد تصمیم‌گیری چندشاخصه AHP, TOPSIS, ELECTRE-III و CP استفاده شده است. سپس، از روش تصمیم‌گیری گروهی بوردا به منظور رتبه‌بندی نهایی سناریوها استفاده شده است.

کلیدواژه‌ها: حوضه زاینده‌رود، رتبه‌بندی، روش بوردا، کشاورزی، محیط زیست.

مقدمه

در چند سال اخیر، سدها و مخازن آبی نقش مهمی در تأمین نیاز آب شهری، صنعت و کشاورزی داشته‌اند. این مخازن، علاوه بر تأمین نیازهای مصرفی، در کنترل سیلاب، تولید انرژی، جذب توریسم و ایجاد محیط زیستی خاص اهمیت ویژه‌ای دارند؛ بنابراین، مدیریت آب‌های سطحی و تخصیص بهینه این منابع بین مصارف مختلف، لازم به نظر می‌رسد (۱۰). در این بین، رودخانه زاینده‌رود با توجه به قرارگیری آن در یکی از مناطق جمعیتی و صنعتی مهم کشور، اهمیت ویژه‌ای دارد. محدودیت منابع آب در این حوضه و هزینه‌های هنگفت تأمین، انتقال و توزیع آب، لزوم بهره‌برداری بهینه از شبکه‌های آبیاری و زهکشی و مخزن سد زاینده‌رود را تشدید می‌کند. در گذشته مطالعاتی برای حل مشکلات مدیریت آب در حوضه زاینده‌رود انجام شده است که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از: معرفی و توسعه تئوری بازی‌ها به منظور کاربرد در حل منازعات در حوضه‌های آبریز و استفاده از آن به منظور حل تعارضات در حوضه زاینده‌رود (۱۷، ۱۶)، ارزیابی تخصیص آب بر مبنای بهینه‌سازی و کاهش عادلانه آب در خشک‌سالی ۱۹۹۹ در حوضه زاینده‌رود با رویکرد افزایش درآمد کشاورزان بر اساس تخصیص آب در مراحل حساس رشد گیاهان (۲۱)، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای بارندگی و رواناب در حوضه آبریز رودخانه زاینده‌رود (۲۲) و توسعه مدل جامع مدیریت و پایداری حوضه آبریز زاینده‌رود (ZWR-MSM) بر مبنای رویکرد دینامیک سیستم‌ها (۱۸).

یکی از روش‌هایی که در سال‌های اخیر در زمینه‌های مختلف از جمله مدیریت منابع آب، توسعه و کاربرد زیادی پیدا کرده است، مدل‌های خیره تصمیم‌گیری چندشاخصه است. یکی از کاربردهای اصلی مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM) در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، کاربرد به منظور تخصیص بهینه منابع است (۱۹).

همچنین یکی از کاربردهای روش تصمیم‌گیری چندشاخصه^۱ TOPSIS، ارزیابی و انتخاب سناریوهای برتر مدیریت آب معرفی شده است (۱۴). در حوضه رودخانه کریشنا در جنوب هند، از تکنیک‌های^۲ ELECTRE II و ELECTRE I (۱۲) و در حوضه ریوگرند از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه^۳ ELECTRE III (۱۵)، برای رتبه‌بندی گزینه‌های برنامه‌ریزی منابع آب استفاده شده است. در حوضه رودخانه جاکوپ در برزیل، به منظور رتبه‌بندی ۱۲ سناریوی مدیریتی بر مبنای شش معیار، از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه^۴ TOPSIS استفاده شد (۲۵). در حوضه برگ در آفریقای جنوبی، از پنج دسته معیار زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی، تراز سطح آب و پذیرش عمومی استفاده شد. سپس، برای ارزیابی سناریوهای مدیریتی و به منظور انتخاب مناسب‌ترین مکان‌ها برای آبیاری، از مدل تصمیم‌گیری چندشاخصه^۵ AHP بهره گرفته شد (۲۰، ۱۳). در تحقیقی دیگر، ۱۶ سناریوی مدیریتی برای بهره‌برداری از سد بوستان در استان گلستان تدوین و با استفاده از پنج معیار ارزیابی شدند. معیارها به کمک روش AHP وزن‌دهی و با استفاده از روش TOPSIS اولویت‌بندی شدند (۵).

به منظور پیاده‌سازی مفهوم مدیریت جامع منابع آب در قالب حوضه آبریز رودخانه زاینده‌رود، در ابتدا ساختار سیستم پشتیبانی تصمیم ایجاد شد که دربرگیرنده بخش‌های مختلفی همچون بخش‌های زیر است: تعریف مسئله، تبیین استراتژی‌ها و سناریوها (با توجه به سیاست‌ها)، مدل‌سازی (مدل‌سازی مفهومی، تشکیل پایگاه داده و ابزار مدل‌سازی)، تعیین گزینه‌های

1. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
2. Elimination and (Et) Choice Translating Reality
3. Analytic Hierarchy Process

مدیریت آب و آبیاری

تصمیم‌گیری گروهی بوردا^۲ برای رتبه‌بندی نهایی و تجمیع نهایی استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت و سیمای طبیعی منطقه مورد مطالعه

حوضه زاینده‌رود با وسعت ۲۶۹۱۷ کیلومتر مربع که حدود ۹۳ درصد از مساحت آن در استان اصفهان و ۷ درصد آن در استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد، دربرگیرنده قسمت عمده‌ای از حوضه آبریز تالاب گاوخونی است. این رود، مرتفع‌ترین نقطه حوضه کوه کربوش با ارتفاع ۳۹۷۴ متر از سطح دریا و کم‌ارتفاع‌ترین نقطه نزدیک تالاب گاوخونی، با ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریاست. بخشی از منابع آبی حوضه زاینده‌رود شامل منابع سطحی و زیرزمینی حوضه است که از طریق بارش تأمین می‌شود. در ناحیه چلگرد، واقع در غرب حوضه، متوسط سالیانه بارش، بیش از ۱۴۰۰ میلی‌متر است؛ ولی این مقدار در شرق حوضه و در کنار تالاب گاوخونی از ۱۰۰ میلی‌متر تجاوز نمی‌کند. بخش دیگر، منابع آبی هستند که از طریق طرح‌های انتقال آب به داخل حوضه تأمین می‌شوند. اولین تلاش موفق در این زمینه، در سال ۱۳۳۳، یعنی زمان افتتاح تونل اول کوه‌رنگ (با آورد سالیانه حدود ۳۰۰ میلیون مترمکعب) انجام شد. سپس در سال ۱۳۶۴، تونل دوم کوه‌رنگ (با آورد سالیانه حدود ۲۵۰ میلیون مترمکعب) به بهره‌برداری رسید. مجموعه انتقال آب از چشمه لنگان (۱۳۸۴) و خدنگستان (۱۳۹۰)، با ظرفیت ۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال، از دیگر طرح‌های انتقال آب به داخل حوضه زاینده‌رود است. در حال حاضر نیز تونل سوم کوه‌رنگ با ظرفیت ۲۶۸ میلیون مترمکعب در سال، در حال اجراست. شکل ۱، موقعیت رودخانه زاینده‌رود و طرح‌های انتقال آب به داخل حوضه را نشان می‌دهد.

تصمیم (تعیین معیارها و ارزیابی سناریوها)، تصمیم‌گیری (تصمیم‌گیری گروهی و سازمانی) و برآورد خطرپذیری (ریسک) برنامه‌های توسعه حوضه در برابر تغییر اقلیم.

در فرایند ارزیابی سناریوها نیز از AHP فازی و روش‌های ارزیابی گروهی استفاده شد (۲۴). با استفاده از یک مدل تصمیم‌گیری چندشاخصه مبتنی بر فاصله، به کمک روش‌های جمع وزنی ساده، برنامه‌ریزی سازشی (CP)^۱ و روش TOPSIS، تخصیص بهینه آب حوضه دریاچه ارومیه بین ذی‌نفعان مختلف انجام گرفت و سهم بهینه هر یک از استان‌ها از منابع آب سطحی تعیین شد (۶). چندین روش‌های تصمیم‌گیری از جمله Fuzzy TOPSIS، به‌منظور رتبه‌بندی و ارزیابی چهار پروژه انتقال آب در حوضه رودخانه کارون بر مبنای ۶۰ معیار در بخش‌های اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی به کار رفته است (۲۳). روش AHP در حوضه سد مخزنی دجرداپ روی رودخانه دانب در مرز مشترک رومانی و صربستان، به‌منظور ایجاد چارچوبی برای مشارکت گروه‌های ذی‌نفع برای دستیابی به مدل بهینه توزیع آب به کار رفته است (۲۶).

در این تحقیق، با توجه به قابلیت و کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه در مسائل مدیریت منابع آب، از چهار روش تصمیم‌گیری ELECTRE، AHP، TOPSIS و III و CP به‌منظور تخصیص بهینه منابع آب سد زاینده‌رود بین مصرف‌کنندگان مختلف استفاده شده است. در هر یک از شرایط خشک‌سالی، نرمال و ترسالی (که در سایر مطالعات به اهمیت انتخاب سناریوی مناسب برای هر یک از این شرایط توجه نشده بود)، پنج سناریوی تخصیص آب تعریف و رتبه‌بندی سناریوها با هر روش انجام گرفت. به دلیل اختلاف در رتبه‌بندی روش‌های مختلف، از روش

2. Borda

1. Compromise Programming



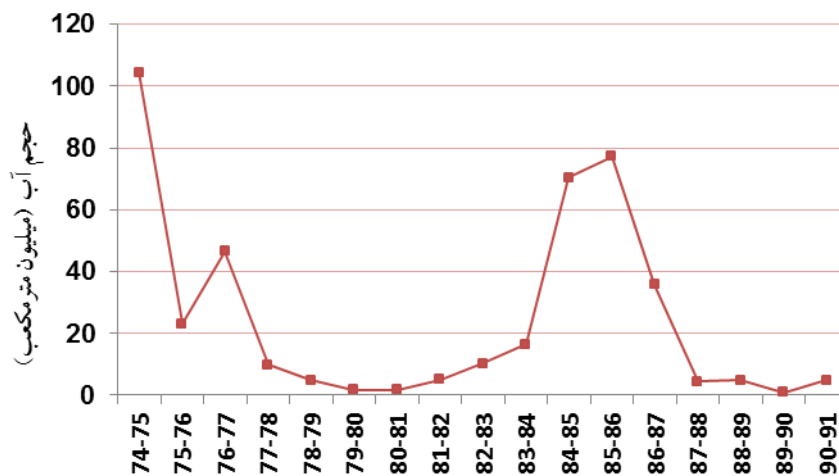
شکل ۱. رودخانه زاینده‌رود در استان اصفهان و چهارمحال و بختیاری؛ طرح‌های انتقال آب به داخل حوضه و شبکه‌های آبیاری (۹)

کیلومتری تالاب قرار دارد و بررسی تغییرات حجم آب انتقال‌یافته به تالاب در سال‌های مختلف (شکل ۲)، مشاهده می‌شود که در هیچ‌یک از سال‌های مورد بررسی، آب انتقال‌یافته به تالاب تکافوی نیاز آن را نکرده و در برخی سال‌ها، از جمله سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، عملاً آب دریافتی تالاب صفر بوده است (۰/۸۵ میلیون مترمکعب).

مصارف آب زاینده‌رود

منابع آب سطحی حوضه زاینده‌رود در دو بخش داخل و خارج از حوضه به مصرف می‌رسند. مصرف‌کنندگان داخل حوضه شامل چهار بخش کلی است:

۱. محیط زیست: میزان حجم آب مورد نیاز سالانه برای حفظ تالاب گاوخونی، ۱۹۰ میلیون مترمکعب برآورد شده است (۸). با در نظر گرفتن ایستگاه هیدرومتری ورزنه که آخرین ایستگاه در پایاب رودخانه است و در فاصله ۱۰



شکل ۲. آورد سالانه رودخانه زاینده‌رود در مقطع ایستگاه هیدرومتری ورزنه در دوره آماری ۷۵-۱۳۷۴ تا ۹۱-۱۳۹۰

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۴

اولویت‌بندی سناریوهای تخصیص آب سد زاینده‌رود به مصرف‌کنندگان مختلف؛ با رویکرد مدل‌های خبره تصمیم‌گیری چندشاخصه

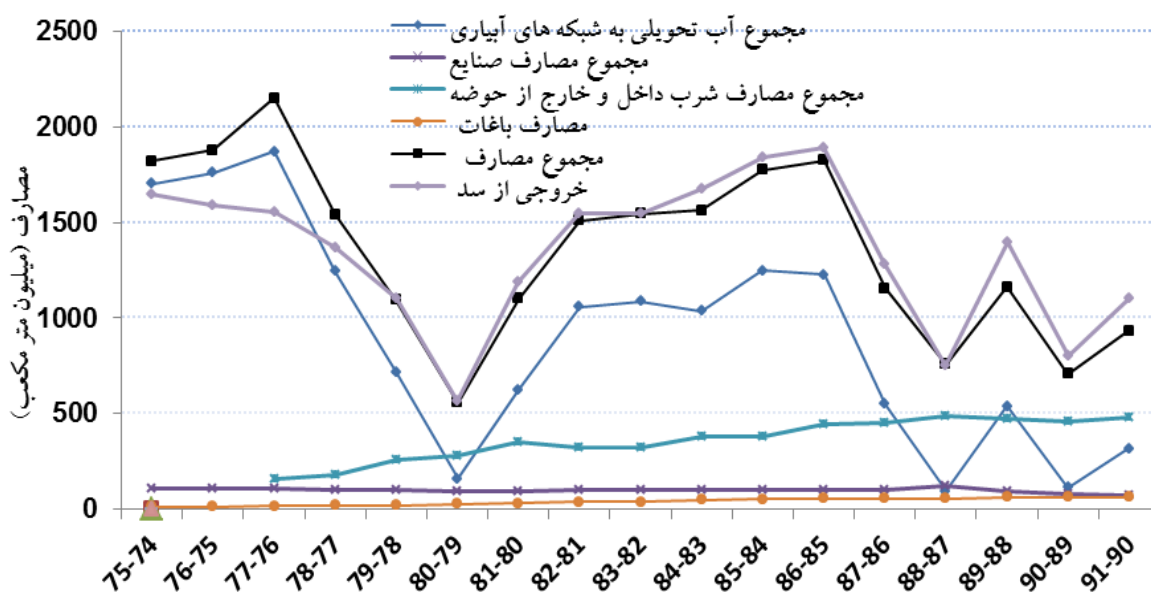
زاینده‌رود واقع در محدوده استان چهارمحال و بختیاری و غرب اصفهان است (شکل ۳) (۴).

مصارف آب زاینده‌رود در خارج از حوضه، شامل دو طرح انتقال آب کاشان و یزد است که غالباً با هدف مصارف شرب صورت می‌گیرد. طرح انتقال آب به کاشان در خرداد ۱۳۸۴ به بهره‌برداری رسید و حجم آب انتقال‌یافته توسط این طرح، در سال ۱۳۹۱ حدود ۱۴ میلیون مترمکعب بوده است (شکل ۳). طرح انتقال آب به یزد با هدف تأمین آب شرب یزد، در سال ۱۳۷۹ به بهره‌برداری رسید و حجم آب انتقال‌یافته توسط این طرح، در سال ۱۳۹۱ حدود ۶۵ میلیون مترمکعب بوده است (شکل ۳) (۴).

۲. مصارف شرب و شهری: شامل شهرها و روستاهای تحت پوشش تصفیه‌خانه آب اصفهان (باباشیخ‌علی) است. میزان آب تحویلی سازمان آب منطقه‌ای اصفهان در سال ۱۳۹۱ به این تصفیه‌خانه، حدود ۴۰۰ میلیون مترمکعب بوده است (شکل ۳) (۴).

۳. صنایع: شامل صنایع بزرگ مانند ذوب آهن و فولاد مبارکه است. شکل ۳، نشان‌دهنده حجم آب تحویلی از طرف آب منطقه‌ای اصفهان به این بخش در سال‌های مختلف است (۴).

۴. کشاورزی: مصرف‌کنندگان این بخش شامل شبکه‌های آبیاری و زهکشی نوین و سنتی در اصفهان با مساحتی بیش از ۲۱۳۰۰۰ هکتار (زراعت) و باغات حاشیه



شکل ۳. تغییرات سالانه میزان مصرف آب زاینده‌رود توسط مصرف‌کنندگان مختلف در دوره آماری ۱۳۷۵-۱۳۹۱ تا ۱۳۹۰-۹۱ (۴)

بیشتری از سد رها شده، میزان آب تحویلی به شبکه‌ها هم افزایش یافته و در خشک‌سالی‌ها کاهش داشته است. این در حالی است که چنین هماهنگی در سایر مصارف، از جمله شرب و صنعت، مشاهده نمی‌شود و به دلیل اولویت تأمین آب مورد نیاز شرب و صنعت، کاهش حجم آب

شکل ۳، تغییرات سالانه میزان مصرف آب سد زاینده‌رود توسط مصرف‌کنندگان مختلف را در دوره آماری ۱۳۷۵-۱۳۹۱ تا ۱۳۹۰-۹۱ نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، آب تحویلی به شبکه‌های آبیاری، روندی مشابه میزان خروجی از سد دارد، یعنی در سال‌های پرآبی که آب

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۴

سناریوهای پیشنهادی به منظور تخصیص بهینه آب سد زاینده رود بین مصرف‌کنندگان مختلف استفاده شده است. این معیارها عبارت‌اند از:

- جمعیت: یکی از مصرف‌کنندگان مهم آب در حوضه زاینده رود که تأمین نیاز آن دارای اولویت زیادی است، نیاز آب شرب است. بنابراین، جمعیت یکی از معیارهای مهم در ارزیابی سناریوهای پیشنهادی خواهد بود که طبق گزارش شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور در سال ۱۳۹۱، جمعیت تحت پوشش آب شرب اصفهان بزرگ و دو طرح انتقال آب به یزد و کاشان، بیش از ۴۳۹۹۱۲۳ نفر است.

- هزینه انتقال هر واحد از موجودی سد به بخش‌های مختلف شرب، صنعت و کشاورزی: جدول ۱، مقادیر مربوط به هزینه انتقال هر واحد از موجودی سد به بخش‌های مختلف شرب، صنعت و کشاورزی را نشان می‌دهد که به‌عنوان پارامتری مؤثر در بهینه‌سازی اقتصادی تخصیص آب در دسترس است.

- زیان ناشی از کمبود آب در بخش‌های مختلف صنعت، شرب و کشاورزی: به لحاظ آنکه در انتخاب هر گزینه‌ای برای تخصیص بهینه منابع آب، حداکثر شدن منافع اقتصادی یکی از اهداف اساسی است، زیان ناشی از کمبود آب در بخش‌های مختلف صنعت، شرب و کشاورزی، به‌عنوان پارامتری اقتصادی در اولویت‌بندی سناریوها در این پژوهش در نظر گرفته شد (جدول ۱).

- نارضایتی: انتخاب هر گزینه‌ای، با توجه به وجود کمبود آب در حوضه زاینده رود نسبت به تقاضا، نارضایتی بخشی از اقشار ذی‌نفع از جمله مردم عادی (نارضایتی اجتماعی)، کشاورزان (نارضایتی در بخش کشاورزی)، بخش صنعت (نارضایتی در بخش صنعت) یا نارضایتی در بخش محیط زیست را در پی خواهد داشت.

تخصیصی، تنها در بخش زراعت اعمال شده است. نیز می‌توان گفت فشار حاصل از خشک‌سالی‌های اخیر، تنها بر دوش بخش کشاورزی زراعی (شکل ۳) و محیط زیست (شکل ۲) بوده است.

با توجه به موارد فوق، ضرورت تحقیق در خصوص تخصیص بهینه آب زاینده‌رود بین مصارف مختلف با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی وجود دارد. بنابراین در ادامه، به نحوه تخصیص بهینه آب مخزن سد زاینده‌رود بین مصارف مختلف با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه پرداخته خواهد شد.

معیارها

در حالت ایدئال، تخصیص آب باید از نظر اقتصادی، کارآمد و از نظر فنی، عملی و از نظر اجتماعی، عادلانه باشد. تخصیص کارآمد از نظر اقتصادی، به توزیع آب برای به حداکثر رساندن سود اقتصادی و تخصیص با عدالت اجتماعی به توزیع برای حفظ منافع و تخصیص عادلانه آب به گروه‌هایی گرایش دارد که از نظر اقتصادی ضعیف‌اند. بنابراین، نیاز به سیستم تخصیص آب مناسب ضروری است که در آن، آب به‌عنوان کالای اجتماعی و اقتصادی در نظر گرفته شود (۲).

به‌منظور تخصیص بهینه منابع آب بین مصرف‌کنندگان مختلف، در نظر گرفتن معیارهای مختلف برای اولویت‌بندی و تعیین اهمیت مصارف ضروری است. در این میان، تصمیم‌گیرنده که در یک سیستم بهره‌برداری از مخزن سد، شرکت آب منطقه‌ای یا وزارت نیرو است، باید از میان گزینه‌های مختلف برای تخصیص آب، گزینه‌ای را انتخاب کند که با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، بهترین و عادلانه‌ترین گزینه باشد. در این مطالعه، از پنج معیار کلی به منظور ارزیابی و اولویت‌بندی

اولویت‌بندی سناریوهای تخصیص آب سد زاینده‌رود به مصرف‌کنندگان مختلف؛ با رویکرد مدل‌های خبره تصمیم‌گیری چندشاخصه

جدول ۱. هزینه انتقال و زیان کمبود هر واحد آب (میلیون مترمکعب) در بخش‌های مختلف (۳)

ردیف	شرب	صنعت	کشاورزی
میزان خسارت (میلیون تومان)	۶۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۱۰۰۰
هزینه انتقال (میلیون تومان)	۶۰۰	۲۰۰	۱۰۰

ترسالی و نرمال)، پنج سناریوی تخصیص تعریف شد. همچنین طبق برآوردهای وزارت نیرو برای تخصیص آب در حوضه مورد نظر، میزان حقابه محاسبه شده برای بخش کشاورزی در زمان‌های خشک‌سالی و ترسالی با هم متفاوت است (که با نحوه تخصیص در طومار منسوب به شیخ بهایی نیز انطباق دارد)؛ بنابراین، در محاسبات مربوط به سناریوها از این آمار استفاده شد (جدول ۲).

با لحاظ فرضیاتی از جمله اینکه حداکثر میزان کاهش مجاز در بخش شرب و صنعت، ۱۰ درصد و حداکثر میزان کاهش مجاز در بخش نیاز آبی باغات و نیاز زیست‌محیطی تالاب، ۲۰ درصد خواهد بود، درصد آب اختصاص یافته به بخش زراعت در حالت‌های مختلف محاسبه شد. در محاسبات، مجموع تخصیص‌ها در هر سناریو با میزان موجودی سد در شرایط مورد نظر برابر شد و فرض بر تخلیه کامل حجم مجاز سد در پایان هر سال آبی بود که با شرایط بهره‌برداری واقعی از مخزن زاینده‌رود مطابق است (۴). جدول ۳، سناریوهای مختلف تعریف شده را برای هر حالت نشان می‌دهد.

بنابراین، نارضایتی به‌عنوان معیاری منفی در ارزیابی سناریوهای پیشنهادی لحاظ گردید و اطلاعات مربوط به این معیار از طریق پرسش‌نامه و با پرسش از ۱۵ نفر از کارشناسان سازمان‌های مختلف، اعم از سازمان آب منطقه‌ای، جهاد کشاورزی، محققان دانشگاهی و نظام صنفی کشاورزان به دست آمد. مقادیر مربوط به نارضایتی‌های فوق در هر سناریو، به‌صورت کیفی (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تعیین و با استفاده از الگوریتم هوانگ (۱۹۸۱) به مقادیر کمی تبدیل گردید (۱).
- تأمین نیاز زیست‌محیطی تالاب: در سال‌های اخیر، نیاز زیست‌محیطی تالاب گاوخونی و رودخانه زاینده‌رود تأمین نشده است. بنابراین، برای اولویت‌بخشیدن به تأمین نیاز زیست‌محیطی تالاب، این مقدار به‌عنوان معیاری جداگانه و مثبت در نظر گرفته شده است (۶).

سناریوها

به‌منظور تعیین سناریوهای تخصیص بهینه آب در حوضه زاینده‌رود در بین مصرف‌کنندگان مختلف، با توجه به میزان موجودی سد (آورد میانگین) در هر دوره (خشک‌سالی،

جدول ۲. آورد میانگین در مقطع سد مخزنی زاینده‌رود در دوره‌های مختلف ترسالی، خشک‌سالی و نرمال (۴)

دوره‌های مختلف	خشک‌سالی	نرمال	ترسالی
آورد میانگین رودخانه (MCM)	۱۱۰۱	۱۳۲۳	۱۸۳۳
میزان حقابه و سهمیه کشاورزان (زراعت) (MCM)	۵۱۶	۷۲۵	۱۲۰۰

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۴

جدول ۳. ضریب تخصیص آب در سناریوهای تعریف شده برای حالت‌های خشک‌سالی، نرمال و ترسالی

شرب	محیط زیست	صنعت	نیاز آبی باغات	زراعت (خشک‌سالی)	زراعت (نرمال)	زراعت (ترسالی)
سناریوی ۱	۱	۱	۱	۰/۴۸	۰/۶۴۵	۰/۸۱۵
سناریوی ۲	۱	۱	۰/۹	۰/۵	۰/۶۶	۰/۸۲
سناریوی ۳	۱	۰/۹	۰/۸	۰/۵۷	۰/۷۱	۰/۸۵۵
سناریوی ۴	۱	۰/۸	۰/۸	۰/۶۱	۰/۷۳۵	۰/۸۷
سناریوی ۵	۰/۹	۰/۸	۰/۸	۰/۷	۰/۸	۰/۹۱

روش Topsis و CP (فاصله‌محور)، AHP (سلسله‌مراتبی) و ELECTRE III (غیررتبه‌ای)، برای ارزیابی سناریوهای مدیریتی انتخاب شدند که در ادامه، به شرح مختصری از آن‌ها پرداخته می‌شود.

روش Topsis

روش Topsis را هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ ارائه کردند. این روش، بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی باید کمترین فاصله را با راه‌حل ایدئال مثبت و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایدئال منفی داشته باشد. در این روش، m گزینه به وسیله n شاخص ارزیابی می‌شود و هر مسئله را می‌توان سیستمی هندسی شامل m نقطه در فضای n بعدی در نظر گرفت.

مراحل حل مسئله با این روش عبارت‌اند از (۱۴):

گام صفر: به دست آوردن ماتریس تصمیم که شامل m گزینه و n شاخص است؛

گام اول: محاسبه ماتریس بی‌مقیاس شده (N) به روش نرم: در این گام، مقیاس‌های موجود در ماتریس، تصمیم را بدون مقیاس می‌کند. به این ترتیب که هر یک از مقادیر بر اندازه بردار مربوط به همان شاخص تقسیم می‌شود؛

گام دوم: محاسبه ماتریس اوزان (W) با یکی از روش‌های وزن‌دهی؛

گفتنی است شرایط فعلی بهره‌برداری از مخزن سد به این صورت است که نیاز آبی بخش‌های شرب، صنعت و باغات حاشیه زاینده‌رود، به دلیل قرارگیری در بالادست، تقریباً به‌طور کامل تأمین شده است و سپس حجم آب باقی‌مانده، به بخش زراعی اختصاص می‌یابد (با اولویت مناطق بالادست رودخانه). این رویه، همواره سبب کفایت نکردن آب تخصیصی برای شبکه‌های آبیاری می‌شود و از آنجا که حجم آب‌های بازگشتی به شدت ناچیز است و در اکثر موارد، رودخانه با دبی بسیار ناچیز یا صفر به دهانه تالاب گاوخونی می‌رسد، سبب تأمین نشدن نیاز زیست‌محیطی تالاب در سال‌های اخیر شده است.

روش‌های تصمیم‌گیری

تجزیه و تحلیل سیستم‌های پیچیده منابع آب شامل هزاران متغیر تصمیم و محدودیت است و هنوز هم الگوریتمی عمومی برای بهینه‌سازی وجود ندارد. انتخاب روش حل به موارد زیر بستگی دارد: خصوصیات سیستم مخازن در نظر گرفته شده، در دسترس بودن داده‌ها، اهداف و نوع محدودیت‌ها.

روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه با کاربرد در منابع آب شامل رویکردهای فاصله‌محور، روش‌های غیررتبه‌ای و سلسله‌مراتبی است (۱۱)؛ بنابراین، در این تحقیق، چهار

اولویت‌بندی سناریوهای تخصیص آب سد زاینده‌رود به مصرف‌کنندگان مختلف؛ با رویکرد مدل‌های خبره تصمیم‌گیری چندشاخصه

در این روابط، S_i^* فاصله هر گزینه تا راه‌حل ایدئال مثبت و S_i^- فاصله هر گزینه تا راه‌حل ایدئال منفی است. گام هفتم: تعیین نزدیکی نسبی یک گزینه به راه‌حل ایدئال:

$$CL = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad (5)$$

در این رابطه، CL، نزدیکی نسبی هر گزینه است. گام هشتم: رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس CL بزرگ‌تر.

روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

روش تحلیل سلسله‌مراتبی را اولین بار توماس. ل. ساعتی (۱۹۸۰) ارائه کرد. این روش، ابزاری چندمعیاره و بسیار کاربردی است که به‌صورت گسترده در فرایند تصمیم‌گیری‌های چندشاخصه از آن استفاده می‌شود. از روش AHP در مطالعات محیطی استفاده‌های مختلفی می‌شود. در این پژوهش، به‌منظور رتبه‌بندی سناریوهای مورد نظر با روش AHP از نرم‌افزار اکسپرت چویس^۱ استفاده شده است. به‌طور کلی، می‌توان فرایند تحلیل AHP را در گام‌های زیر خلاصه کرد (۱):

۱. تشکیل ساختار سلسله‌مراتبی؛
۲. تبدیل معیارهای کیفی به کمی؛
۳. بی‌مقیاس (نرمال) سازی؛
۴. انجام مقایسات زوجی؛
۵. محاسبه وزن نسبی معیارها و زیرمعیارها؛
۶. محاسبه وزن نسبی گزینه‌ها؛
۷. محاسبه وزن نهایی گزینه‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها.

روش ELECTRE III

اولین گام در این روش، محاسبه ماتریس هم‌مانگی،

1. Expert choice

گام سوم: محاسبه ماتریس بی‌مقیاس موزون (V):
 $V = N \times W_{n \times n}$

گام چهارم؛ راه‌حل ایدئال مثبت: بزرگ‌ترین مقدار برای شاخص‌های مثبت و کوچک‌ترین مقدار برای شاخص‌های منفی، به‌عبارتی برداری متشکل از بهترین مقادیر برای هر شاخص:

$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$, $V_i^* = \{(\max v_{ij} | j \in J), (\min v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, n\}$
 در این رابطه، $J = \{j = 1, 2, 3, \dots, n\}$ و $J' = \{j = 1, 2, 3, \dots, n\}$ مربوط به شاخص سود، J مربوط به شاخص هزینه و $V_j^*(A^*)$ گزینه ایدئال مثبت است.

گام پنجم؛ راه‌حل ایدئال منفی: بزرگ‌ترین مقدار برای شاخص‌های منفی و کوچک‌ترین مقدار برای شاخص‌های مثبت، به‌عبارتی برداری متشکل از بدترین مقادیر برای هر شاخص:

$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$, $V_i^- = \{(\min v_{ij} | j \in J), (\max v_{ij} | j \in J')\}$
 در این رابطه، $J = \{j = 1, 2, 3, \dots, n\}$ و $J' = \{j = 1, 2, 3, \dots, n\}$ مربوط به شاخص سود، J' مربوط به شاخص هزینه و $V_j^-(A^-)$ گزینه ایدئال منفی است.

گام ششم: محاسبه فاصله اقلیدسی هر گزینه تا ایدئال‌های مثبت و منفی.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (4)$$

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۴

ماکزیم مقادیر ماتریس اعتبار و β و α ضرایب تحلیل حساسیت‌اند.

از دیگر اطلاعات ورودی روش ELECTRE III، مقادیر ارزش‌های آستانه بی‌تفاوتی، برتری و وتو است. در تعیین مقدار ارزش آستانه بی‌تفاوتی، تصمیم‌گیرنده مقدار اختلاف ارزش‌های دو گزینه نسبت به یک معیار را تعیین می‌کند. این مقدار سبب برتری گزینه‌ای از گزینه دیگر نمی‌شود و می‌توان از این مقدار اختلاف چشم‌پوشی کرد. ارزش آستانه برتری، مقدار اختلافی خواهد بود که سبب برتری قاطع گزینه‌ای از گزینه دیگر می‌شود. ارزش آستانه وتو (v_j) این امکان را دارد تا در صورت برقراری رابطه $g_j(b) > g_j(a) + v_j$ و برتری گزینه a ، تنها بر اساس یک معیار، رد یا به اصطلاح وتو شود. در طرحی مشخص، تعیین این مقادیر بایستی توسط افراد ذی‌نفع و تصمیم‌گیرندگان مربوط به آن طرح انجام شود. در مطالعه موردی ارائه شده در این تحقیق، سعی شده است برای این ارزش‌های آستانه، با توجه به نظر کارشناسان خبره، مقادیر منطقی در نظر گرفته شود. مقادیر مربوطه در جدول ۴ آمده است. قسمتی دیگر از اطلاعات مورد نیاز برای به‌کارگیری این روش، تعیین وزن معیارهاست که بیان‌کننده ضرایب اهمیت هریک از معیارهاست.

محاسبه ماتریس ناهم‌انگهی و در نهایت، رتبه‌بندی گزینه‌ها با توجه به ماتریس اعتبار است. تابع هم‌انگهی و ناهم‌انگهی به صورت تابعی شبه‌فازی در ماتریس کارایی است. ابتدا ماتریس اعتبار مطابق رابطه ۶ محاسبه می‌شود و در نهایت، با استفاده از شاخص لاندا (رابطه ۷) اولویت گزینه‌ها تعیین می‌گردد. در این پژوهش، به منظور تجزیه و تحلیل روش ELECTRE III از نرم‌افزار ELECTRE استفاده شده است.

(۶)

$$s(a,b) = \begin{cases} C(a,b)d_j(a,b) \leq C(a,b) \text{ for each } j \\ C(a,b) \times \pi \left[\frac{(1-d_j(a,b))}{1-C(a,b)} \right] d_j(a,b) \leq C(a,b) \end{cases}$$

در این رابطه، $C(a,b)$ ماتریس هم‌انگهی، $d(a,b)$ ماتریس ناهم‌انگهی، $S(a,b)$ ماتریس اعتبار، n_j آستانه برتری، q_j آستانه بی‌تفاوتی، v_j آستانه وتو و W_j وزن معیار j ام، $g_j(a)$ مقدار عددی معیار j ام در سناریوی a و $g_j(b)$ مقدار عددی معیار j ام در سناریوی b در ماتریس کارایی است.

$$\lambda = \lambda_{\max} - (\alpha - \beta \lambda_{\max}) \quad (7)$$

$$\lambda_{\max} = \max(S(a,b))$$

در این رابطه، λ رتبه نهایی برای هر گزینه، λ_{\max}

جدول ۴. ارزش‌های آستانه و وزن معیارها در روش ELECTRE III

معیار	q	p	v	W	W _n
جمعیت (نفر)	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	۹	۰/۱۵
هزینه انتقال آب به بخش‌های مختلف	۱۰۰۰	۲۵۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۱	۰/۱۸
زیان کمبود آب در بخش‌های مختلف	۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۱۵	۰/۲۵
نارضایتی	۲	۴	۱۰	۱۲	۰/۲
نیاز زیست‌محیطی (MCM)	۵	۱۰	۵۰	۱۳	۰/۲۲

روش برنامه‌ریزی سازشی (CP)

روش C.P به‌طور گسترده در حوزه مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده است. این روش از سری روش‌های مبتنی بر فاصله است. در این روش، ابتدا معیارها را نرمالیزه کرده و سپس، جوابی تشخیص داده می‌شود که به جواب ایدئال نزدیک‌تر است. این جواب‌ها، راه‌حل‌های سازگار نامیده می‌شوند و مجموعه سازگار را تشکیل می‌دهند. این روش در نرم‌افزار ELECTRE III در بخش جداگانه‌ای اجرا می‌شود (۸) و رابطه استفاده‌شده در آن به‌صورت زیر است:

$$\text{Minimize } \sum_{j=1}^n c_j |1 - \bar{f}_j(x)| \quad x \in X \quad (8)$$

در این رابطه، c_1, \dots, c_n وزن معیارها هستند.

$\bar{f}_j(x)$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\bar{f}_j(x) = \frac{f_j(x) - m_j}{M_j - m_j} \quad (9)$$

در این رابطه، m_j و M_j به‌ترتیب حداقل و حداکثر مقادیر گزینه‌ها در معیار نام هستند.

شمارش بورداست (۷). منظور از تصمیم‌گیرندگان نیز می‌تواند نهادهای مسئول یا مدل‌های تصمیم‌گیری متعدد باشد. در واقع، با این رویکرد می‌توان از عدم قطعیت‌های حاکم بر نتایج خروجی و گاهی متناقض روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه کاست.

روش بوردا برحسب مجموع رتبه‌های هر گزینه با توجه به نتایج تصمیم‌گیری، تصمیم‌گیری می‌کند. اگر فرض شود بدترین گزینه، امتیاز صفر و بهترین گزینه، امتیاز $m-1$ را بگیرد، با جمع امتیازهای هر گزینه می‌توان گزینه‌ای را که بیشترین را امتیاز دارد، به‌عنوان انتخاب اجتماعی در نظر گرفت.

$$g(a_{ii}) = m - a_{ii} \quad (10)$$

در این رابطه، a_{ii} رتبه گزینه i ام، r تعداد مدل‌های تصمیم‌گیری و m تعداد گزینه‌هاست.

$$B_i = \sum_{r=1}^R g(a_{ri}) \quad (11)$$

$$B_{i^*} = \max \{B_i\} \quad (12)$$

در این رابطه، B_i امتیاز هر گزینه در روش بوردا، B_{i^*} امتیاز گزینه برتر در روش بوردا و i^* گزینه برتر است.

نتایج و بحث

ماتریس کارایی

ماتریس کارایی (تصمیم‌گیری) در هر یک از حالت‌های خشک‌سالی، نرمال و ترسالی تشکیل شد که در جداول ۵ تا ۷ ارائه شده است. وزن‌های معیارها نیز با استفاده از روش بردار ویژه محاسبه و در جدول ۴ ارائه شده است. در روش بردار ویژه، محاسبه بردار وزن معیارها بر اساس محاسبه بردار ویژه ماتریس مقایسات زوجی معیارها صورت می‌گیرد که مربوط به مقدار ویژه حداکثر این ماتریس است.

روش‌های تصمیم‌گیری گروهی بعد از رتبه‌بندی فردی

در این دسته از روش‌ها، مسئله مورد بررسی، اولویت‌بندی تعدادی گزینه مستقل از هم است که از دیدگاه R تصمیم‌گیرنده ارزیابی و در واقع، رتبه‌بندی شده‌اند. در اغلب مسائل واقعی، به‌دست‌آوردن مقدار واقعی این ارزیابی‌ها خیلی مشکل است و با قطعیت زیادی ندارد. بنابراین، راه‌حل موفق این است که به‌جای مقادیر دقیق ارزیابی هر گزینه، تنها رتبه مقایسه‌ای آن‌ها نسبت به یکدیگر از دیدگاه تصمیم‌گیرنده‌ها سؤال شود. به همین دلیل، روش‌های انتخاب اجتماعی برای حل این گونه مسائل توسعه پیدا کرده‌اند که از جمله این روش‌ها، روش

جدول ۵. ماتریس کارایی برای سناریوهای تعریف شده در حالت خشک سالی

تأمین نیاز زیست محیطی (MCM)	نارضایتی در بخش های مختلف	مجموع زیان کمبود آب در بخش های مختلف (میلیون تومان)	مجموع هزینه انتقال آب به بخش های مختلف (میلیون تومان)	جمعیت (نفر)	ردیف
۱۹۰	۳۱	۳۱۹۹۲۰	۳۶۶۱۰۸	۴۳۹۹۱۲۳	سناریوی ۱ (D1)
۱۹۰	۳۱	۳۰۹۶۰۰	۳۶۶۲۹۰	۴۳۹۹۱۲۳	سناریوی ۲ (D2)
۱۷۱	۲۹	۵۲۷۳۴۸۰	۳۶۷۰۵۲	۴۳۹۹۱۲۳	سناریوی ۳ (D3)
۱۵۲	۲۸	۵۲۵۲۸۴۰	۳۶۹۱۱۶	۴۳۹۹۱۲۳	سناریوی ۴ (D4)
۱۵۲	۲۴	۳۷۰۰۱۲۴۰	۳۴۲۴۷۶	۳۹۵۹۲۱۰	سناریوی ۵ (D5)

جدول ۶. ماتریس کارایی برای سناریوهای تعریف شده در حالت نرمال

تأمین نیاز زیست محیطی (MCM)	نارضایتی بخش های مختلف	مجموع زیان کمبود آب در بخش های مختلف (میلیون تومان)	مجموع هزینه انتقال آب به بخش های مختلف (میلیون تومان)	جمعیت (نفر)	ردیف
۱۹۰	۳۱	۲۱۹۳۰۰	۳۷۶۱۷۰	۴۳۹۹۱۲۳	سناریوی ۱ (N1)
۱۹۰	۳۱	۲۱۱۵۶۰	۳۷۶۰۹۴	۴۳۹۹۱۲۳	سناریوی ۲ (N2)
۱۷۱	۳۲	۵۱۸۵۷۶۰	۳۷۵۸۲۴	۴۳۹۹۱۲۳	سناریوی ۳ (N3)
۱۵۲	۲۷	۵۱۷۲۸۶۰	۳۷۷۱۱۴	۴۳۹۹۱۲۳	سناریوی ۴ (N4)
۱۵۲	۲۶	۳۶۹۳۴۱۶۰	۳۴۹۱۸۴	۳۹۵۹۲۱۰	سناریوی ۵ (N5)

اولویت بندی سناریوهای تخصیص آب سد زاینده رود به مصرف کنندگان مختلف؛ با رویکرد مدل های خبره تصمیم گیری چندشاخصه

جدول ۷. ماتریس کارایی برای سناریوهای تعریف شده در حالت ترسالی

ترسالی	جمعیت (نفر)	مجموع هزینه انتقال آب به بخش های مختلف (میلیون تومان)	مجموع زیان کمبود آب در بخش های مختلف (میلیون تومان)	نارضایتی در بخش های مختلف	تأمین نیاز زیست محیطی (MCM)
سناریوی ۱ (W1)	۴۳۹۹۱۲۳	۳۸۶۲۳۲	۱۱۸۶۸۰	۳۵	۱۹۰
سناریوی ۲ (W2)	۴۳۹۹۱۲۳	۳۸۵۸۹۸	۱۱۳۵۲۰	۳۵	۱۹۰
سناریوی ۳ (W3)	۴۳۹۹۱۲۳	۳۸۴۵۹۶	۵۰۹۸۰۴۰	۳۳	۱۷۱
سناریوی ۴ (W4)	۴۳۹۹۱۲۳	۳۸۵۶۲۸	۵۰۸۷۷۲۰	۳۱	۱۵۲
سناریوی ۵ (W5)	۳۹۵۹۲۱۰	۳۵۵۸۹۲	۳۶۸۶۷۰۸۰	۲۸	۱۵۲

انتخاب سناریوی برتر

نتایج رتبه بندی سناریوها در دوره های مختلف خشک سالی، ترسالی و نرمال با استفاده از روش های ELECTRE III، AHP، TOPSIS و CP در جدول ۸ ارائه شده است. همان طور که در این جدول مشاهده می شود، سناریوی شماره ۳ تخصیص، در هر سه حالت خشک سالی، ترسالی و نرمال، با استفاده از روش تصمیم گیری ELECTRE III و سناریوی شماره ۵ با استفاده از روش AHP به عنوان سناریوی برتر برای تخصیص آب در حوضه زاینده رود انتخاب شده است. در سناریوی شماره ۳، هیچ کاهش در آب تخصیصی به بخش شرب لحاظ نشده که علت آن زیان ناشی از کمبود هر واحد آب در این بخش است که نسبت به سایر قسمت ها خیلی بیشتر است و وزن زیادی را در محاسبات به خود اختصاص می دهد. در دوره های خشک سالی با انتخاب این سناریوها به عنوان سناریوی برتر تخصیص آب، ۴۳ درصد کاهش تخصیص در بخش کشاورزی، در دوره های نرمال، ۲۹ درصد و در دوره

ترسالی، ۱۴/۵ درصد کاهش خواهد داشت. در سناریوی شماره ۵، ۱۰ درصد کاهش تخصیص در بخش شرب و صنعت وجود دارد و کاهش تخصیص در بخش محیط زیست و نیاز آبی باغات، ۲۰ درصد است. بنابراین، میزان آب تخصیصی به بخش کشاورزی افزایش می یابد که در حالت خشک سالی، ۳۰ درصد، نرمال، ۲۰ درصد و در ترسالی، ۹ درصد کاهش تخصیص وجود خواهد داشت. از طرفی، سناریوی شماره ۲ در هر سه حالت خشک سالی، ترسالی و نرمال، سناریوی برتر برای تخصیص آب در حوضه زاینده رود با استفاده از روش های TOPSIS و CP شناخته شده است (جدول ۸). در سناریوی شماره ۲، تنها ۱۰ درصد کاهش تخصیص در نیاز آبی باغات اعمال شده و در بخش شرب، صنعت و محیط زیست هیچ کاهش تخصیصی اعمال نشده است. بنابراین، تمامی فشارها بر بخش کشاورزی اعمال شده است؛ به نحوی که در دوره های خشک سالی، ۵۰ درصد، در دوره های نرمال، ۳۴ درصد و در دوره های ترسالی، ۱۸ درصد کاهش تخصیص در بخش کشاورزی وجود خواهد داشت.

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۴

جدول ۸. خلاصه نتایج رتبه‌بندی توسط روش‌های تصمیم‌گیری منتخب در دوره‌های مختلف

رتبه ۵	رتبه ۴	رتبه ۳	رتبه ۲	رتبه ۱	روش تصمیم‌گیری	دوره مورد نظر
D2	D1	D4	D5	D3	ELECTRE III	خشک‌سالی
D4	D3	D1	D2	D5	AHP	
D5	D4	D3	D1	D2	TOPSIS	
D5	D4	D3	D1	D2	CP	
N2	N1	N4	N5	N3	ELECTRE III	نرمال
N4	N2	N3	N1	N5	AHP	
N5	N3	N4	N1	N2	TOPSIS	
N5	N4	N3	N1	N2	CP	
W2	W1	W4	W5	W3	ELECTRE III	ترسالی
W4	W3	W2	W1	W5	AHP	
W5	W4	W3	W1	W2	TOPSIS	
W5	W4	W3	W1	W2	CP	

در جدول ۹ ارائه شده است. با توجه به این جدول، در حالت خشک‌سالی، سناریوی شماره ۲ و در حالت نرمال، سناریوی شماره ۱ به‌عنوان سناریوی برتر تخصیص آب انتخاب شده است. در شرایط ترسالی طبق روش شمارش بوردا، سناریوی شماره ۱ و ۲ دارای رتبه یکسان بودند و تصمیم‌گیرنده می‌تواند گزینه برتر را با لحاظ کردن وضعیت هیدرولوژیکی حوضه و پیش‌بینی آن انتخاب کند.

با توجه به جدول فوق، نتایج رتبه‌بندی سناریوها با روش‌های مختلف تصمیم‌گیری با یکدیگر متفاوت است که به ساختار این روش‌ها و اصول انتخاب سناریوی برتر در آن‌ها بستگی دارد. بنابراین، انتخاب بهترین روش تصمیم‌گیری در هر پروژه، لازم به نظر می‌رسد. به همین دلیل، در این پژوهش، از روش تصمیم‌گیری گروهی (روش شمارش بوردا) برای انتخاب نهایی سناریوی برتر استفاده شده است. نتایج رتبه‌بندی سناریوها با روش بوردا

جدول ۹. مقادیر B_i مربوط به روش بوردا در دوره‌های مختلف

سناریوی ۵	سناریوی ۴	سناریوی ۳	سناریوی ۲	سناریوی ۱	دوره مورد نظر
۷	۴	۹	۱۱	۹	خشک‌سالی
۷	۵	۹	۹	۱۰	نرمال
۷	۴	۹	۱۰	۱۰	ترسالی

زیست‌محیطی، سناریوی برتر در هر حالت انتخاب شد. در نهایت، به دلیل تفاوت رتبه‌بندی روش‌های بالا، از تصمیم‌گیری گروهی شمارش بوردا برای رتبه‌بندی نهایی استفاده شد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با در نظر گرفتن وقوع دوره‌های خشک‌سالی، نرمال و ترسالی در حوضه، برای هر حالت پنج سناریوی مدیریتی تعریف و با کاربرد چهار روش تصمیم‌گیری چندشاخصه با استفاده از پنج معیار اقتصادی، اجتماعی و

اولویت‌بندی سناریوهای تخصیص آب سد زاینده‌رود به مصرف‌کنندگان مختلف؛ با رویکرد مدل‌های خبره تصمیم‌گیری چندشاخصه

- نتایج این تحقیق نشان داد:
۱. سناریوی واحدی به‌عنوان گزینه برتر در هر سه حالت خشک‌سالی، نرمال و ترسالی انتخاب نشد. بنابراین، این مسئله لزوم مدیریت منطبق با هریک از شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی یادشده را در حوضه آشکار می‌سازد.
 ۲. بررسی سناریوهای منتخب (سناریوهای ۱ و ۲) نشان می‌دهد که بر اساس معیارهای لحاظ‌شده در این تحقیق، سیاست‌های مدیریتی تخصیص آب در بخش شرب و صنعت (تأمین کامل نیاز) صحیح بوده است.
 ۳. با اعمال سناریوی برتر و مقایسه نتایج با میزان واقعی تخصیص آب (جدول‌های ۲ و ۳)، میزان تخصیص آب به بخش زراعی کاهش خواهد یافت. بنابراین، لزوم تحقیقات بیشتر درخصوص توجیه‌پذیری کشاورزی در حوضه و ارائه راهکارهایی برای جبران خسارت‌های اقتصادی کشاورزان از جمله خسارت نکاشت به‌منظور جلوگیری از شدت یافتن منازعات، ضروری است.
 ۴. به‌منظور تصمیم‌گیری دقیق‌تر درخصوص تخصیص آب در حوضه، پیشنهاد می‌شود به زیرمعیارهایی مانند آنچه در ادامه می‌آید، توجه کنید: منافع توسعه توریسم، ضررهای آلودگی‌های ناشی از صنایع و هزینه تخریب تالاب و از بین رفتن اکوسیستم آن. همچنین بحث لحاظ منازعات بین تصمیم‌گیرندگان برای اجرایی کردن تخصیص بهینه، جزو پیشنهاد‌های این تحقیق است. به‌عنوان نتیجه‌گیری اصلی، استفاده از رویکرد ارائه‌شده در این مقاله، با توجه به وجود اثرهای مختلف سناریوهای مدیریتی و تفاوت در ماهیت معیارهای تصمیم‌گیری، می‌تواند در مدیریت و برنامه‌ریزی حوضه‌های آبریز پرتنش کشور استفاده شود.
- منابع**
۱. اصغرپور م (۱۳۸۷) تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره. چاپ
- ششم. انتشارات دانشگاه تهران، تهران. ۳۹۹ صفحه.
۲. حبیبی داویجانی م.، بنی حبیب م.ا. و هاشمی س.ر. (۱۳۹۲) مدل بهینه‌سازی تخصیص منابع آب در بخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات با استفاده از الگوریتم پیشرفته GAPSΟ. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۷(۴): ۶۸۰-۶۹۱.
 ۳. زمین پرداز م.ح (۱۳۹۳) تخصیص بهینه آب سد زاینده‌رود با استفاده از برنامه‌ریزی پویای احتمالی. دانشگاه تفرش. تفرش. پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
 ۴. سازمان آب منطقه‌ای اصفهان (۱۳۹۲) آمار و اطلاعات بهره‌برداری از سد زاینده‌رود، اصفهان، ایران.
 ۵. سعدالدین ا.، هلیلی م.ق. و مساعدی ا (۱۳۸۹) مدیریت بهره‌برداری از مخزن با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در سد مخزنی بوستان- استان گلستان. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۴(۱۱): ۲۵-۳۴.
 ۶. صفاری ن. و ضرغامی م (۱۳۹۲) تخصیص بهینه منابع آب سطحی حوضه دریاچه ارومیه به استان‌های ذینفع با روش‌های تصمیم‌گیری فاصله محور. دانش آب و خاک. ۲۳(۱): ۱۳۵-۱۴۹.
 ۷. ضرغامی م (۱۳۸۸) بهبود روش تصمیم‌گیری گروهی بوردا با کمک محاسبات نرم. مهندسی صنایع و مدیریت تولید. ۳(۲۰): ۶۵-۷۳.
 ۸. محمدی ف.، صمدی بروجنی ح.، فتاحی نافچی ر. و هدایتی‌پور ک (۱۳۹۲) آنالیز حساسیت در رتبه‌بندی پروژه‌های سدسازی استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره. پژوهش آب ایران. ۷(۱۳): ۵۹-۶۷.

- behavior. *Advances in Water Resources*. 30: 157-168.
17. Ganji A, Khalili D and Karamouz M (2007b) Development of stochastic conflict resolution models for reservoir operation, I. The perfect symmetric stochastic model. *Advances in Water Resources*. 30(3): 528-542.
18. Gohari A, Eslamian S, Abedi-Koupaei J, Bavani A.M, Wang D and Madani K (2013) Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin. *Science of the Total Environment*. 442: 405-419.
19. Hajkowicz S and Collins K (2007) A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water Resources Management*. 21(9): 1553-1566.
20. Lange W.J.D (2006) Multi-criteria decision-making for water resource management in the Berg water management area. Stellenbosch University, South Africa, Ph.D. Dissertation.
21. Moghaddasi M, Morid S, Araghinejad S and Agha-Alikhani M (2010) Assessment of irrigation water allocation based on optimization and equitable water reduction approaches to reduce agricultural drought losses: The 1999 drought in the Zayandeh Rud irrigation system (IRAN). *Irrigation and Drainage*. 59(4): 377-387.
22. Morid S and Massah-Bavani A.L (2010) Exploration of potential adaptation strategies to climate change in the Zayandeh Rud irrigation system, Iran. *Irrigation and Drainage*. 59(2): 226-238.
23. Razavi Toosi S.L and Samani J.M (2014) A New Integrated MADM Technique Combined with ANP, FTOPSIS and Fuzzy Max-Min Set Method for Evaluating Water Transfer Projects. *Water Resources Management*. 28(12): 4257-4272.
9. مهندسین مشاور زاینده‌آب (۱۳۸۷) مطالعات منابع و مصارف حوضه زاینده‌رود، جلد ۵ - مطالعات کشاورزی. سازمان آب منطقه‌ای اصفهان. اصفهان. ۶۷ صفحه.
۱۰. نادر ه. و صبوحی صابونی م (۱۳۹۰) مدیریت تخصیص آب سد مهاباد با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی اولویتی. تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۳(۳): ۱-۱۶.
11. Afshar A, Marino M.A, Saadatpour M and Afshar A (2011) Fuzzy TOPSIS multi-criteria decision analysis applied to Karun Reservoir system. *Water Resources Management*. 25(2): 545-563.
12. Raj A.P (1995) Multicriteria methods in river basin planning - A case study. *Water Science and Technology*. 31(8): 261-272.
13. Anane M, Bouziri L, Limam A and Jellali S (2012) Ranking Suitable sites for irrigation with reclaimed water in the Nabeul-Hammamet region (Tunisia) using GIS and AHP-multicriteria decision analysis. *Conservation and Recycling*. 65: 36-46.
14. Behzadian M, Khanmohammadi-Otaghsara S, Yazdani M and Ignatius J (2012) A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*. 39(17): 13051-13069.
15. Bella A, Duckstein L and Szidarovszky F (1996) A multicriterion analysis of the water allocation conflict in the upper Rio Grande river basin. *Applied Mathematics and Computation*. 77(2-3): 245-265.
16. Ganji A, Karamouz M and Khalili D (2007a) Development of stochastic conflict resolution models for reservoir operation, II. The value of players information availability and cooperative

24. Safaei M, Safavi H.R, Loucks D.P, Ahmadi A and Krogt W (2013) Integrated river basin planning and management: A case study of the Zayandehrud River Basin, Iran. *Water International*. 38(6): 724-743.
25. Srdjevic B, Medeiros Y.D.P and Faria A.S (2004) An objective multi-criteria evaluation of water management scenarios. *Water Resources Management*. 18(1): 35-54.
26. Srdjevic Z and Srdjevic B (2014) Modelling Multicriteria Decision Making Process for Sharing Benefits from the Reservoir at Serbia-Romania Border. *Water Resources Management*. 28:4001-4018.