



دانشگاه گوارز، منابع طبیعی

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد شانزدهم، شماره چهارم، ۱۳۸۸  
[www.gau.ac.ir/journals](http://www.gau.ac.ir/journals)

## تصمیم‌گیری چند معیاره فازی به‌منظور مدیریت منابع آب سطحی در سد مخزنی بوستان – استان گلستان

\* محمدقاسم هلیلی<sup>۱</sup>، امیر سعدالدین<sup>۲</sup>، ابوالفضل مساعدی<sup>۳</sup> و عبدالرسول سلمان ماهینی<sup>۴</sup>  
دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استادیار گروه آبخیزداری،  
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،<sup>۳</sup> دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه فردوسی مشهد،  
دانشیار گروه محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان<sup>۴</sup>  
تاریخ دریافت: ۸۷/۷/۸؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۴/۱۰

### چکیده

کمبود منابع آب و نیز تغییرات کمی و کیفی آنها، تجدید نظر درباره ارائه برنامه‌ها و تصمیم‌گیری‌های تخصیص این منابع در مدیریت یک‌پارچه آبخیز را ضروری نموده به این منظور نتایج مختلف تخصیص‌های متفاوت منابع آب سد بوستان استان گلستان مورد پژوهش قرار گرفته است. توجه به امنیت آبی ساکنین پایین‌دست سد و در عین حال کاهش خطر وقوع سیل در اراضی پایین‌دست از جمله ارکان مدیریت بهره‌برداری از سد محسوب می‌شود. کنترل و تنظیم سطح آب در مخزن سد، به‌طوری‌که بتوان آب کافی برای تأمین نیاز آبی به‌خصوص در ماه‌های کم آب ذخیره نمود و در عین حال حجم خالی لازم به‌منظور کنترل سیلاب‌ها را فراهم آورد و همچنین نیازهای اکولوژیکی پایین‌دست را تأمین کرد، از اهداف این پژوهش بوده است. در این پژوهش با بررسی داده‌های دبی جریان ثبت شده، مشاهده گردید که ۴ ماه سیلابی در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. این ۴ ماه شامل اردیبهشت، خرداد، مرداد و شهریور می‌باشند. برای کاهش معضلات تخصیص منابع آب بین کاربران در اثر دیدگاه‌ها و اهداف مدیریتی مختلف بهره‌برداران منابع آب، ۱۶ سناریوی مدیریتی خاص تدوین شد. مقادیر دبی ماهانه ایستگاه هیدرومتری تمر در سال آبی

\* مسئول مکاتبه: [haliliali@gmail.com](mailto:haliliali@gmail.com)

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۱۶)، شماره (۴) ۱۳۸۸

۱۳۸۷-۷۸ به کمک مدل سری زمانی SARIMA پیش‌یابی گردید. سپس، نحوه تخصیص و بهره‌برداری بهینه منابع آب سطحی با توجه به مقادیر پیش‌یابی شده به صورت ماهانه مورد ارزیابی قرار گرفت. ۵ معیار جهت ارزیابی اثرات اجرای سناریوها تعیین شد. این ۵ معیار عبارتند از (۱) میزان حجم خالی مخزن در ماه‌های سیلابی، (۲) میزان آب ذخیره شده در پایان یک سال آبی، (۳) خطر احتمال طغیان در پایاب سد، (۴) میزان دبی سیل خروجی از مخزن و (۵) خطر شکست سد در هنگام وقوع سیل به منظور موازنه نتایج به دست آمده از اجرای سناریوهای تدوین شده، و نیز تعیین سناریو یا سناریوهای برتر فن تصمیم‌گیری چند معیاره فازی به کار گرفته شد. به این منظور، پس از محاسبه مقدار معیارها در کلیه سناریوها و فازی‌سازی آنها، معیارهای یاد شده به کمک فرآیند FAHP وزن‌دهی گردیدند. سپس، ۱۶ سناریوی تدوین شده با استفاده از روش TOPSIS جهت تعیین برترین سناریوها اولویت‌بندی شدند. با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده گردید که سناریوهای تدوین شده در ۹ اولویت قرار گرفتند و سناریوی ۷ اولویت اول را به خود اختصاص داده است. این سناریو شامل انجام اقدامات کنترل سیل فقط در ماه‌های اردیبهشت و مرداد می‌باشد و در سایر ماه‌ها هیچ‌گونه اقدام کنترل سیل صورت نمی‌گیرد. این پژوهش می‌تواند در آینده در قالب یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برای نیل به مدیریت بهره‌برداری بهینه از مخازن، توسعه پیدا کند.

**واژه‌های کلیدی:** تخصیص بهینه منابع آب، تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، FAHP، مدل SARIMA و آبخیز سد بوستان

## مقدمه

محدودیت منابع آب و افزایش نیاز به آب که خود ناشی از افزایش جمعیت، توسعه شهرها و سیاست‌های جدید مدیریت جوامع بشری است و نیز استفاده بی‌رویه و غیراصولی از این منابع، سبب بروز مشکلات و اختلافات روزافزونی در این خصوص گردیده و در نتیجه مسأله توسعه پایدار و شناخت و کنترل سیاست‌های بهره‌برداری از منابع آب بیش از پیش مطرح شده است (کارآموز، ۲۰۰۵). پژوهش در زمینه روش‌های مدیریت منابع آب نیازمند فونونی است که توان و امکان دورنگری، پیش‌بینی و نیز درک و بیان فرآیندهای پیچیده و پویا را فراهم نماید. بعضی از روش‌ها و فنون پژوهش در علوم طبیعی فراتر از آنچه که اتفاق افتاده و آنچه که هست را بررسی و تحلیل نمی‌کنند، در حالی‌که

## محمدقاسم هلبلی و همکاران

تشخیص و تعیین بهترین وضعیتی که می‌تواند و باید باشد و یافتن پاسخ و راه‌حلی برای چه اقداماتی برای دستیابی به چنین وضعیتی باید انجام داد؟ از مهم‌ترین مسائلی است که می‌باید در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب در نظر گرفت (امینی‌فسخودی، ۲۰۰۶).

ناکارآمد بودن نگرش تک‌بعدی و لزوم جامع‌نگری در اتخاذ بهترین تصمیم‌ها و شیوه‌های مدیریتی، بهره‌گیری از تخصص‌های مختلف براساس معیارهای چندگانه کمی و کیفی و آرایه گزینه‌ها و سناریوهای مختلف مدیریتی را ضروری ساخته است. بنابراین، فنون و روش‌های تصمیم‌گیری گروهی و چندمعیاره اهمیت خاصی می‌یابند. ابهام و نبود قطعیت ذاتی حاکم بر منابع آب در ارزیابی اهداف، معیارها و واحدهای تصمیم‌گیری از یکسو و ناسازگاری و بی‌دقتی در نظرات و قضاوت افراد تصمیم‌گیرنده از سوی دیگر، سبب گرایش به نظریه‌های مجموعه‌های فازی و به دنبال آن منطق فازی به عنوان ابزاری کارآمد و مفید برای برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها گردیده است.

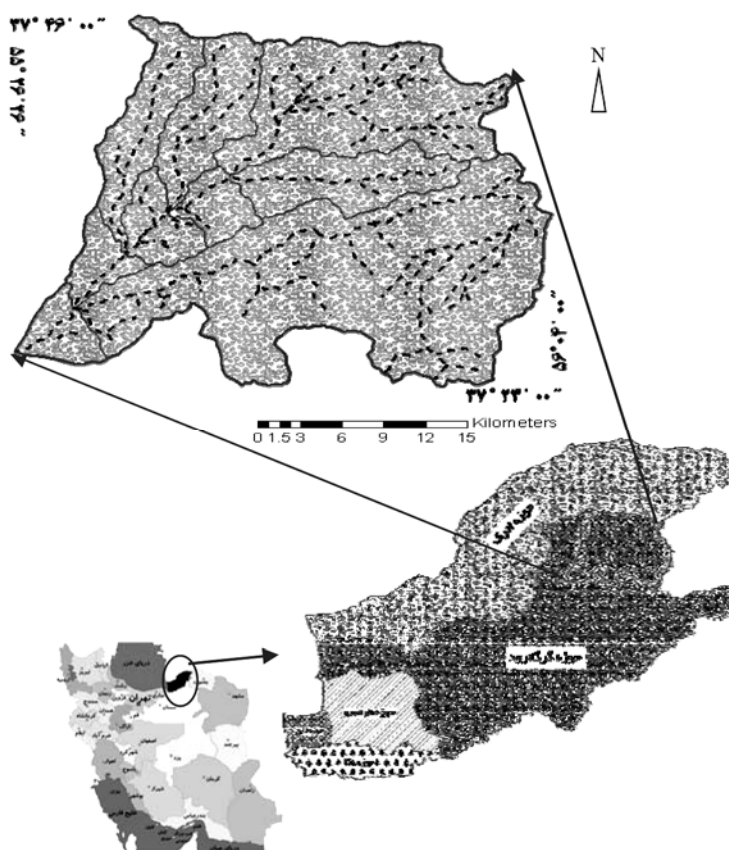
مخزن سدها نقش مهمی در مدیریت آب‌های سطحی و نیز تغییر رژیم رودخانه‌های پایین‌دست در مقیاس‌های زمانی مختلف ایفا می‌کند. در مناطق مدیترانه‌ای که دبی مخازن در فصول مرطوب افزایش می‌یابد و حجم آب مخزن در فصل بهار به بیشترین حد می‌رسد و برعکس در فصل کم‌آبی با کاهش میزان دبی ورودی حجم مخزن به کمترین حد می‌رسد، نقش کنترلی سدها بسیار مهم است (لوپز-مورنو و همکاران، ۲۰۰۲).

در مورد فنون تصمیم‌گیری نوین و استفاده آنها در مدیریت منابع آب مطالعات مختلفی صورت گرفته است. ابریشم‌چی و همکاران (۲۰۰۱) به کمک تصمیم‌گیری چند معیاره نحوه مدیریت آب شهری و انتخاب بهترین گزینه توزیع آب شهر زاهدان را مورد بررسی قرار دادند. ایشان در این راستا با در نظر گرفتن ۸ گزینه و ۱۳ معیار، به مقایسه و رتبه‌بندی آنها پرداختند. تصمیم‌گیری چند معیاره فازی گروهی توسط رضوی‌طوسی و همکاران (۲۰۰۷) جهت اولویت‌بندی پروژه‌های انتقال آب بین حوزه‌های مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش ۱۰ طرح انتقال آب بین حوزه‌های کارون بزرگ با ۸ معیار در نظر گرفته شد. در نهایت با استفاده از روش اولویت‌بندی فازی گروهی، ۱۰ طرح یاد شده اولویت‌بندی گردید. ساسیکمار و موممدار (۱۹۹۸)، یک مدل چند هدفه فازی را برای مدیریت کیفی سیستم‌های رودخانه‌ای پیشنهاد نمودند. در پژوهش ایشان، اهداف کیفی سازمان‌های مسئول حفاظت کیفی رودخانه و تخلیه‌کننده‌های آلاینده‌های مختلف به رودخانه به‌صورت فازی در نظر گرفته شد.

چونتین (۱۹۹۹) جهت مدیریت منابع آب به‌خصوص در مواقع سیلابی، مدل بهینه‌سازی چند معیاره فازی را به‌کار گرفت. روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی و کاربرد آن در مدیریت و کنترل سیل به کمک مخازن توسط فو (۲۰۰۶) مورد استفاده قرار گرفت. در این روش، از نقاط ایده‌آل و عکس ایده‌آل جهت اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده شد. از آنجایی که مدیریت آب‌های سطحی تحت‌تأثیر عوامل، معیارهای و گزینه‌های مختلف مدیریتی به‌منظور کنترل و مدیریت سیلاب‌ها و نیز تأمین نیازهای آبی می‌باشد، در این پژوهش با به‌کارگیری سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره فازی نحوه مدیریت این منابع در آبخیز سد بوستان که دارای سیلاب‌های متعددی به‌خصوص در سال‌های اخیر بوده و نیز دارای نیاز آبی بالایی به‌ویژه در فصول خشک جهت اهدافی همچون کشاورزی می‌باشد، مورد بررسی قرار می‌گیرد. سد مخزنی بوستان که در خروجی این آبخیز قرار دارد، نقش مهمی در، کنترل، مدیریت و تخصیص بهینه آب‌های سطحی حوزه دارد. بنابراین هدف از این پژوهش استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی در بهینه‌سازی تصمیم‌گیری مدیریت منابع آب مخزن سد بوستان در استان گلستان بوده و از روش نقاط ایده‌آل و عکس ایده‌آل جهت اولویت‌بندی سناریوها استفاده شده است.

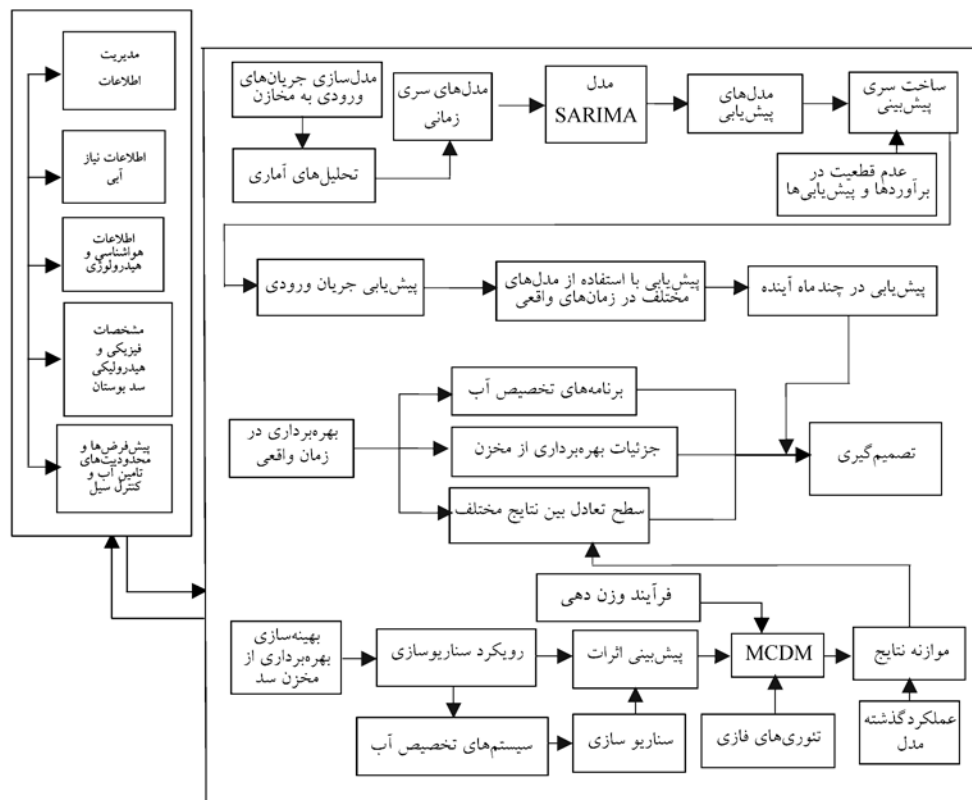
### مواد و روش‌ها

**موقعیت و مشخصات منطقه مورد مطالعه:** آبخیز سد بوستان یکی از زیر حوزه‌های گرگان‌رود واقع در شرق استان گلستان با مساحت حدود ۱۵۶۲ کیلومترمربع می‌باشد (شکل ۱). این حوزه در محدوده جغرافیایی  $37^{\circ}23'00''$  تا  $37^{\circ}46'00''$  عرض شمالی و  $55^{\circ}26'26''$  تا  $56^{\circ}04'00''$  طول شرقی واقع شده است. متوسط بارش سالانه حوزه حدود ۴۶۵ میلی‌متر و اقلیم آن نیمه‌خشک تا نیمه‌مرطوب است (فرازجو، ۲۰۰۳). متوسط آبدهی سالیانه این حوزه حدود ۴۰ میلیون مترمکعب در سال بوده و سد بوستان در خروجی حوزه واقع گردیده است. این سد از نوع خاکی همگن، با ارتفاع ۳۵ متر دارای حجم مخزن حدود ۸۱ میلیون مترمکعب در تراز سیلاب حداکثر می‌باشد. این سد نقش مهمی در مدیریت، کنترل و بهره‌برداری از منابع آب سطحی حوزه ایفاء می‌کند (مهندسی مشاور تهران برکلی، ۱۹۹۲).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخیز سد بوستان در ایران و استان گلستان.

به منظور مدیریت منابع آب سطحی آبخیز سد بوستان از مراحل و روش‌هایی استفاده گردید که مجموع آنها یک چارچوب سیستمی مدیریت مخزن را تشکیل می‌دهد. این چارچوب سیستمی در شکل ۲ نشان داده شده است. به طور کلی مراحل پژوهش شامل جمع‌آوری اطلاعات آبی، مدل‌سازی و پیش‌یابی دبی‌های ماهانه آب، بررسی نحوه تخصیص آب حوزه و استفاده از آن، تعیین گزینه‌های تخصیص آب و تدوین سناریوهای مدیریتی، تعیین معیارها جهت ارزیابی سناریوها، فازی‌سازی معیارها، وزن‌دهی به معیارها و غیرفازی‌سازی آنها و استفاده از روش TOPSIS جهت اولویت‌بندی سناریوهای مدیریتی بوده است. این مراحل به شرح زیر می‌باشد:



شکل ۲- چارچوب سیستمی مدیریت مخزن سد بوستان.

مدل‌سازی و پیش‌یابی مقادیر دبی ماهانه ایستگاه هیدرومتری تمر با استفاده از مدل SARIMA: این ایستگاه که در خروجی حوزه و در موقعیت جغرافیایی  $37^{\circ}29'05''$  طول شرقی و  $55^{\circ}30'21''$  عرض شمالی واقع شده است، تنها ایستگاه شاخص اندازه‌گیری جریان‌های سطحی خروجی از حوزه و ورودی به سد مخزنی بوستان می‌باشد. در این پژوهش نخست دبی‌های ماهانه ایستگاه هیدرومتری تمر که به‌صورت روزانه در دوره آماری ۱۳۴۷ تا ۱۳۸۴ از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان به‌دست آمد، محاسبه و تنظیم گردید. در ادامه، تحلیل‌های آماری مورد نیاز جهت بررسی داده‌های یاد شده صورت گرفت. این تحلیل‌ها شامل بررسی روند داده‌ها، همگنی آنها و آزمون پرت بودن داده‌ها می‌باشد. سپس پیش‌یابی داده‌های دبی جریان ماهانه در سال آبی ۱۳۸۷-۸۸ با استفاده از مدل آماری

SARIMA توسط نرم افزار Minitab14 و روش تکراری باکس-جنکینس<sup>۱</sup> و در نهایت با انتخاب مدل (۳، ۱، ۱) (۱، ۰، ۱) SARIMA انجام شد. سپس، میزان حجم جریان ماهانه ورودی به سد مخزنی بوستان با توجه به دبی‌های پیش‌یابی شده مشخص گردید.

تدوین گزینه‌ها و سناریوهای مدیریت منابع آب سطحی در سد بوستان: به این جهت، پس از بررسی داده‌های دبی روزانه خروجی از حوزه، ۴ ماه سیلابی به کمک دبی بحرانی تعیین گردیدند. دبی بحرانی حداکثر آبی است که از مقطع بحرانی قابل عبور می‌باشد. سطح مقطع بحرانی مقطعی است که دارای کمترین سطح و به دنبال آن کمترین دبی عبوری می‌باشد. در ضمن، مشخصه‌های هیدرولیکی محدوده پایین دست سد از نظر شیب، زبری و غیره تقریباً یکسان بود و در نتیجه اثر آنها بر دبی عبوری یکسان تلقی گردید. پس از تعیین دبی بحرانی (حدود ۴۵ مترمکعب بر ثانیه)، دبی‌های بیشتر از دبی بحرانی به‌عنوان دبی سیلابی در نظر گرفته شد. سپس با توجه به تعداد و میزان سیلاب‌های به وقوع پیوسته در هر ماه در حوزه آبخیز سد بوستان، ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد به‌عنوان ماه‌های سیلابی مشخص شدند.

به‌منظور مدیریت منابع آب سطحی به کمک سد مخزنی بوستان در آبخیز سد بوستان، گزینه‌ها و سناریوهای مدیریتی ممکن تعیین و تدوین گردید. در این خصوص ۴ گزینه مدیریتی در نظر گرفته شد که عبارتند از: (۱) کنترل و مدیریت سیلاب‌ها در یک ماه سیلابی، (۲) کنترل و مدیریت سیلاب‌ها در دو ماه سیلابی، (۳) کنترل و مدیریت سیلاب‌ها در ۳ ماه سیلابی، (۴) کنترل و مدیریت سیلاب‌ها در ۴ ماه سیلابی. در ادامه، با توجه به گزینه‌های مدیریتی در نظر گرفته شده و ماه‌های نیازمند کنترل سیل، ۱۶ سناریوی مدیریت (۲<sup>n</sup> سناریو، n تعداد گزینه‌های تعیین شده) تدوین گردید (جدول ۱). شایان ذکر است که گزینه تأمین نیاز آبی در تمام سناریوها اعمال، و نیاز آبی در ماه‌های مرتبط در نظر گرفته شد. در این حالت، سناریوی اول فقط شامل تأمین نیاز آبی بود و هیچ‌گونه اقدام کنترل سیل برای آن در نظر گرفته نشد. جدول ۲ مقدار نیازآبی را به‌صورت ماهانه نشان می‌دهد.

1- Box-Jenkins

جدول ۱- سناریوهای تدوین شده جهت مدیریت منابع آب سطحی آبخیز سد بوستان.

سناریو	ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۱	۱	۱	۱	۱
۳	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۱	۱	۱	۱
۴	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۲	۱	۱
۵	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۲	۱
۶	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۲	۱	۱	۱	۱
۷	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۱	۱	۲	۱	۱
۸	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۱	۱	۱	۲	۱
۹	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۱	۲	۱	۱
۱۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۱	۱	۲	۱
۱۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۲	۲	۱
۱۲	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۱	۲	۲	۱
۱۳	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۲	۱	۲	۱	۱
۱۴	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۲	۱	۱	۲	۱
۱۵	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۱	۱	۲	۲	۱
۱۶	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۲	۱	۲	۲	۱

۰ = فقط به مقدار نیاز آبی محیط زیست و آبی‌پروری در این ماه از مخزن سد رهاسازی گردد.

۱ = در این حالت علاوه بر نیاز آبی محیط‌زیست و آبی‌پروری، نیاز آبی کشاورزی پایین‌دست نیز از مخزن رهاسازی گردد.  
 ۲ = در این حالت کلیه آب موجود در مخزن به جز نیاز آبی ماه آینده جهت به حداکثر رساندن حجم خالی مخزن در ماه سیلابی، خارج گردد (گزینه کنترل سیل).

جدول ۲- مقدار نیاز آبی در پایاب سد بوستان به میلیون مترمکعب (مهندسین مشاور تهران برکلی ۱۹۹۲ و شرکت آب منطقه‌ای گلستان، ۱۳۸۶).

نیازآبی	ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
	۶/۷۲	۶/۶۹	۵/۹۴	۳/۹۲	۶/۴۸	۲/۷۶	۰/۹۵	۳/۱۹	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸۵	۰/۹



تعیین و محاسبه معیارها به منظور ارزیابی و اولویت‌بندی سناریوها: پس از تدوین سناریوها، ۵ معیار جهت ارزیابی و اولویت‌بندی سناریوها با توجه به اهداف مختلف مدیریت آب‌های سطحی و شرایط موجود در منطقه مورد مطالعه، تعیین گردید. این معیارها عبارتند از: ۱- میانگین حجم خالی مخزن در ماه‌های سیلابی (معیار ۱)، ۲- میزان آب ذخیره شده در پایان ۱ سال آبی (معیار ۲)، ۳- خطر احتمال وقوع طغیان رودخانه در پایاب سد در هنگام وقوع سیل (معیار ۳)، ۴- میزان دبی سیل خروجی از مخزن (معیار ۴) و ۵- خطر شکست سد در هنگام وقوع سیل (معیار ۵). مقادیر ۵ معیار یاد شده با توجه به مقادیر دبی ماهانه پیش‌بینی شده توسط مدل SARIMA و نیز نیازهای آبی پایین‌دست و با در نظر گرفتن حجم مخزن سد در کلیه سناریوها در مقیاس ماهانه برای هر سال محاسبه گردید. بدیهی است که در هر سناریو مقادیر معیارها با توجه به گزینه‌های در نظر گرفته شده برای آنها متفاوت می‌باشد. توضیحات اخیر در متن مقاله و در توضیحات جدول ۶ ارائه شده است.

البته لازم به یاد است که معیار پنجم یک معیار کیفی می‌باشد و این معیار با در نظر گرفتن اختلاف حجم مخزن در تراز تاج سرریز و تراز آب در حالت PMF و تعیین کلاس‌های خطر بین این دو حجم، محاسبه شد. به این ترتیب پس از تعیین ۵ کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در بین دو حجم یاد شده، کلاس خطر این معیار در کلیه سناریوها محاسبه گردید. مقدار این معیار در تمام سناریوها در کلاس خطر خیلی کم واقع شد و مقادیر کلاس یک (خیلی کم) جدول ۳ به این معیار تعلق گرفت. از آنجایی که میزان این معیار برای کلیه سناریوها یکسان شده است و در اولویت‌بندی سناریوها و تجزیه و تحلیل آنها نقشی ندارد، بنابراین از ادامه تجزیه و تحلیل حذف گردید و ادامه مراحل با ۴ معیار انجام گرفت.

**تعیین ماتریس تصمیم سناریوها:** پس از تدوین سناریوها و محاسبه معیارهای تعیین شده، ماتریس تصمیم تهیه شد. این ماتریس زمینه‌ساز اولویت‌بندی سناریوهاست و شامل سناریوهای مدیریتی همراه با معیارهای تعیین شده می‌باشد. در این ماتریس سناریوها و معیارهای مربوط در قالب مقادیر سطری و ستونی به صورت معادله ۱ بیان می‌گردند.

$$R = (r_{ij})_{m \times n} \quad (1)$$

که در این رابطه  $R$  ماتریس تصمیم،  $r_{ij}$  مقدار معیار مربوط به هر سناریو،  $m$  تعداد سناریو (ستون) و  $n$  تعداد معیار (ردیف) می‌باشد.

**فازی‌سازی معیارها:** پس از محاسبه معیارها، فرآیند فازی‌سازی جهت پوشش دادن و در نظر گرفتن نبود قطعیت معیارها به‌کار گرفته شد. تعریف بازه‌ها و اعداد فازی با توجه به توابع عضویت و نیز انعطاف‌پذیر نمودن معیارها از دیگر مزیت‌های این فرآیند می‌باشد. به این جهت، ابتدا معیارهای ۱ الی ۴ در محیط نرم‌افزار Idrisi Kilimanjaro و به‌ترتیب به کمک رابطه‌های ۲ الی ۵ به مقادیر استاندارد در بازه صفر و ۱ تبدیل گردیدند. سپس مقادیر استاندارد شده معیارها براساس ۷ کلاس فازی تعیین شده با استفاده از نرم‌افزار Fuzzy TECH 3.3 به‌صورت اعداد فازی مثلثی محاسبه گردیدند (جدول ۳).

$$Y_1 = -3 + 0.08333 X_1 \quad (2)$$

$$Y_2 = -0.154 + 0.0769 X_2 \quad (3)$$

$$Y_3 = 2.198 + 0.0082 X_3 \quad (4)$$

$$Y_4 = -1.47 + 0.003154 X_4 \quad (5)$$

جدول ۳- مقادیر اعداد فازی مثلثی مربوط به عبارت‌های زبانی.

معیار هزینه	معیار سود	اعداد فازی مثلثی	کلاس
بسیار زیاد	بسیار کم	(۰ و ۰ و ۰/۱)	۱
زیاد	کم	(۰ و ۰/۱ و ۰/۳)	۲
نسبتاً زیاد	نسبتاً کم	(۰/۱ و ۰/۳ و ۰/۵)	۳
متوسط	متوسط	(۰/۳ و ۰/۵ و ۰/۷)	۴
نسبتاً کم	نسبتاً زیاد	(۰/۵ و ۰/۷ و ۰/۹)	۵
کم	زیاد	(۰/۷ و ۰/۹ و ۱)	۶
بسیار کم	بسیار زیاد	(۰/۹ و ۱ و ۱)	۷

**تعیین ماتریس تصمیم فازی:** این ماتریس همانند ماتریس تصمیم است، با این تفاوت که مقادیر معیارهایی که در این ماتریس بیان می‌گردد به‌صورت اعداد فازی می‌باشند. برای به‌دست آوردن این ماتریس، پس از فازی‌سازی مقادیر معیارها، ماتریس تصمیم فازی به‌صورت اعداد فازی مثلثی تعیین گردید.

وزندهی به معیارها به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)<sup>۱</sup>: پس از محاسبه معیارهای ۱۶ سناریوی تدوین شده، این معیارها به منظور اولویت‌بندی سناریوها وزندهی گردیدند. در وزندهی از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده گردید. در این روش، نخست ماتریس‌های مقایسه‌ها زوجی به کمک ۵ متخصص در زمینه مدیریت منابع آب و امتیازدهی و کلاس‌بندی روش FAHP مشخص شد. سپس، ماتریس‌های فازی مقایسات زوجی معیارها با توجه به جدول ۴ تعیین گردید. در نهایت وزن معیارها در قالب اعداد فازی مثلثی به کمک روش FAHP و برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار Excel محاسبه گردیدند.

جدول ۴- مقادیر فازی عبارات زبانی توابع عضویت کلاس‌های FAHP (تسائور و همکاران، ۲۰۰۰).

مقدار عددی	مقادیر زبانی	مقادیر اعداد فازی
۱	ارجحیت یا اهمیت یکسان	(۱، ۱، ۳)
۳	ارجحیت کم یا کمی مهم‌تر	(۱، ۳، ۵)
۵	ارجحیت یا اهمیت قوی	(۳، ۵، ۷)
۷	ارجحیت یا اهمیت خیلی قوی	(۷، ۵، ۹)
۹	کاملاً ارجح یا کاملاً مهم‌تر	(۷، ۹، ۹)

محاسبه ماتریس تصمیم فازی وزندهی شده: پس از محاسبه وزن معیارها، ماتریس تصمیم فازی وزن دهی شده از حاصل ضرب وزن معیارها در مقادیر معیارهای ماتریس تصمیم فازی به کمک معادله شماره ۶ تعیین گردید.

$$U_{ij} = W_i \times V_{ij} \quad (6)$$

که در این معادله  $U_{ij}$  مقدار وزندهی شده هر معیار در سناریوهای مختلف،  $W_i$  وزن معیار مربوط و  $V_{ij}$  مقدار معیار قبل از وزندهی می‌باشد.

غیرفازی‌سازی معیارها: به منظور ارزیابی و اولویت‌بندی سناریوها، مقادیر فازی معیارها به مقادیر غیرفازی تبدیل گردیدند. روش‌های مختلفی جهت فرآیند غیرفازی‌سازی ارائه شده است. در این مرحله از روش میانگین مرکز سطح (معادله ۷) به دلیل سادگی، کاربردی بودن و در نظر گرفتن تأثیرات کلیه بازه

فازی، استفاده شد. به این ترتیب ماتریس تصمیم وزین شده با غیرفازی‌سازی کردن ماتریس تصمیم فازی وزن‌دهی شده براساس معادله ۷ (کوره‌پزان دزفولی، ۲۰۰۵) محاسبه گردید.

$$z^* = [(UR - LR) + (MR - LR)] / 3 + LR \quad (7)$$

در این معادله  $Z^*$  کمیت غیرفازی شده و  $UR$ ،  $MR$  و  $LR$  به ترتیب مقادیر حداکثر، میانگین و حداقل اعداد فازی مثلثی می‌باشند.

موازنه و اولویت‌بندی سناریوهای مدیریت منابع آب سطحی: به منظور اولویت‌بندی سناریوها از روش اولویت‌بندی TOPSIS استفاده شد. برای این کار با تعیین راه‌حل ایده‌آل و عکس ایده‌آل توسط معادله‌های ۸ و ۹ (اصغرپور، ۲۰۰۶)، میزان فاصله از راه‌حل ایده‌آل و عکس ایده‌آل سناریوها به ترتیب توسط معادله‌های ۱۰ و ۱۱ (اصغرپور، ۲۰۰۶)، محاسبه گردید. سپس، میزان نزدیکی نسبی سناریوها به راه‌حل ایده‌آل  $(CI_{i+})$  به کمک معادله ۱۲ تعیین شد. در نهایت با توجه به میزان نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل، سناریوها اولویت‌بندی گردیدند. در این روش سناریویی در اولویت قرار می‌گیرد که دارای بیشترین نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل است.

$$A^+ = \{ (\max V_{ij} | j \in J), (\min V_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, 3, \dots, m \} \\ = \{ V_1^+, V_2^+, \dots, j_i^+, \dots, V_n^+ \} \quad (8)$$

$$A^- = \{ (\min V_{ij} | j \in J), (\max V_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, 3, \dots, m \} \\ = \{ V_1^-, V_2^-, \dots, j_i^-, \dots, V_n^- \} \quad (9)$$

$J = \{ j = 1, 2, 3, \dots, n \}$  به طوری که در آن  $J'$  زهای مربوط به سود

$J' = \{ j = 1, 2, 3, \dots, n \}$  زهای مربوط به هزینه

$$d_{i+} = \left\{ \sum_{j=1}^n (U_{ij} - V_j^+)^2 \right\}^{.5}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (10)$$

$$d_{i-} = \left\{ \sum_{j=1}^n (U_{ij} - V_j^-)^2 \right\}^{.5}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (11)$$

در دو معادله ۶ و ۷،  $U_{ij}$  مقادیر ماتریس تصمیم وزن‌دهی شده،  $U^+_j$  و  $U^-_j$  به ترتیب مقدار ایده‌آل و عکس ایده‌آل معیارها در کلیه سناریوها می‌باشند.

$$cl_{i+} = \frac{d_{i-}}{(d_{i+} + d_{i-})} \quad 0 \leq cl_{i+} \leq 1; \quad i=1,2,3,\dots,m \quad (12)$$

که در آن  $d_{i+}$  فاصله از راه‌حل ایده‌آل و  $d_{i-}$  فاصله از راه‌حل عکس ایده‌آل می‌باشند.

### نتایج

جدول ۴ نتایج مربوط به مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل SARIMA را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد مقادیر دبی ماهانه و حجم ورودی به مخزن در سال ۱۳۸۷-۸۸ تعیین شده است.

جدول ۵- مقادیر دبی و حجم آب ماهانه پیش‌یابی شده توسط مدل SARIMA در ایستگاه تهر در سال آبی ۷۸-۷۷.

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
دبی (CMS)	۱/۶۸	۱/۶۵	۱/۲۱	۱/۲۱	۱/۶۵	۱/۸۴	۵/۸۳	۵/۷۷	۱/۰۵	۰/۴۴	۵/۷۳	۱/۷۱
حجم (mm <sup>3</sup> )	۴/۳۶	۴/۲۷	۳/۱۴	۳/۱۲	۴/۲۸	۴/۶۰	۱۵/۶۲	۱۵/۴۶	۲/۸۱	۱/۱۸	۱۵/۳۵	۴/۵۹

نتایج ماتریس تصمیم به‌دست آمده از محاسبه ۵ معیار تعیین شده در ۱۶ سناریوی مدیریتی که با توجه به جدول ۱ و گزینه‌های در نظر گرفته شده برای هر سناریو و میزان جریان پیش‌یابی شده ورودی به مخزن سد و نیز میزان نیازمندی‌های پایاب سد محاسبه گردیدند، در جدول ۶ آورده شده است. جدول ۷ نیز مقادیر استاندارد شده معیارها توسط نرم‌افزار Idrisi را جهت فازی‌سازی در سناریوهای مختلف نشان می‌دهد.

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۱۶)، شماره (۴) ۱۳۸۸

جدول ۶- ماتریس تصمیم سناریوهای تدوین شده.

سناریو	معیار ۱	معیار ۲	معیار ۳	معیار ۴	معیار ۵
۱	۳۶/۵۷۰	۱۴/۰۱۷	۱۴۷	۷۳۸/۵	خیلی کم
۲	۴۷/۱۸۰	۳/۴۰۸	۲۶۰	۴۶۸/۵	خیلی کم
۳	۴۴/۹۸۵	۲/۷۹۸	۲۳۳	۶۰۷/۳۶	خیلی کم
۴	۴۰/۱۸۵	۶/۷۸۸	۱۸۲	۶۲۳/۶۷	خیلی کم
۵	۳۹/۲۹۸	۳/۱۰۶	۱۷۲	۴۰/۶۲۳	خیلی کم
۶	۴۷/۶۳۷	۲/۷۹۸	۲۶۷	۴۶۶/۹۹	خیلی کم
۷	۴۵/۴۹۰	۶/۷۸۸	۲۳۸	۴۷۳/۶۰	خیلی کم
۸	۴۷/۲۵۵	۳/۱۰۶	۲۶۱	۴۶۸/۲۱	خیلی کم
۹	۴۴/۹۸۵	۲/۷۹۸	۲۳۳	۶۰۷/۳۶	خیلی کم
۱۰	۴۴/۹۸۵	۲/۷۹۸	۲۳۳	۶۰۷/۳۶	خیلی کم
۱۱	۴۱/۱۰۵	۳/۱۰۶	۱۸۹	۷۷۹/۷۰	خیلی کم
۱۲	۴۴/۹۸۵	۲/۷۹۸	۲۳۳	۶۰۷/۳۶	خیلی کم
۱۳	۴۷/۶۳۷	۲/۷۹۸	۲۶۷	۴۶۶/۹۹	خیلی کم
۱۴	۴۷/۶۳۷	۲/۷۹۸	۲۶۷	۴۶۶/۹۹	خیلی کم
۱۵	۴۷/۲۵۵	۳/۱۰۶	۲۶۱	۴۶۸/۲۱	خیلی کم
۱۶	۴۷/۶۳۷	۲/۷۹۸	۲۶۷	۴۶۶/۹۹	خیلی کم

جدول ۷- مقادیر استاندارد شده معیارها.

سناریو	معیار ۱	معیار ۲	معیار ۳	معیار ۴
۱	۰/۰۴۸	۰/۹۲۴	۰/۹۹۲	۰/۹۹۹
۲	۰/۹۳۲	۰/۱۰۸	۰/۰۶۶	۰/۰۰۸
۳	۰/۷۴۹	۰/۰۶۱	۰/۲۸۷	۰/۴۴۵
۴	۰/۳۴۹	۰/۳۶۸	۰/۷۰۵	۰/۴۹۶
۵	۰/۲۷۵	۰/۰۸۵	۰/۷۸۷	۰/۴۹۵
۶	۰/۹۷۰	۰/۰۶۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳
۷	۰/۷۹۱	۰/۳۶۸	۰/۲۴۶	۰/۰۲۴
۸	۰/۹۳۸	۰/۰۸۵	۰/۰۵۷	۰/۰۰۷
۹	۰/۷۴۹	۰/۰۶۱	۰/۲۸۷	۰/۴۴۵
۱۰	۰/۷۴۹	۰/۰۶۱	۰/۲۸۷	۰/۴۴۵
۱۱	۰/۴۲۶	۰/۰۸۵	۰/۶۴۷	۰/۹۸۷
۱۲	۰/۷۴۹	۰/۰۶۱	۰/۲۸۷	۰/۴۴۵
۱۳	۰/۹۷۰	۰/۰۶۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳
۱۴	۰/۹۷۰	۰/۰۶۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳
۱۵	۰/۹۳۸	۰/۰۸۵	۰/۰۵۷	۰/۰۰۷
۱۶	۰/۹۷۰	۰/۰۶۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳

نتایج مقادیر فازی معیارها به صورت اعداد فازی مثلثی در جدول ۸ بیان گردیده است. مقادیر معیارها با استفاده از نرم افزار Fuzzy TECH و با توجه به کلاس های فازی تعیین شده دارای مقادیر کم، متوسط و زیاد در بازه صفر و ۱ می باشند. به عنوان مثال مقادیر فازی معیار یک در سناریوی ۵ با توجه به اینکه مقدار استاندارد شده آن برابر ۰/۲۷۵ می باشد، در بازه کلاس های ۲ و ۳ جدول ۳ قرار می گیرد. سپس میزان عضویت این معیار به ۲ کلاس بالا و مقادیر فازی نهایی آن توسط نرم افزار Fuzzy TECH تعیین گردید.

جدول ۸- ماتریس تصمیم فازی مثلثی معیارها در سناریوهای مختلف.

سناریو	معیار ۱			معیار ۲			معیار ۳			معیار ۴		
	کم	متوسط	زیاد	کم	متوسط	زیاد	کم	متوسط	زیاد	کم	متوسط	زیاد
۱	۰	۰/۰۴۸	۰/۱۹۶	۰/۷۴۸	۰/۹۲۴	۱	۰/۸۸	۰/۹۹	۱	۰/۹	۱	۱
۲	۰/۷۶۸	۰/۹۳۴	۱	۰/۰۰۵	۰/۱۱	۰/۳۱	۰	۰/۰۷	۰/۲۴	۰	۰/۱۱۶	۰/۰۰۸
۳	۰/۵۴۶	۰/۷۴۶	۰/۹۲۳	۰	۰/۰۶۲	۰/۲۲۴	۰/۰۹۶	۰/۲۹۲	۰/۴۹۲	۰/۲۴۸	۰/۴۴۸	۰/۶۴۸
۴	۰/۱۴۷	۰/۳۴۷	۰/۵۴۷	۰/۱۶۶	۰/۳۶۶	۰/۵۶۶	۰/۶	۰/۸	۰/۹۵	۰/۲۹۶	۰/۴۹۶	۰/۶۹۶
۵	۰/۰۸۷۵	۰/۲۷۵	۰/۴۷۵	۰	۰/۰۸۳	۰/۲۶۶	۰/۵۹	۰/۷۹	۰/۹۴۵	۰/۲۹۵	۰/۴۹۵	۰/۶۹۵
۶	۰/۸۴۰	۰/۹۷۰	۱/۰۰۰	۰	۰/۰۶۲	۰/۲۲۴	۰	۰/۰۱	۰/۱۲	۰	۰/۱۰۶	۰/۰۰۳
۷	۰/۵۹۱	۰/۷۹۱	۰/۹۴۵۵	۰/۱۶۶	۰/۳۶۶	۰/۵۶۶	۰/۰۷۵	۰/۲۵	۰/۴۵	۰	۰/۱۵	۰/۰۲۵
۸	۰/۷۷۶	۰/۹۳۸	۱/۰۰۰	۰	۰/۰۸۵	۰/۲۷	۰	۰/۰۶	۰/۲۲	۰	۰/۱۱۴	۰/۰۰۷
۹	۰/۵۴۶	۰/۷۴۶	۰/۹۲۳	۰	۰/۰۶۲	۰/۲۲۴	۰/۰۹۶	۰/۲۹۲	۰/۴۹۲	۰/۲۴۸	۰/۴۴۸	۰/۶۴۸
۱۰	۰/۵۴۶	۰/۷۴۶	۰/۹۲۳	۰	۰/۰۶۲	۰/۲۲۴	۰/۰۹۶	۰/۲۹۲	۰/۴۹۲	۰/۲۴۸	۰/۴۴۸	۰/۶۴۸
۱۱	۰/۴۲۷	۰/۶۲۷	۰/۸۲۷	۰	۰/۰۸۵	۰/۲۷	۰/۴۵	۰/۶۵	۰/۸۵	۰/۸۷۶	۰/۹۸۸	۱
۱۲	۰/۵۴۶	۰/۷۴۶	۰/۹۲۳	۰	۰/۰۶۲	۰/۲۲۴	۰/۰۹۶	۰/۲۹۲	۰/۴۹۲	۰/۲۴۸	۰/۴۴۸	۰/۶۴۸
۱۳	۰/۸۴	۰/۹۷	۱	۰	۰/۰۶۲	۰/۲۲۴	۰	۰/۰۱	۰/۱۲	۰	۰/۱۰۶	۰/۰۰۳
۱۴	۰/۸۴	۰/۹۷	۱	۰	۰/۰۶۲	۰/۲۲۴	۰	۰/۰۱	۰/۱۲	۰	۰/۱۰۶	۰/۰۰۳
۱۵	۰/۷۷۶	۰/۹۳۸	۱	۰	۰/۰۸۵	۰/۲۷	۰	۰/۰۶	۰/۲۲	۰	۰/۱۱۴	۰/۰۰۷
۱۶	۰/۸۴	۰/۹۷	۱	۰	۰/۰۶۲	۰/۲۲۴	۰	۰/۰۱	۰/۱۲	۰	۰/۱۰۶	۰/۰۰۳

نتایج به دست آمده از تعیین وزن معیارها در قالب اعداد فازی مثلثی در جدول ۹ آمده است. با توجه به این مقادیر، معیار ۱ بیشترین وزن و معیار ۳ کمترین وزن را به خود اختصاص داده اند. پس از تعیین وزن معیارها ماتریس تصمیم فازی وزندهی شده محاسبه گردید. جدول ۱۰ نتایج محاسبه این

ماتریس را نشان می‌دهد. به این ترتیب که مقادیر حداقل در مقادیر حداقل و مقادیر متوسط و مقادیر حداکثر در مقادیر حداکثر ضرب می‌گردد. به‌عنوان مثال مقدار وزین شده معیار یک در سناریوی ۷ به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$(0/222, 0/334, 0/529) * (0/591, 0/791, 0/945) = (0/131, 0/264, 0/5)$$

جدول ۹- مقادیر وزن نهایی فازی معیارها.

معیار	حداقل	متوسط	حداکثر
۱	۲۲۲۰	۰/۳۳۴	۰/۵۲۹
۲	۰/۱۶۲	۰/۲۵۶	۰/۳۹۴
۳	۰/۰۷۶	۰/۱۲۷	۰/۱۹۹
۴	۰/۰۸۰	۰/۱۳۲	۰/۲۲۰
۵	۰/۰۹۸	۰/۱۵۱	۰/۲۲۶

نتایج مربوط به غیرفازی‌سازی مقادیر فازی معیارها جهت تعیین ماتریس تصمیم غیرفازی در جدول ۱۱ آمده است. به‌عنوان مثال مقدار غیرفازی معیار یک در سناریوی ۷ با توجه به معادله ۷ به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$0/298 = 0/131 + 0/3 * ((0/264 - 0/131) + (0/5 - 0/131))$$

در پایان نتایج اولویت‌بندی سناریوهای مدیریتی با توجه به میزان نزدیکی نسبی سناریوهای مدیریتی به راه‌حل ایده‌آل (معادله ۱۲)، در جدول ۱۲ ارایه شده و با توجه به این نتایج، سناریوی ۷ (انجام کنترل سیل در اردیبهشت‌ماه و مردادماه) که دارای بیشترین نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل  $(CL_{i+})$  می‌باشد، در اولویت اول قرار گرفته است. همچنین سناریوی ۵ که دارای بیشترین فاصله نسبت به راه‌حل ایده‌آل بوده، در اولویت آخر قرار گرفته است (شکل ۳). برای مثال این میزان برای سناریو ۷ که برابر  $0/678$  می‌باشد به کمک رابطه ۱۲ به‌صورت زیر محاسبه گردید.

$$CL_i = \frac{0/313}{(0/148 + 0/313)} = 0/678$$



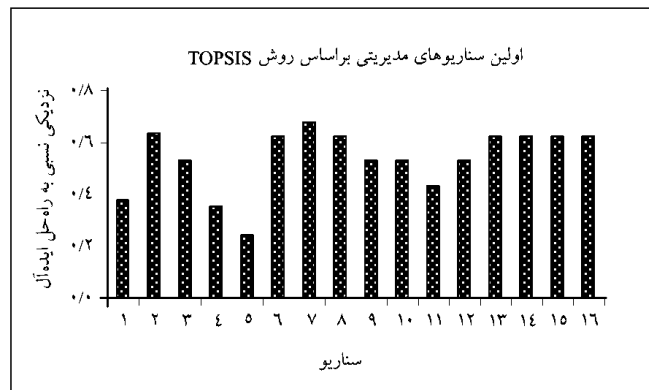


جدول ۱۱- مقادیر غیرفازی معیارها در سناریوهای مختلف.

معیار ۵	معیار ۴	معیار ۳	معیار ۲	معیار ۱	معیار / سناریو
۰/۰۷۵	۰/۱۴۱	۰/۱۳۱	۰/۲۵۱	۰/۰۴۰	۱
۰/۰۷۵	۰/۰۰۹	۰/۰۱۹	۰/۰۵۰	۰/۳۳۷	۲
۰/۰۷۵	۰/۰۷۴	۰/۰۴۷	۰/۰۳۵	۰/۲۸۶	۳
۰/۰۷۵	۰/۰۸۱	۰/۱۱۲	۰/۱۱۵	۰/۱۴۶	۴
۰/۰۷۵	۰/۰۸۱	۰/۱۱۱	۰/۰۴۲	۰/۱۲۱	۵
۰/۰۷۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۳۵	۰/۳۴۶	۶
۰/۰۷۵	۰/۰۱۲	۰/۰۴۲	۰/۱۱۵	۰/۲۹۸	۷
۰/۰۷۵	۰/۰۰۹	۰/۰۱۷	۰/۰۴۳	۰/۳۳۸	۸
۰/۰۷۵	۰/۰۷۴	۰/۰۴۷	۰/۰۳۵	۰/۲۸۶	۹
۰/۰۷۵	۰/۰۷۴	۰/۰۴۷	۰/۰۳۵	۰/۲۸۶	۱۰
۰/۰۷۵	۰/۱۴۰	۰/۰۹۵	۰/۰۴۳	۰/۲۴۷	۱۱
۰/۰۷۵	۰/۰۷۴	۰/۰۴۷	۰/۰۳۵	۰/۲۸۶	۱۲
۰/۰۷۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۳۵	۰/۳۴۶	۱۳
۰/۰۷۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۳۵	۰/۳۴۶	۱۴
۰/۰۷۵	۰/۰۰۹	۰/۰۱۷	۰/۰۴۳	۰/۳۳۸	۱۵
۰/۰۷۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۳۵	۰/۳۴۶	۱۶

جدول ۱۲- میزان نزدیکی نسبی سناریوها به راه‌حل ایده‌آل.

اولویت	CL <sub>j+</sub>	سناریو	اولویت	CL <sub>j+</sub>	سناریو
۵	۰/۵۳۱	۹	۸	۰/۳۷۸	۱
۵	۰/۵۳۱	۱۰	۲	۰/۶۳۲۰	۲
۷	۰/۴۲۹	۱۱	۵	۰/۵۳۱	۳
۵	۰/۵۳۱	۱۲	۶	۰/۳۵۰	۴
۴	۰/۶۲۲	۱۳	۹	۰/۲۳۷	۵
۴	۰/۶۲۲	۱۴	۴	۰/۶۲۲	۶
۳	۰/۶۲۴	۱۵	۱	۰/۶۷۸	۷
۴	۰/۶۲۲	۱۶	۳	۰/۶۲۴	۸



شکل ۳- نمودار میزان نزدیکی نسبی سناریوها به راه‌حل ایده‌آل.

### بحث و نتیجه‌گیری

در مدیریت و برنامه‌ریزی برای سیستم‌های منابع آب و آبخیز با توجه به وجود اجزاء متفاوت در سیستم و اثرات مختلف ناشی از اعمال شیوه‌های مدیریتی، همیشه لازم است که سیستم به صورت یک‌پارچه در نظر گرفته شود. با توجه به اهداف مختلف مدیریتی، نظیر تامین نیازهای آبی، کنترل سیل، تامین انرژی برق آبی و نظایر آن، در بیشتر موارد ضرورت دارد تا اثرات دخالت‌ها و گزینه‌های مدیریتی مورد بررسی واقع شود.

در مطالعه اخیر سعی شده است دو هدف عمده تامین نیاز آبی برای ساکنین پایین‌دست سد در خروجی حوزه و نیز کنترل سیل در مدیریت منابع آب سطحی حوزه آبخیز سد بوستان با توجه به شرایط موجود در منطقه در نظر گرفته شود. برای دستیابی به این اهداف ۱۶ سناریو با توجه به ۴ گزینه در نظر گرفته شده تدوین گردید. سپس جهت پیش‌بینی اثرات (بازخورد) گزینه‌ها و سناریوهای مدیریتی ممکن، ۵ معیار در نظر گرفته شد تا بتوان اثرات مدیریت را از هر دو جنبه تامین نیاز آبی و نیز کنترل ارزیابی نمود. به این ترتیب سعی گردید با تعیین معیارهای متنوع، جوانب مختلف مدیریت منابع آب‌های سطحی آبخیز مورد مطالعه در نظر گرفته شود.

استفاده از فن تصمیم‌گیری چندمعیاره با توجه به وجود اثرات مختلف سناریوهای مدیریتی و تفاوت در ماهیت و جهت معیارها به کاربر در اتخاذ تصمیم نهایی کمک می‌نماید. به‌کارگیری فن تصمیم‌گیری چندمعیاره از نوع فازی با توجه به ماهیت فازی بودن معیارها و نیز نبود قطعیت در داده‌های ورودی به سیستم، منجر به گنجاندن خطاها و نبود قطعیت در نتایج می‌شود و از این راه آنها

را بیشتر قابل پذیرش و قابل مدیریت می‌نماید. در فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره همان‌طور که از نام آن پیداست، معیارهای تعیین شده جهت رسیدن به اهداف در نظر گرفته شده از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. این وضعیت نوع، تعداد، تنوع، تکمیل‌کنندگی و تأثیرپذیری و تأثیرگذاری معیارها را شامل می‌گردد.

ارایه و تدوین سناریوهای مدیریتی یکی از راهکارهای مناسب مدیریت منابع آب سطحی با توجه به حالت‌های مدیریتی متنوع می‌باشد. در این باره با ارایه و تدوین سناریوهای مختلف، زمینه بررسی و ارزیابی مدیریت این منابع از دیدگاه‌های مختلف و شرایط متنوع فراهم می‌گردد. علاوه بر آن، زمینه ارایه برنامه‌های مدیریتی با توجه به معیارهای متنوع و گوناگون فراهم می‌شود. برای این کار نیز می‌توان با توجه به معیارهای تعیین شده، جهت نیل به هدف یا اهداف تعیین شده سناریوهای مدیریتی را مورد ارزیابی قرار داد و در نهایت آنها را اولویت‌بندی نمود.

با توجه به نتایج به دست آمده از انجام این پژوهش و در نهایت اولویت‌بندی سناریوها، ملاحظه می‌شود که سناریوی ۷ اولویت نخست و سناریوی ۵ اولویت آخر را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۱۲ و شکل ۳). به این ترتیب، سناریوی ۷ به عنوان سناریوی برتر جهت نیل به هدف در نظر گرفته شده (مدیریت منابع آب سطحی آبخیز سد بوستان) انتخاب، و معرفی گردید. این سناریو که شامل انجام گزینه مدیریتی کنترل سیل در ماه‌های اردیبهشت و مرداد است بهترین وضعیت را با توجه به گزینه‌ها و معیارهای در نظر گرفته شده در حوزه آبخیز سد بوستان فراهم می‌کند. شایان ذکر است که با بررسی داده‌ها و اطلاعات موجود و شناخت شرایط منطقه، مشاهده گردید که بیشترین و بزرگترین سیلاب‌ها در دو ماه یاد شده اتفاق افتاده است. به خصوص در مرداد ماه که دارای سیلاب‌های بزرگی در سال‌های اخیر می‌باشد. البته این اولویت‌بندی با توجه به دبی‌های جریان پیش‌بالی شده فعلی می‌باشد. روشن است با تغییر مقادیر جریان ورودی به سد و معیارهای در نظر گرفته شده اولویت‌بندی سناریوها نیز تغییر خواهد کرد.

همچنین سناریویی که در اولویت قرار می‌گیرد نتیجه تعامل بین راه‌حل ایده‌آل و عکس ایده‌آل می‌باشد. به عبارت دیگر، سناریویی برتر ممکن است دارای کمترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل و یا دارای بیشترین فاصله از راه‌حل عکس ایده‌آل نباشد، بلکه با توجه به وضعیت سناریو نسبت به هر دو راه حل و تعامل بین آنها در اولویت قرار گیرد. این یکی از بارزترین و مهم‌ترین خصوصیت اولویت‌بندی به روش TOPSIS است. این نتایج با نتایج حسی و همکاران (۲۰۰۴) و فو (۲۰۰۶) در یک راستا می‌باشد.

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که مدیریت منابع آب سطحی به‌خصوص در منطقه مورد مطالعه متأثر از گزینه‌های مختلفی است که خود نیاز به تدوین و تنظیم سناریوهای مختلف مدیریتی را در شرایط متنوع ایجاد نموده است (۱۶ سناریوی مدیریتی). بنابراین، می‌باید شرایطی را فراهم آورد تا امکان بررسی سناریوهای مختلف به کمک معیارهای تعیین شده، با توجه به نبود قطعیت‌های موجود در این منابع مهیا گردد.

درباره صحت‌سنجی مدل ارایه شده در این پژوهش و مقایسه آن با واقعیت می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

به منظور صحت‌سنجی نتایج پیش‌یابی مدل SARIMA اختلاف مقادیر پیش‌یابی با داده‌های مشاهداتی با کمک میانگین و مجموعه مربعات خطا در ۴ سال آخر بررسی گردید. نتایج بررسی بیانگر قابل قبول بودن نتایج پیش‌یابی در بیشتر موارد بوده است. دیگر این که با اجرای چندساله آن به‌طور آزمایشی در طبیعت میزان تطابق این مدل با واقعیت بررسی شد. مشخص است که با توجه به محدودیت‌های زمانی و اعتباری ریسک‌پذیری در همه موارد روش بالا قابل توصیه نمی‌باشد و حتماً بهترین روش صحت‌سنجی نیست. روش دیگر این است که از نظرات کارشناسی گروه دیگری از متخصصان در برآورد وزن‌های اختصاص داده شده به معیارها استفاده گردد. به این صورت صحت نتایج به دست آمده از گروه اول قابل بررسی است.

انجام این پژوهش و نتایج آن مبین این امر می‌باشند که مدیریت آب‌های سطحی تحت تأثیر شرایط مختلف و کارکردها و اقدام‌های مدیریتی متنوع است. چرا که این منابع را گزینه‌ها، سناریوها و معیارهای مختلفی متأثر ساخته است. که خود مدیریت این منابع را به‌خصوص در منطقه مورد مطالعه با مشکل مواجهه ساخته است. تحقیقات ابریشم‌چی و همکاران (۲۰۰۱)، رضوی‌طوسی و همکاران (۲۰۰۷)، چونتین (۱۹۹۹) و فو (۲۰۰۶)، نیز براساس تدوین گزینه‌ها و سناریوهای مختلف و بررسی اثرات آنها انجام شده‌اند. بدون توجه به این مباحث، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی با ارزش بسیار سخت و دشوار خواهد گردید.

نتایج این پژوهش نشان داد که تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی توانایی ایجاد یک محیط تصمیم‌گیری مناسب و نیز زمینه تدوین سناریوهای مختلف مدیریتی را فراهم می‌آورد. علاوه بر آن، مشاهده شد که روش TOPSIS توانایی اولویت‌بندی و تعیین سناریوهای برتر مدیریتی را با تلفیق اثرات معیارها و در نظر گرفتن راه‌حل ایده‌آل و عکس ایده‌آل دارا می‌باشد. در ضمن روش مورد بررسی در این تحقیق

یک فرآیند پویاست و می‌توان با استفاده از آن و در نظر گرفتن یک پارچه سیستم به ارایه برنامه‌های مدیریتی در زمان واقعی (Real time) پرداخت. این روش می‌تواند همه‌ساله اجرا گردد و با تغییر مقادیر دبی ماهانه ورودی به سد و نیز در نظر گرفتن معیارهای مختلف با توجه به تعامل بین معیارها، سناریوهای تدوین شده در همان سال بررسی و دوباره اولویت‌بندی گردند. بنابراین، روش مورد بررسی توانایی ارایه راهکارهای مدیریتی مناسب (سناریوهای برتر مدیریتی) را هر ساله برای مقیاس ماهانه دارا می‌باشد.

#### منابع

1. Abrishamchi, A., Ebrahimian, A., and Tajrishi, M. 2001. Application of multi criteria decision making in urban water management, water & watershed management processes, Asian Conference, Iran, 16p. (In Persian)
2. Amini-Fashoodi, A. 2006. Evaluating decision making models using group fuzzy classification programming model, Research Journal Isfahan University (humanity science), 1: 20. 211-230. (In Persian)
3. Asghar-Pour, G. 2006. Multi-criteria decision making. Tehran University Pub. 399p. (In Persian)
4. Chuntian, C. 1999. Fuzzy optimal model for the flood control system of the upper and middle reaches of the Yangtze River. J. Hydrological Sciences, 44: 4. 573-582.
5. Consultant Engineering Group Tehran Berkly. 1992. Karghaz Project Phase One (Project of Golestan and Boostan dam reservoirs) 12 Vol. water resources planning, 88p. (In Persian)
6. Farazjoo, H. 2003. Assessing the effects of vegetation change on flood hydrograph in Golestan dam watershed using GIS and HEC-HMS models. M.Sc. Thesis, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan. Iran, 176p. (In Persian)
7. Fu, G. 2006. A fuzzy optimization method for multicriteria decision making: an application to reservoir flood control operation. J. Expert Systems with Applications, 34: 1. 145-149.
8. Hsieh, T.Y., Lu, B.S.T., and Tzeng, G.H. 2004. Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings. Int. J. Project Management, 22: 573-584
9. Karamuz, M. 2005. Qualitative and quantitative management and planning for water utilization and allocation with emphasis on conflict resolution. Final Research Report. Water Management Company, Deputy for technical and research aspects, 210p.

10. Koorehpazan-Dezfuli, A. 2004. Principles of fuzzy set theory and its applications in the modeling water engineering problems. Jahad Daneshgahi of the Amir- Kabir University, 261p. (In Persian)
11. Koorehpazan-Dezfuli, A. 2005. Principles of fuzzy set theory and its applications in the modeling water engineering problems. Jahad Daneshgahi of the Amir-Kabir University, 261p. (In Persian)
12. López-Moreno, J.I., Begueria, S., and Garcia-Ruiz, J.M. 2002. Influence of the Yesa Reservoir on floods of the Aragon River, Central Spanish Pyrenees. *J. Hydrology and Earth System Sciences*, 6: 4. 753-762.
13. Razavi-Tousi, L., Mohammadvali-Samani, G., and Kourehpazan-Dezfully, A. 2007. Prioritization of inter watershed water transportation projects using fuzzy groups MCDM method, *Biennial Journal of Water Resources Research*, 3: 2. 1-9. (In Persian)
14. Sasikumar, K., and Mujumdar, P.P. 1998. Fuzzy optimization model for water quality management of a river system. *J. Water resources Planning and Management*, 124: 2. 79-80.
15. Tsaura, S.H., Changb, T., and Yen, S.H. 2000. The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM. *J. Tourism Management*, 23: 107-111.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation*, Vol. 16(4), 2009

[www.gau.ac.ir/journals](http://www.gau.ac.ir/journals)

## **Fuzzy multicriteria decision making for surface water resources management in Bustan Dam-Golestan Province**

**\*M.Gh. Halili<sup>1</sup>, A. Sadoddin<sup>2</sup>, A. Mosaedi<sup>3</sup> and A. Salman Mahini<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Former M.Sc. Student, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Associate Prof., Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, <sup>4</sup>Associate Prof., Dept. of Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

### **Abstract**

Considering the current trend of ever decreasing water resources and their associated qualitative and quantitative variations, managers are now facing the challenge of offering adaptable planning and allocation decision methods for integrated watershed management. This study focuses on the understanding of the trade-offs among the various outcomes of allocation decisions for Boostan Dam reservoir on the Gorgan-Rud River in Golestan Province of Iran. Control of water level in the reservoir such that enough water is available during dry months to satisfy different needs of the downstream as well as the capability of dam to mitigate floods were considered as the objectives of the study. The recorded flow data suggested that there are four months with high likelihood of flooding events. Sixteen mutually exclusive scenarios were developed to accommodate different and competing water demands of water users in the area. The monthly river flow discharge for one Iranian water-year started from October 2007 was forecasted by a Seasonal Auto Regressive Integrating Moving Average (SARIMA) model. The water allocation analysis was conducted on the basis of the forecasted monthly flow data. To quantify the effects of implementing the scenarios, five indices were selected and quantified. The indices included water storage capacity during flood-prone months, stored water volume at the end of the water-year, the likelihood of overflowing, outflow discharge simulated by a flood routing technique and the risk of dam collapse because of floods. The fuzzy multi-criteria decision making technique was used to trade-off the outcomes and therefore to identify the best allocation scenario. To weight the indices, the process of expert knowledge elicitation was completed using AHP (Analytical Hierarchy Process) technique. The TOPSIS (Technique Ordered Preference by Similarity to the Ideal Solution) model was used to identify the best scenario among the 16 allocation scenarios. The results showed that the scenarios could be categorised in nine different groups among them scenario 7 has been identified as the best allocation scenario followed by scenario 1. Scenario 07 was characterized by emphasis on flood control objective for the flood-prone months (May and August) as well as water supply to meet the water demands of the downstream. The integrating approach implemented in this study is capable of assisting the decision makers and dam operators to understand and investigate the possible allocation scenarios, and to recognize the likely outcomes and the trade-offs among them. Thus, the approach supports the decision makers to achieve their objectives capturing different criteria associated with the allocation problems.

**Keywords:** Optimized water allocation, Fuzzy multi-criteria decision making, FAHP, SARIMA model, Boostan Dam

---

\* Corresponding Author; Email: [haliliali@gmail.com](mailto:haliliali@gmail.com)