تصمیم گیری چند معیاره فازی به منظور مدیریت منابع آب سطحی در سد مخزنی بوستان - استان گلستان

* محمدقاسم هلیلی[۱]، امیر سعدالدین[۲]، ابوالفضل مساعدی[۳] و عبدالرسول سلمان ماهینی[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

[۲] استادیار گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

[۳] دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

[۴] استادیار گروه محیط زیست دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده:

کمبود منابع آب و نیز تغییرات کمی و کیفی آنها، تجدید نظر در خصوص ارائه برنامهها و تصمیم گیری های تخصیص این منابع در مدیریت یکپارچه آبخیز را ضروری نموده است. بدین منظور نتایج مختلف تخصیص های متفاوت منابع آب سد بوستان استان گلستان مورد تحقیق قرار گرفته است. توجه به امنیت آبی ساکنین پایین دست سد و در عین حال کاهش خطر وقوع سیل در اراضی پایین دست از جمله ارکان مدیریت بهره برداری از سد محسوب می شود. کنترل و تنظیم سطح آب در مخزن سد بطوریکه بتوان آب کافی برای تامین نیاز آبی خصوصا در ماههای کم آب را ذخیره نمود و در عین حال حجم خالی لازم به منظور کنترل سیلابها را فراهم آورد و همچنین نیازهای اکولوژیکی پایین دست را تامین کرد، از اهداف این پژوهش بوده است. در این پژوهش با بررسی داده های دبی جریان ثبت شده، مشاهده گردید که چهار ماه سیلابی در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. این چهار ماه شامل اردیبهشت، تیر، مرداد و شهریور می باشند. برای کاهش معضلات تخصیص منابع آب بین کاربران در اثر دیدگاه ها و اهداف مدیریتی مختلف بهره برداران منابع آب، ۱۶ سناریوی مدیریتی خاص تدوین گردید. مقادیر دبی ماهانه ایستگاه هیدرومتری تمر در سال آبی ۸۷-۸۸ به کمک مدل سری زمانی SARIMA پیش یابی گردید. سپس، نحوه تخصیص و بهره برداری بهینه منابع آب سطحی با توجه به مقادیر پیشیابی شده به صورت ماهانه مورد ارزیابی قرار گرفت. پنج معیار جهت ارزیابی اثرات اجرای سناریوها تعیین گردید. این پنج 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 حاصل از اجرای سناریوهای تدوین شده، و نیز تعیین سناریو یا سناریوهای برتر فن تصمیم گیری چند معیاره فازی بکار گرفته شد. بدین منظور، پس از محاسبه مقدار معیارها در کلیه سناریوها و فازی سازی آنها، معیارهای مذکور به کمک فرآیند FAHP وزن دهی گردیدند. سپس، ۱۶ سناریوی تدوین شده با استفاده از روش TOPSIS جهت تعیین برترین سناریوها اولویت بندی گردیدند. با توجه به نتایج حاصله مشاهده گردید که سناریوهای تدوین شده در ۹ اولویت قرار گرفتند و سناریوی هفت اولویت اول را به خود اختصاص داده است. این سناریو شامل انجام اقدامات کنترل سیل فقط در ماههای اردیبهشت و مرداد می باشد و در سایر ماهها هیچ گونه اقدام کنترل سیل صورت نمی گیرد. تحقیق حاضر می تواند در آینده در قالب یک سیستم پشتیبان تصمیم گیری برای نیل به مدیریت بهره برداری بهینه از مخازن، توسعه پیدا کند.

کلمات کلیدی: تخصیص بهینه منابع آب، تصمیم گیری چند معیاره 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 غیر اصولی از این منابع، باعث بروز مشکلات و اختلافات روزافزونی در این خصوص گردیده است. در نتیجه مسئله 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 فنونی 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 تشخیص و تعیین بهترین وضعیتی که میتواند و باید باشد و یافتن پاسخ و راه حلی 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 (امینی فسخودی، ۲۰۰۴).

ناکارآمد بودن نگرش تک بعدی و لزوم جامعنگری در اتخاذ بهترین تصمیمها و شیوههای مدیریتی، بهرهگیری از تخصصهای مختلف بر اساس معیارهای چندگانه کمی و کیفی و ارائه گزینه ها و سناریوهای مختلف مدیریتی را ضروری ساخته است. لذا، فنون و روشهای تصمیمگیری گروهی و چندمعیاره اهمیت خاصی می یابند. ابهام و عدم قطعیت ذاتی حاکم بر منابع آب در ارزیابی اهداف، معیارها و واحدهای تصمیمگیری از یکسو و ناسازگاری وعدم دقت در نظرات و قضاوت افراد تصمیمگیرنده از سوی دیگر، باعث گرایش به نظریههای مجموعههای فازی و به تبع آن منطق فازی به عنوان ابزاری کارآمد و مفید برای برنامه ریزیها و تصمیمگیریها گردیده .است

مخزن سدها نقش مهمی در مدیریت آبهای سطحی و نیز تغییر رژیم رودخانههای پایین دست در مقیاسهای زمانی مختلف ایفاد می کند. در مناطق مدیترانهای که دبی مخازن در فصول مرطوب افزایش می یابد و حجم آب مخزن در فصل بهار به حداکثر میرسد و بر عکس در فصل کمآبی با کاهش میزان دبی ورودی حجم مخزن به حداقل میرسد، نقش کنترلی سدها بسیار مهم است (لوپز- مورنو و همکاران[1]، ۲۰۰۲).

در مورد فنون تصمیم گیری نوین و استفاده آنها در مدیریت منابع آب مطالعات مختلفی صورت گرفته است. ابریشم چی و همکاران (۲۰۰۰) 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. تصمیم گیری چند معیاره فازی گروهی توسط رضوی طوسی و همکاران (۲۰۰۷) جهت اولویتبندی پروژه های انتقال آب بین حوزهای مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق ۱۰ طرح انتقال آب بین حوزه ای کارون بزرگ با ۸ معیار در نظر گرفته شد. در نهایت با استفاده از روش اولویت - بندی فازی گروهی، ۱۰ طرح مذکور اولویتبندی گردید. ساسیکمار و موجومدار[2] (۱۹۹۸)، یک مدل چندهدفه

---

1 - Lopez-Moreno et al
2- Sasikumar and Mujomdar

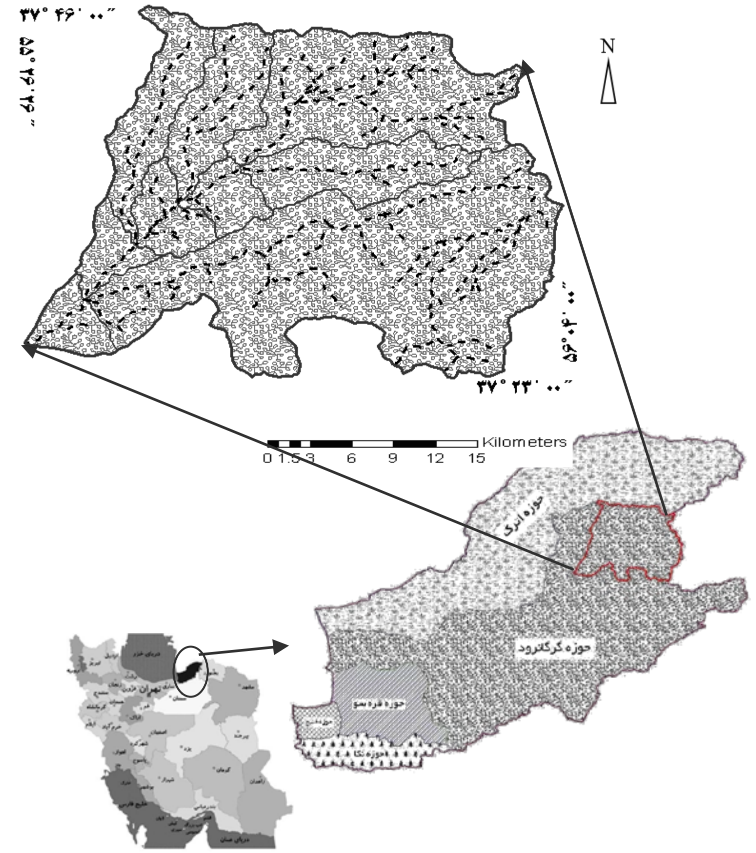
فازی را برای مدیریت کیفی سیستمهای رودخانهای پیشنهاد نمودند. در تحقیق ایشان، اهداف کیفی سازمانهای مسئول حفاظت کیفی رودخانه و تخلیهکنندههای آلایندههای مختلف به رودخانه بصورت فازی در نظر گرفته. چونتین[1] (۱۹۹۹) جهت مدیریت منابع آب خصوصا در مواقع سیلابی، مدل بهینهسازی چند معیاره فازی را بکار گرفت. روش تصمیمگیری چند معیاره فازی و کاربرد آن در مدیریت و کنترل سیل به کمک مخازن توسط فو[2] (۲۰۰۶) مورد استفاده قرار گرفت. در این روش، از نقاط ایدهآل و عکس ایدهآل جهت اولویت بندی گزینه ها استفاده شد. از آنجایی که مدیریت آبهای سطحی تحت تاثیر عوامل، معیارهای و گزینه های مختلف مدیریتی به منظور کنترل و مدیریت سیلابها و نیز تامین نیازهای آبی می باشد، در این تحقیق با بکارگیری سیستم تصمیمگیری چند معیاره فازی نحوه مدیریت این منابع در آبخیز سد بوستان که دارای سیلابهای متعددی خصوصا در سالهای اخیر بوده است و نیز دارای نیاز آبی بالایی خصوصا در فصول خشک جهت اهدافی همچون کشاورزی می باشد ، مورد بررسی قرار می گردد. سد مخزنی بوستان که در خروجی این آبخیز قرار دارد، نقش مهمی در، کنترل ، مدیریت و تخصیص بهینه آبهای سطحی حوزه دارد. لذا هدف از پژوهش حاضر استفاده از روشهای تصمیم گیری چند معیاره فازی در بهینه سازی تصمیم گیری مدیریت منابع آب مخزن سد بوستان در استان گلستان بوده است. در این پژوهش از روش نقاط ایدهآل و عکس ایدهآل جهت اولویتبندی سناریوها استفاده شده است.

مواد و روشها

موقعیت و مشخصات منطقه مورد مطالعه

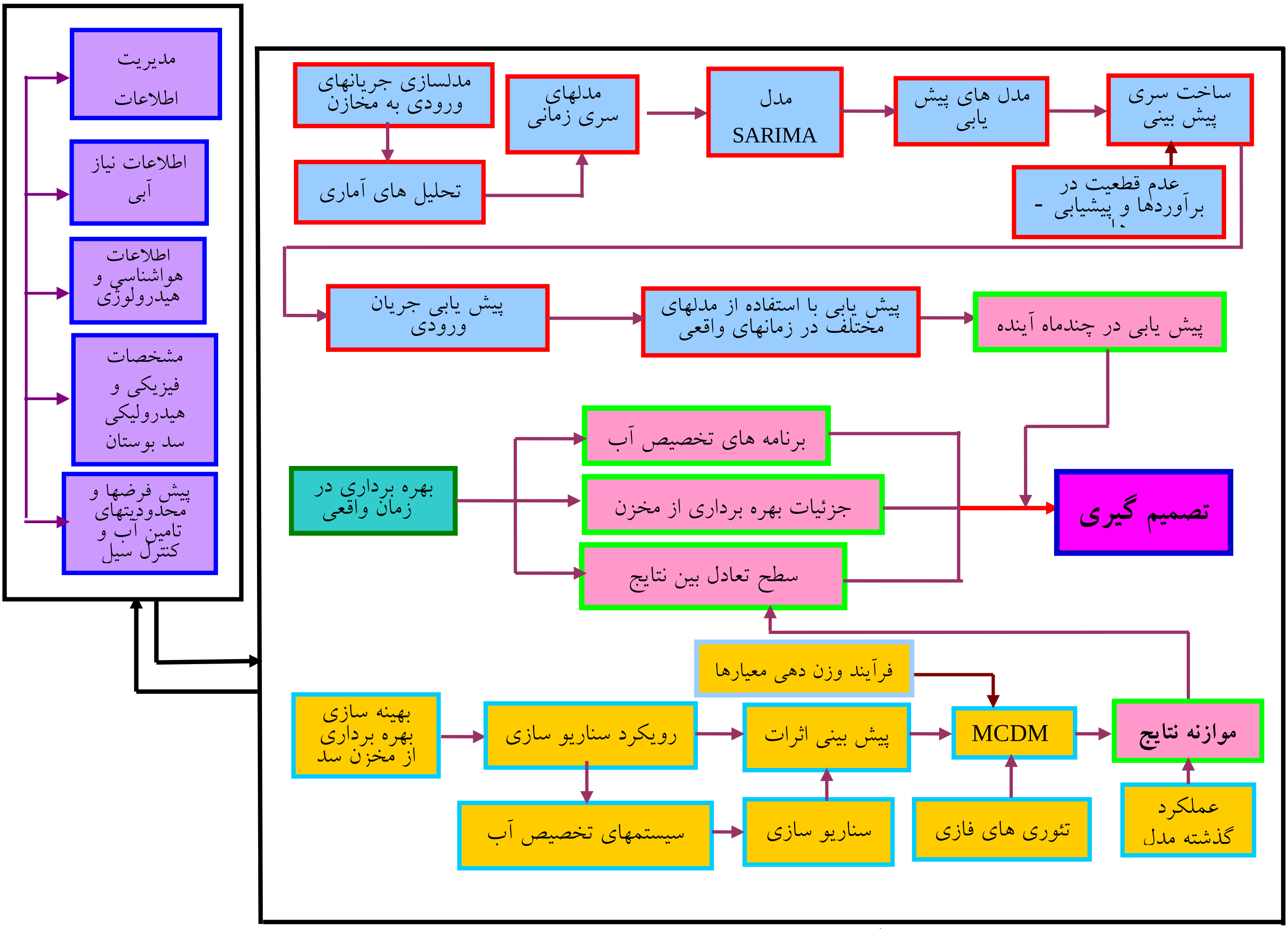
آبخیز سد بوستان یکی از زیر حوزههای گرگانرود واقع در شرق استان گلستان با مساحت حدود۱۵۶۲ کیلومتر-مربع میباشد (شکل ۱). این حوزه در محدوده جغرافیایی ″۰۰′۲۳ °۳۷ تا ″۰۰ ′۴۶ °۳۷ عرض شمالی و ″ ۲۶′۲۶ °۵۵ تا ″۰۰′۰۴°۵۶ طول شرقی واقع شده است. متوسط بارش سالانه حوزه حدود ۴۶۵ میلیمتر و اقلیم آن نیمه خشک تا نیمه مرطوب است (فرازجو، ۲۰۰۳). متوسط آبدهی سالیانه این حوزه حدود ۴۰ میلیون متر مکعب در سال میباشد و سد بوستان در خروجی حوزه واقع گردیده است. این سد که از نوع خاکی همگن است، 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 می کند (مهندسی مشاور تهران برکلی۲۰۰۵).

1- Chuntian
2- Fu



شکل۱: 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 می دهد. این چارچوب سیستمی در شکل۲ نشان داده شده است. بطور کلی مراحل پژوهش شامل جمع آوری اطلاعات آبی، مدلسازی و پیش یابی دبیهای ماهانه آب، بررسی نحوه تخصیص آب حوزه و استفاده از آن، تعیین گزینه های تخصیص آب و تدوین سناریوهای مدیریتی، تعیین معیارها جهت ارزیابی سناریوها، فازی سازی معیارها، وزن دهی به معیارها و غیرفازی سازی آنها و استفاده از روش TOPSIS جهت اولویتبندی سناریوهای مدیریتی بوده است. در زیر به شرح این مراحل پرداخته می شود.



شکل۲: چارچوب سیستمی مدیریت مخزن سد بوستان

مدلسازی و پیشیابی مقادیر دبی ماهانه ایستگاه هیدرومتری تمر با استفاده از مدل SARIMA

در این پژوهش نخست دبیهای ماهانه ایستگاه هیدرومتری تمر که به صورت روزانه در دوره آماری ۱۳۴۷ الی ۱۳۸۴ از شرکت آب منطقهای استان گلستان اخذ گردید، محاسبه و تنظیم گردیدند. این ایستگاه که در خروجی حوزه و در موقعیت جغرافیایی ″۲۱ ′۳۰ °۵۵ طول شرقی و ″۰۵ ′۲۹ °۳۷ عرض شمالی واقع شده است، تنها ایستگاه شاخص اندازهگیری جریانهای سطحی خروجی از حوزه و ورودی به سد مخزنی بوستان میباشد. در ادامه، تحلیلهای آماری مورد نیاز جهت بررسی دادههای مذکور صورت گرفت. این تحلیل ها شامل بررسی روند دادهها، همگنی آنها و آزمون پرت بودن دادهها می باشد. سپس پیشیابی دادههای دبی جریان ماهانه در سال آبی۸۸–۱۳۸۷ با استفاده از مدل آماری SARIMA توسط نرم افزار Minitab14 و روش تکراری باکس– جنکینس[1] و در نهایت با انتخاب مدل ۳، ۱، ۱)(۱، ۰، ۱) SARIMA انجام گرفت. سپس، میزان حجم جریان ماهانه ورودی به سد مخزنی بوستان با توجه به دبی های پیش یابی شده مشخص گردید.

1- Box -Jenkins

تدوین گزینهها و سناریوهای مدیریت منابع آب سطحی در سد بوستان

بدین جهت، پس از بررسی دادههای دبی روزانه خروجی از حوزه، چهار ماه سیلابی به کمک دبی بحرانی تعیین گردیدند. دبی بحرانی حداکثر آبی است که از مقطع بحرانی قابل عبور می باشد. سطح مقطع بحرانی مقطعی است که دارای کمترین سطح و به تبع آن کمترین دبی عبوری است. ضمنا، مشخصههای هیدرولیکی محدوده پایین دست سد از نظر شیب، زبری و غیره تقریبا یکسان بود و در نتیجه اثر آنها بر دبی عبوری یکسان تلقی گردید. پس از تعیین دبی بحرانی (حدود۴۵ مترمکعب بر ثانیه)، دبی های بیشتر از دبی بحرانی به عنون 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 به عنوان ماههای سیلابی مشخص گردیدند. به منظور 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 چهار گزینه مدیریتی در نظر گرفته شد که عبارتند از: کنترل و مدیریت سیلابها در یک ماه سیلابی، ۲) کنترل و مدیریت سیلابها در دو ماه سیلابی، ۳) کنترل و مدیریت سیلابها در سه ماه سیلابی،۴) کنترل و مدیریت سیلابها در چهار ماه سیلابیدر ادامه، با توجه به گزینه های مدیریتی در نظر گرفته شده و ماههای نیازمند کنترل سیل۱۶ سناریوی مدیریت (۲^{n} سناریو، n تعداد گزینه های تعیین شده) تدوین گردید (جدول ۱). شایان ذکر است که گزینه تامین نیاز آبی در تمام سناریوها اعمال گردید و نیاز آبی در ماههای مرتبط در نظر گرفته شد. در این حالت، سناریوی اول فقط شامل تامین نیاز آبی بود و هیچ گونه اقدام کنترل سیل برای آن در نظر گرفته نشد. جدول۲ مقدار نیازآبی را به صورت ماهانه نشان می دهد.

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

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

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

۱= در این حالت علاوه بر نیاز آبی محیط زیست و آبزی پروری، نیاز آبی کشاورزی پایین دست 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).

جدول۲: مقدار نیاز آبی در پایاب سد بوستان به میلیون متر مکعب (مهندسین مشاور تهران ۱۳۷۲ و شرکت آب منطقه ای گلستان ۱۳۸۵).

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
نیاز آبی	۶.۷۲	۶.۶۹	۵.۹۴	۳.۹۲	۶.۴۸	۲.۷۶	۰.۹۵	۳.۱۹	۰.۸	۰.۸	۰.۸۵	۰.۹

تعیین و محاسبه معیارها به منظور ارزیابی و اولویت بندی سناریوها

پس از تدوین سناریوها، پنج معیار جهت ارزیابی و اولویت بندی 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 یک سال آبی (معیار ۲)، ۳- خطر احتمال وقوع طغیان رودخانه در پایاب سد در هنگام وقوع سیل (معیار۳)، ۴- میزان دبی سیل خروجی از مخزن (معیار ۴) و ۵- خطر شکست سد در هنگام وقوع سیل (معیار ۵). مقادیر پنج معیار ذکر شده با توجه به مقادیر دبی ماهانه پیش بینی شده توسط مدل SARIMA و نیز نیازهای آبی پایین دست و با در نظر گرفتن حجم مخزن سد در کلیه سناریوها در مقیاس ماهانه برای هرسال محاسبه گردید. بدیهی است که در هر سناریو مقادیر معیارها با توجه به گزینه های در نظر گرفته شده برای آنها متفاوت می باشد. توضیحات اخیر در متن مقاله و در توضیحات جدول ۶ ارائه شده است.

البته لازم به ذکر است که معیار پنجم یک معیار کیفی است این معیار با در نظر گرفتن اختلاف حجم مخزن در تراز تاج سرریز و تراز آب در حالتPMF و تعیین کلاسهای خطر بین این دو حجم، محاسبه گردید.بدین ترتیب پس از تعیین پنج کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در بین دو حجم مذکور، کلاس خطر این معیار در کلیه سناریوها محاسبه گردید. مقدار این معیار در تمام سناریوها در کلاس خطر خیلی کم واقع گردید و مقادیر کلاس یک (خیلی کم) جدول ۳ به این معیار تعلق گرفت. از آنجای که میزان این معیار برای کلیه سناریوها یکسان شده است و در اولویت بندی سناریوها و تجزیه و تحلیل آنها نقشی ندارد، لذا از ادامه تجزیه و تحلیل حذف گردید و ادامه مراحل با چهار معیار انجام گرفت.

تعیین ماتریس تصمیم سناریوها

پس از تدوین سناریوها و محاسبه معیارهای تعیینشده، ماتریس تصمیم تهیه گردید. این ماتریس زمینه ساز اولویتبندی سناریوهاست و شامل سناریوهای مدیریتی همراه با معیارهای تعیین شده میگردد. در این ماتریس سناریوها و معیارهای مربوط در قالب مقادیر سطری و ستونی بیان می گردند.

فازی سازی معیارها

پس از محاسبه معیارها، فرآیند فازی سازی جهت پوشش دادن و در نظر گرفتن عدم قطعیت معیارها بکار گرفته شد. تعریف بازهها و اعداد فازی با توجه به توابع عضویت و نیز انعطافپذیر نمودن معیارها از دیگر مزیت های این فرآیند میباشد. بدینجهت، ابتدا معیارهای یک ا الی ۴ در محیط نرم فزار Idrisi Kilimanjaro و بترتیب به کمک رابطه های ۲ الی ۶ به مقادیر استاندارد در بازه صفر و یک تبدیل گردیدند. سپس مقادیر استاندارد شده معیارها بر اساس هفت کلاس فازی تعیین شده با استفاده از نرم افزار Fuzzy TECH 3.3 به صورت اعداد فازی مثلثی محاسبه گردیدند (جدول۳).

$Y_1 = -3 + 0/08333\ X_1$ (۱) $Y_2 = -0/154 + 0/0769\ X_2$ (۲)

$Y_3 = 2/198 + 0/0082\ X_3$ (۳) $Y_4 = -1/47 + 0/003154\ X_4$ (۴)

جدول۳: مقادیر اعداد فازی مثلثی مربوط به عبارتهای زبانی

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

تعیین ماتریس تصمیم فازی

این ماتریس همانند ماتریس تصمیم است، با این تفاوت که مقادیر معیارهایی که در این ماتریس بیان می گردد به صورت اعداد فازی میباشند. برای بدست آوردن این ماتریس، پس از فازی سازی مقادیر معیارها، ماتریس تصمیم فازی به صورت اعداد فازی مثلثی تعیین گردید.

وزن دهی به معیارها به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)[1]

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 ماتریس های مقایسات زوجی به کمک پنج متخصص در زمینه مدیریت منابع آب و امتیازدهی و کلاس بندی روشFAHP 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 برنامه نویسی در محیط نرم افزار Excel محاسبه گردیدند.

1- Fuzzy Analytic Hierarchy Process

جدول ۴: مقادیر فازی عبارات زبانی توابع عضویت کلاسهای FAHP (تسائور و همکاران، 2000)

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

محاسبه ماتریس تصمیم فازی وزن دهی شده

پس از محاسبه وزن معیارها، ماتریس تصمیم فازی وزن دهی شده از حاصلضرب وزن معیارها در مقادیر معیارهای ماتریس تصمیم فازی به کمک معادله شماره ۵ تعیین گردید.

$$U_{IJ} = W_i \times V_{ij} \qquad (۵)$$

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

غیر فازی سازی معیارها

به منظور ارزیابی و اولویت بندی سناریوها، مقادیر فازی معیارها به مقادیر غیر فازی تبدیل گردیدند. روشهای مختلفی جهت فرآیند غیر فازی سازی ارائه گردیده است. در این مرحله از روش میانگین مرکز سطح (معادله ۶) به دلیل سادگی، کاربردی بودن و در نظر گرفتن تاثیرات کلیه بازه فازی، استفاده شد. بدین ترتیب ماتریس تصمیم وزین شده با غیر فازیسازی کردن ماتریس تصمیم فازی وزن دهی شده بر اساس معادله ۶ (کورهپزان دزفولی،۱۳۸۴) محاسبه گردید.

$$z^* = [(UR - LR) + (MR - LR)] / 3 + LR \qquad (۶)$$

در این معادله z^* کمیت غیر فازی شده وUR، MR و LR بترتیب مقادیر حداکثر، میانگین و حداقل اعداد فازی مثلثی می باشند.

موازنه و اولویتبندی سناریوهای مدیریت منابع آب سطحی

به منظور اولویتبندی سناریوها از روش اولویت بندی TOPSIS[1] استفاده شد. برای این کار با تعیین راه حل ایده آل و عکس ایده آل توسط معادله های ۷ و ۸ (اصغرپور، ۱۳۸۵)، میزان فاصله از راه حل ایده آل و عکس ایده آل سناریوها به ترتیب توسط معادله های ۹ و ۱۰ (اصغرپور، ۱۳۸۵)، محاسبه شد. سپس، میزان نزدیکی نسبی سناریوها به راه حل ایده آل (cl_{i+}) به کمک معادله ۱۱ تعیین گردید. در نهایت با توجه به میزان نزدیکی نسبی به راه حل ایده آل، سناریوها اولویت بندی گردیدند. در این روش سناریویی در اولویت قرار می گیرد که دارای بیشترین نزدیکی نسبی به راه حل ایده آل است.

1- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

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

$= \{V_1^{+}, V_2^{+}, \dots, j_i^{+}, \dots, V_n^{+}\}$ (۷)

$A^{-} = \{(\min V_{ij} | j \in J), (\max V_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, 3, \dots, m\}$ راه حل عکس ایدهال

$= \{V_1^{-}, V_2^{-}, \dots, j_i^{-} \dots, V_n^{-}\}$ (۸)

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

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

$$d_{i+} = \left\{ \sum_{i=1}^{n} \left(U_{ij} - V^{+}{}_{j} \right)^2 \right\}^{.5}, \quad i = 1,2,3, \dots .m$$ (۹)

$$d_{i-} = \left\{ \sum_{i=1}^{n} \left(U_{ij} - V^{-}{}_{j} \right)^2 \right\}^{.5}, \quad i = 1,2,3, \dots .m$$ (۱۰)

در دو معادله ۶ و۷ U_{ij} مقادیر ماتریس تصمیم وزن دهی شده، $U^{+}{}_{J}$ و $U^{-}{}_{J}$ به ترتیب مقدار ایدهآل و عکس ایدهآل معیارها در کلیه سناریوها میباشند.

$$cl_{i+} = \frac{d_{i-}}{(d_{i+} + d_{i-})} \quad \circ \le cl_{i+} \le 1; \quad i = 1,23 \dots, m$$ (۱۱)

که در آن d_{i+} فاصله از را حل ایده آل و d_{i-} فاصله از راه حل عکس ایده آل می باشند.

نتایج

جدول۴ نتایج مربوط به مقادیر پیشبینی شده توسط مدل SARIMA را نشان می دهد. همانطور که مشاهده میگردد مقادیر دبی ماهانه و حجم ورودی به مخزن در سال ۸۸-۱۳۸۷ تعیین شده است.

جدول۵: مقادیر دبی و حجم آب ماهانه پیش یابی شده توسط مدل SARIMA در ایستگاه تمر 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^3)	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 حاصل از محاسبه پنج معیارتعیین شده در ۱۶ سناریوی مدیریتی که با توجه به جدول شماره ۱ و گزینه های در نظر گرفته شده برای هر سناریو و میزان جریان پیش یابی شده ورودی به مخزن سد و نیز میزان نیازمندیهای پایاب سد محاسبه گردیدند، در جدول۶ آورده شده است. جدول ۷ نیز مقادیر استاندارد شده معیارها توسط نرم افزار Idrisi را جهت فازی سازی در سناریوهای مختلف نشان می دهد.

جدول ۶: ماتریس تصمیم سناریوهای تدوین شده

سناریو	معیار۱	معیار۲	معیار۳	معیار۴	معیار ۵
۱	۳۶.۵۷۰	۱۴.۰۱۷	۱۴۷	۷۸۳.۵	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	۶۲۳.۴۰	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

معیار / سناریو	معیار۱	معیار۲	معیار۳	معیار۴
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 کلاسهای فازی تعیین شده دارای مقادیر کم، متوسط و زیاد در بازه صفر و یک میباشند . به عنوان مثال مقادیر فازی معیار یک در سناریوی پنج با توجه به اینکه مقدار استانداردشده آن برابر ۰/۲۷۵ می باشد، در بازه کلاسهای ۲ و ۳ جدول ۳ قرار می گیرد. سپس میزان عضویت این معیار به دو کلاس فوق و مقادیر فازی نهای آن توسط نرم افزارFuzzy TECH تعیین گردید.

جدول ۸: ماتریس تصمیم فازی مثلثی معیارها در سناریوهای مختلف

سناریو	معیار۱			معیار۲			معیار۳			معیار۴		
	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	۰.۰۰۸	۰.۱۱۶
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	۰.۰۰۳	۰.۱۰۶
۷	۰.۵۹۱	۰.۷۹۱	۰.۹۴۵۵	۰.۱۶۶	۰.۳۶۶	۰.۵۶۶	۰.۰۷۵	۰.۲۵	۰.۴۵	۰	۰.۰۲۵	۰.۱۵
۸	۰.۷۷۶	۰.۹۳۸	۱.۰۰۰	۰	۰.۰۸۵	۰.۲۷	۰	۰.۰۶	۰.۲۲	۰	۰.۰۰۷	۰.۱۱۴

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	۰.۰۰۳	۰.۱۰۶
۱۴	۰.۸۴	۰.۹۷	۱	۰	۰.۰۶۲	۰.۲۲۴	۰	۰.۰۱	۰.۱۲	۰	۰.۰۰۳	۰.۱۰۶
۱۵	۰.۷۷۶	۰.۹۳۸	۱	۰	۰.۰۸۵	۰.۲۷	۰	۰.۰۶	۰.۲۲	۰	۰.۰۰۷	۰.۱۱۴
۱۶	۰.۸۴	۰.۹۷	۱	۰	۰.۰۶۲	۰.۲۲۴	۰	۰.۰۱	۰.۱۲	۰	۰.۰۰۳	۰.۱۰۶

نتایج حاصل از تعیین وزن معیارها در قالب اعداد فازی مثلثی در جدول۹ 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 وزن دهی شده محاسبه گردید. جدول۱۰ نتایج محاسبه این ماتریس را نشان میدهدبدین ترتیب که مقادیر حداقل در مقادیر حداقل و مقادیر متوسط و مقادیر حداکثر در مقادیر حداکثر ضرب می گیرد.به عنوان مثال مقدار وزین شده معیار یک در سناریوی هفت به صورت زیر محاسبه می شود.

(۰/۱۳۱ , ۰/۲۶۴, ۰/۵) = (۰/۵۹۱ ,۰/۷۹۱ ,۰/۹۴۵) * (۰/۲۲۲ ,۰/۳۳۴ ,۰/۵۲۹)

جدول۹: مقادیر وزن نهایی فازی معیارها

معیار	حداقل	متوسط	حداکثر
۱	۰.۲۲۲	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 غیر فازیسازی مقادیر فازی معیارها جهت تعیین ماتریس تصمیم غیر فازی در جدول ۱۱ آمده است. به عنوان مثال مقدار غیر فازی معیار یک در سناریوی هفت با توجه به معادله ۶ به صورت زیر محاسبه می گردد. ۰/۲۹۸ =۰/ ۱۳۱ + ۳ / ((۰/۱۳۱ – ۰/ ۲۶۴) + (۰/۱۳۱ –۰/۵))

در پایان نتایج اولویتبندی سناریوهای مدیریتی با توجه به میزان نزدیکی نسبی سناریوهای مدیریتی به راه حل ایده آل (معادله۱۱)، در جدول۱۲ ارائه شده است. با توجه به این نتایج، سناریوی هفت (انجام کنترل سیل در اردیبهشت و مرداد) که دارای بیشترین نزدیکی نسبی به راه حل ایده آل(CL_i) می باشد، در اولویت اول قرار گرفته است. همچنین سناریوی پنج که دارای بیشترین فاصله نسبت به راه حل ایده آل است، در اولویت آخر قرار گرفته است (شکل۳). به طور مثال این میزان برای سناریو هفت که برابر۰/۶۷۸ می باشد به صورت زیر محاسبه گردید.

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

جدول ۱۰: مقادیر ماتریس تصمیم فازی وزن دهی شده معیارها در سناریوهای مختلف

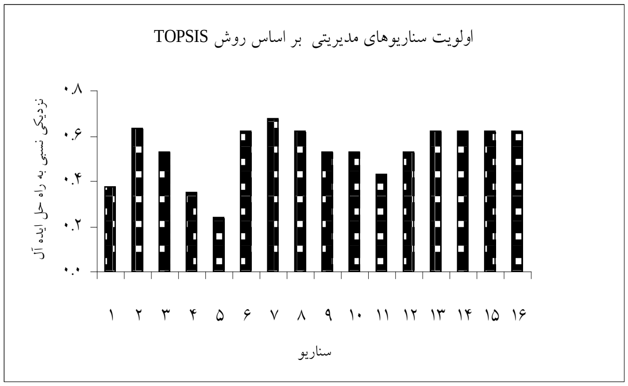
سناریو	معیار۱			معیار۲			معیار۳			معیار۴		
	کم	متوسط	زیاد	کم	متوسط	زیاد	کم	متوسط	زیاد	کم	متوسط	زیاد
۱	۰.۰۰۰	۰.۰۱۶	۰.۱۰۴	۰.۱۲۱	۰.۲۳۷	۰.۳۹۴	۰.۰۶۷	۰.۱۲۵	۰.۱۹۹	۰.۰۷۲	۰.۱۳۲	۰.۲۲۰
۲	۰.۱۷۰	۰.۳۱۲	۰.۵۲۹	۰.۰۰۱	۰.۰۲۸	۰.۱۲۲	۰	۰.۰۰۹	۰.۰۴۸	۰.۰۰۰	۰.۰۰۱	۰.۰۲۶
۳	۰.۱۲۱	۰.۲۴۹	۰.۴۸۸	۰	۰.۰۱۶	۰.۰۸۸	۰.۰۰۷	۰.۰۳۷	۰.۰۹۸	۰.۰۲۰	۰.۰۵۹	۰.۱۴۳
۴	۰.۰۳۳	۰.۱۱۶	۰.۲۸۹	۰.۰۲۷	۰.۰۹۴	۰.۲۲۳	۰.۰۴۶	۰.۱۰۱	۰.۱۸۹	۰.۰۲۴	۰.۰۶۵	۰.۱۵۳
۵	۰.۰۱۹	۰.۰۹۲	۰.۲۵۱	۰	۰.۰۲۱	۰.۱۰۵	۰.۰۴۵	۰.۱۰۰	۰.۱۸۸	۰.۰۲۳	۰.۰۶۵	۰.۱۵۳
۶	۰.۱۸۶	۰.۳۲۴	۰.۵۲۹	۰	۰.۰۱۶	۰.۰۸۸	۰	۰.۰۰۱	۰.۰۲۴	۰	۰	۰.۰۲۳
۷	۰.۱۳۱	۰.۲۶۴	۰.۵۰۰	۰.۰۲۷	۰.۰۹۴	۰.۲۲۳	۰.۰۰۶	۰.۰۳۲	۰.۰۹۰	۰	۰.۰۰۳	۰.۰۳۳
۸	۰.۱۷۲	۰.۳۱۴	۰.۵۲۹	۰	۰.۰۲۲	۰.۱۰۶	۰	۰.۰۰۸	۰.۰۴۴	۰	۰.۰۰۱	۰.۰۲۵
۹	۰.۱۲۱	۰.۲۴۹	۰.۴۸۸	۰	۰.۰۱۶	۰.۰۸۸	۰.۰۰۷	۰.۰۳۷	۰.۰۹۸	۰.۰۲۰	۰.۰۵۹	۰.۱۴۳
۱۰	۰.۱۲۱	۰.۲۴۹	۰.۴۸۸	۰	۰.۰۱۶	۰.۰۸۸	۰.۰۰۷	۰.۰۳۷	۰.۰۹۸	۰.۰۲۰	۰.۰۵۹	۰.۱۴۳
۱۱	۰.۰۹۵	۰.۲۱۰	۰.۴۳۷	۰	۰.۰۲۲	۰.۱۰۶	۰.۰۳۴	۰.۰۸۲	۰.۱۶۹	۰.۰۷۰	۰.۱۳۰	۰.۲۲۰
۱۲	۰.۱۲۱	۰.۲۴۹	۰.۴۸۸	۰	۰.۰۱۶	۰.۰۸۸	۰.۰۰۷	۰.۰۳۷	۰.۰۹۸	۰.۰۲۰	۰.۰۵۹	۰.۱۴۳
۱۳	۰.۱۸۶	۰.۳۲۴	۰.۵۲۹	۰	۰.۰۱۶	۰.۰۸۸	۰	۰.۰۰۱	۰.۰۲۴	۰	۰	۰.۰۲۳
۱۴	۰.۱۸۶	۰.۳۲۴	۰.۵۲۹	۰	۰.۰۱۶	۰.۰۸۸	۰	۰.۰۰۱	۰.۰۲۴	۰	۰.۰۰۰	۰.۰۲۳
۱۵	۰.۱۷۲	۰.۳۱۴	۰.۵۲۹	۰	۰.۰۲۲	۰.۱۰۶	۰	۰.۰۰۸	۰.۰۴۴	۰	۰.۰۰۱	۰.۰۲۵
۱۶	۰.۱۸۶	۰.۳۲۴	۰.۵۲۹	۰	۰.۰۱۶	۰.۰۸۸	۰	۰.۰۰۱	۰.۰۲۴	۰	۰	۰.۰۲۳

جدول ۱۱: مقادیر غیر فازی معیارها در سناریوهای مختلف

سناریو / معیار	معیار۱	معیار۲	معیار۳	معیار۴	معیار۵
۱	۰.۰۴۰	۰.۲۵۱	۰.۱۳۱	۰.۱۴۱	۰.۰۷۵
۲	۰.۳۳۷	۰.۰۵۰	۰.۰۱۹	۰.۰۰۹	۰.۰۷۵
۳	۰.۲۸۶	۰.۰۳۵	۰.۰۴۷	۰.۰۷۴	۰.۰۷۵
۴	۰.۱۴۶	۰.۱۱۵	۰.۱۱۲	۰.۰۸۱	۰.۰۷۵
۵	۰.۱۲۱	۰.۰۴۲	۰.۱۱۱	۰.۰۸۱	۰.۰۷۵
۶	۰.۳۴۶	۰.۰۳۵	۰.۰۰۸	۰.۰۰۸	۰.۰۷۵
۷	۰.۲۹۸	۰.۱۱۵	۰.۰۴۲	۰.۰۱۲	۰.۰۷۵
۸	۰.۳۳۸	۰.۰۴۳	۰.۰۱۷	۰.۰۰۹	۰.۰۷۵
۹	۰.۲۸۶	۰.۰۳۵	۰.۰۴۷	۰.۰۷۴	۰.۰۷۵
۱۰	۰.۲۸۶	۰.۰۳۵	۰.۰۴۷	۰.۰۷۴	۰.۰۷۵
۱۱	۰.۲۴۷	۰.۰۴۳	۰.۰۹۵	۰.۱۴۰	۰.۰۷۵
۱۲	۰.۲۸۶	۰.۰۳۵	۰.۰۴۷	۰.۰۷۴	۰.۰۷۵
۱۳	۰.۳۴۶	۰.۰۳۵	۰.۰۰۸	۰.۰۰۸	۰.۰۷۵
۱۴	۰.۳۴۶	۰.۰۳۵	۰.۰۰۸	۰.۰۰۸	۰.۰۷۵
۱۵	۰.۳۳۸	۰.۰۴۳	۰.۰۱۷	۰.۰۰۹	۰.۰۷۵
۱۶	۰.۳۴۶	۰.۰۳۵	۰.۰۰۸	۰.۰۰۸	۰.۰۷۵

جدول۱۲: میزان نزدیکی نسبی سناریوها به راه حل ایده آل

سناریو	CL_{i+}	اولویت	سناریو	CL_{i+}	اولویت
۱	۰.۳۷۸	۸	۹	۰.۵۳۱	۵
۲	۰.۶۳۲	۲	۱۰	۰.۵۳۱	۵
۳	۰.۵۳۱	۵	۱۱	۰.۴۲۹	۷
۴	۰.۳۵۰	۶	۱۲	۰.۵۳۱	۵
۵	۰.۲۳۷	۹	۱۳	۰.۶۲۲	۴
۶	۰.۶۲۲	۴	۱۴	۰.۶۲۲	۴
۷	۰.۶۷۸	۱	۱۵	۰.۶۲۴	۳
۸	۰.۶۲۴	۳	۱۶	۰.۶۲۲	۴



شکل۲: نمودار میزان نزدیکی نسبی سناریوها به راه حل ایدآل

بحث و نتیجه گیری

در مدیریت و برنامهریزی برای سیستم های 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 درنظر 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.

درمطالعه اخیر سعی شده است دو هدف عمده تامین نیاز آبی برای ساکنین پایین دست 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 چهار گزینه در نظر گرفته شده تدوین گردید. سپس جهت پیش بینی اثرات (بازخورد) گزینهها و سناریوهای مدیریتی ممکن، پنج معیار در نظر گرفته شد تا بتوان اثرات مدیریت را از هر دو جنبه تامین نیاز آبی و نیز کنترل ارزیابی نمود. بدین ترتیب سعی گردید با تعیین معیارهای متنوع، جوانب مختلف مدیریت منابع آبهای سطحی آبخیز مورد مطالعه در نظر گرفته شود.

استفاده از فن تصمیم گیری چند معیاره با توجه به وجود اثرات مختلف سناریوهای مدیریتی و تفاوت در ماهیت و جهت معیارها به کاربر در اتخاذ تصمیم نهایی کمک مینماید. بکارگیری فن تصمیم گیری چند معیاره از نوع فازی با توجه به ماهیت فازی بودن معیارها و نیز عدم قطعیت در دادههای ورودی به سیستم، منجر به گنجاندن خطاها و عدم قطعیت در نتایج می شود و از این راه آنها را قابل پذیرش تر و قابل مدیریت می نماید. در فنون تصمیمگیری چند معیاره همانطور که از نام آن پیداست، معیارهای تعیینشده جهت رسیدن به اهداف در نظر گرفته شده از اهمیت ویژهای برخوردارند. این وضعیت نوع، تعداد، تنوع، تکمیل کنندگی و تاثیر پذیری و تاثیر گذاری معیارها را شامل گردد.

- ارائه و تدوین سناریوهای مدیریتی یکی از راهکارهای مناسب مدیریت منابع آب سطحی با توجه به حالت های مدیریتی متنوع میباشد. در این خصوص با ارائه و تدوین سناریوهای مختلف، زمینه بررسی و ارزیابی مدیریت این منابع از دیدگاههای مختلف و شرایط متنوع فراهم می گردد. علاوه بر آن، زمینه ارائه برنامه های مدیریتی با توجه به معیارهای متنوع و گوناگون فراهم می شود. برای این کار نیز می توان با توجه به معیارهای تعیین شده، سناریوهای مدیریتی را جهت نیل به هدف یا اهداف تعیین شده مورد ارزیابی قرار داد و در نهایت آنها را اولویتبندی نمود.

با توجه به نتایج حاصل از انجام این تحقیق و در نهایت اولویت بندی سناریوها، ملاحظه می گردد که سناریوی هفت اولویت نخست و سناریوی پنج اولویت آخر را به خود اختصاص دادهاند (جدول۱۲ و شکل۳). بدین ترتیب، سناریوی هفت 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 می کند. شایان ذکر است که با بررسی داده ها و اطلاعات موجود و شناخت شرایط منطقه، مشاهده گردید که بیشترین و بزرگترین سیلابها در دو ماه مذکور اتفاق افتاده است. خصوصا در مردادماه که دارای سیلابهای بزرگی در سالهای اخیر می باشد. البته این اولویت بندی با توجه به دبی های جریان پیش یالی شده فعلی می باشد. بدیعی است با تغییر مقادیر جریان ورودی به سد و معیارهای در نظر گرفته شده اولویت بندی سناریوها نیز تغییر خواهد کرد.

همچنین سناریویی که در اولویت قرار می گیرد نتیجه تعامل بین راه حل ایدهآل و عکس ایدهآل می باشد. به عبارت دیگر، سناریویی برتر ممکن است دارای کمترین فاصله از راه حل ایده آل و یا دارای بیشترین فاصله از راه حل 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 اولویت بندی به روش TOPSIS است. این نتایج با نتایج حسی و همکاران (۲۰۰۴) و فو (۲۰۰۶) در یک راستا می باشد.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد که مدیریت منابع آب سطحی خصوصا در منطقه مورد مطالعهمتاثر از گزینه های مختلفی است که خود نیاز به تدوین و تنظیم سناریوهای مختلف مدیریتی را در شرایط متنوع ایجاد

نموده است (۱۶ سناریوی مدیریتی). بنابراین، می باید شرایطی را فراهم آورد تا امکان بررسی سناریوهای مختلف به کمک معیارهای تعیین شده، با توجه به عدم قطعیت های موجود در این منابع مهیا گردد.

در خصوص صحت سنجی مدل ارائه شده در این تحقیق و مقایسه آن با واقعیت می توان به موارد زیر اشاره کرد:

به منظور صحت سنجی نتلیج پیش یابی مدل SARIMA اختلاف مقادیر پیش یابی با داده های مشاهداتی با کمک میانگین و مجموعه مربعات خطا در چهار سال آخر بررسی گردید. نتایج بررسی حاکی از قابل قبول بودن نتایج پیش یابی در بیشتر موترد بوده است.دیگر اینکه با اجرای چندساله آن بطور آزمایشی در طبیعت میزان تطابق این مدل با واقعیت بررسی گردد. مشخص است که با توجه به محدودیت های زمانی و اعتباری ریسک پذیری در همه موارد روش فوق قابل توصیه نمی باشد و الزاما بهترین روش صحت سنجی نیست. روش دیگر این است که از نظرات کارشناسی گروه دیگری از متخصصین در برآورد وزنهای اختصاص داده شده به معیارها استفاده گردد. این چنین صحت نتایج بدست آمده از گروه اول قابل بررسی است.

انجام این تحقیق و نتایج آن مبین این امر می باشند که مدیریت آبهای سطحی تحت تاثیر شرایط مختلف و کارکردها و اقدام های مدیریتی متنوع است. چرا که این منابع را گزینه ها، سناریوها و معیارهای مختلفی متاثر ساخته است. که خود مدیریت این منابع را خصوصا در منطقه مورد مطالعه با مشکل مواجعه ساخته است.

تحقیقات ابریشم چی و همکاران (۱۳۸۰)، رضوی طوسی و همکاران (۱۳۸۶)، چونتین (۱۹۹۹) و فو (۲۰۰۶)، نیز بر اساس تدوین گزینه ها و سناریوهای مختلف و بررسی اثرات آنها انجام شداند. بدون توجه به این مباحث، مدیریت و بهره برداری بهینه از منابع آبی با ارزش بسیار سخت و دشوار خواهد گردید.

نتایج این تحقیق نشان داد که تصمیم گیری چند معیاره 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 می باشد. در ضمن روش مورد بررسی در این تحقیق یک فرآیند پویاست و می توان با استفاده از آن و در نظر گرفتن یکپارچه سیستم به ارائه برنامه های مدیریتی در زمان واقعی (Real time) پرداخت. این روش می تواند همه ساله 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 اولویت بندی گردند. لذا، روش مورد بررسی توانایی ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب (سناریوهای برتر مدیریتی) را هر ساله برای مقیاس ماهانه دارا می باشد

منابع

1- Abrishamchi, A., Ebrahimian, A., and Tajrishi, M. 2001. Application of multi criteria desicion making in urban water management, water & watershed management processes, Asian Conference, Iran. P16. (in Persian).

2- Amini-Faskhoodi, A. 2006. Evaluating decision making models using group fuzzy classification programming model, Research Journal Isfahan University (humanity science), 1(20): 211- 230P. (in Persian).

3- Asghar-Pour, G. 2006. Multi- criteria decision making. Tehran University Pub. 399P. (in Persian).

4- Consultant Engineering Group Thehran Berkly. 1992. Karghaz Project Phase One (Project of Golestan and Boostan dam reservoirs) 12 Vol. water resources planning. 88P. (in Persian).

5- 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.

64- 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. 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).

10- 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).

11- 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.

12- 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):1-9P. (in Persian).

13- 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.

14- 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.

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

[1]M.GH. Halili, [2]A.Sadoddin, [3]A.Mosaedi, and [2]A.Salman Mahini

[1]Msc student in watershed Management, [2]Assistant Professor of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Associate Professor of 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 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 were 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 show that the scenarios can be categorised in nine different groups among them scenario 7 has been identified as the best allocation scenario followed by scenario1. Scenario7 is characterised 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 recognise 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: Optimised water allocation, fuzzy multi-criteria decision making, FAHP, SARIMA model, Boostan Dam.