



دانشگاه گوارزی منابع طبیعی گرگان

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیستم، شماره سوم، ۱۳۹۲

<http://jwsc.gau.ac.ir>

## انتخاب بهترین سناریوی بهبود کیفیت آب با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در حوضه آبخیز گرگان‌رود - استان گلستان

\*آرزو صفویان<sup>۱</sup>، عبدالرسول سلمان‌ماهینی<sup>۲</sup>، سیدحامد میرکریمی<sup>۳</sup> و امیر سعیدالدین<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشجویار گروه محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۲</sup>استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۵

### چکیده

امروزه ضرورت مدیریت منابع آب و استفاده بهینه از آن بیش از پیش روشن شده است. انسان‌ها باید به کنترل روند منفی در کیفیت آب رودخانه بپردازند و یا حداقل شدت آن را کاهش دهند. در این پژوهش سناریوهای مختلف بهبود کیفیت آب حوضه آبخیز گرگان‌رود - استان گلستان مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا، ۹ پارامتر کیفی آب به‌عنوان متغیر وابسته و ۴۱ متغیر مستقل سیمای سرزمین انتخاب شدند و رابطه بین متغیرها از طریق تحلیل همبستگی و رگرسیون بررسی گردید. سپس، از آن میان با توجه به دیدگاه‌ها و اهداف مدیریتی مختلف در میان کارشناسان محیط زیست، ۵ فعالیت مدیریتی ممکن پیشنهاد گردید. براساس رابطه رگرسیونی اثبات شده بین فعالیت‌های مدیریتی و پارامترهای کیفی آب مقادیر پارامترها در سناریوهای تدوین شده مورد ارزیابی قرار گرفت. ۵ فعالیت مدیریتی عبارتند از: کاهش چین‌خوردگی پوشش درختی، افزایش مرتع به‌ازای کاهش مناطق بایر، کاهش سطح کشاورزی براساس روش MCE (ارزیابی چندمعیاره تناسب سرزمین)، کاهش جاده با الگوریتم COST (فواصل هزینه‌ای) و افزایش مرتع و افزایش تعداد لکه‌های درختی. به‌منظور موازنه نتایج به‌دست آمده از اجرای سناریوهای تدوین شده و نیز تعیین سناریو یا سناریوهای برتر، فن تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌کار گرفته شد. به این منظور پس از محاسبه مقدار معیارها در همه سناریوها، معیارهای یاد شده به کمک فرآیند AHP وزن‌دهی شد. سپس، ۳۲ سناریوی تدوین شده با استفاده از

\* مسئول مکاتبه: [safavian\\_az@yahoo.com](mailto:safavian_az@yahoo.com)

روش Topsis، برای تعیین برترین سناریوها، اولویت‌بندی گشت. با توجه به نتایج برترین سناریو، یعنی سناریوی بیست و یک شامل کاهش جاده با الگوریتم COST و افزایش مرتع، افزایش مرتع به‌ازای کاهش مناطق بایر و کاهش چین‌خوردگی پوشش درختی انتخاب شد. با استفاده از سناریوسازی می‌توان برنامه مدیریتی برای آب‌خیز موردنظر را با توجه به تغییراتی که ممکن است در آینده‌ای نزدیک ایجاد شود، ارائه کرد، بنابراین این فعالیت‌های مدیریتی امکان بهبود کیفیت آب در آینده را پیش‌بینی می‌کنند.

**واژه‌های کلیدی:** فعالیت مدیریتی، سناریوسازی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، AHP، Topsis

#### مقدمه

رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از منابع اساسی تأمین آب برای مصارف گوناگون از جمله کشاورزی، شرب و صنعت مطرح هستند. با توجه به اهمیت این مجاری و خشک‌سالی‌های سالیان اخیر، حفظ این منابع یکی از وظایف مهم است. از طرفی این منابع به‌عنوان محل تخلیه فاضلاب‌ها، پساب‌های کارخانه‌ها و زه‌کش‌های کشاورزی قرار گرفته‌اند. اولین قدم در حفاظت منابع آبی و احیاء آن‌ها توجه به مسأله کیفیت اولیه آب در حوضه است (وانگ و همکاران، ۲۰۰۵). مدیریت آب‌خیز ابزار مهمی برای حفظ مطلوبیت کیفیت آب به‌شمار می‌آید و عامل مهمی در جلوگیری از تخریب کیفیت آب و یا بهبود کیفیت آب است. برای بهبود یا حفظ کیفیت آب ابتدا برآورد وضعیت آن و سپس توصیه یک طرح حفاظتی و یا احیاء ضروری است. در سطح تکنیکی، مدیریت آب‌خیز شامل ارزیابی و شناسایی کیفیت آب و تعریف مناطق بحرانی و منابع آن است که در آلودگی منابع آب در آب‌خیز دخیل است و در نهایت طراحی یک برنامه کنترل آلودگی ضروری است (زیا و جی، ۲۰۰۷).

ناکارآمد بودن نگرش تک‌بعدی و لزوم جامع‌نگری در اتخاذ بهترین تصمیم‌ها و شیوه‌های مدیریتی، بهره‌گیری از تخصص‌های مختلف براساس معیارهای چندگانه کمی و کیفی، ارائه گزینه‌ها و سناریوهای مختلف مدیریتی را ضروری ساخته است. بنابراین، فنون و روش‌های تصمیم‌گیری گروهی و چندمعیاره، اهمیت خاصی یافته‌اند (ابریشم‌چی و همکاران، ۲۰۰۵).

استفاده از فن تصمیم‌گیری چندمعیاره، با توجه به وجود اثرات مختلف سناریوهای مدیریتی و تفاوت در ماهیت و برای معیارها، به کاربر در اتخاذ تصمیم نهایی کمک می‌نماید. در فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره، همان‌طور که از نام آن پیداست، معیارهای تعیین شده برای 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 (قدسی‌پور، ۲۰۰۳). در مورد فنون تصمیم‌گیری نوین و استفاده از آن‌ها در مدیریت منابع آب مطالعات مختلفی صورت گرفته است.

ابریشم‌چی و همکاران (۲۰۰۵)، به کمک تصمیم‌گیری چندمعیاره، نحوه مدیریت آب شهری و انتخاب بهترین گزینه توزیع آب شهر زاهدان را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این راستا با در نظر گرفتن ۸ گزینه و ۱۳ معیار، به مقایسه و رتبه‌بندی نحوه مدیریت آب پرداختند. پیش‌بینی جریان سطحی به‌منظور مدیریت بهینه منابع آب سطحی، با استفاده از انواع مدل‌های برنامه‌ریزی پویای استوکاستیک و برنامه‌ریزی پویای قطعی برای سد مخزنی چندمنظوره دز توسط برهانی‌دریان و افتخار جواد (۲۰۰۸)، ارایه و مقایسه گردید. تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی گروهی توسط رضوی‌طوسی و همکاران، برای اولویت‌بندی پروژه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای مورد بررسی قرار گرفت (رضوی‌طوسی و همکاران، ۲۰۰۰). در این پژوهش ۱۰ طرح انتقال آب بین‌حوضه‌ای کارون بزرگ با ۸ معیار در نظر گرفته شد. در نهایت با استفاده از روش اولویت‌بندی فازی گروهی، ۱۰ طرح یاد شده اولویت‌بندی گردید. نروزی و بارانی، به‌منظور مدیریت آب‌های سطحی به بررسی تأثیر جریان‌های ورودی و نیازمندی‌های پایاب مخازن بر میزان بهینه جریان‌ات حد فاصل سدها در سیستم‌های چندمخزنه پرداختند (نروزی و بارانی، ۲۰۰۷). سعدالدین و همکاران، نحوه مدیریت یک‌پارچه آب‌خیز رامیان استان گلستان را با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره، با در نظر گرفتن ۱۶ سناریو مدیریتی و ۴ معیار، مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند (سعدالدین و همکاران، ۲۰۰۹).

ساسیکمار و موجودمدار (۱۹۹۸)، یک مدل چندهدفه فازی را برای مدیریت کیفی نظام‌های 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. کاربوسکی و همکاران، با بررسی آب‌های سطحی و با در نظر گرفتن دو عامل پیش‌بینی جریان ورودی و میزان آب خروجی، مدیریت بهینه آب مخزن سد روزنو<sup>۱</sup> روخانه دوناچس<sup>۲</sup> کشور لهستان را مورد بررسی قرار دادند (کاربوسکی و همکاران، ۲۰۰۳). مقایسه نتایج روش‌های تحلیل چندمعیاره برای مدیریت منابع آب توسط هاجکویکز و های‌جینز بررسی گردید (هاجکویکز و های‌جینز، ۲۰۰۶). این ارزیابی‌ها با مقایسه

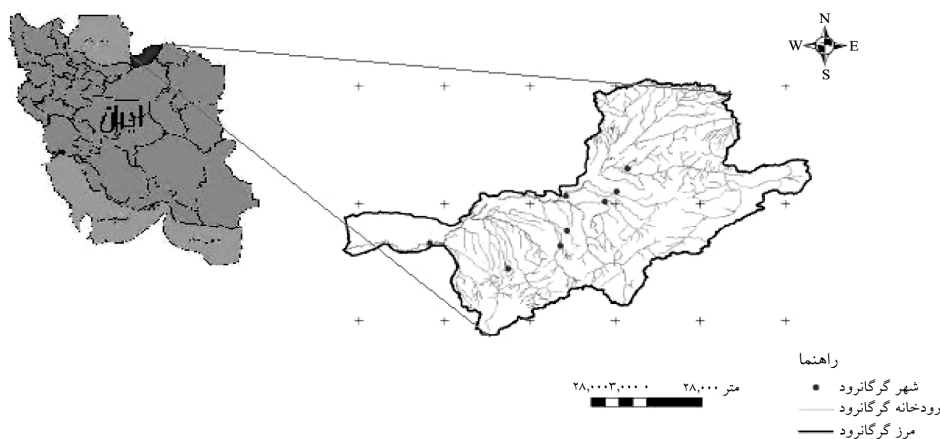
1- Roznow

2- Dunajec

۶ مورد تصمیم‌گیری چندمعیاره منابع آب در نقاط مختلف جهان انجام گرفت. روش تصمیم‌گیری چندمعیاره 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 برای اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده شد. هدف از این پژوهش استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره در انتخاب بهترین سناریوی اجرای فعالیت مدیریتی برای بهبود کیفیت آب حوضه آبخیز گرگان‌رود در استان گلستان است.

### مواد و روش‌ها

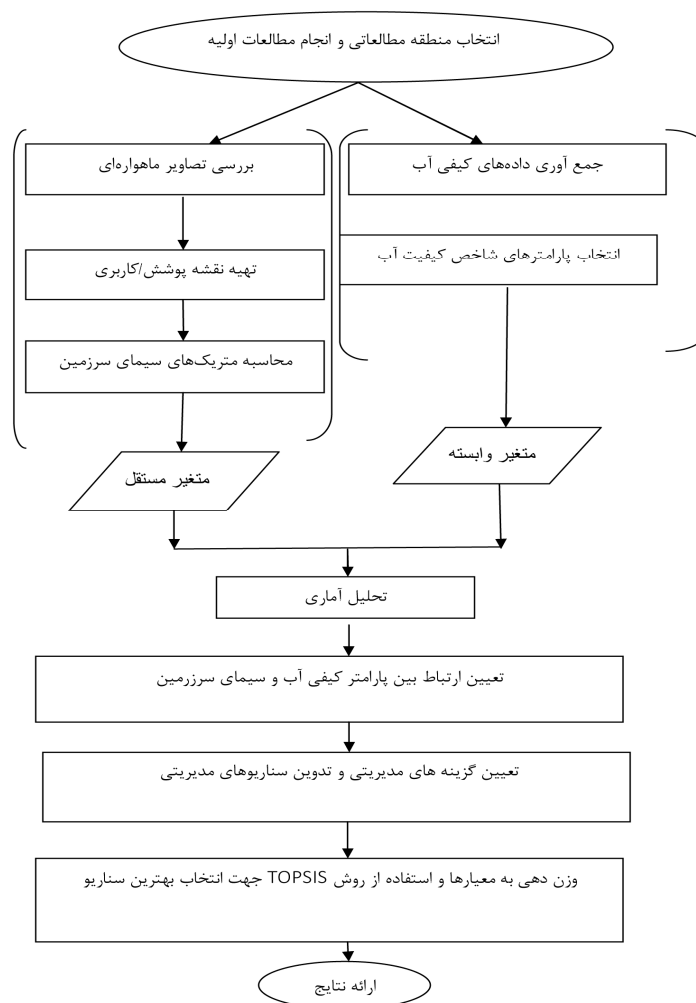
منطقه مورد مطالعه رودخانه گرگان‌رود است که با طول حدود ۳۰۰ کیلومتر و با حوضه آبریز حدود ۱۰۲۵۰ کیلومترمربع با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی در استان گلستان واقع شده است. این رودخانه از ارتفاع‌های گلی داغ پارک ملی گلستان سرچشمه می‌گیرد و پس از گذشتن از گنبد کاووس و آق‌قلا در غرب خواجه‌نفس به دریای خزر می‌ریزد. موقعیت جغرافیایی این رودخانه در ایران و استان گلستان در شکل ۱ نشان داده شده است. این رودخانه در قسمت جنوب‌شرقی دریای خزر واقع شده است. برای جریان آب رودخانه از شرق به غرب است. بیش‌تر انشعابات رودخانه گرگان‌رود از رشته کوه البرز و از جنوب به شمال جریان دارند که از آن جمله می‌توان به رودهای مادرسو، زرین‌گل، تیل‌آباد و چهل‌چای اشاره نمود.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان.

آب این رودخانه‌ها از به هم پیوستن چشمه‌های مختلف که بیش‌تر آن‌ها دارای دمای به نسبت بالایی (۱۹-۱۴ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد، سرچشمه می‌گیرد و بیش‌تر در مناطق کم‌ارتفاع و جلگه‌ای در جریان هستند.

در این پژوهش از مراحل و روش‌هایی استفاده گردید که مجموع آن‌ها یک چارچوب نظام‌مند را تشکیل می‌دهد. این چارچوب نظام‌مند در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- نمودار مراحل انجام طرح.

تهیه لایه‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی: در این پژوهش، در ابتدا لایه‌های ارتفاع زیرحوضه‌ها، شیب، طول رودخانه‌ها در زیرحوضه‌ها، طول جاده‌های اصلی و فرعی، تعداد لکه‌های درختی در زیرحوضه‌ها، نمایه بزرگ‌ترین لکه‌های درختی، میانگین مساحت لکه‌ها در زیرحوضه‌ها، میانگین فاصله لکه‌ها در زیرحوضه‌ها، میانگین شاخص پیوستگی در زیرحوضه‌ها، میانگین چین‌خوردگی لکه‌ها در زیرحوضه‌ها، محیط لکه‌های درختی در زیرحوضه‌ها، درصد پوشش درختی در زیرحوضه‌ها، درصد پوشش علفی، بوته‌ای، کشاورزی، سطح مناطق بایر، سطح شهر و روستا در هر زیرحوضه، درصد پوشش درختی در ۹۰، ۲۷۰ و ۸۱۰ متری رودخانه، درصد پوشش علفی در ۹۰، ۲۷۰ و ۸۱۰ متری رودخانه، درصد بایر در ۹۰، ۲۷۰ و ۸۱۰ متری رودخانه، درصد تنوع حاشیه در هر زیرحوضه، درصد فاصله از شهر در هر زیرحوضه، درصد فاصله از روستا در هر زیرحوضه، درصد جاده‌ها در فواصل مختلف رودخانه‌های زیرحوضه‌های منطقه، درصد یک‌پارچگی رود در هر زیرحوضه در سامانه اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از نرم‌افزار Fragstat تهیه گردید. از طرف دیگر پارامترهای کیفی آب شامل کلسیم، کل جامدات معلق، هدایت الکتریکی، اسیدیته، کربنات، کلر، سولفات، بیکربنات، سختی کل شناسایی و اطلاعات آن‌ها جمع‌آوری گردید (سازمان حفاظت محیط زیست، ۲۰۱۰). آزمون رگرسیون میان متغیرهای مستقل انتخابی و متغیرهای وابسته در محیط نرم‌افزار Statistica انجام شد. در نتیجه این آزمون رابطه معنی‌داری میان متغیر مستقل و متغیرهای وابسته به‌دست آمد. رگرسیون به شکل گام به گام انجام شد تا معنی‌داری رابطه‌ها سنجیده شود. سپس از نظر روابط رگرسیونی و اهمیت متغیرهای مستقل، با بررسی تعداد دفعات حضور و حضور نداشتن متغیرهای مستقل نقش عوامل مؤثر در بهبود کیفیت آب به‌دست آمد. پس از آن مقادیر متغیرهای کیفی آب با استاندارد کیفی تخلیه فاضلاب به آب‌های سطحی، زیرزمینی و مصارف کشاورزی سازمان محیط زیست و سازمان خواروبار جهانی مقایسه شد تا حد مجاز آن‌ها تشخیص داده شود.

**تدوین گزینه‌ها و سناریوهای مدیریتی قابل اجرا:** فعالیت مدیریتی، فعالیتی منحصر به فرد در راستای رسیدن به اهداف مدیریتی است. مانند یونجه‌کاری، نهال‌کاری، زه‌کشی و مانند آن.

با استفاده از فرمول  $2^n$  تعداد سناریو به دست آمد که در آن  $n$  تعداد فعالیت‌های مدیریتی است. باید توجه نمود که تمام حالت‌ها را با سناریوی مبنا مقایسه می‌کنیم. به عبارتی لیست گزینه‌های مدیریتی ممکن تهیه و با مشخص نمودن ترکیب آن‌ها سناریوهای مورد بررسی معرفی می‌شوند. فهرست پایه فعالیت‌های مدیریتی، ۴ دسته از فعالیت‌ها را شامل می‌شود:

گزینه حفظ شرایط موجود، عملیات ساختمانی، عملیات بیولوژیکی، ترکیبی از فعالیت‌های ساختمانی و بیولوژیکی (بهترین عملیات مدیریتی).

فهرست اولیه فعالیت‌های مدیریتی باید حداقل شامل گزینه‌های متعلق به ۳ دسته از دسته‌های بالا باشند. در این مرحله همه سناریوهای تدوین شده با حالت بدون انجام فعالیت مدیریتی مقایسه می‌گردد و پس از تهیه سناریوهای ممکن، باید از لیست اصلی، گزینه‌های غیرقابل انجام را حذف و لیست گزینه‌های قابل اجرا مشخص گردد. برای این کار باید در مورد چگونگی تهیه این زیرمجموعه اطلاعات داشته باشیم (فرازجو، ۲۰۰۴).

در این پژوهش ۵ فعالیت مدیریتی پیشنهادی عبارتند از: کاهش چین‌خوردگی، افزایش مرتع به‌ازای کاهش بایر، کاهش کشاورزی به کمک MCE (ارزیابی چندمعیاره تناسب سرزمین)، کاهش جاده با الگوریتم COST (فواصل هزینه‌ای) و افزایش مرتع، افزایش تعداد لکه‌های درختی.

پس از تدوین فعالیت مدیریتی، با توجه به آن، ۳۲ سناریوی مدیریتی تدوین گردید (جدول ۱). پس از آن با توجه به روابط رگرسیونی موجود (جدول ۲)، تأثیر فعالیت‌های مدیریتی بر پارامترهای کیفی آب سنجیده شد (جدول ۳).

جدول ۱- سناریوهای فعالیت‌های مدیریتی.

	الف	ب	پ	ت	ث
$S_1$					
$S_2$	۱				
$S_3$		۱			
$S_4$			۱		
$S_5$				۱	
$S_6$					۱
$S_7$	۱	۱			

ادامه جدول ۱- سناریوهای فعالیت‌های مدیریتی.

	الف	ب	پ	ت	ث
S <sub>۸</sub>	۱		۱		
S <sub>۹</sub>	۱			۱	
S <sub>۱۰</sub>	۱				۱
S <sub>۱۱</sub>		۱	۱		
S <sub>۱۲</sub>		۱		۱	
S <sub>۱۳</sub>		۱			۱
S <sub>۱۴</sub>			۱	۱	
S <sub>۱۵</sub>			۱		۱
S <sub>۱۶</sub>				۱	۱
S <sub>۱۷</sub>	۱	۱	۱		
S <sub>۱۸</sub>	۱	۱		۱	
S <sub>۱۹</sub>	۱	۱			۱
S <sub>۲۰</sub>		۱	۱	۱	
S <sub>۲۱</sub>		۱		۱	۱
S <sub>۲۲</sub>	۱		۱	۱	
S <sub>۲۳</sub>			۱	۱	۱
S <sub>۲۴</sub>	۱		۱		۱
S <sub>۲۵</sub>	۱			۱	۱
S <sub>۲۶</sub>		۱	۱		۱
S <sub>۲۷</sub>	۱	۱	۱	۱	
S <sub>۲۸</sub>	۱		۱	۱	۱
S <sub>۲۹</sub>	۱	۱		۱	۱
S <sub>۳۰</sub>	۱	۱	۱		۱
S <sub>۳۱</sub>		۱	۱	۱	۱
S <sub>۳۲</sub>	۱	۱	۱	۱	۱

راهنما: الف- افزایش تعداد لکه‌های درختی، ب- کاهش جاده با الگوریتم COST و افزایش مرتع، پ- کاهش کشاورزی به کمک MCE، ت- افزایش مرتع به‌ازای کاهش بایر و ث- کاهش چین‌خوردگی.



جدول ۲- رابطه‌های رگرسیونی بین پارامترهای کیفی آب و متغیرهای سیمای سرزمین.

L-agri	L-road	NP	L-Bayer	L-ch
ca= ۳/۱۷-۰/۲ L-agri	ca= ۳/۳۰-۰/۰۶ L-road	ca= ۳/۳۷-۰/۰۰۲۴ NP	ca= ۳/۱۷-۰/۰۹ L-Bayer	ca= ۳/۱۶+ ۰/۱۳ L-ch
TDS= ۵۱۵/۲+ ۱/۷۶ L-agri	TDS= ۵۱۴/۲۵+۰/۰۵ L-road	TDS=۰/۰۸+۰/۰۱ NP	TDS= -۱۳/۵۱۵/۲۹ L-Bayer	TDS= ۵۱۵/۲۹+ ۵۳/۴۳ L-ch
EC= ۰/۴۳-۰/۰۸ L-agri	EC= ۰/۷- ۰/۰۳ L-road	EC= ۰/۳۸+۰/۰۰۱ NP	EC= ۰/۴۲+ ۰/۴۸ L-Bayer	EC= ۰/۰۸+ ۰/۳۳ L-ch
pH= ۷/۳۵-۰/۰۷ L-agri	pH= ۷/۳۳-۰/۱ L-road	pH= ۷/۶- ۰/۰۰۷ NP	pH= ۷/۲۵+ ۰/۲ L-Bayer	pH= ۷/۵۴- ۰/۴ L-ch
Co <sub>۳</sub> = ۰/۱۱+۰/۰۴ L-agri	Co <sub>۳</sub> = ۰/۰۲۸-۰/۰۱۸ L-road	Co <sub>۳</sub> = ۰/۰۴-۰/۰۰۰۶ NP	Co <sub>۳</sub> = ۰/۱۱-۰/۰۳ L-Bayer	Co <sub>۳</sub> = ۰/۱۱-۰/۰۵ L-ch
HCO <sub>۳</sub> = ۴/۷-۰/۰۲ L-agri	HCO <sub>۳</sub> = ۰/۱۲-۰/۰۰۵ L-road	HCO <sub>۳</sub> = ۴/۲-۰/۰۰۰۴ NP	HCO <sub>۳</sub> = ۴/۷-۰/۰۳ L-Bayer	HCO <sub>۳</sub> = ۴/۲-۰/۱۶ L-ch
CL= ۳/۱۶- ۰/۰۰۴ L-agri	CL= ۰/۳۷-۰/۰۱ L-road	CL= ۳/۳- ۰/۰۰۰۵ NP	CL= ۳/۱۶- ۰/۰۳۳ L-Bayer	CL= ۳/۱۶+ ۰/۳۷ L-ch
So <sub>۴</sub> = ۱/۸۹- ۰/۱۶ L-agri	So <sub>۴</sub> = ۰/۵۶- ۰/۰۲ L-road	So <sub>۴</sub> = ۲/۸- ۰/۰۰۶ NP	So <sub>۴</sub> = ۱/۸۹- ۰/۰۷ L-Bayer	So <sub>۴</sub> = ۱- ۰/۰۷ L-ch
Hardness= ۰/۳۷+ ۰/۱ L-agri	Hardness= ۰/۱۱- ۰/۰۰۵۱ L-road	Hardness= ۰/۵۶+ ۰/۰۰۰۷ NP	Hardness= ۰/۲۹+ ۰/۴۶ L-Bayer	Hardness= ۱/۸۹+ ۰/۱۲ L-ch

راه‌ها: L-agri: کاهش کشاورزی، L-road: کاهش جاده، NP: افزایش تعداد لکه‌های درختی، L-Bayer: افزایش مرغ بازاری کاهش پاپو، L-ch: کاهش چین‌خوردگی، Hardness: سختی کل، So<sub>۴</sub>: سولفات، کلر، HCO<sub>۳</sub>: بی‌کربنات، Co<sub>۳</sub>: کربنات، EC: هدایت الکتریکی، TDS: کل مواد جامد محلول، pH: اسیدیته، ca: کلسیم (اندازه‌گیری از سال ۸۷-۱۳۶۰ تا ۲۷) سال در ۲۳ ایستگاه ۱۰ زیرموضوعه مورد مطالعه).

جدول ۳- تأثیر فعالیتهای مدیریتی بر پارامترهای شیمیایی کیفیت آب.

	الف	ب	پ	ت	ث	ج	چ	ح	خ
سناریو ۱	۴۱۷/۳۳۳	۱/۸۹	۳/۱۶	۴/۲	۰/۸۱	۸۵۸/۲۵	۵۶۱/۳۲	۷/۳۵	۳/۱۷
سناریو ۲	۰/۸۶	۰/۵۶	۲/۶۳	۰/۱۳	۰/۸۵	۰/۴۱	۵۶۵/۵۳	۴/۸۷	۳/۵۸
سناریو ۳	۲/۸۵	۲/۱۵	۰/۴۶	۰/۷۱	۱/۰۸	۱/۳	۵۲۵/۳۲	۶/۹	۱۱/۷
سناریو ۴	۰/۰۱	۰/۰۵	۱/۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۵	۵۱۵/۴۹	۵/۱۱	۱/۷۸
سناریو ۵	۲/۵	۱/۶۵	۲/۲۷	۳/۷۵	۱/۶۹	۱/۳۷	۵۴۵/۲۱	۵/۷۹	۱/۲۶
سناریو ۶	۰/۷۴	۱/۸۲	۲/۸۳	۴/۱۷	۰/۷۸	۰/۷	۳۸۲/۹۲	۵/۵۴	۳/۰۸
سناریو ۷	۱/۸۵۵	۱/۳۵۵	۱/۵۴۵	۰/۴۲	۰/۹۶۵	۰/۸۵۵	۵۴۵/۴۲	۵/۸	۷/۶
سناریو ۸	۰/۴۳۵	۰/۳۰۵	۱/۳۲	۰/۰۶۷	۰/۴۲۸	۰/۲۳	۵۴۰/۵۱	۴/۹۹	۲/۶۸
سناریو ۹	۱/۶۸	۱/۱۰۵	۲/۴۵	۱/۹۴	۱/۲۷	۰/۸۹	۵۵۹/۸۷	۵/۳۳	۲/۴۲
سناریو ۱۰	۰/۸	۱/۱۹	۲/۸۳	۲/۱۵	۰/۸۱	۰/۵۵	۴۷۴/۲۲	۶/۲	۳/۳۳
سناریو ۱۱	۱/۴۳	۱/۱	۰/۲۳	۰/۳۵	۰/۵۴	۰/۶۷	۵۲۰/۴	۵/۰۰۶	۶/۷۷
سناریو ۱۲	۲/۶۷	۱/۹	۱/۳۶	۲/۲۳	۱/۳۸	۱/۳۳	۵۳۹/۷۶	۶/۳۴	۶/۵۱
سناریو ۱۳	۱/۷۹	۱/۹۸	۱/۶۴	۲/۴۴	۰/۹۳	۱	۵۴۵/۱۲	۷/۲۲	۷/۴۲
سناریو ۱۴	۱/۲۵	۰/۸۵	۱/۱۴	۱/۸۷	۰/۸۴	۰/۷۱	۵۳۴/۸۵	۵/۴۵	۱/۵۲
سناریو ۱۵	۰/۳۷	۰/۹۳	۱/۴۲	۲/۰۸	۰/۳۹	۰/۳۷	۴۴۹/۲	۶/۳۲	۲/۴۳
سناریو ۱۶	۱/۶۲	۱/۷۳۵	۲/۵۵	۳/۹۶	۱/۲۳۵	۱/۰۳۵	۴۶۸/۵۶	۶/۶	۲/۱۷
سناریو ۱۷	۱/۲۴	۰/۹۲	۲/۰۳	۰/۲۸	۰/۶۴	۰/۵۸	۵۳۵/۴	۵/۶۲	۵/۷۱
سناریو ۱۸	۲/۰۷	۱/۴۵	۱/۷۸	۱/۵۳	۱/۲	۱/۰۲	۵۴۸/۳	۵/۸۵	۵/۵۳
سناریو ۱۹	۱/۴۸	۱/۵۱	۱/۹۷	۱/۶۷	۰/۹	۰/۸	۴۹۱/۲۵	۶/۴۳	۶/۱۴
سناریو ۲۰	۱/۷۸	۱/۲۸	۰/۹۱	۱/۴۸	۰/۹۲	۰/۹	۵۳۱/۶۷	۵/۹۳	۴/۹۳
سناریو ۲۱	۲/۰۳	۱/۸۷	۱/۸۵	۲/۸۷	۱/۱۸	۱/۱۲	۴۶۷/۴۸	۶/۷۴	۵/۳۷
سناریو ۲۲	۱/۱۲	۰/۷۵	۱/۶۳	۱/۲۹۵	۰/۸۴۹	۰/۶۱	۵۴۵/۰۷	۶/۲۵	۲/۲
سناریو ۲۳	۱/۰۸	۱/۱۷	۱/۷	۲/۶۴	۰/۸۲	۰/۷	۴۸۴/۲	۶/۱۴	۲/۰۴
سناریو ۲۴	۰/۵۳	۰/۸۱	۱/۸۲	۱/۴۳	۰/۵۴	۰/۳۸	۴۸۷/۹۸	۵/۸۴	۲/۸۱
سناریو ۲۵	۱/۳۶	۱/۳۴	۲/۵۷	۲/۶۸	۱/۱	۰/۸۲	۵۰۰/۸	۶/۰۶	۲/۶۴
سناریو ۲۶	۱/۲	۱/۳۴	۱/۱	۱/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۸	۴۷۴/۵۷	۶/۵۱	۵/۵۴
سناریو ۲۷	۱/۵۵	۱/۱۰۲۵	۱/۳۴	۱/۱۴	۰/۹	۰/۷۸	۵۴۰/۱۳	۵/۶	۴/۵۹
سناریو ۲۸	۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۹۳	۲/۰۱	۰/۸۳	۰/۶۳	۵۰۴/۵۳	۵/۸۲	۲/۴۲
سناریو ۲۹	۱/۷۳	۱/۵۴	۲/۰۴	۲/۱۹	۱/۱	۰/۹۴	۵۰۶/۹۹	۶/۲۷	۴/۹۲
سناریو ۳۰	۱/۱۱	۱/۱۴	۱/۴۸	۱/۲۵	۰/۶۷	۰/۶۱	۴۹۷/۳۱	۶/۱	۵/۰۵
سناریو ۳۱	۱/۵۲	۱/۴۱	۱/۳۹	۲/۱۵	۰/۸	۰/۸۵	۴۹۴/۴۸	۶/۳	۴/۴۷
سناریو ۳۲	۱/۳۹	۱/۲۴	۱/۶۴	۱/۷	۰/۸	۰/۷۶	۵۰۸/۶۹	۶/۰۴	۴/۲۹

راه‌نما: الف: سختی کل، ب: سولفات، پ: کلر، ت: بی‌کربنات، ث: کربنات، ج: هدایت الکتریکی، چ: کل مواد جامد محلول، ح: اسیدیت و خ: کلسیم (اندازه‌گیری از سال ۸۷-۱۳۶۰ (۲۷) سال در ۲۳ ایستگاه ۱۰ زیرحوضه مورد مطالعه).

تعیین ماتریس تصمیم سناریوها: پس از تدوین سناریوها و محاسبه معیارهای تعیین شده، ماتریس تصمیم تهیه گردید. این ماتریس زمینه‌ساز اولویت‌بندی سناریوها است و شامل سناریوهای مدیریتی همراه با معیارهای تعیین شده می‌گردد. در این ماتریس سناریوها و معیارهای مربوط در قالب مقادیر سطری و ستونی به صورت رابطه زیر بیان می‌گردند.

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

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

وزن‌دهی به معیارها به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP): پس از محاسبه معیارهای ۳۲ سناریوی تدوین شده، این معیارها به منظور اولویت‌بندی سناریوها وزن‌دهی گردیدند. در وزن‌دهی از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید. در این روش، نخست ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی توسط متخصصان محیط زیست و آب‌خیز مشخص شد. سپس، ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی معیارها با توجه به جدول ۴ تعیین گردید. پس از تلفیق ماتریس‌های به دست آمده وزن معیارها محاسبه گردید. محاسبه ماتریس تصمیم وزن‌دهی شده: پس از محاسبه وزن معیارها، ماتریس تصمیم وزن‌دهی شده از حاصل ضرب وزن معیارها در مقادیر معیارهای ماتریس تصمیم به کمک رابطه ۲ تعیین گردید.

$$U_{ij}=W_i \times V_{ij} \quad (2)$$

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

جدول ۴- مقادیر عبارات زبانی توابع عضویت کلاس‌های AHP.

وضعیت	ارزش
ترجیح یکسان	۱
کمی مرجح	۳
خیلی مرجح	۵
خیلی زیاد مرجح	۷
کاملاً مرجح	۹
بینابین	۲-۴-۶

موازنه و انتخاب برترین سناریوهای مدیریتی: به منظور اولویت‌بندی سناریوها و انتخاب برترین سناریو از روش TOPSIS<sup>۱</sup> استفاده شد. برای این کار با تعیین راه‌حل ایده‌آل و عکس ایده‌آل (رابطه‌های ۳ و ۴)، میزان فاصله از راه‌حل ایده‌آل و عکس ایده‌آل سناریوها به ترتیب توسط رابطه‌های ۶ و ۷ محاسبه شد. سپس، میزان نزدیکی نسبی سناریوها به راه‌حل ایده‌آل ( $cl_i^+$ ) به کمک رابطه ۷ تعیین گردید. 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.

در رابطه‌های ۵ و ۶:  $u_{ij}$ : مقادیر ماتریس تصمیم وزندهی شده،  $u_j^+$  و  $U^-$  به ترتیب مقدار ایده‌آل و عکس ایده‌آل معیارها در همه سناریوها می‌باشند. که در آن  $d_i^+$ : فاصله از راه‌حل ایده‌آل و  $d_i^-$ : فاصله از راه‌حل عکس ایده‌آل می‌باشند (قدسی‌پور، ۲۰۰۳).

$$(A^+) = \{(\max v_{ij} / j \in j), (\min v_{ij} \in j^n) / i = 1, 2, 3, \dots, m\} - \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+, ji^+, \dots, v_n^+\} \quad (3)$$

و راه‌حل عکس ایده‌آل به صورت زیر:

$$(A^-) = \{((\min v_{ij} / j \in j), (\max v_{ij} \in j) / \in j^n) / i = 1, 2, 3, \dots, m\} - \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-, ji^-, \dots, v_n^-\} \quad (4)$$

به طوری که در آن،

$$J = \{j = 1, 2, 3, \dots, n \mid \text{سود به سود}\}$$

$$J'' = \{j = 1, 2, 3, \dots, n \mid \text{سود به سود}\}$$

$$d_i^+ = \{\sum_{i=1}^n (u_{ij} - v + j)^2\}^0, i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (5)$$

$$d_i^- = \{\sum_{i=1}^n (u_{ij} - v + j)^2\}^0, i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (6)$$

$$cli^+ = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, 0 \leq cli^+ \leq 1; i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (7)$$

#### 1- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

### نتایج

یافته‌های به‌دست آمده از رتبه‌بندی با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در جدول ۵ آورده شده است. این یافته‌ها به‌دست آمده از نظرات کارشناسی و برگرفته از نظر ۳ کارشناس آلودگی می‌باشد.

جدول ۵- نتایج وزن‌دهی به روش AHP.

	د	ح	چ	ج	ث	ت	پ	ب	الف
۱	۰/۵۹	۰/۰۲۵	۰/۰۲۴	۰/۰۴	۰/۰۳۳	۰/۰۱۹	۰/۰۲۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱
۲	۰/۲۸	۰/۰۴۳	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۳
۳	۰/۵۰	۰/۲۰	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵
وزن نهایی	۰/۴۶	۰/۲۹	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳

راهنما: الف: کلسیم، ب: کل جامدات معلق، پ: سولفات، ت: بی‌کربنات، ث: کربنات، ج: اسیدیت، چ: هدایت الکتریکی، ح: سختی کل و د: کلر.

نتایج استاندارد شده معیارها با قرار دادن در رابطه‌های مربوط، در ۳۲ سناریو در جدول ۶ آورده شده است. با توجه به جدول ۴ مقادیر کلر بیش‌ترین وزن و کم‌ترین وزن به سولفات اختصاص دارد. پس از تعیین وزن معیارها ماتریس تصمیم وزن‌دهی شده محاسبه گردید (جدول ۷). در پایان نتایج اولویت‌بندی سناریوهای مدیریتی در جدول ۸ ارائه شده است. با توجه به این نتایج، سناریوی ۲۱ که دارای بیش‌ترین نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل ( $cl_i^+$ ) می‌باشد، در اولویت اول قرار گرفته است. همچنین سناریوی ۱ که دارای بیش‌ترین فاصله نسبت به راه‌حل ایده‌آل است، در اولویت آخر قرار گرفته است.

جدول ۶- مقدار استاندارد شده معیارها.

	الف	ب	پ	ت	ث	ج	چ	ح	خ
سناریو ۱	۰/۹۰۶	۰/۰۴۷	۰/۰۵۹	۰/۰۷۲	۰/۰۲۹	۰/۹۷۳	۰/۰۳۴	۰/۰۳۸	۰/۰۲۳
سناریو ۲	۰/۰۰۲	۰/۰۱۴	۰/۰۴۹	۰/۰۰۲	۰/۰۳۰	۰/۰۰۰	۰/۰۳۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶
سناریو ۳	۰/۰۰۶	۰/۰۵۳	۰/۰۰۹	۰/۰۱۲	۰/۰۳۹	۰/۰۰۱	۰/۰۳۲	۰/۰۳۶	۰/۰۸۶
سناریو ۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۳۲	۰/۰۲۶	۰/۰۱۳
سناریو ۵	۰/۰۰۵	۰/۰۴۱	۰/۰۴۲	۰/۰۶۴	۰/۰۶۱	۰/۰۰۲	۰/۰۳۴	۰/۰۳۰	۰/۰۰۹
سناریو ۶	۰/۰۰۲	۰/۰۴۵	۰/۰۵۲	۰/۰۷۱	۰/۰۲۸	۰/۰۰۱	۰/۰۲۳	۰/۰۳۹	۰/۰۲۳
سناریو ۷	۰/۰۰۴	۰/۰۳۳	۰/۰۲۹	۰/۰۰۷	۰/۰۳۵	۰/۰۰۱	۰/۰۳۳	۰/۰۳۰	۰/۰۵۶
سناریو ۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۲۴	۰/۰۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰	۰/۰۳۳	۰/۰۲۶	۰/۰۲۰
سناریو ۹	۰/۰۰۴	۰/۰۲۷	۰/۰۴۵	۰/۰۳۳	۰/۰۴۶	۰/۰۰۱	۰/۰۳۴	۰/۰۲۷	۰/۰۱۸
سناریو ۱۰	۰/۰۰۲	۰/۰۲۹	۰/۰۵۱	۰/۰۳۷	۰/۰۲۹	۰/۰۰۱	۰/۰۲۹	۰/۰۳۲	۰/۰۲۴
سناریو ۱۱	۰/۰۰۳	۰/۰۲۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱	۰/۰۳۲	۰/۰۳۱	۰/۰۵۰
سناریو ۱۲	۰/۰۰۶	۰/۰۴۷	۰/۰۲۵	۰/۰۳۸	۰/۰۵۰	۰/۰۰۲	۰/۰۳۳	۰/۰۳۳	۰/۰۴۸
سناریو ۱۳	۰/۰۰۴	۰/۰۴۹	۰/۰۳۰	۰/۰۴۲	۰/۰۳۳	۰/۰۰۱	۰/۰۲۸	۰/۰۳۷	۰/۰۵۵
سناریو ۱۴	۰/۰۰۳	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۳۲	۰/۰۳۰	۰/۰۰۱	۰/۰۳۳	۰/۰۲۸	۰/۰۱۱
سناریو ۱۵	۰/۰۰۱	۰/۰۲۳	۰/۰۲۶	۰/۰۳۶	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰	۰/۰۲۸	۰/۰۳۳	۰/۰۱۸
سناریو ۱۶	۰/۰۰۴	۰/۰۴۳	۰/۰۴۷	۰/۰۶۸	۰/۰۴۴	۰/۰۰۱	۰/۰۲۹	۰/۰۳۴	۰/۰۱۶
سناریو ۱۷	۰/۰۰۳	۰/۰۲۳	۰/۰۱۹	۰/۰۰۵	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱	۰/۰۳۳	۰/۰۲۹	۰/۰۴۲
سناریو ۱۸	۰/۰۰۴	۰/۰۳۶	۰/۰۳۳	۰/۰۲۶	۰/۰۴۳	۰/۰۰۱	۰/۰۳۴	۰/۰۳۰	۰/۰۴۱
سناریو ۱۹	۰/۰۰۳	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۲۹	۰/۰۳۲	۰/۰۰۱	۰/۰۳۰	۰/۰۳۳	۰/۰۴۵
سناریو ۲۰	۰/۰۰۴	۰/۰۳۲	۰/۰۱۷	۰/۰۲۵	۰/۰۳۳	۰/۰۰۱	۰/۰۳۳	۰/۰۳۱	۰/۰۳۶
سناریو ۲۱	۰/۰۰۴	۰/۰۴۶	۰/۰۳۴	۰/۰۴۹	۰/۰۴۲	۰/۰۰۱	۰/۰۳۰	۰/۰۳۵	۰/۰۳۹
سناریو ۲۲	۰/۰۰۲	۰/۰۱۹	۰/۰۳۰	۰/۰۲۲	۰/۰۳۰	۰/۰۰۱	۰/۰۳۳	۰/۰۲۷	۰/۰۱۶
سناریو ۲۳	۰/۰۰۲	۰/۰۲۹	۰/۰۳۲	۰/۰۴۵	۰/۰۲۹	۰/۰۰۱	۰/۰۳۰	۰/۰۳۲	۰/۰۱۵
سناریو ۲۴	۰/۰۰۱	۰/۰۲۰	۰/۰۳۴	۰/۰۲۴	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰	۰/۰۳۰	۰/۰۳۰	۰/۰۲۱
سناریو ۲۵	۰/۰۰۳	۰/۰۳۳	۰/۰۴۸	۰/۰۴۶	۰/۰۳۹	۰/۰۰۱	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱	۰/۰۱۹
سناریو ۲۶	۰/۰۰۳	۰/۰۳۳	۰/۰۲۰	۰/۰۲۸	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱	۰/۰۲۹	۰/۰۳۴	۰/۰۴۱
سناریو ۲۷	۰/۰۰۳	۰/۰۲۷	۰/۰۲۵	۰/۰۲۰	۰/۰۳۲	۰/۰۰۱	۰/۰۳۳	۰/۰۲۹	۰/۰۳۴
سناریو ۲۸	۰/۰۰۲	۰/۰۲۵	۰/۰۳۶	۰/۰۳۴	۰/۰۳۰	۰/۰۰۱	۰/۰۳۱	۰/۰۳۰	۰/۰۱۸
سناریو ۲۹	۰/۰۰۴	۰/۰۳۸	۰/۰۳۸	۰/۰۳۷	۰/۰۳۹	۰/۰۰۱	۰/۰۳۱	۰/۰۳۲	۰/۰۳۶
سناریو ۳۰	۰/۰۰۲	۰/۰۲۸	۰/۰۲۷	۰/۰۲۱	۰/۰۲۴	۰/۰۰۱	۰/۰۳۰	۰/۰۳۱	۰/۰۳۷
سناریو ۳۱	۰/۰۰۳	۰/۰۳۵	۰/۰۲۶	۰/۰۳۷	۰/۰۲۹	۰/۰۰۱	۰/۰۳۰	۰/۰۳۲	۰/۰۳۳
سناریو ۳۲	۰/۰۰۳	۰/۰۳۱	۰/۰۳۰	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۰۱	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱	۰/۰۳۲

الف: سختی کل، ب: سولفات، پ: کلر، ت: بی‌کربنات، ث: کربنات، ج: هدایت الکتریکی، چ: کل جامدات معلق، ح: اسیدیته و خ: کلسیم.

## آرزو صفویان و همکاران

جدول ۷- مقادیر ماتریس تصمیم وزندهی شده معیارها در سناریوهای مختلف.

	الف	ب	پ	ت	ث	ج	چ	ح	خ
سناریو ۱	۱/۰۰۰	۰/۲۴۸	۰/۳۰۵	۰/۳۴۶	۰/۱۵۵	۱/۰۰۰	۰/۱۹۴	۰/۲۱۴	۰/۱۱۷
سناریو ۲	۰/۰۰۲	۰/۰۷۴	۰/۲۵۴	۰/۰۱۱	۰/۱۶۳	۰/۰۰۰	۰/۱۹۶	۰/۱۴۲	۰/۱۳۲
سناریو ۳	۰/۰۰۷	۰/۲۸۳	۰/۰۴۴	۰/۰۵۸	۰/۰۲۷	۰/۰۰۲	۰/۱۸۲	۰/۲۰۱	۰/۴۳۲
سناریو ۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۱۷۸	۰/۱۴۹	۰/۰۶۶
سناریو ۵	۰/۰۰۶	۰/۲۱۷	۰/۲۱۹	۰/۳۰۹	۰/۳۲۴	۰/۰۰۲	۰/۱۹۲	۰/۱۶۹	۰/۰۴۷
سناریو ۶	۰/۰۰۲	۰/۲۳۹	۰/۲۷۳	۰/۳۴۳	۰/۱۵۰	۰/۰۰۱	۰/۱۳۲	۰/۲۱۹	۰/۱۱۴
سناریو ۷	۰/۰۰۴	۰/۱۷۸	۰/۱۴۹	۰/۰۳۵	۰/۱۸۵	۰/۰۰۱	۰/۱۸۹	۰/۱۶۹	۰/۲۸۱
سناریو ۸	۰/۰۰۱	۰/۰۴۰	۰/۱۲۷	۰/۰۰۶	۰/۰۸۲	۰/۰۰۰	۰/۱۸۷	۰/۱۴۵	۰/۰۹۹
سناریو ۹	۰/۰۰۴	۰/۱۴۵	۰/۲۳۷	۰/۰۱۶	۰/۲۴۴	۰/۰۰۱	۰/۱۹۴	۰/۱۵۵	۰/۰۸۹
سناریو ۱۰	۰/۰۰۲	۰/۱۵۶	۰/۲۶۴	۰/۱۷۷	۰/۱۵۵	۰/۰۰۱	۰/۱۶۴	۰/۱۸۰	۰/۱۲۳
سناریو ۱۱	۰/۰۰۳	۰/۱۴۵	۰/۰۲۲	۰/۰۲۹	۰/۱۰۴	۰/۰۰۱	۰/۱۸۰	۰/۱۷۵	۰/۲۵۰
سناریو ۱۲	۰/۰۰۶	۰/۲۵۰	۰/۱۳۱	۰/۱۸۴	۰/۲۶۵	۰/۰۰۲	۰/۱۸۷	۰/۱۸۴	۰/۲۴۰
سناریو ۱۳	۰/۰۰۴	۰/۲۶۰	۰/۱۵۸	۰/۲۰۱	۰/۱۷۸	۰/۰۰۱	۰/۱۵۷	۰/۲۱۰	۰/۲۷۴
سناریو ۱۴	۰/۰۰۳	۰/۱۱۲	۰/۱۱۰	۰/۱۵۴	۰/۱۶۱	۰/۰۰۱	۰/۱۸۵	۰/۱۵۸	۰/۰۵۶
سناریو ۱۵	۰/۰۰۱	۰/۱۲۲	۰/۱۳۷	۰/۱۷۱	۰/۰۷۵	۰/۰۰۰	۰/۱۵۵	۰/۱۸۴	۰/۰۹۰
سناریو ۱۶	۰/۰۰۴	۰/۲۲۸	۰/۲۴۶	۰/۳۲۶	۰/۲۳۷	۰/۰۰۱	۰/۱۶۲	۰/۱۹۲	۰/۰۸۰
سناریو ۱۷	۰/۰۰۳	۰/۱۲۱	۰/۰۹۹	۰/۰۲۳	۰/۱۲۳	۰/۰۰۱	۰/۱۸۵	۰/۱۶۳	۰/۲۱۱
سناریو ۱۸	۰/۰۰۵	۰/۱۹۱	۰/۱۷۲	۰/۱۲۶	۰/۲۳۰	۰/۰۰۱	۰/۱۹۰	۰/۱۷۰	۰/۲۰۴
سناریو ۱۹	۰/۰۰۴	۰/۱۹۹	۰/۱۹۰	۰/۱۳۷	۰/۱۷۳	۰/۰۰۱	۰/۱۷۰	۰/۱۸۷	۰/۲۲۷
سناریو ۲۰	۰/۰۰۴	۰/۱۶۸	۰/۰۸۸	۰/۱۲۲	۰/۱۷۷	۰/۰۰۱	۰/۱۸۴	۰/۱۷۲	۰/۱۸۲
سناریو ۲۱	۰/۰۰۵	۰/۲۴۶	۰/۱۷۹	۰/۲۳۶	۰/۲۲۶	۰/۰۰۱	۰/۱۶۹	۰/۱۹۶	۰/۱۹۸
سناریو ۲۲	۰/۰۰۳	۰/۰۹۹	۰/۱۵۷	۰/۱۰۷	۰/۱۶۳	۰/۰۰۱	۰/۱۸۹	۰/۱۵۳	۰/۰۸۱
سناریو ۲۳	۰/۰۰۳	۰/۱۵۴	۰/۱۶۴	۰/۲۱۷	۰/۱۵۷	۰/۰۰۱	۰/۱۶۸	۰/۱۷۹	۰/۰۷۵
سناریو ۲۴	۰/۰۰۱	۰/۱۰۶	۰/۱۷۶	۰/۱۱۸	۰/۱۰۴	۰/۰۰۰	۰/۱۶۹	۰/۱۷۰	۰/۱۰۴
سناریو ۲۵	۰/۰۰۳	۰/۱۷۶	۰/۲۴۸	۰/۲۲۱	۰/۲۱۱	۰/۰۰۱	۰/۱۷۳	۰/۱۷۰	۰/۰۹۷
سناریو ۲۶	۰/۰۰۳	۰/۱۷۶	۰/۱۰۶	۰/۱۳۳	۰/۱۱۹	۰/۰۰۱	۰/۱۶۴	۰/۱۸۹	۰/۲۰۵
سناریو ۲۷	۰/۰۰۴	۰/۱۴۵	۰/۱۲۹	۰/۰۹۴	۰/۱۷۳	۰/۰۰۱	۰/۱۸۷	۰/۱۶۳	۰/۱۷۰
سناریو ۲۸	۰/۰۰۲	۰/۱۳۴	۰/۱۸۶	۰/۱۶۵	۰/۱۵۹	۰/۰۰۱	۰/۱۷۵	۰/۱۶۹	۰/۰۸۹
سناریو ۲۹	۰/۰۰۴	۰/۲۰۲	۰/۱۹۷	۰/۱۸۰	۰/۲۱۱	۰/۰۰۱	۰/۱۷۵	۰/۱۸۲	۰/۱۸۲
سناریو ۳۰	۰/۰۰۳	۰/۱۵۰	۰/۱۴۳	۰/۱۰۳	۰/۱۲۹	۰/۰۰۱	۰/۱۷۲	۰/۱۷۷	۰/۱۸۶
سناریو ۳۱	۰/۰۰۴	۰/۱۸۵	۰/۱۳۴	۰/۱۷۷	۰/۱۵۳	۰/۰۰۱	۰/۱۷۱	۰/۱۸۳	۰/۱۶۵
سناریو ۳۲	۰/۰۰۳	۰/۱۶۳	۰/۱۵۸	۰/۱۴۰	۰/۱۵۳	۰/۰۰۱	۰/۱۷۶	۰/۱۷۶	۰/۱۵۸

الف: سختی کل، ب: سولفات، پ: کلر، ت: بیکربنات، ث: کربنات، ج: هدایت الکتریکی، چ: کل جامدات معلق، ح: اسیدیته و خ: کلسیم.

جدول ۸- میزان نزدیکی نسبی سناریوها به راه‌حل ایده‌آل.

سناریو	$cl_i^+$	سناریو	$cl_i^+$
سناریو ۱	۰/۰۲	سناریو ۱۷	۰/۹۴
سناریو ۲	۰/۸۶	سناریو ۱۸	۰/۹
سناریو ۳	۰/۹۵	سناریو ۱۹	۰/۸۹
سناریو ۴	۰/۸۹	سناریو ۲۰	۰/۹۴
سناریو ۵	۰/۸۷	سناریو ۲۱	۰/۹۹
سناریو ۶	۰/۸۵	سناریو ۲۲	۰/۹۱
سناریو ۷	۰/۹۱	سناریو ۲۳	۰/۹
سناریو ۸	۰/۹۲	سناریو ۲۴	۰/۰۹
سناریو ۹	۰/۸۶	سناریو ۲۵	۰/۸۶
سناریو ۱۰	۰/۸۵	سناریو ۲۶	۰/۹۳
سناریو ۱۱	۰/۹۸	سناریو ۲۷	۰/۹۲
سناریو ۱۲	۰/۹۲	سناریو ۲۸	۰/۸۹
سناریو ۱۳	۰/۹	سناریو ۲۹	۰/۸۸
سناریو ۱۴	۰/۹۳	سناریو ۳۰	۰/۹۱
سناریو ۱۵	۰/۹۲	سناریو ۳۱	۰/۹۲
سناریو ۱۶	۰/۸۶	سناریو ۳۲	۰/۹۱

### بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش بیانگر این موضوع است که فن تصمیم‌گیری چندمعیاره با توجه به وجود اثرات مختلف سناریوهای مدیریتی و تفاوت در ماهیت و برای معیارها، به کاربر در اتخاذ تصمیم نهایی کمک می‌نماید. همچنین در فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره، معیارهای تعیین شده برای رسیدن به اهداف در نظر گرفته شده از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. همچنین تدوین سناریوهای مدیریتی یکی از راه‌کارهای مناسب با توجه به حالت‌های مدیریتی متنوع می‌باشد. در این خصوص با ارایه و تدوین سناریوهای مختلف، زمینه بررسی و ارزیابی مدیریت این منابع از دیدگاه‌های مختلف و شرایط متنوع فراهم می‌گردد (نوروزی و همکاران، ۲۰۰۷).

با توجه به نتایج به‌دست آمده از انجام این پژوهش و در نهایت اولویت‌بندی سناریوها، ملاحظه می‌گردد که سناریوی ۲۱ اولویت نخست و سناریوی ۱ اولویت آخر را به خود اختصاص داده‌اند



(جدول ۸ و شکل ۳). به این ترتیب، سناریوی بیست و یک به عنوان سناریوی برتر برای رسیدن به هدف در نظر گرفته شده (بهبود کیفیت آب) انتخاب و معرفی گردید. این سناریو که شامل انجام گزینه‌های مدیریتی کاهش جاده با الگوریتم COST افزایش مرتع، افزایش مرتع به‌زای کاهش بایر و کاهش چین‌خوردگی است، بهترین وضعیت را با توجه به گزینه‌ها و معیارهای در نظر گرفته شده در حوضه آب‌خیز گرگان‌رود فراهم می‌کند. اجرای فعالیت‌های مدیریتی تغییر ملموسی را در وضعیت کیفی آب ایجاد خواهند کرد. با کاشت درختان در منطقه، میانگین فاصله آن‌ها کاسته می‌شود که می‌تواند تأثیر مطلوبی بر کیفیت آب داشته باشد، کما این‌که فاصله کم آن‌ها در حوضه‌های آب‌خیز خود نمادی از فعالیت انسان در بخش‌های کشاورزی و باغداری و سایر موارد مربوط که قطعات درختی کوچک ولی نزدیک به هم به‌وجود آورده است. درصد سطح پوشش کشاورزی رابطه‌کاهنده و فزاینده با میزان مواد معدنی مورد مطالعه در آب رودخانه‌های زیرحوضه مورد بررسی داشته است. در این مورد تکلیف روشن است و راه‌چاره کاستن از سطح کشاورزی و یا زراعت بهینه به معنی بوم‌شناختی خود و افزایش سطح مرتع منطقه می‌باشد. با انتخاب قطعات درختی مناسب برای واکاری و بازکاشت درختان بومی به‌منظور کاهش چین‌خوردگی می‌توان تأثیر مثبت این تغییر را بر شاخص‌های کیفی آب رودخانه‌های مورد بررسی نشان داد. کاهش جاده‌های موجود و یا جلوگیری از تاسیس جاده‌های جدید و به‌زای آن افزایش مرتع از عواملی هستند که می‌توانند بر شاخص‌های کیفی آب مؤثر باشند. علاوه‌بر آن، مطلقاً نباید اجازه داد جاده‌های جدید در نزدیکی رودخانه‌ها استقرار یابند و جاده‌های نزدیک به رودخانه‌ها را نیز در صورت امکان باید به مکان دیگر منتقل نمود و یا در نهایت آن‌ها را تبدیل به مناطقی با پوشش طبیعی نمود. این موارد قطعاً به رفع اثر و یا کاهش اثرات منفی آن‌ها کمک نماید.

با توجه به این نتایج، سناریویی که در اولویت قرار می‌گیرد، نتیجه تعامل بین راه‌حل ایده‌آل و عکس ایده‌آل می‌باشد. به‌عبارت دیگر، سناریویی که در اولویت قرار می‌گیرد 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 راه‌حل و تعامل بین آن‌ها در اولویت قرار گیرد. این یکی از بارزترین و مهم‌ترین ویژگی اولویت‌بندی به روش TOPSIS است (فو، ۲۰۰۶). نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که برای بهبود وضعیت کیفیت آب این روش، روش متفاوتی می‌باشد که تحت تأثیر گزینه‌های مختلفی است که خود نیاز به تدوین و تنظیم سناریوهای مختلف مدیریتی را در

شرایط متنوع ایجاد نموده است (۳۲ سناریوی مدیریتی). بنابراین، باید 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 (سعدالدین و همکاران، ۲۰۰۹).

نتایج این پژوهش نشان داد که تصمیم‌گیری چندمعیاره 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. شایان ذکر می‌باشد که در نظر گرفتن دیدگاه‌های مختلف خود فرآیند مدیریتی را با مشکل مواجه می‌کند و اهداف کم‌اهمیت‌تر باید جزئی از اهداف اصلی باشند تا تنوع اهداف مدیریتی به حداقل برسد و در عین حال بهترین نوع مدیریت با توجه به شرایط منطقه ارایه گردد و همچنین معیارها و شاخص‌های اصلی که تأثیر مستقیم بر اهداف مدیریتی دارند، در نظر گرفته شود.

#### منابع

1. Abrishamchi, A., Ebrahimian, A., Tajrishi, M., and Marion, M.A. 2005. Application multi criteria desicision making to urban water supply, J. Water Resour. Plan. Manage. ASCE. 131: 4. 326-335. (In Persian)
2. Amini Faskhodi, E. 2001. Principles of Applied Hydrology. Imam Reza University Press. (In Persian)
3. Borhanidarian, E., and Eftekharijavadi, A. 2008. Study of climate change on the southern coast of the Caspian Sea to approach me-Kendall. Geographical Research. 64: 13-28. (In Persian)
4. Farazjo, H. 2004. Influence of ENSO on flood frequency along the California coast. J. Climate. 17: 2. 337-348. (In Persian)
5. Fu, G. 2006. A fuzzy optimization method for multicritria decision making: an application to reservoir flood control operation. J. Exp. Syst. App. 34: 1. 145-149.
6. Godsipour, H. 2003. The El Nino-southern oscillation (ENSO) and seasonal flooding Bangladesh. Theor. App. Clim. 76: 1-2. 105-124.
7. Hajkowicz, S., and Higgins, A. 2006. A compersion of multiple criteria analysis techniques for water resource management. J. Opera. Res. 184: 1. 255-265.
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 Manage. 22: 573-584.

9. Karbowski, A., Malinowski, K., and Niewiadomska-Szynkiewicz, E. 2003. A hybrid analytic/rule-based approach to reservoir system management during flood. *J. Dec. Support Syst.* 38: 599-610.
10. 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 Syst. Sci.* 6: 4. 753-762.
11. Norozi, B., and Barani, Gh. 2007. Determination of lands affected by desertification using near and remote sensing in Sabzevar desert area. *Iran. J. Remote Sens. Res.* 14: 1. 33-52. (In Persian)
12. Razavitosi, L. 2000. El Nino and drought periods-wet in Iran. *Geographical Research*, 38: 71-84. (In Persian)
13. Saddodin, A., Arab Solghar, A.A., and Kaveh, F. 2009. Review of Trend of climate change in semi-arid climate of Iran. *Water Resources*, 2: 23-32. (In Persian)
14. Sasikumar, K., and Mujumdar, P.P. 1998. Fuzzy optimization model for water quality management of a river system. *J. Water Resour. Plan. Manage.* 124: 2. 79-80.
15. Wang, Y., Cho, W., and Deal, B.M. 2005. Long-term impacts of land-use change on non-point source pollutant loads for the St. Louis Metropolitan Area, USA. *Environmental Management*, 35: 2. 194-205.
16. Xiao, H., and Ji, W. 2007. Relating landscape characteristics to non-point source pollution in mine waste-located watersheds using geospatial techniques. *J. Environ. Manage.* 82: 111-119.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 20(3), 2013*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

**A multi-criteria approach for selection of  
the best water quality improvement scenarios  
(Case Study: Gorganrud-River Basin, Golestan Province)**

**\*A. Safavian<sup>1</sup>, A.R. Salman Mahini<sup>2</sup>, S.H. Mirkarimi<sup>3</sup> and A. Saddodin<sup>4</sup>**

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

Received: 10/11/2012; Accepted: 12/25/2012

**Abstract**

Water management and best use are among the topical issues and therefore the negative trends of water quality should be reduced. We have tested various water quality improvement scenarios in this research. We selected nine water quality factors and generated an initial set of 41 independent variables relating to landform, physical and biological plus landscape metrics of the surrounding environment of the rivers. Regression and correlation analyses helped narrow down the independent variables and define equations between dependent and independent variables. Five management items were devised based on the regression relationships and expert opinions including: decreasing fractal dimension of remnant tree patches, pasture extension onto bare land, decreasing area under agriculture based on a special multi-criteria analysis (MCE), decreasing road density based on a pattern suggested through least cost algorithm and increasing area under pasture management and the number of tree patches. To balance the results of the scenarios and select the optimum one, a multi-criteria approach was adopted during which the analytical hierarchy process was applied and the 32 scenarios were analyzed through technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS). The best scenario was found to be the one including road density decrease plus range extension onto bare land and decrease of fractal dimension of the remnant tree patches. These were the best in terms of the selected criteria for water quality improvement.

**Keywords:** Management scenarios, MCE, AHP, TOPSIS

---

\* Corresponding Author; Email: [safavian\\_az@yahoo.com](mailto:safavian_az@yahoo.com)