نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و دوم، شماره دوم، ۱۳۹٤
http://jwsc.gau.ac.ir

معیارهای پایداری در ارزیابی مدیریت یکپارچه منابع آب حوضه آبریز ارس بر اساس رویکرد DPSIR

*مریم حافظ‌پرست[1]، شهاب عراقی‌نژاد[2] و سلمان شریف‌آذری[3]

[1]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، [2]دانشیار گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران،
[3]عضو هیأت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۱۳

چکیده

سابقه و هدف: پایداری حوضه آبریز به‌وسیله شاخص‌های پایداری به روش‌های مختلف و به‌وسیله پژوهشگران زیادی برآورد شده است. از جمله می‌توان به شاخص مالکیت آب سولیوان (۲۰۰۲)، شاخص پایداری آب کانادایی به‌وسیله مؤسسه پژوهشات سیاسی و شاخص پایداری حوضه آبریز به‌وسیله چاوز و آلپیاز (۲۰۰۷) اشاره کرد (۱۵ و ۴). مدیریت یکپارچه منابع آب در حوضه‌های بزرگ مقیاس با در نظر گرفتن ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در برنامه‌ریزی منابع آب حوضه امری ضروری است و این نوع مدیریت در چارچوب DPSIR شکل اجرایی به خود می‌گیرد (۳).

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، مدیریت یکپارچه منابع آب براساس محاسبه شاخص‌های پایداری درمعیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در قالب رویکرد DPSIR بررسی شده است. چارچوب پیشنهادی شامل پارامترهای فشار- حالت- اثرات- پاسخ است. نیروهای فشاری در قالب سه سناریو ادامه وضع موجود، خوش‌بینانه و بدبینانه در Mike Basin، ارزیابی شده‌اند. سناریوی وضع موجود شرایط فعلی حوضه را برای آینده نیز در نظر می‌گیرد و سری زمانی آبدهی رودخانه‌ها و تقاضاهای شرب، صنعت و کشاورزی در آینده مانند وضع موجود است. سناریوی خوش‌بینانه با فرض ایجاد تغییراقلیم مثبت در منطقه افزایش آب در دسترس و تقاضای آب ثابت را در نظر می‌گیرد. در این سناریو جریان رودخانه‌های موجود در سناریوی ادامه وضع موجود به‌میزان ۶/۷ درصد افزایش و میزان دما، بارندگی و سطوح کشاورزی ثابت و مانند سناریوی ادامه وضع موجود می‌باشد سناریوی بدبینانه نشان‌دهنده کاهش منابع آب در دسترس و افزایش تقاضا است (۱۶ و ۱۹). بنابراین در سناریو بدبینانه مقدار تقاضای کشاورزی ۵۰٪ نسبت به تقاضاهای وضع موجود افزایش داده شده‌است (۱۶). با اجرای هر سناریو، سامانه منابع و مصارف حوضه شامل تخصیص‌ها و کمبودها (حالت سیستم) تغییر می‌کند و نتایج شبیه‌سازی در مدل MIKE BASIN وارد Excel شده و ارزیابی اثرات اجرای هر گزینه مدیریتی با محاسبه شاخص‌ها، در سامانه تصمیم‌یار Mike basin - Excel به تصمیم‌گیرندگان و ذی‌نفعان در فرآیند تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری کمک می‌کند. روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای حل مسائلی با داشتن ماتریس سه‌بعدی ارزیابی شامل سناریو، گزینه و شاخص ضروری است و یکی از این روش‌ها که بر اساس فاصله از ایده‌آل گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌کند روش تاپسیس است (۱۸).

* مسئول مکاتبه: m.hafezparast@razi.ac.ir

یافته‌ها: روش تاپسیس برای ارزیابی ماتریس شاخص‌های کمی و کیفی در مقیاس مکانی به کمک نرم‌افزار GIS نشان‌داد، از بین مناطق سیزدگانه حوضه آبریز ارس منطقه اواغلی از نظر معیارهای پایداری در وضعیت خوبی است و قسمت‌های شرقی حوضه، شامل اردبیل، مشکین‌شهر و اهر- ورزقان از پایداری کم‌تری نسبت به کل حوضه برخوردارند. در پارامتر پاسخ به‌منظور بهبود وضعیت حوضه، سه گزینه سازه‌ای بر اساس مطالعات قبلی برای مدیریت تقاضا تعریف شد و پس از اجرا در سامانه MikeBasin-Excel و تصمیم‌گیری چندمعیاره Topsis، نشان داد گزینه افزایش راندمان آبیاری در هر سه سناریو نسبت به گزینه کاهش سطح زیرکشت و گزینه پوشش کانال‌ها و انهار برتری دارد.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش شاخص‌های کمی و کیفی به‌صورت ترکیبی برای ارزیابی پایداری مناطق سیزدگانه حوضه آبریز ارس در قالب چارچوب DPSIR انجام شد. بر اساس این چارچوب پنج فاکتور نیروهای محرک، فشار، حالت، تاثیر و پاسخ حوضه بر اساس مدیریت یکپارچه منابع و مصارف آب در مدل MIKE BASIN شبیه‌سازی شد و خروجی آن در EXCEL برای محاسبه شاخص‌های کمی استفاده شد. بر اساس روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس که ماتریس سه‌بعدی سناریو، گزینه و شاخص را حل می‌کند، نشان داد مناطق شرقی حوضه پایداری کم‌تری دارند. در این راستا بر اساس تحلیل گزینه‌ها افزایش راندمان آبیاری کمک شایانی به تعادل پایداری حوضه بر اساس شاخص‌های بررسی شده در این منطقه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: DPSIR، تصمیم‌گیری چند معیاره، Topsis، Mike Basin

مقدمه

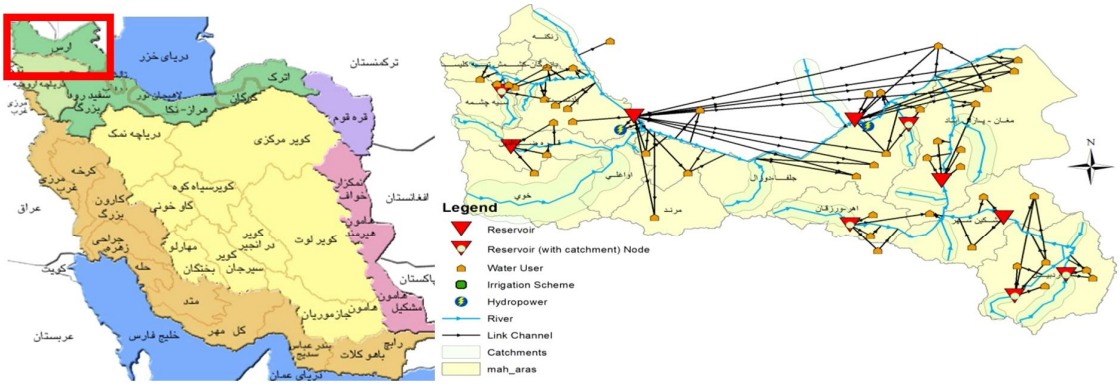
تعیین پایداری حوضه آبریز به‌وسیله شاخص‌های پایداری به روش‌های مختلف و به‌وسیله پژوهشگران زیادی برآورد شده است. از جمله می‌توان به شاخص مالکیت آب[1] به‌وسیله سولیوان (۲۰۰۲)، شاخص پایداری آب کانادایی[2] به‌وسیله مؤسسه پژوهشات سیاسی[3] و شاخص پایداری حوضه آبریز[4] به‌وسیله چاوز و آلیپاز (۲۰۰۷) اشاره کرد (۴ و ۱۵). این شاخص‌ها براساس ساختارشان، از اجزایی تشکیل شده‌اند که به جنبه‌های مختلف منابع آب مربوط است. اجزای یک شاخص که به‌عنوان زیر شاخص شناخته می‌شوند شامل یک یا چند شاخصه هستند و در صورت نیاز می‌تواند برای هر شاخصه نیز تعدادی زیرشاخصه در نظر گرفته شود. شاخص پایداری حوضه که به‌وسیله چاوز و آلیپاز ارائه شد بر اساس رویکرد DPSIR[5] به‌دست آمده است و این شاخص از محاسبه میانگین چهار شاخص هیدرولوژیکی، زیست‌محیطی، شرایط زندگی و سیاستی به‌دست می‌آید. در این راستا گیوپونی و همکاران (۲۰۰۴) سامانه تصمیم‌یار Mulino را ارائه کردند که مدیریت پایدار منابع آب در حوضه را بر اساس رویکرد DPSIR انجام می‌دهد (۱۰). سامانه‌های تصمیم‌یار منابع آب ترکیبی از امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری هستند که به‌وسیله مهندسان برای تصمیم‌گیری بهتر طراحی شده‌اند. اولین نسل سامانه‌های تصمیم‌یار که از اجزای مختلفی از جمله (پایگاه داده، مدل‌ها و GIS) تشکیل شده‌اند در اواسط دهه ۱۹۹۰ ظهور یافتند و دنشام و گودچایلد (۱۹۸۹) لینک GIS به سامانه تصمیم‌یار را برای توسعه سامانه‌های تصمیم‌یار مکانی[6] معرفی کردند (۷). کاربرد این سامانه‌ها در تخصیص آب به‌دلیل نیاز

1- Water poverty index
2- Canadian water sustainability index
3- Policy Research Initiative
4- Watershed sustainability index
5- Driving Force-Pressures-State-Impact-Response
6- SDSSs

رویکرد سیستمی در این زمینه گسترده شده است. برای طراحی این سامانه‌ها باید ارتباط متقابلی بین مهندسان، تصمیم‌گیرندگان و استفاده‌کنندگان این سامانه‌ها برقرار شود. از جمله سامانه‌های تصمیم‌یار تخصیص‌آب، کریستنسن (۲۰۰۴) مدل هیدرولوژیکی Mike She را با مدل مدیریت حوضه رودخانه Mike Basin با استفاده از سیستم open MI ترکیب کرد که یک نوع ترکیب‌کردن باز است (۵). لیمهیز و همکاران (۲۰۰۹) ارزیابی اثرات توسعه مخازن کوچک مقیاس بر منابع آب حوضه ولتا در غرب آفریقا را بررسی کرد و سامانه تخصیص آب حوضه ولتا با اتصال مدل هیدرولوژیکی- اقلیمی (MM5/Wasim-ETH) به‌عنوان ورودی مدل برنامه‌ریزی منابع آب Mike Basin در نظر گرفته شد (۱۳). ییلماز و هارمانسیوگلو (۲۰۱۰) حوضه آبریز گدیز در کشور ترکیه را مورد بررسی قرار دادند و با محاسبه شاخص‌های کمی که از خروجی مدل برنامه‌ریزی منابع آب WEAP حاصل شده است، گزینه‌های مدیریتی را با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره SAW رتبه‌بندی کرده‌اند. سامانه‌های تصمیم‌یار تخصیص آب برای برقراری تعادل عرضه و تقاضا در حوضه از رویکرد مدیریت یکپارچه منابع آب بهره می‌گیرند. برای اجرای ساده‌تر مدیریت یکپارچه منابع آب، مدل‌های ریاضی ابزاری مناسب می‌باشند (هامبرتو و همکاران، ۲۰۰۹) (۱۱). امروزه در مدل‌سازی ریاضی حوضه‌های آبریز، دو روند کلی قابل شناسایی می‌باشد. یکی مدل‌های هیدرولوژیکی، که برای مدل نمودن رفتار اجزای چرخه آب، از باریدن باران تا تبدیل شدن به رواناب به‌کار می‌روند، دیگری سامانه‌های تصمیم‌یار، که برای مدل نمودن رفتارهای مختلف فرآیندهای فیزیکی، طبیعی، اجتماعی و اقتصادی صورت گرفته در یک حوضه هیدرولوژیکی به‌کار می‌روند (آکوا و همکاران، ۲۰۰۹) (۲). گنگ و واردلا (۲۰۱۳) سامانه تصمیم‌یار شبیه‌سازی و بهینه‌سازی برای مدیریت یکپارچه حوضه آبریز با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره را ارائه کرده‌است (۹). پژوهشات پیشین نشان می‌دهد به‌منظور اجرای عدالت تأمین آب در تقاضاهای کشاورزی، شرب و صنعت حوضه آبریز، اجرای مدیریت یکپارچه منابع امری ضروری است و این فرآیند با استفاده از رویکرد DPSIR در یک چارچوب عملی قرارگرفته و انجام آن توسط مدل‌های برنامه‌ریزی منابع آب مانند MIKE BASIN و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره میسر می‌شود. ضرورت انجام این پژوهش تعیین پایداری حوضه آبریز ارس بر اساس محاسبه شاخص‌های کمی و کیفی در اثر اجرای گزینه‌های مدیریت تقاضا در چارچوب DPSIR و اجرای فرآیند IWRM در این حوضه به‌منظور تعادل عرضه و تقاضا است.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز ارس: حوضه آبریز ارس در شمال‌غرب کشور واقع شده و یک حوضه مرزی است که با کشورهای ترکیه، آذربایجان و ارمنستان هم‌مرز است. همچنین از نظر تقسیمات سیاسی کشور مطابق (شکل ۱) بخش‌هایی از سه استان آذربایجان‌غربی، آذربایجان‌شرقی و اردبیل را در بر می‌گیرد. مساحت این حوضه برابر ۳۹۵۳۴ کیلومتر مربع و از نظر جغرافیایی نیز در محدوده‌ای بین ۴۴ درجه و ۱ دقیقه و ۴۲ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۴۲ دقیقه و ۳۳ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۶ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۳۹ درجه و ۴۷ دقیقه و ۷ ثانیه عرض شمالی واقع شده است. بر اساس اطلاعات موجود، جمعیت حوضه ارس در سال ۱۳۸۵، ۲۲۳۲۳۱۱ نفر و نرخ رشد آن ۰/۶ بوده و میزان شهرنشینی در این حوضه مانند کل کشور روند افزایشی داشته است. این حوضه به‌دلیل وسعت زیاد و تنوع آب و هوایی و به لحاظ هم‌مرز بودن با کشورهای همسایه و نیز قرار گرفتن در سه استان از اهمیت زیادی برخوردار است.



(ب)　　(الف)

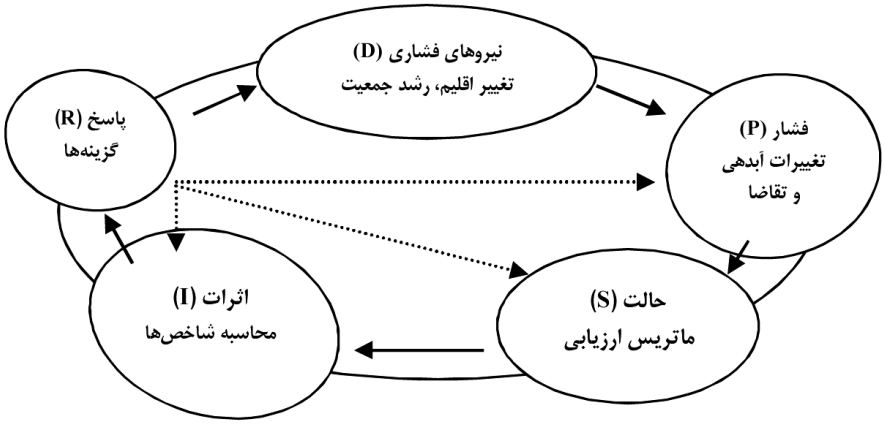
شکل ۱- موقعیت حوضه ارس (الف) و شماتیک منابع و مصارف آن در مدل Mike Basin (ب).

Figure 1. Aras watershed in map of Iran (A) and schematic of resources and demands in MIKE BASIN (B).

برای اجرای مدیریت یکپارچه منابع آب بر اساس رویکرد DPSIR و تعیین پایداری حوضه آبریز بر اساس شاخص‌های پایداری، مراحل انجام کار شامل: ۱) اجرای چارچوب DPSIR بر اساس پارامترهای آن شامل ارزیابی سناریوها در پارامتر نیروهای فشاری (D,P)، تعیین شاخص‌ها در گزینه‌های مختلف و تشکیل ماتریس سه‌بعدی ارزیابی در پارامتر (S)، محاسبه شاخص‌های کمی و کیفی در پارامتر (I)، تعیین گزینه‌های سازه‌ای در پارامتر (R). ۲) اجرای مدل برنامه‌ریزی منابع آب MIKE BASIN برای تامین تقاضاهای کشاورزی، شرب و صنعت در حوضه بزرگ مقیاس ارس. ۳) محاسبه شاخص‌های کمی حاصل از خروجی MIKE BASIN در نرم‌افزار EXCEL به‌صورت ترکیب کردن دو نرم‌افزار. ۴) تعیین پایداری کمی- کیفی حوضه آبریز ارس (تحلیل ماتریس ارزیابی) بر اساس روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (Topsis). ۵) تعیین رتبه اجرایی برای گزینه‌های سازه‌ای مدیریت تقاضا به‌منظور بهبود وضعیت حوضه.

رویکرد DPSIR: ایمپرس (۲۰۰۲) رویکرد DPSIR را به‌عنوان چارچوب تحلیل فشارها و اثرات آن بر اساس دستورالعمل آب اروپا[1] پایه‌گذاری کرد که یک مکانیزم کلی برای تحلیل مشکلات زیست‌محیطی بر اساس توسعه پایدار فراهم می‌کند و در آن نیروهای فشاری[2] عموماً به‌وسیله سیاست‌های اجتماعی و اقتصادی دولتمردان و اهداف اجتماعی و اقتصادی آن‌ها ایجاد می‌شود (۱۲). فشارها[3] راهی برای بیان آشفتگی‌های به وجود آمده در اکوسیستم هستند. این فشارها حالت[4] محیط زیست را بهم می‌زنند که اثرات آن در سلامتی انسان‌ها و اکوسیستم تأثیر می‌گذارد و جامعه برای پاسخ[5] به این اثرات با سیاست‌های مختلفی از جمله وضع قوانین و گرفتن مالیات با آن برخورد می‌کند چارچوب رویکرد DPSIR در این پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است.

1- WFD
2- Driving Force
3- Pressures
4- State
5- Respond



شکل ۲- چارچوب رویکرد DPSIR.

Figure 2. The framework of DPSIR approach.

تعیین نیروهای فشاری (D, P): نیروهای فشاری ناشی از فعالیت‌های اقتصادی- اجتماعی و اجتماعی- فرهنگی انسان‌ها می‌باشد. افزایش سرعت شهرنشینی و صنعتی شدن آن‌ها و از طرفی کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله عوامل تأثیرگذار هستند. نیروهای فشاری که در این پژوهش در نظر گرفته شده، شامل آب و هوا، جمعیت، صنعت و کشاورزی است که در قالب سناریوهای ادامه وضع موجود، خوش‌بینانه و بدبینانه تحلیل شده‌اند. در سناریوی ادامه وضع موجود داده‌های ماهانه جریان رودخانه‌ها برای ۳۴ سال، از سال ۸۵-۱۳۵۱ از زمان بهره‌برداری سد ارس برای دوره شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است. میزان تقاضای آب و سطح زیرکشت در هر منطقه مشخص و معادل وضع موجود می‌باشد. سناریوی بدبینانه نشان‌دهنده کاهش منابع آب در دسترس و افزایش تقاضا است. بر اساس پژوهشی که زیب (۲۰۱۰) در حوضه کورا- ارس انجام داد میزان کاهش جریان رودخانه ۶/۷ درصد تا سال ۲۰۳۰ خواهدبود (۱۹). از این‌رو سری زمانی ماهانه جریان رودخانه‌ها که در سناریوی ادامه وضع موجود وارد مدل شده است به اندازه ۶/۷ درصد کاهش داده شد و میزان تقاضای شرب و صنعت بر اساس نرخ رشد جمعیت معادل ۰/۶ درصد افزایش و تقاضاهای کشاورزی به‌دلیل این‌که (تکنیک‌هایی که برای پیش‌بینی تقاضا در آینده در نظر گرفته می‌شود به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر سیاست‌های قیمت‌گذاری آب، تلاش‌ها در جهت صرفه‌جویی در مصرف آب، تغییر تکنولوژی‌های مصرف آب و استفاده مجدد از آب هستند. بنابراین دست‌یابی به تقاضا به‌طور صریح ممکن نیست و آنالیز حساسیت روی کاهش و افزایش ۱۰ درصد، ۲۵ درصد و ۵۰ درصد تقاضای فعلی در نظر گرفته می‌شود. این مقادیر می‌تواند با مقادیر واقعی حاصل از تلاش‌هایی که در جهت کاهش تقاضا توسط سازمان‌ها و ارگان‌های ذی‌ربط صورت می‌گیرد مقایسه شود (وانو و همکاران، ۲۰۰۹) (۱۶). بنابراین در سناریو بدبینانه مقدار تقاضای کشاورزی ۵۰٪ نسبت به تقاضاهای وضع موجود افزایش داده شده است. در نهایت سناریوی خوش‌بینانه با فرض ایجاد تغییر اقلیم مثبت در منطقه نشان‌دهنده افزایش آب در

دسترس و تقاضای آب ثابت است. در این سناریو جریان رودخانه‌های موجود در سناریوی ادامه وضع موجود به‌میزان ۶/۷ درصد افزایش و میزان دما، بارندگی و سطوح کشاورزی ثابت و مانند سناریوی ادامه وضع موجود می‌باشد.

پارامتر حالت (S): در نتیجه فشار، حالت سیستم که وضعیت فعلی محیط زیست و شرایط کنونی را نشان می‌دهد تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد و اجزای زیست‌محیطی شامل کیفیت هوا، آب و خاک و... در ارتباط با این فشارها قرار می‌گیرد. حوضه آبریز ارس به سیزده محدوده ۱۱۰۱ تا ۱۱۱۳ تقسیم‌بندی شده و نام این مناطق و نیز شماتیک منابع و مصارف آن در مدل Mike Basin. در (شکل ۱) در سمت چپ نشان داده شده است. برای بررسی پارامتر حالت سیستم در رویکرد DPSIR شاخص‌هایی مانند وضعیت اکوسیستم‌های آبی و خشکی، کیفیت آب شامل: تغذیه‌گرایی[1] (فسفر و نیتروژن)، BOD، شوری آب سطحی و زیرزمینی، آسیب‌پذیری آب زیرزمینی (از نظر ذخیره آبخوان و افت سطح آب)، پارامترهای شوری و قلیائیت خاک، شدت فرسایش خاک و توسعه سازندهای شور در (جدول ۱) آورده شده است (مهاب‌قدس، ۲۰۱۰) (۱۴). برای تبدیل این شاخص‌های بیانی به مقادیر عددی به‌منظور تحلیل در ماتریس تصمیم‌گیری چندمعیاره از روش مقیاس خطی که توسط مؤلفین متعددی از جمله (ابریشمچی و همکاران، ۲۰۰۵) به‌کار بسته شده استفاده می‌گردد (۱). بنابراین مجموعه اعداد (۷،۶،۵،۴،۳،۲،۱) معادل مجموعه زبانی (خیلی‌زیاد، زیاد، به نسبت زیاد، متوسط، به نسبت کم، کم، خیلی‌کم) می‌باشند. تبدیل (جدول ۱) به یک جدول عددی و بررسی پارامتر جمعیت و نسبت جمعیت باسواد به بی‌سواد نیز برای هر کد منطقه مطالعاتی از نقشه‌های GIS بر اساس جمعیت شهرهای قرار گرفته درآن استخراج و به‌صورت کمی در (جدول ۱) برای محاسبات نهایی در فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره در نظر گرفته شده است که در این جدول ستون‌های مربوط به پارامتر جمعیت به‌دلیل بزرگ‌شدن جدول نشان داده نشده است.

پارامتر اثرات (I): در این پژوهش پنج شاخص بر اساس معیارهای زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی برای ارزیابی اثرات اجرای گزینه‌ها در حوضه در نظر گرفته شده است. این شاخص‌ها بر اساس ارزیابی کمی گزینه را بررسی می‌کنند و در (جدول ۲) توضیح داده شده‌اند. شاخص پایداری کشاورزی و زیست‌محیطی بر اساس حاصل‌ضرب اطمینان‌پذیری، برگشت‌پذیری و (آسیب‌پذیری- ۱) به‌دست می‌آید که در رابطه‌های ۱ تا ۴ آمده‌اند (ASCE، ۱۹۹۸) (۳). این فرآیند برای هر شاخص C، که سری زمانی آن با C_t نشان داده می‌شود و t نشان‌دهنده طول دوره شبیه‌سازی است، قابل محاسبه می‌باشد. برای محاسبه این شاخص‌ها باید حد بالا و پایین محدوده مورد قبول تعریف شود. این حدود بر اساس قضاوت تصمیم‌گیرندگان تعیین می‌شود (ASCE، ۱۹۹۸) (۳).

1- Ultrafication

جدول ۱- پارامترهای کیفی منطقه مطالعاتی (مهاب‌قدس، ۲۰۱۰).

Table 1. Qualitative parameters of research area.

کد محدوده مطالعاتی Study area code	حساسیت اکوسیستم‌ها Sensitive ecosystems		تغذیه‌گرایی Nutrification		فعالیت‌های انسانی Human activity	کیفیت منابع آب Quality of water		آسیب‌پذیری آب زیرزمینی Groundwater Vulnerability	کیفیت خاک Quality of soil	وضعیت فرسایش Erosion Status	توسعه سازندهای شور Formation of salt
	آبی wet	خشکی dry	نیتروژن N2	فسفر p	BOD	آب سطحی Ec surface water	آب زیرزمینی EC ground water		شوری و قلیائیت Salinity and alkalinity	شدت فرسایش The rate of erosion	پهنه گسترش Zone of expansion
1101	کم low	کم low	متوسط Average	متوسط Average	زیاد high	کلاس ۲ و ٤ Class2,4	کم شور Low salt	متوسط به کم moderate for low	متوسط Average	زیاد High	کم low
1102			متوسط Average	متوسط Average	متوسط Average	کلاس ۳ Class3	شیرین No salt	متوسط به کم moderate for low	---	کم و خیلی کم Low and very low	ناچیز little
1103		نسبتاً کم Modest	متوسط Average	متوسط Average	متوسط Average	کلاس ۳ Class3	کم شور Low salt	متوسط به کم moderate for low	کم low	کم و خیلی کم Low and very low	کم low
1104			متوسط Average	متوسط Average	کم low	کلاس ۲و۳ Class2,3	لب شور Nearly salt	نواحی شرقی: کم، نواحی غربی: متوسط به کم East:low,west:moderate for low	---	زیاد High	کم low
1105	کم low	زیاد High	متوسط Average	متوسط Average	کم low	کلاس ٤ Class4	لب شور Nearly salt	متوسط به زیاد moderate for high	متوسط Average	زیاد High	متوسط Average
1106	کم low	کم low	متوسط Average	متوسط Average	کم low	کلاس ۳و٤ Class3,4	لب شور Nearly salt	متوسط به کم moderate for low	زیاد High	کم و خیلی کم Low and very low	کم low

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

کد محدوده مطالعاتی Study area code	حساسیت اکوسیستم‌ها Sensitive ecosystems		تغذیه‌گرایی Nutrification		فعالیت‌های انسانی Human activity	کیفیت منابع آب Quality of water		آسیب‌پذیری آب زیرزمینی Groundwater Vulnerability	کیفیت خاک Quality of soil	وضعیت فرسایش Erosion Status	توسعه سازندهای شور Formation of salt
	آبی wet	خشکی dry	نیتروژن N2	فسفر p	BOD	آب سطحی Ec surface water	آب زیرزمینی EC ground water		شوری و قلیائیت Salinity and alkalinity	شدت فرسایش The rate of erosion	پهنه گسترش Zone of expansion
1107		نسبتاً کم Modest	متوسط average	متوسط average	متوسط average	کلاس ۳ Class3	کم شور Low salt	متوسط به زیاد moderate to high	متوسط average	کم و خیلی کم Low and very low	کم low
1108		کم low	متوسط average	متوسط average	کم low	کلاس ۱ Class1	کم شور Low salt	نواحی شرقی: زیاد East:high	---	زیاد high	کم low
1109			متوسط average	متوسط average	کم low	کلاس ۱ Class1	کم شور Low salt	متوسط به زیاد moderate to high	متوسط average	متوسط average	کم low
1110	کم low	کم low	متوسط average	متوسط average	متوسط average	کلاس ۲ Class2	کم شور Low salt	متوسط به زیاد moderate to high	متوسط average	زیاد high	متوسط average
1111			متوسط average	متوسط average	کم low	کلاس ۲ Class2	شیرین No salt	متوسط به کم moderate to low	کم low	متوسط average	کم low
1112			متوسط average	متوسط average	متوسط average	کلاس ۲ Class2	کم شور Low salt	متوسط به زیاد moderate to high	---	زیاد high	کم low
1113	کم low	کم low	متوسط average	متوسط average	کم low	کلاس ۲و۳ Class2,3	---	---	زیاد high	متوسط average	ناچیز little

جدول ۲- شاخص‌های ارزیابی.

Table 2. Performance indicators.

معیار criteria	شاخص index	تعریف definition
زیست محیطی environmental	۱: شاخص پایداری کشاورزی (ASI) Agricaltural sustainability index	جمع زمانی نسبت تامین به تقاضا در سری زمانی (تقاضاهای کشاورزی) بر اساس میزان عملکرد که حد قابل‌قبول بین ۰/۸ و ۱ می‌باشد. The temporal aggregation of supply/demand ratio time series (only for irrigation) according to the performance measures where the satisfactory range is considered between 0.8 and 1
	۲: شاخص پایداری زیست‌محیطی (ESI) Environmental sustainability index	جمع زمانی نسبت تامین به تقاضا در سری زمانی (تقاضاهای زیست‌محیطی) بر اساس میزان عملکرد که حد قابل‌قبول ۱ می‌باشد. The temporal aggregation of supply/demand ratio time series (only for environmental needs) according to the performance measures where the satisfaction value is 1 (full coverage)
اجتماعی social	۱: اطمینان‌پذیری تامین آب شرب Reliability of water supply	اطمینان‌پذیری تأمین لینک‌های انتقال آب شرب که مقدار تامین به تقاضا معادل ۱ می‌باشد. The supply reliability of transmission link for domestic demands that supply/demand ratio equal 1.
	۲: کمبود آب Water unme	نشان‌دهنده میزان کمبود سالانه برای آبیاری اراضی کشاورزی براساس (میلیون مترمکعب) Represents annual unmet demand for irrigation (annual average is used in the evaluations)
اقتصادی economical	۱: نسبت سود به هزینه (B/C) Benefit to cast	نسبت کل سود به کل هزینه (B/C) که بر اساس ارزش اقتصادی آب به‌دست آمده است. Σ Benefits / Σ Costs of management alternatives for the simulation period

اطمینان‌پذیری (RE) احتمال اینکه مقدار C_t در محدوده قابل‌قبول واقع شود به‌صورت رابطه ۱ محاسبه می‌شود به‌عبارتی تعداد دفعاتی که نسبت تأمین به تقاضای کشاورزی بین ۰/۸ و ۱ باشد تقسیم بر کل دوره شبیه‌سازی شاخص اطمینان‌پذیری است (ASCE، ۱۹۹۸) (۳).

$$\mathrm{RE(C)} = \frac{(\text{Number of Satisfacto ry } C_t \text{ values})}{(\text{Total number of simulated periods})} \quad (۱)$$

برگشت‌پذیری (RS) شاخصی است که سرعت بازگشت از شرایط نارضایت‌بخش را نشان می‌دهد یا به عبارتی احتمال اینکه مقدار رضایت‌بخش C_{t+1} (تامین به تقاضا بین ۰/۸ و ۱ باشد) پس از مقدار شکست C_t (مقدار تامین به تقاضا زیر ۰/۸ باشد) ظاهر شود که در رابطه ۲ آمده است (ASCE، ۱۹۹۸) (۳).

$$\mathrm{RS(C)} = \frac{\begin{pmatrix}\text{Number of times a satisfactory } C_{t+1} \\ \text{values follows an unsatisfactory } C_t \text{ value}\end{pmatrix}}{(\text{Total number of unsatisfactory values})} \quad (۲)$$

آسیب‌پذیری (VU) نشان‌دهنده بزرگی و یا مدت زمان شکست در یک سری زمانی است. بزرگی شکست مقداری است که C_t از حد بالا و یا حد پایین مقدار رضایت‌بخش تجاوز کند که در رابطه ۳ نشان داده شده است (ASCE، ۱۹۹۸) (۳).

$$VU(C) = \frac{(\sum \text{individual extents of } C_t \text{ failures})}{\begin{pmatrix}\text{Total number of individual} \\ \text{extents of } C_t \text{ failures}\end{pmatrix}} \quad (۳)$$

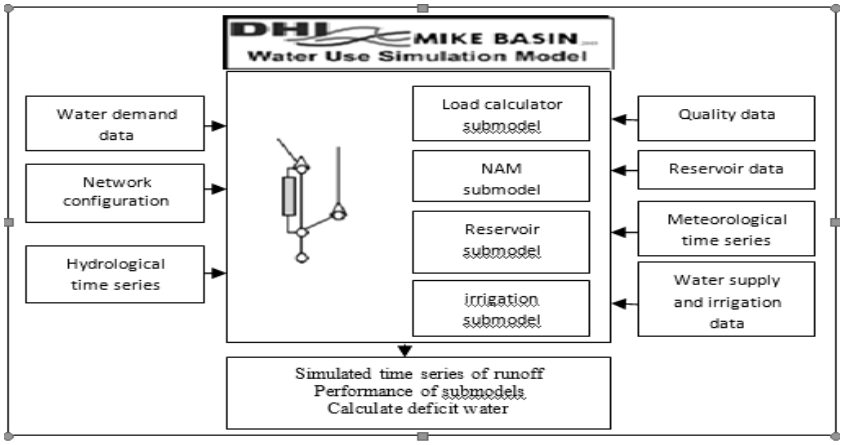
برای پایداری، معیارهای اطمینان‌پذیری و برگشت‌پذیری حداکثر و آسیب‌پذیری حداقل می‌باشد. بنابراین شاخص پایداری کشاورزی (ASI) و شاخص پایداری زیست‌محیطی (ESI) با رابطه ۴ محاسبه می‌شوند (ASCE، ۱۹۹۸) (۳).

$$ASI = RE_{(Si/Di)} * RS_{(Si/Di)} * (1 - VU_{(Si/Di)}) \quad (۴)$$

(S/D) نسبت تامین به تقاضا در شاخص پایداری کشاورزی برای تقاضاهای کشاورزی و در شاخص پایداری زیست‌محیطی برای تقاضاهای زیست‌محیطی است. محدوده قابل‌قبول برای تأمین تقاضای کشاورزی بین ۰/۸ و ۱ و برای تقاضای زیست‌محیطی حد بالا و پایین ۱ در نظر گرفته شده است که در واقع باید کل نیاز برطرف شود (ASCE، ۱۹۹۸) (۳).

پارامتر پاسخ (R): ارزیابی حوضه ارس بر اساس نیروهای فشاری و مشاهده اثرات آن بر حالت سیستم توسط شاخص‌های در نظر گرفته شده کمی و کیفی وضعیت پایداری حوضه را به‌صورت مکانی نشان می‌دهد. در این مرحله راهکارها، تصمیمات و سیاست‌های اتخاذ شده در قالب پارامتر پاسخ به‌منظور بهبود حالت سیستم بر اساس خروجی سامانه تصمیم‌یار ارائه شده‌اند. این راهکارها شامل گزینه‌های سازه‌ای، در مدل تخصیص آب و پارامترهای کیفی حوضه می‌باشد. گزینه ۱، شامل کاهش سطح زیرکشت اراضی کشاورزی ستارخان، اردبیل، قوری‌چای و سبلان در مناطق ۱۱۰۲، ۱۱۰۳ و ۱۱۰۴ که دارای بیش‌ترین میزان درصد کمبود آب و کم‌ترین شاخص پایداری کشاورزی هستند. گزینه ۲، افزایش راندمان آبیاری به‌میزان ۱۰ درصد که با پژوهشات صورت گرفته در این منطقه (مهاب‌قدس، ۲۰۱۰)، با آموزش کشاورزان برای استفاده بهینه از آب و استفاده از سامانه‌های تحت فشار آبیاری میسر است و گزینه ۳ پوشش کانال‌های آبیاری برای کاهش تلفات نشت، از ۳۰٪ به ۱۵٪ که با مطالعات میدانی صورت‌گرفته و پژوهشات انجام‌شده (مهاب‌قدس، ۲۰۱۰) (۱۴)، به‌دست آمده است و این گزینه‌ها در مدل شبیه‌سازی منابع و مصارف Mike Basin اعمال و شبیه‌سازی تعادل عرضه و تقاضا در دوره ۳۴ ساله انجام شده است.

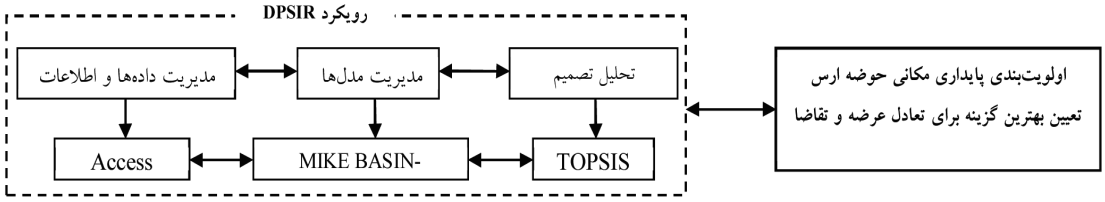
شبیه‌سازی منابع و مصارف در مدل MIKE BASIN: این مدل در مؤسسه DHI و در سال ۱۹۹۷ توسعه داده شده است. این نرم‌افزار مدلی برای شبیه‌سازی میزان دسترسی مصرف‌کنندگان موجود در سطح یک حوضه آبریز به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و بررسی تغییرات کیفی آب در طول مسیر می‌باشد (شکل ۳). شماتیک منابع و مصارف حوضه ارس در این مدل در شکل ۱ (ب) نشان داده شده است.



شکل ۳- مدل شبیه‌سازی MIKE BASIN (DHI, 2009).

Figure 3. MIKE BASIN model simulation.

ساختار سامانه تصمیم‌یار: این سامانه شامل سه بخش اصلی مدیریت داده، مدیریت مدل‌ها و تحلیل تصمیم است. مدیریت داده به‌وسیله بانک داده ACCESS موجود در نرم‌افزار Mike Basin حمایت و همه اطلاعات مورد نیاز وارد شده‌است (DHI، ۲۰۰۳) (۶). مدیریت مدل‌ها، توسط ترکیب برقرار شده بین Mike Basin و Excel به‌وسیله Visual Basic.Net انجام شده است. سناریوهای ادامه وضع موجود، خوش‌بینانه و بدبینانه با تغییرات در آبدهی و تقاضا در سامانه منابع و مصارف حوضه ارس توسط مدل برنامه‌ریزی منابع آب MIKE BASIN اجرا شده و خروجی‌های آن شامل مقادیر تأمین، کمبود تقاضاهای کشاورزی، تخصیص شرب و صنعت، رهاسازی از سدها، تولید انرژی برقابی و ... برای محاسبه شاخص‌های تعریف شده در (جدول ۲)، توسط لینک برقرار شده از نتایج ذخیره شده مدل MIKE BASIN در بانک داده خوانده می‌شود و محاسبات تعیین مقدار شاخص توسط کدهای نوشته‌شده در EXCEL محاسبه می‌شود. در قسمت تحلیل تصمیم، ماتریس ارزیابی شاخص‌ها در سناریوهای مختلف با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره Topsis محاسبه شده و اولویت‌بندی گزینه‌ها برای تعیین پایداری حوضه و نیز تعیین بهترین راهکار سازه‌ای استخراج می‌شود.



شکل ٤- سامانه تصمیم‌یار مدیریت یکپارچه منابع آب بر اساس رویکرد DPSIR.

Figure 4. IWRM decision support system based on DPSIR approach.

روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS: در این روش گزینه انتخابی باید کوتاه‌ترین فاصله از جواب ایده‌آل و دورترین فاصله از جواب غیرایده‌آل را داشته باشد. مقدار فاصله هر گزینه تا جواب‌های ایده‌آل و غیر ایده‌آل با رابطه‌های زیر محاسبه می‌شوند.

$$s_{i+} = \left[\sum_j (v_{ij} - v_{+j})^2\right]^{0.5} \quad (۵)$$

$$s_{i-} = \left[\sum_j (v_{ij} - v_{-j})^2\right]^{0.5} \quad (۶)$$

که در آن، v_{ij} مقدار نرمال موزون عملکرد گزینه i ام از دید معیار j ام است. v_{+j} و v_{-j} به‌ترتیب مقدارهای آرمانی و نامطلوب برای معیار j ام هستند. رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از محاسبه نزدیکی نسبی C_{i+} هر گزینه به جواب ایده‌آل به‌دست می‌آید.

$$c_{i+} = \frac{s_{i-}}{s_{i+} + s_{i-}} \quad (۷)$$

نتایج و بحث

ماتریس ارزیابی شاخص‌ها: مقادیر شاخص‌های محاسباتی همان‌طور که شرح داده‌شد در مدل MIKE BASIN-EXCEL برای هر سناریو در کل حوضه در (جدول ۳) نشان داده شده است. مقادیر این جدول تغییرات ایجاد شده در حوضه بر اثر اجرای هر سناریو را نشان می‌دهد. چنان‌چه تغییرات

آبدهی رودخانه‌های حوضه در ۳۴ سال آینده مانند سری تاریخی باشد و مقادیر تقاضاهای کشاورزی، شرب و صنعت مانند شرایط فعلی، بنابراین در سناریوی خوش‌بینانه وضعیت شاخص‌ها بهتر و در بدبینانه بدتر از ادامه وضع موجود است و شاخص کمبود آب که مقدار کم‌تر آن رضایت‌بخش است در سناریوی بدبینانه شدیدتر و معادل ۴۴۵/۸ میلیون مترمکعب است. مقادیر این شاخص‌ها برای هر کد منطقه مطالعاتی به‌صورت مجزا محاسبه شده و برای تصمیم‌گیری نهایی به (جدول ۱) اضافه شده است تا همراه با شاخص‌های موجود در این جدول هم‌زمان سنجیده شود.

جدول ۳- ماتریس ارزیابی شاخص‌های کمی در کل حوضه.

Table 3. Performance matrix of quantitative indicators at basin scale.

معیار اقتصادی Economic criteria	معیار اجتماعی Social criteria		معیار زیست‌محیطی Environmental criteria		معیار criteria
نسبت سود به هزینه Benefit to cast	*کمبود آب Water unmet (MCM)	اطمینان‌پذیری تامین آب شرب Reliability of domestic water supply	پایداری زیست‌محیطی Environmental sustainability (ESI)	پایداری کشاورزی Agricultural sustainability (ASI)	شاخص Index / سناریو Scenario
1.26	396.8	0.97	0.117	0.14	ادامه وضع موجود Buseness as usaual
1.48	331.79	0.976	0.117	0.162	خوش‌بینانه optimistic
1.02	445.8	0.85	0.075	0.11	بدبینانه pesimistic

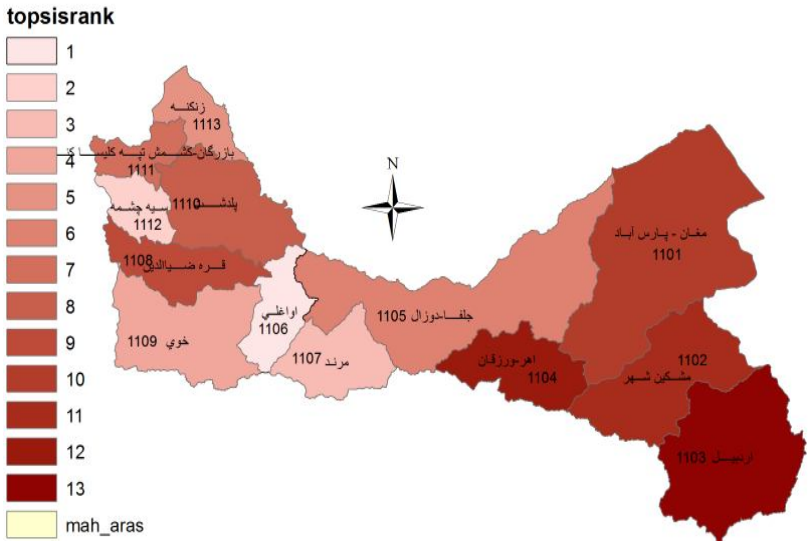
* این شاخص باید حداقل باشد.

تعیین پایداری حوضه آبریز: پایداری مناطق سیزده‌گانه حوضه ارس در شرایط ادامه وضع موجود بر اساس مقادیر شاخص‌های به‌دست آمده در (جدول‌های ۱ و ۳) و با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس در (جدول ۴) تعیین شده است. این نتایج براساس خصوصیات کیفی حوضه که در (جدول ۱) ارائه شده و مقادیر شاخص‌های کمی مربوط به وضعیت منابع و مصارف حوضه که در (جدول ۳) ارائه شد، بیانگر آن است که، مناطق شرقی حوضه ارس که در (شکل ۴) با رنگ تیره مشخص شده است از ناپایداری کمتری نسبت به کل حوضه برخوردار است. کد ۱۱۰۶ که مربوط به منطقه اواغلی است با مقدار ۰/۶۷ پایدارترین منطقه این حوضه می‌باشد که جمعیت کم و شرایط کیفی این منطقه که در (جدول ۱) نیز مشخص است نقش مؤثری در پایداری آن داشته است. پس از آن سیه‌چشمه، مرند، خوی، زنگنه و جلفا نیز در رتبه‌های دوم تا ششم پایداری هستند.

جدول ٤- مقادیر محاسبه شده با روش تاپسیس و رتبه مناطق مطالعاتی.

Table 4. Values calculated by using TOPSIS and rank of research areas.

1113	1112	1111	1110	1109	1108	1107	1106	1105	1104	1103	1102	1101	گزینه‌ها alternative
0.84	0.45	0.94	0.92	0.45	1.14	0.42	0.49	0.9	1.41	1.42	1.3	1.2	فاصله از ایده‌آل مثبت The ideal distance from the positive point
1.36	0.88	1.21	0.99	0.74	1.06	0.8	1	1.31	0.78	0.77	0.9	0.84	فاصله از ایده‌آل منفی The ideal distance from the negative point
0.62	0.66	0.56	0.52	0.62	0.48	0.66	0.67	0.59	0.36	0.35	0.41	0.412	ضریب نزدیکی به گزینه Nearby index to option
5	2	7	8	4	9	3	1	6	12	13	11	10	رتبه Rank



شکل ٥- رتبه‌بندی پایداری مناطق حوضه آبریز ارس با رویکرد DPSIR و بر اساس روش تاپسیس.

Figure 5. Rating stability Aras catchment areas based on DPSIR approach and TOPSIS method.

مدیریت حوضه بر اساس پایداری: به‌منظور مدیریت حوضه در مناطق با پایداری کم‌تر که بیش‌تر بخش‌های شرقی حوضه را شامل می‌شود، گزینه‌های سازه‌ای با بررسی مطالعات انجام شده در این حوضه (مهاب‌قدس، ۲۰۱۰) که در پارامتر پاسخ توضیح داده شد در مدل برنامه‌ریزی منابع آب Mike basin وارد

شده و برای هر سناریو در هر گزینه اجرا می‌شود و شاخص‌ها دوباره محاسبه می‌شود. ماتریس ارزیابی سه‌بعدی به‌دست آمده شامل سناریو- گزینه و شاخص با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS حل شده و رتبه گزینه‌های پیشنهادی برای اجرا تعیین می‌شود. نتایج اولویت‌بندی گزینه‌ها در هر سناریو در (جدول ۵) ارائه شده است.

نتایج بیانگر آن است که برای هر سه سناریو ادامه وضع موجود، خوش‌بینانه و بدبینانه، بر اساس روش Topsis، گزینه افزایش راندمان، در بهبود تعادل عرضه و تقاضا و افزایش پایداری مؤثرترین راهکار می‌باشد، زیرا در هر سه سناریو، اولویت اول را به‌دست آورده است. گزینه پوشش کانال‌ها در سناریوی ادامه وضع موجود و سناریوی بدبینانه، اولویت دوم و در سناریوی خوش‌بینانه اولویت سوم را به‌دست آورده است وگزینه کاهش سطح زیرکشت که در سناریوی ادامه وضع موجود و بدبینانه در رتبه سوم قرار گرفته‌است از اهمیت کم‌تری در اجرا برخوردار می‌باشد.

جدول ۵- ترتیب گزینه‌های اجرایی بر اساس مقادیر شاخص‌های کمی.

Table 5. The order of executive options based on quantitative options.

سناریوها scenario	گزینه‌ها alternative	پایداری کشاورزی agricultural sustainability (ASI)	پایداری زیست‌محیطی Environmental sustainability (ESI)	اطمینان‌پذیری تأمین آب شرب Reliability of domestic water supply	کمبود آب Water unmet (MCM)	نسبت سود به هزینه Benefit to cast ratio	رتبه هر گزینه (تاپسیس) Rank of alternative (Topsis)
ادامه وضع موجود Bussiness as usual	کاهش سطح زیرکشت Reduce agricultural area	0.167	0.122	0.979	280.65	1.26	3
	افزایش راندمان Increase water efficiensy	0.167	0.114	0.981	183.27	1.14	1
	پوشش کانال‌ها Canal maintanance	0.169	0.12	0.981	259.1	1.3	2
خوشبینانه Optimistic	کاهش سطح زیرکشت Reduce agricultural area	0.174	0.12	0.985	221.18	1.47	2
	افزایش راندمان Increase water efficiensy	0.178	0.14	0.984	155.08	1.32	1
	پوشش کانال‌ها Canal maintanance	0.173	0.143	0.985	215.44	1.51	3
بدبینانه Pessimistic	کاهش سطح زیرکشت Reduce agricultural area	0.133	0.101	0.864	318	1.18	3
	افزایش راندمان Increase water efficiensy	0.145	0.102	0.867	292.53	1.089	1
	پوشش کانال‌ها Canal maintanance	0.143	0.101	0.824	316.9	1.22	2

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده در این پژوهش شامل مقادیر کمی شاخص‌ها در هر سناریو است که به تنهایی برای تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران مورد توجه است و به‌علاوه ارزیابی پایداری مکانی حوضه آبریز ارس نشان می‌دهد مناطق شرقی حوضه از پایداری کم‌تری برخوردار هستند و این منطقه که به دره‌رود هم نام‌گذاری شده در حال حاضر با وجود شهرهای بزرگ و تقاضاهای شرب و صنعت زیاد بر اساس مطالعات صورت گرفته بیش‌ترین کمبود را داراست در گام بعدی بهترین راهکارهای سازه‌ای در مدیریت تقاضا با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در مناطق با پایداری کم‌تر تعیین شد و مطابق آن‌چه ییلماز و هارمانسیوگلو (۲۰۱۰، ۲۰۱۲)، وانو و همکاران (۲۰۱۰)، گنگ و واردلا (۲۰۱۳) ارائه کردند، گزینه افزایش راندمان به‌عنوان گزینه برتر در مدیریت عرضه و تقاضا در حفظ پایداری حوضه آبریز معرفی شده است (۹، ۱۶ و ۱۸). در نهایت، مدیریت یکپارچه منابع آب در چارچوب DPSIR به‌صورت مکانی در حوضه ارس در این پژوهش اجرا شده است.

منابع

1.Abrishamchi, A., Ebrahimian, A., Tajrishi, M., and Mariño, M.A. 2005. Case study: application of multicriteria decision making to urban water supply, J. Water Resour. Plan. Manage. 131: 4. 326-335.

2.Ako, A., Eyong, G.E.T., and NKeng, G.E. 2009. Water Resources Management and Integrated Water Resources Management (IWRM) in Cameroon. Water Resources Management. 24: 871-888.

3.American Society of Civil Engineers (ASCE). 1998. Sustainability Criteria for Water Resources Systems. (Task Committee on Sustainability Criteria, Water Resources Planning and Management Division, ASCE and Working Group, UNESCO/IHP IV Project M-4.3). ASCE, Reston, VA.

4.Chaves, H.M.L., and Alipaz, S. 2007. An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index. Water Resource Management. 21: 883-895.

5.Christensen, F. 2004. Coupling between the River Basin Management Model (MIKE BASIN) and the 3D Hydrological Model (MIKE SHE) with use of the OpenMI System. 6th International Conference on Hydroinformatics. Singapore. 21-24 June, 2: 1163-1170

6.Danish Institute of Hydrology. MIKE BASIN. 2003. A versatile decision support tool for integrated water resources management and planning, DHI Water and Environment, Denmark. Unesco-IHE.

7.Densham, P.J., and Goodchild, M.F. 1989. Spatial decision support systems: a research agency.GIS/LIS'89 Proc.Vol2, American Congress on Surveying and Mapping.Bethesda.

8.DHI, MIKE BASIN-GIS-based Water Resource Modeling Package, 2009.

9.Geng, G., and Wardlaw, R. 2013. Application of Multi-Criterion Decision Making Analysis to Integrated Water Resources Management. Water Resour Manage. 27: 3191-3207.

10.Giupponi, C., Mysiak, J., Fassio, A., and Cogan, V. 2004. MULINO-DSS: a computer tool for sustainable use of water resources at the catchment scale. Mathematics & Computers in Simulation. 64: 1. 13-24.

11.Humberto, S.H., Ignacio, R.M.D., María Teresa, A.H., and Alfredo, G.O. 2009. Mathematical modeling for the integrated management of water resources in hydrological basins. Water Resources Management. 23: 4. 721-730.

12.IMPRESS. 2002. Guidance for the analysis of pressures and impacts in accordance with the Water Framework Directive, Common Implementation Strategy Working Group. 156p.

13.Leemhuis, C., Jung, G., Kasei, R., and Liebe, J. 2009.The Volta Basin Water Allocation System: assessing the impact of small-scale reservoir development on the water resources of the Volta basin, West Africa. J. Adv. Geosci. 21: 57-62.
14.Mahabghods consulting engineering. 2010. Update the State Water Plan Aras, Sefidrood, Gorganrood, Atrak, Urmia watersheds. Aras synthesis Report.
15.Sullivan, C. 2002. Calculating a water poverty index. World Development. 30: 7. 1195-1210.
16.Vano, J.A., Voisin, N., Cuo, L., Hamlet, A.F., Elsner, M.M., Palmer, R.N., Polebitski, A., and Lettenmaier, D.P. 2009. Multi-model assessment of the impacts of climate change on water management in the Puget Sound region, Washington, USA. Washington FINAL DRAFT (2.10.09) - Page 41 Climate Change Impacts Assessment: Evaluating Washington's future in a changing climate.
17.Yilmaz, B., and Harmancioglu, N.B. 2010. An indicator based assessment for water resources management in Gediz River Basin, Turkey. Water Resources Management. 24: 15. 4359-4379.
18.Yilmaz, B., and Harmancioglu, N.B. 2012.Comparative assessment of water management indicators in the Gediz river basin with foreseen climate scenarios. European Water. 37: 27-32.
19.Zeeb, S. 2010. Adaptation to Climate Change in the Kura-Aras River Basin, River Basin Snapshot Draft for Discussion, Competence Center Water and Waste Management, 46p.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(2), 2015
http://jwsc.gau.ac.ir

Sustainability Criteria in Assessment of Integrated Water Resources Management in the Aras Basin Based on DPSIR Approach

***M. Hafezparast[1], Sh. Araghinejad[2] and S. Sharifazari[3]**

[1]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Razi University,
[2]Associate Prof., Dept. of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran,
[3]Faculty of Member, Dept. of Water Engineering, University of Zabol
Received: 05/30/2013; Accepted: 06/03/2014

Abstract

Background and Objectives: Stability of catchment with stability criteria in different ways and by many researchers has been estimated. Such as Water poverty index (Sullivan, 2002), Canadian water sustainability index by Policy Research Initiative and Watershed sustainability indecies (Chavez and Alipaz, 2007) (15, 4). Integrated water resources management in large scale basins should consider economic, social and environmental criteria for water resource planning. This type of management with DPSIR framework takes executive shape.

Materials and Methods: Therefore, in this study, Integrated Water Resources Management based on calculating of sustainability indices in the economic, social and environmental terms of DPSIR framwork were evaluated. This framework includes Driving Force- Pressures-State-Impact-Response terms. Driving forces in the form of three scenarios such as continue the status quo, optimistic and pessimistic; have been assessed in Mike Basin. The status quo scenario takes into account the current situation for the future of the basin and river discharge time series and demands for domestic, industry and agriculture in the future, such as the status quo. The optimistic scenario creates a positive climate change in the region, increasing water availability and constant water demand consideration. In this scenario river flow in the scenario of continuing the status quo as much as 6.7 percent and the rate of temperature, rainfall and agricultural levels constant, such as the status quo scenario. Pessimistic scenario represents a reduction of available water resources and increasing demand (16, 19). By executing each scenario, system resources and demands, including allocating and deficit change the state of the system and the simulation results of mike basin are inserted to excel and the effects of implementation of each management options with calculating indecies in mike basin-excel decision support system helps decision makers and Stakeholders to Decision-making and policy-making. Multi-criteria decision-making methods to solve the problems having a three-dimensional matrix include scenarios, options and indecies are essential. One of these methods of ranking of options is based on the distance of ideal point is "TOPSIS" method.

Results: TOPSIS method for evaluation of quantitative and qualitative indicators matrix in scale of spatial map by GIS software indicated that the Avagholi district, has the good condition regarding sustainability but also, the places located in the eastern of the Aras basin such as Ardebil, Meshkin Shahr, Ahar-Varzaghan, have low sustainability than the whole basin. To improve the state of the system, in the Response parameter, three structural alternatives are defined for demand management. The results of the MCDM method showed that the option of "increase water efficiency" was better than decrease cultivated area and canal maintenance in all scenarios.

Conclusion: In this study, combination of quantitative and qualitative indicators has assessed the sustainability of thirteen areas of Aras catchment within the "DPSIR" framework was done. Based on this framework five factors of driving force- Pressure- State- Impact- Response were defined to Mike basin water resources simulation model. The output of this model is intered to excel to calculate indicators. Based on TOPSIS multicriteria decision making that is useful to solve three dimensional matrixes of scenario-alternative- indecies, the east area of Aras basin has less sustainability than the others. Due to alternative evaluation the increase of water efficiency help improve watershed sustainability based on indecies defined to the research area.

Keywords: DPSIR, Multi criteria decision making (MCDM), Topsis, Mike Basin

* Corresponding Author; Email: m.hafezparast@razi.ac.ir