



مجله علمی

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران / سال یازدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۸
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.11, No. 1, Spring 2019

۱۹-۲۲



ارزیابی چندمعیاره سناریوهای تخصیص منابع آب در حوضه‌های کم‌آب،

مبتنی بر روش TOPSIS و مدل مدیریت منابع آبی WEAP

سوگل مرادیان^{۱*}، محمد طالعی^۲، قاسم جوادی^۳

۱. دانشجوی دکتری مهندسی عمران، آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲. دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، گروه سیستم اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳. دانشجوی دکتری مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۴. عضو هیأت علمی گروه مهندسی عمران-نقشه‌برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۶/۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۱۲

چکیده

تأمین آب و مدیریت صحیح منابع آب، یکی از چالش‌های جدی مدیران و تصمیم‌گیران این حوزه است. مسأله تصمیم‌گیری و تلاش برای یافتن یک راهکار مناسب در حوضه‌های کم‌آب جهت حل مشکل کم‌آبی، به تخصیص بهینه و اولویت‌بندی مصرف آب بین بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت و تأمین نیازهای زیست‌محیطی منطقه توجه دارد. این تحقیق با ارائه چارچوبی سیستماتیک و مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار WEAP، به بررسی اثرات شکل‌های مختلف توسعه بر سیستم می‌پردازد. جهت بررسی موردی، این مدل در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به کار گرفته شد. سیاست‌های موجود برای حل مشکلات این حوضه (ارائه شده توسط ستاد احیای دریاچه ارومیه)، به انتقال آب از دریاچه خزر به این دریاچه تأکید دارند که فعالیتی پر هزینه بوده و اثرات زیست‌محیطی و مشکلات متعددی دربر خواهد داشت. در این مطالعه این سناریو به همراه تعدادی از دیگر سناریوهای پیشنهاد شده توسط این ستاد، با استفاده از جعبه‌ابزار حامی تصمیم‌گیری مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد ارزیابی قرار گرفته و انتخاب بهترین سناریو به کمک این ابزار و بر مبنای روش TOPSIS انجام گرفت. در ادامه به منظور تعیین نحوه تخصیص بهینه آب به بخش‌های مصرفی و بر اساس دیدگاه همکاری ذینفعان در حل مشکل این حوضه، با پیشنهاد ۴ سناریو مبتنی بر ائتلاف‌های مختلف ذینفعان، از نظریه بازی‌ها استفاده شد و نتایج نشان داد که با تخصیص آب به ذینفعان و تشکیل بازی کاملاً همکارانه و استفاده از روش ارزش شاپلی، سود همه ذینفعان افزایش می‌یابد و سناریوی کاملاً همکارانه می‌تواند به عنوان جایگزینی برای سناریوی انتقال آب به این حوضه مطرح شود.

کلید واژه‌ها: تصمیم‌گیری چندمعیاره، بازی، حوضه‌های کم‌آب، دریاچه ارومیه، روش TOPSIS

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ایران، تهران، خیابان ولیعصر (عج)، تقاطع میرداماد، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، کد پستی: ۱۹۹۶۷۱۵۴۳۳.

۱. مقدمه

رویکرد کلی به‌هم پیوسته و جامع دارد تا بتواند ارتباطی مناسب بین آب و توسعه اجتماعی و اقتصادی در جهت رسیدن به بهره‌وری اقتصادی، عدالت اجتماعی و پایداری زیست‌محیطی برقرار کند. تصمیم‌گیری جامع و به‌هم پیوسته با ارائه یک جعبه‌ابزاری ممکن می‌شود که می‌تواند نتایج هر بخش را با مطالعه مرتبط کرده و این امکان را برای تصمیم‌گیرنده فراهم کند تا تصمیم جامعی اتخاذ نماید. این مهم می‌تواند با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره محقق شود.

جدول ۱، تاریخچه استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت منابع آب را نشان می‌دهد. این تصمیم‌گیری بر مبنای مجموعه‌ای از شاخص‌ها و با در نظر داشتن معیارهایی برای مقایسه در قالب یک چارچوب دینامیک است (پیرنیا و یزدان‌دوست، ۲۰۱۳ و نیکوفر و رومیانفر، ۲۰۱۱).

نیاز روبه‌رشد مصرف آب در بخش‌های مختلف مصرف یعنی شرب، صنعت و کشاورزی و از سوی دیگر محدودیت منابع آبی به‌ویژه در کشور ما، منجر به توجه ویژه به علم مدیریت منابع آب شده است؛ بنابراین بررسی، مطالعه و ارزیابی منابع آب و مدیریت تقاضا، می‌تواند نقش کلیدی در حل معضل کم‌آبی داشته باشد. این نگرش، با ایجاد یک چارچوب سیستماتیک که از طریق آن استراتژی‌ها قابل بررسی هستند، مدیریت منابع آب را به سمت توسعه پایدار^۱ سوق می‌دهد. در تعریف توسعه پایدار آمده است: "برآورده کردن نیازها و آرمان‌های نسل حاضر بدون به‌خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده برای برآورده کردن نیازهای خود" (بوتلر و دیویز، ۲۰۰۴). توسعه پایدار در تعریف از سه جنبه اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی بررسی می‌شود. بنابراین برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب، نیاز به یک

جدول ۱. تاریخچه استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت منابع آب (پیرنیا و یزدان‌دوست، ۲۰۱۳ و نیکوفر و رومیانفر، ۲۰۱۱).

روش تصمیم‌گیری	نوع مطالعه	سال	پژوهشگر(ها)
CP	تخصیص آب	۲۰۰۲	Ballestero و همکاران
تحلیل چندمعیاره	کنترل سیلاب	۲۰۰۴	Ek and Brouwer
AHP	اولویت‌بندی مدیریت آب به منظور پایداری	۲۰۰۹	Lee and Chung
فازی	کنترل سیلاب	۲۰۰۸	Fu
MAUT	IRRIGATION WATER MARKET	۲۰۰۶	Martinez and Gomez-Limon
CP	مدیریت منابع آب	۲۰۰۸	Higgins and Hajkowicz
تحلیل عدم قطعیت	تصمیم‌گیری منابع آب	۲۰۰۵	Hyde و همکاران
تحلیل چندمعیاره	مدیریت ریسک سیلاب	۲۰۰۷	Kenyon
سیستم چندمعیاره	ASSESSING DIFFERENT WATER SUPPLY OPTIONS	۲۰۰۹	Marinoni و همکاران
سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری	مدیریت منابع آب	۲۰۰۵	Mysiak و همکاران
SUB-BASIN SCALE PRIORITYZATION METHOD	BRUSH MANAGEMENT	۲۰۰۴	Olenick و همکاران
AHP	WATER ENTERPRISE ASSOCIATION	۲۰۰۸	Brenner and Peniwati
SAW-ELECTRE-TOPSIS	مدیریت منابع آب	۲۰۰۸	Qin و همکاران
OWA	کیفیت آب	۲۰۰۷	Tesfamariam and Sadiq
AHP	مدیریت منابع آب	۲۰۰۷	Srdjevic
سیستم چندمعیاره	مدیریت منابع آب روستایی	۲۰۰۴	Brunner and Starkl
GP	مدیریت منابع آب	۲۰۰۵	Khan and Xevi
فازی	مدل‌سازی منابع آب	۲۰۰۵	Zarghami and Szidarovszky
AHP- GRA	بهینه‌سازی تصفیه فاضلاب	۲۰۰۷	Zeng و همکاران
آنالیز چندمعیاره	تحلیل ریسک سیل	۲۰۰۸	Yazdandoost and Bozorgy
سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری	مدیریت انعطاف‌پذیر	۱۳۹۴	یزدان‌دوست و مرادیان
سیستم چندمعیاره	مدیریت منابع آب در شبکه توزیع	۲۰۱۶	Yazdandoost and Izadi

1. Sustainable Development

در مورد نحوه همکاری و مذاکره در منابع آب تخصیص یافته شده، کروناوتر و شامیر در سال ۲۰۰۹ مدل مناسبی تهیه نمودند. در این مدل از یک سیستم پشتیبانی در مذاکره برای کمک به دو طرف شرکت کننده در مذاکرات تخصیص منابع آب استفاده شده و آن را به عنوان راه حلی برای یافتن جواب در فضای تصمیم معرفی کرده است. می‌می و ساوالهی در سال ۲۰۰۳ به کمک یک روش بهینه‌سازی مبتنی بر روش مجموع وزنی ساده و با لحاظ معیارهای مختلف تخصیص بهینه منابع آب رودخانه اردن بین ذینفعان را ارائه نمودند. در این مقاله، به کاربرد قوانین بین‌المللی در حل اختلاف منابع آب رودخانه اردن که باعث ایجاد اختلاف در بین کشورهای ذینفع شده، پرداخته شده است و روش تصمیم‌گیری چند معیاره را به عنوان روشی برای تخصیص منابع آب رودخانه اردن بین ذینفعان معرفی کرده است؛ با این وجود صفاری و ضرغامی در سال ۲۰۱۳ نشان دادند که روش مجموع وزنی ساده برای مطالعات آبی به جهت عدم قابلیت درک پارامتر ریسک، روش مناسبی نیست. در مطالعه آتوی و چولیز در سال ۲۰۱۱ به کمک تئوری بازی‌ها و با استفاده از راه حل نش غیرمقارن^۱، سهم ذینفعان در حوضه آبریز رودخانه اردن را مشخص کردند و معلوم شد که رژیم صهیونیستی نصف کشورهای عربی سهم دارد، ولی در حال حاضر دو برابر آنها از منابع آبی مشترک مصرف می‌نماید؛ با این وجود، در این مدل تنها مطالعه آب‌های سطحی مورد ملاک بوده و سایر موارد در مطالعات تخصیص بررسی نشدند. موارد ذکر شده نشان می‌دهد استفاده از مدل‌های ریاضی دارای توانایی لازم برای تخصیص بهینه آب در حل اختلاف بر سر منابع آب بوده و کاربرد آن‌ها نشان‌دهنده کارایی و قابلیت این روش‌ها برای حل مسائل و مشکلات در مورد تصمیم‌گیری مدیریت منابع آب است (صفاری و ضرغامی، ۲۰۱۳). صفاری و ضرغامی در سال ۲۰۱۳، به بررسی روش‌های مختلف تخصیص بهینه آب‌های سطحی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. در این مطالعه، تخصیص بهینه

آب برای ذینفعان بر اساس معیار زیست‌محیطی دریاچه انجام گرفته و بنابراین مسأله تک‌بعدی در نظر گرفته شده است. لذا تحقیق حاضر با در نظر گرفتن مسأله به صورت یک بازی و با در نظر گرفتن چهار معیار اصلی زیست‌محیطی (حجم دریاچه ارومیه) و نیز معیارهای سهم آب بخش‌های صنعت، کشاورزی و شرب، در راستای پیشبرد آن مطالعه، انجام شده است. همچنین در مطالعه حاضر، تنها به تخصیص آب در بخش آب‌های سطحی پرداخته نشده و همه سهمیه آب هر یک از ذینفعان در محاسبات منظور شده است.

حوضه آبریز دریاچه ارومیه با دارا بودن دومین دریاچه شور دنیا با مساحت حدود ۵۵ هزار کیلومتر مربع متأسفانه در دهه‌های اخیر به دلیل تغییر شرایط محیطی و اقلیمی، مدیریت ناصحیح و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آبی به ویژه در بخش کشاورزی، ورود فاضلاب شهرهای اطراف به دریاچه و...، در شرایط بحرانی قرار گرفته است. در حال حاضر آب ورودی به این دریاچه کاهش و در نتیجه شوری آن افزایش یافته است که این مسائل باعث تهدید شرایط زیست‌محیطی منطقه و مشکلات آبی فراوان شده است. یکی از دلایل اصلی مربوط به این وضعیت بحرانی این است که سهم ذینفعان حوضه، مشخص نشده است، لذا حقایق زیست‌محیطی دریاچه که در این مطالعه با معیار حجم آب دریاچه بررسی شد، رعایت نمی‌شود.

در این مطالعه، سناریوی انتقال آب به دریاچه ارومیه به همراه تعداد دیگری از سناریوهای پیشنهاد شده، توسط ستاد بحران دریاچه ارومیه، با استفاده از جعبه ابزار حامی تصمیم‌گیری مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه، نحوه تخصیص بهینه آب به بخش‌های مصرفی در حوضه مورد مطالعه به کمک نظریه بازی‌ها مورد بررسی قرار گرفت. جعبه‌ابزار توسعه یافته در این پژوهش در قالب یک سامانه حامی

1 Non-Symmetric Nash Solution

چندمعیاره^۱ یا سیستم‌های حامی تصمیم‌گیری استفاده نمود. اهمیت طرح‌ریزی به عنوان یک وظیفه مهم مدیریتی است که مستلزم اخذ یک‌سری تصمیمات است؛ از قبیل این‌که: چه کاری، در چه زمانی، کجا، چگونه و توسط چه کسی (کسانی) باید انجام شود (مهرگان و همکاران، ۲۰۰۱).

فرآیند تصمیم‌گیری را می‌توان در چهار مرحله اصلی تقسیم کرد که عبارتند از: تعریف مسأله، جست‌وجو برای تعیین گزینه‌های ممکن، ارزشیابی گزینه‌ها و انتخاب یک گزینه. ترتیب قرارگیری این چهار مرحله، لزوماً از یک مسیر خطی پیروی نمی‌کند و تصمیم‌گیر ممکن است در هر مرحله از فرآیند تصمیم‌گیری، ناگزیر به برگشت به مرحله قبلی (یا مراحل قبلی) و تکرار آن‌ها (ها) باشد (مهرگان و همکاران، ۲۰۰۱). سناریو نویسی‌ها بر مبنای "اگر" و "آن‌گاه"‌ها هستند؛ به این معنا که تحت یک طراحی یا یک سیاست بهره‌برداری، به احتمال زیاد در هر زمان و در هر مکان، چه روی خواهد داد (شاهین تاج، ۲۰۱۲). با توجه به ارزش شاخص‌ها (معیارها) و اولویتی که هر یک از تصمیم‌گیرندگان به هر یک از آن‌ها می‌دهند (وزن شاخص)، گزینه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند و یکی از نتایج زیر به وجود خواهد آمد: مردود کردن گزینه بد یا تشخیص گزینه خوب، کاهش فضای تصمیم به چند گزینه؛ فهم بهتر از تأثیر گزینه‌ها و دیدگاه‌های مختلف؛ تشخیص گزینه توصیه شده؛ رتبه‌بندی گزینه‌ها؛ ارزیابی اجرا یا کیفیت فرآیند، تولیدات یا نتایج. در نهایت امتیاز محاسبه شده متناظر با هر سناریو در یک جدول ماتریس تصمیم دسته‌بندی می‌شوند (مهرگان و همکاران، ۲۰۰۱).

مدل‌های مختلفی برای تصمیم‌گیری چندشاخصه وجود دارد که یکی از معروف‌ترین آن‌ها مدل TOPSIS است که در این مطالعه از آن، به منظور حل مسأله استفاده شده است. در ادامه به تشریح این روش

تصمیم‌گیری، بر مبنای روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS طراحی شده و می‌تواند از بین سناریوهای ارائه شده، بر مبنای شاخص‌های ارائه شده، بهترین گزینه را انتخاب نماید. این شاخص‌ها، از طریق آزمودن سناریوهای مختلف و بررسی تأثیرات آن‌ها به روی عملکرد سیستم منابع آب تعریف می‌شوند. در ادامه از روش تئوری بازی‌ها بهره گرفته شد و نتایج حاصل از ائتلاف‌های مختلف بررسی شدند. با توجه به آن‌که در این تحقیق کاربرد تصمیم‌گیری در یک مطالعه موردی بررسی شده است، می‌توان آن را کاربردی دانست. از سوی دیگر، از آن‌جا که این پژوهش نتایجی را در بر خواهد داشت که مختص به ناحیه مورد مطالعه بوده، روش تحقیق، موردی-زمینه‌ای است و جهت انجام تحقیق از روش کتابخانه‌ای برای گردآوری اطلاعات استفاده شده و ابزار گردآوری نیز مشاهده بوده است. نوآوری تحقیق در ترکیب و مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و تئوری بازی‌ها در یک جعبه ابزار حامی تصمیم‌گیری در حوضه‌های کم‌آب با در نظر گرفتن معیارهای اصلی جهت ارزیابی است. رویکرد تعریف شده در این تحقیق، به منابع طبیعی معطوف بوده و سایر ساختارهای مرتبط با جامعه به‌ویژه شرایط اقتصادی و فرهنگی را پوشش نمی‌دهد.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، تصمیم‌گیران معمولاً در مسائل مدیریتی (در این‌جا تصمیم برای حل یا حداقل تخفیف مشکل کم‌آبی) با تعدادی سناریو و شاخص برای ارزیابی سناریوها روبرو هستند و یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های آن‌ها، انتخاب بهترین سناریو یا اولویت‌بندی سناریوها با توجه به معیارهای تعریف‌شده است. هنگامی که تعداد معیارها زیاد باشد، ذهن انسان دیگر قادر به اولویت‌بندی آن‌ها نخواهد بود؛ لذا در این رابطه، باید از ابزاری با عنوان روش‌های تصمیم‌گیری

1 Multi-criteria decision making

- تعیین نزدیکی نسبی (CL^*) یک گزینه به راه حل ایده‌آل:

$$CL^* = \frac{d_j^-}{d_j^- + d_j^+} \quad \text{رابطه (۳)}$$

- رتبه‌بندی گزینه‌ها: گزینه‌ای که CL آن بزرگ‌تر باشد، بهتر است (مومنی، ۲۰۰۶ و صفاری و زرغامی، ۲۰۱۳).

۲.۲. نظریه بازی‌ها^۱

در اولین قدم از تخصیص اولیه، مسئله به صورت یک بازی قابل طرح است. نظریه بازی‌ها با استفاده از مدل‌های ریاضی به تحلیل روش‌های همکاری یا رقابت موجودات منطقی و هوشمند می‌پردازد. نظریه بازی، شاخه‌ای از ریاضیات کاربردی است و در تلاش است تا به وسیله ریاضیات، رفتار را در شرایط راهبردی یا در یک بازی که در آن‌ها موفقیت فرد در انتخاب کردن، وابسته به انتخاب دیگران است، برآورد کند. این موقعیت، زمانی پدید می‌آید که موفقیت یک فرد وابسته به راهبردهایی است که دیگران انتخاب می‌کنند. هدف نهایی این دانش، یافتن راهبرد بهینه برای بازیکنان است. مدیریت منابع مشترک آبی به علت وجود ذینفعان متعدد یا اهداف و مطلوبیت‌های مختلف و لزوم مدنظر قرار دادن این اهداف در برنامه‌ریزی‌ها، یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیریت منابع آب است. اختلافات موجود در منابع مشترک آبی، می‌تواند موجب بروز اختلافات سیاسی و اجتماعی فراوان و بحران‌های ناشی از این اختلافات شود. تئوری بازی‌ها با توجه به توانایی در نظر گرفتن استراتژی‌های بازیکنان و رفتارهای مورد انتظار در ازای هر استراتژی، روش مناسبی برای حل مسائل مدیریت منابع مشترک و از آن جمله مدیریت منابع آبی مشترک است. در این بازی، سه بازیکن مطرح هستند: بازیکن اول بخش کشاورزی، بازیکن دوم مصارف خانگی (شرب و بهداشت) و بازیکن

پرداخته شده است. در این روش m گزینه به وسیله n شاخص، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. اساس این تکنیک بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی، باید کم‌ترین فاصله را با حالت ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیش‌ترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد. فرض بر این است که مطلوبیت هر شاخص، یکنواخت افزایشی یا کاهششی است. حل مسأله، مستلزم طی شش گام زیر است (مومنی، ۲۰۰۶):

- کمی کردن و بی مقیاس سازی ماتریس تصمیم (N).

- به دست آوردن ماتریس بی مقیاس موزون (V):

ماتریس بی مقیاس شده (N) در ماتریس قطری وزن‌ها ($W_{n \times n}$) ضرب می‌شود، یعنی:

$$V = N \times W_{n \times n} \quad \text{رابطه (۱)}$$

- تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی:

راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی، به صورت زیر تعریف می‌شوند:

= راه حل ایده‌آل مثبت (V_j^+)

[ردار بهترین مقادیر هر شاخص ماتریس]

= راه حل ایده‌آل منفی (V_j^-)

[ردار بدترین مقادیر هر شاخص ماتریس]

بهترین مقادیر برای شاخص‌های مثبت، بزرگ‌ترین مقادیر و برای شاخص‌های منفی، کوچک‌ترین مقادیر است و بدترین مقادیر شاخص‌های مثبت، کوچک‌ترین مقادیر و برای شاخص‌های منفی، بزرگ‌ترین مقادیر است.

- بدست آوردن میزان فاصله هر گزینه تا ایده‌آل‌های

مثبت و منفی: فاصله اقلیدسی هر گزینه تا ایده‌آل مثبت (d_j^+) و فاصله هر گزینه تا ایده‌آل منفی (d_j^-), بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$d_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

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

رابطه (۲)

در این رابطه، s تعداد اعضای ائتلاف S و N تعداد بازیکنان است. عبارت $[v(S) - v(S - i)]$ میزان سودی است که بازیکن i با پیوستن به ائتلاف S به دست می‌آورد (ضرغامی و همکاران، ۲۰۱۵).

۳.۲. تصمیم‌سازی در قالب جعبه ابزار

جعبه ابزار حل مسأله که در این پژوهش توسعه داده شده است، مشتمل بر گام‌های اصلی زیر بوده که برای بررسی کیفیت جعبه ابزار، لازم است مدل در یک محدوده مطالعاتی، اجرا شود. در ادامه این مراحل به تفصیل درباره ناحیه مورد مطالعه شرح داده خواهد شد (شکل ۱).

سوم، ذی‌نفعان بخش صنعت هستند. روش‌های مختلفی برای بازتخصیص سود ذی‌نفعان بر اساس نظریه بازی‌ها وجود دارد. بازی‌ها به دو گروه همکارانه و غیرهمکارانه تقسیم می‌شوند. در بازی‌های همکارانه رقابت بین ائتلاف‌های متشکل از بازیکنان صورت می‌گیرد. روش ارزش شاپلی^۱ یکی از مفاهیم بازی همکارانه است. در این روش، هزینه مشترک همکاری بین بازیکنان تقسیم می‌شود. در این روش فرض می‌شود که هزینه نسبی یک بازیکن هر ائتلاف، توسط افزایش هزینه‌ای که بازیکن با پیوستن به آن ائتلاف تولید می‌کند، تعیین می‌شود. تابع ارزش شاپلی با $\varphi_{i(v)}$ معرفی می‌شود که آن نشان‌دهنده سود بازیکن i است:

$$\varphi_{i(v)} = \sum_{S \in N} \frac{(s-1)!(N-s)!}{N!} [v(S) - v(S - i)]$$

رابطه (۴)



شکل ۱. مراحل انجام کار در این پژوهش

1. The Shapley Values

۳. یافته‌های پژوهش

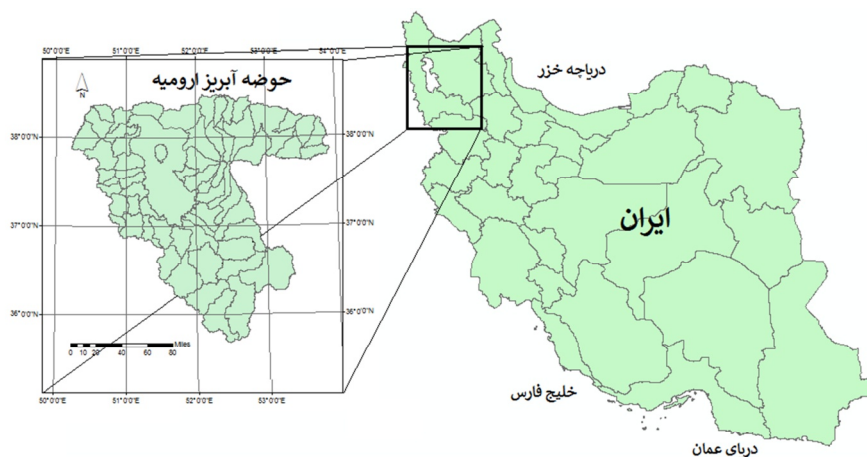
۱.۳. مطالعه موردی

مدل ساخته‌شده در این پژوهش در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به کار گرفته شده است (شکل ۲)؛ دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر با کاهش حجم شدیدی مواجه شده است که این مسأله مشکلات عدیده‌ای را در ناحیه پدید آورده است. در این راستا درباره مطالعات منابع آب از مدل WEAP برای مدل‌سازی استفاده شده و در نهایت از یک سیستم حامی تصمیم‌گیری برای انتخاب گزینه نهایی بهره‌گیری شده است. این نرم‌افزار، ابزاری رایانه‌ای برای برنامه‌ریزی به‌هم‌پیوسته منابع آب است که دارای محیط واسط گرافیکی با قابلیت استفاده در سیستم‌ها و برنامه‌های GIS است که توانایی ساخت، مشاهده و اصلاح شماتیک اجزاء یک سیستم منابع آب را داراست. این اجزاء می‌تواند بر روی نقشه‌های بدست آمده هر نرم‌افزار مبتنی بر GIS تولید شده و سیستم مورد نظر را مدل‌سازی می‌کند. ویژگی‌های نرم‌افزار WEAP را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود: چارچوب برنامه‌ریزی جامع و بهم‌پیوسته؛ استفاده از تحلیل سناریو در فهم اثرات گزینه‌های مختلف توسعه سیستم؛ قابلیت مدیریت تقاضا؛ قابلیت مدل‌سازی و برنامه‌ریزی تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی؛ قابلیت ارزیابی زیست محیطی (پیرنیا و یزدان‌دوست، ۱۳۹۲).

همان‌طور که ذکر شد، مدل ساخته شده در این پژوهش در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به کار گرفته شده است. دریاچه ارومیه در شمال‌غرب ایران قرار گرفته و بزرگ‌ترین دریاچه داخلی و دومین دریاچه آب شور جهان است. مساحت حوضه حدود ۵۵ هزار کیلومتر مربع و با دارا بودن ۳٪ از سطح کشور، ۷٪ از منابع آب سطحی کشور را به خود اختصاص می‌دهد (پیرنیا و یزدان‌دوست، ۲۰۱۳ و هاشمی، ۲۰۱۲).

جهت تعریف مدل عرضه- تقاضای حوضه آبریز دریاچه ارومیه، کل منطقه به ۲۵ زیرحوضه اصلی تقسیم‌بندی شده (تعریف شده از سوی وزارت نیروی ایران) و در هر یک از زیرحوضه‌ها تمامی داده‌ها جمع‌آوری و دسته‌بندی شده و به صورت یک مدل جامع بررسی شده است. این مراحل در سایر مناطق مطالعاتی نیز مصداق دارند. مراحل زیر روند مدل‌سازی را تشریح می‌کنند (شکل ۱):

- گام اول: شناسایی داده‌های لازم برای مدل‌سازی و جمع‌آوری داده: به طور کلی مصارف آب در حوضه‌ها شامل مصارف بخش‌های شرب و بهداشت (مناطق شهری و روستایی)، کشاورزی و صنعت است؛ از این رو نقاط تقاضا یا مصارف در سه قالب اصلی شرب و بهداشت، کشاورزی و صنعت تعریف شده است. در مدل‌سازی حوضه آبریز دریاچه ارومیه ۲۱ رودخانه در نظر گرفته شده است.



شکل ۲. محدوده مورد مطالعه: حوضه آبریز دریاچه ارومیه

- ماتریس به تعداد سناریوها در معیارها است.
- گام ششم: به کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و انتخاب بهترین سناریو به کمک روش TOPSIS: این مرحله بر اساس روش TOPSIS اجرا شده است و به کمک آن رتبه‌بندی سناریوها بر اساس معیارهای تعیین شده انجام شد.
- گام هفتم: به کارگیری روش‌های تخصیص بهینه به کمک تئوری بازی‌ها (روش ارزش شاپلی): در این گام مسئله، پس از تشکیل ائتلاف‌ها، میزان نیاز آبی تأمین شده برای هر یک از بازیگران شرب، صنعت و کشاورزی و نیز حجم دریاچه ارومیه در نرم‌افزار WEAP محاسبه می‌شود. برای سهولت در امر مقایسه، سال ۲۰۲۰ به عنوان سال مرجع در نظر گرفته شد و نتایج حاصل برای این سال با یکدیگر مقایسه شد. ابتدا مدل WEAP برای بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت مقداری آب تخصیص داد که برای ورود مسئله به بازی، این مقادیر تخصیص، همان مقادیر تخصیص مربوط به ائتلاف^۱‌های جزئی (کشاورزی، شرب و صنعت) در نظر گرفته شد. در ادامه چهار سناریو در مدل ساخته شد که سناریوها پنج ائتلاف را در بر گرفتند:
 - ائتلاف غیرهمکارانه^۲ اول: شرب، صنعت، کشاورزی (خروجی مدل، بدون سناریو)
 - ائتلاف نیمه‌همکارانه^۳ اول: شرب+صنعت (خروجی مدل، سناریو اول)
 - ائتلاف نیمه‌همکارانه دوم: شرب+کشاورزی (خروجی مدل، سناریو دوم)
 - ائتلاف نیمه‌همکارانه سوم: صنعت+کشاورزی (خروجی مدل، سناریو سوم)

- گام دوم: تهیه نقشه‌های raster مربوطه مثل: لایه رودخانه‌ها، لایه آب‌های زیرزمینی، لایه جانمایی سدها، لایه دریاچه و مخازن، لایه آب‌های برگشتی و فاضلاب‌ها و غیره: نقشه‌های raster برای هر پدیده حاوی اطلاعات مکانی مربوط به آن پدیده است که از داده‌های ابتدایی مدل WEAP است.
- گام سوم: مدل‌سازی حوضه آبریز مورد نظر در WEAP و کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل: مدل‌سازی در WEAP متشکل از چهار بخش شماتیک، داده، نتایج و یادداشت‌ها است. نرم‌افزار WEAP دارای محیط واسط گرافیکی با قابلیت استفاده در سیستم‌ها و برنامه‌های GIS است. در این مدل، سال ۲۰۱۵ به عنوان مبنای مدل‌سازی و سال پایه انتخاب گردید، چرا که داده‌های موجود برای این سال گردآوری شده‌اند. میزان حجم ذخیره‌ای مخزن دریاچه ارومیه، نیاز آبی خالص در هر بخش مصرفی کشاورزی، شرب و صنعت، کمبود آب در هر بخش و حجم آب پشت سدهای حوضه به عنوان معیارهایی برای بررسی و واسنجی مدل استفاده شده‌اند. به علت کثرت اطلاعات در اینجا از آوردن همه موارد خودداری می‌شود.
- گام چهارم: تعیین فاکتورهای مؤثر بر اساس مفاهیم مدیریت منابع آبی: پس از تهیه مدل و صحت‌سنجی آن، معیارهای بررسی باید مشخص شوند. در این پژوهش حجم دریاچه ارومیه و نیازهای تأمین شده آبی بخش‌های مصرفی کشاورزی، شرب و صنعت که از خروجی مدل به دست می‌آیند، به عنوان معیارهای اصلی و مؤلفه‌های تأثیرگذار انتخاب شدند.
- گام پنجم: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری بر اساس پارامترهای محاسبه شده برای هر سناریو: بر اساس سناریوهای نوشته شده در مدل و نیز معیارهای مشخص شده در گام‌های پیشین، می‌توان ماتریس تصمیم‌گیری را تشکیل داد. واضح است که ابعاد

1. Coalition
2. Non-cooperative
3. Partial Cooperation

۴. نتایج

در جدول زیر نتایج حاصل از گام اول تا ششم گردآوری شده است. این نتایج خروجی مدل WEAP است. شکل‌های ۳ الی ۵، وضعیت تامین نیاز آبی شهرستانهای مختلف در سناریوهای موردنظر ستاد احیای دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد. به‌عنوان نمونه، برای بخش کشاورزی (شکل ۳) بیشترین تخصیص در سناریوهای مختلف متعلق به میاندوآب بوده که نشان می‌دهد با تغییر الگوی کشت و آبیاری در این شهرستان می‌تواند حجم قابل توجهی از منابع آب موجود را ذخیره کرده و به دریاچه ارومیه بازگرداند.

- ائتلاف کاملاً همکارانه^۱: شرب+ صنعت+ کشاورزی

(خروجی مدل، سناریو چهارم)

سپس سود حاصل از شرکت در ائتلاف‌ها (پنج ائتلاف یاد شده) به هر بخش به روش شاپلی تخصیص داده می‌شود و نتایج حاصل از تشکیل این ائتلاف‌ها بررسی می‌گردد.

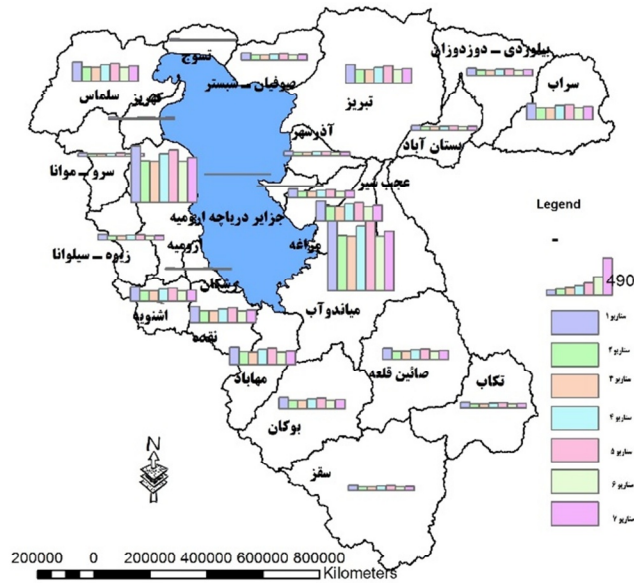
• گام هشتم: مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و حل مسأله به کمک روش تئوری بازی‌ها: در این روش مجدداً از برنامه فترن نوشته شده برای روش Topsis استفاده می‌شود و نتایج حل مسأله به دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و روش تئوری بازی‌ها، مقایسه شدند.

جدول ۲. مقایسه رتبه سناریوها در روش Topsis (واحدها میلیون مترمکعب در افق سال ۲۰۲۰).

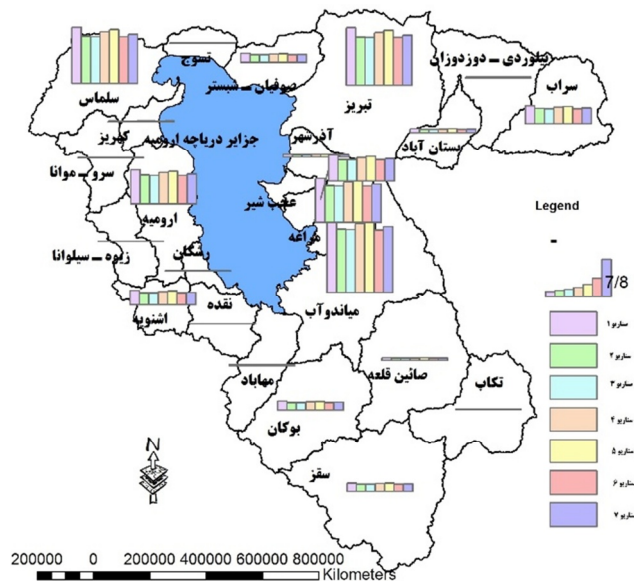
رتبه در Topsis	رتبه بندی در Topsis	نیاز تأمین شده بخش صنعت	نیاز تأمین شده بخش شرب	نیاز تأمین شده بخش کشاورزی	حجم دریاچه ارومیه	شماره سناریو	سناریو تعریف شده
۸	۰.۰۰	۶۲.۷۰	۲۰۷.۴۰	۳۱۸۷.۳۰	۷۰۵.۸۵	مرجع	سناریوی مرجع (روند کنونی بدون تغییر)
۲	۰.۲۷۶	۷۵.۴۵	۲۸۲.۹۰	۴۳۷۲.۹۸	۷۲۲.۶۵	۱	کاهش ۴۰٪ آب مصرفی کشاورزی
۶	۰.۰۱۴۰	۶۳.۲۲	۲۱۰.۵۱	۳۲۳۵.۵۲	۷۰۶.۸۶	۲	کاهش ۲۵٪ آب مصرفی شرب
۷	۰.۰۰۳۴	۶۲.۸۳	۲۰۸.۱۵	۳۱۹۸.۹۶	۷۰۵.۸۶	۳	کاهش ۲۰٪ آب مصرفی صنعت
۴	۰.۱۷۱۰	۶۹.۲۰	۲۴۶.۴۰	۳۷۹۱.۸۰	۷۱۷.۰۶	۴	کاهش ۲۰٪ آب مصرفی کشاورزی و صنعت
۳	۰.۲۱۹۷	۷۲.۲۶	۲۶۴.۷۷	۴۰۷۶.۵۶	۷۱۸.۲۵	۵	کاهش سطح زیر کشت به میزان ۳۰٪
۱	۰.۷۳۲۷	۶۲.۷۰	۲۰۷.۴۰	۳۱۸۷.۳۰	۱۱۵۵.۸۵	۶	انتقال آب به دریاچه (۴۵۰ میلیون مترمکعب در سال)
۵	۰.۰۸۱۹	۶۵.۸۸	۲۲۶.۵۲	۳۴۸۳.۷۲	۷۱۰.۰۵	۷	افزایش راندمان کشاورزی به میزان ۳۰٪

1. Full Cooperation

ارزیابی چندمعیاره سناریوهای تخصیص منابع آب در حوضه‌های کم‌آب ...



شکل ۳. نقشه مقایسه‌ای میزان تأمین نیاز آبی با در نظر گرفتن نسبت مساحت زیر کشت و آب مصرفی هر زیرحوضه در بخش کشاورزی در سناریوهای ۷ گانه پیشنهادی

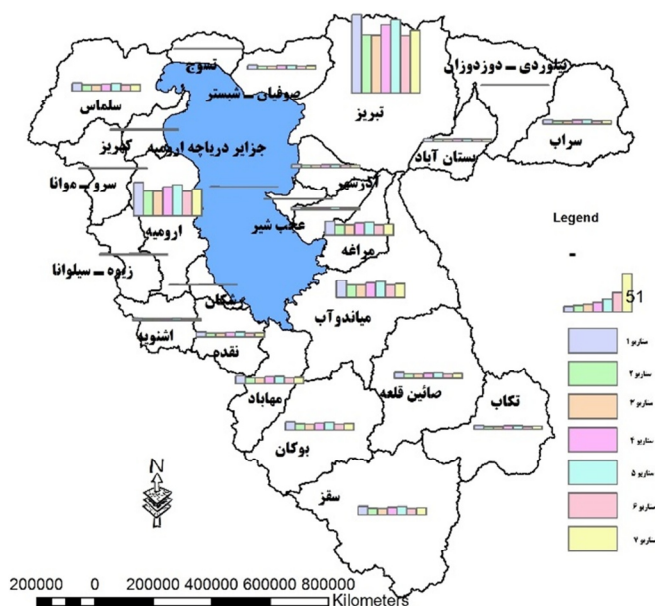


شکل ۴. نقشه مقایسه‌ای میزان تأمین نیاز آبی با در نظر گرفتن نسبت مصرف هر واحد صنعتی در هر زیرحوضه در بخش صنعت در سناریوهای ۷ گانه پیشنهادی

سناریوی انتقال آب به دریاچه، برای حل مسأله استفاده شده و بر اساس آن میزان تأمین نیاز آبی هر یک از بازیگران شرب، صنعت و کشاورزی در مدل محاسبه شده است. نتایج حاصل که خروجی مدل WEAP هستند در جدول ۳ گردآوری شده است.

بر این اساس، سناریوی انتخابی در این پژوهش (که بر اساس مستندات موجود منتخب ستاد احیای دریاچه ارومیه است) تا به این جا، سناریوی انتقال آب به دریاچه ارومیه است. در ادامه تحقیق از روش تئوری بازی‌ها به منظور ارزیابی سناریوهای مختلف مبتنی بر تشکیل ائتلاف‌ها (که پیش‌تر بررسی شدند) به‌عنوان جایگزین

سوگل مرادیان و همکاران



شکل ۵. نقشه مقایسه‌ای میزان تأمین نیاز آبی با در نظر گرفتن نسبت سهم جمعیتی هر زیر حوضه در بخش شرب در سناریوهای ۷ گانه پیشنهادی

جدول ۳. میزان نیاز آبی هر بخش در ائتلاف‌های مختلف (میلیون مترمکعب) در سال ۲۰۲۰.

نوع ائتلاف	کشاورزی	شرب	صنعت	کشاورزی
ائتلاف غیرهمکارانه	۴۲۸۹.۷	۴۵۲.۵۸۹	۷۷.۱	-
ائتلاف نیمه‌همکارانه اول: شرب+ صنعت	۴۲۸۹.۷	۴۴۴.۶۸۹	-	-
ائتلاف نیمه‌همکارانه دوم: شرب+ کشاورزی	۴۴۶۶.۲۸۹	-	۷۷.۱	-
ائتلاف نیمه‌همکارانه سوم: صنعت+ کشاورزی	-	۴۵۲.۵۸۹	۴۱۸۵	-
ائتلاف کاملاً همکارانه: شرب+ صنعت+ کشاورزی	-	۴۴۸۷.۲۸۹	-	-

نتایج در جدول ۴ آورده شده است. این نتایج از محاسبات مربوط به حل مسأله به صورت بازی به دست آمده‌اند:

در گام بعدی مسئله، سود حاصل از شرکت در ائتلاف‌ها به هر بخش به روش شاپلی تخصیص داده شد.

جدول ۴. میزان آب تخصیص یافته به هر بخش در ائتلاف‌های مختلف (میلیون مترمکعب) در سال ۲۰۲۰

نوع ائتلاف	سود حاصل از ائتلاف	کشاورزی	شرب	صنعت
ائتلاف نیمه‌همکارانه اول: شرب+ صنعت	۸۵	-	-	-
ائتلاف نیمه‌همکارانه دوم: شرب+ کشاورزی	۲۷۶	-	-	-
ائتلاف نیمه‌همکارانه سوم: صنعت+ کشاورزی	۱۸۱.۸	۸۲.۳۷	۵۰.۱	۱۸.۷
ائتلاف کاملاً همکارانه: شرب+ صنعت+ کشاورزی	۳۳۲.۱	-	-	-

۵. بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس جدول ۲، سناریوی انتخابی اول در این پژوهش، سناریوی انتقال آب به دریاچه ارومیه است. واضح است که هرچه معیارهای متنوع و بیش‌تری در ماتریس تصمیم‌گیری لحاظ شوند، نتایج دقیق‌تر خواهند بود و لذا لازم است مطالعات بیش‌تری در این زمینه صورت‌گیرد؛ چراکه این سناریو در این پژوهش، هزینه اجرایی بسیار بالایی دارد و ممکن است آسیب‌های بزرگ زیست‌محیطی، بر اکوسیستم و اقلیم منطقه به دنبال داشته باشد. لذا سناریوهای جایگزین در قالب همکاری ذینفعان در این تحقیق مطرح شد.

در جدول ۳، نیاز آبی یک بخش در اثر ائتلاف گاه‌کاهش یافته است. این مسأله می‌تواند ناشی از کاهش هدررفت آب در اثر دیده شده گره‌های مصرفی به صورت توأم در حل مسأله به صورت یک بازی باشد. هم‌چنین نکته قابل توجه در جدول ۴ آن است که با استفاده از روش شاپلی و تخصیص سود حاصل از ائتلاف کاملاً همکارانه، مجموع سود تخصیص‌یافته به بازیگران (ذینفعان) برابر با کل سود حاصل از ائتلاف نمی‌شود؛ یعنی:

$$82.37 + 50.1 + 18.7 \neq 332.1$$

که این نشان‌دهنده تأثیر عامل خارجی یعنی دریاچه ارومیه است. به عبارت دیگر با تشکیل بازی کاملاً همکارانه و بازتخصیص سود حاصل از این ائتلاف به بازیگران، اختلاف مقادیر ناشی از سودها به دریاچه ارومیه تعلق گرفته و به احیای آن کمک می‌کند.

برای روشن‌تر شدن نحوه محاسبات اعداد در جدول، یک نمونه از آن در زیر آورده می‌شود:

$$(4289.7 + 452.589 + 77.1) - (4289.7 + 444.689) = 85 \text{ MCM}$$

$$\Phi_{i(v)} = \sum_{S \in N} \frac{(s-1)!(N-s)!}{N!} [v(S) - v(S - i)] = \frac{(3-1)!(3-2)!}{3!} (332.1 - 85) = 82.37 \text{ MCM}$$

از جدول ۴ نتیجه می‌شود که سود حاصل از ائتلاف کاملاً همکارانه با شرکت بازیگران شرب، صنعت و کشاورزی، بیشینه است؛ این نتیجه نشان می‌دهد که پس از تخصیص آب به ذینفعان، با تشکیل بازی کاملاً همکارانه، سود تمامی بازیگران افزایش می‌یابد. شایان ذکر است که ائتلاف کاملاً همکارانه در عمل می‌تواند با مساوی قراردادن اولویت‌های تأمین بخش‌های مختلف مصرفی و نیز اعمال راندمان یکسان در این بخش‌ها و نیز تخصیص میزان آب‌های برگشتی یکسان به منابع، رضایت همه ذینفعان را در بر داشته باشد.

حال می‌توان مجدداً سناریوی برتر جدید مبتنی بر همکاری را با سناریوی برتر مرحله قبل به کمک روش TOPSIS مقایسه کرد (جدول ۵).

این مقایسه نشان می‌دهد که اعمال یک سناریو، آن‌گونه که در بخش تصمیم‌گیری چندمعیاره مطرح شد، نمی‌تواند به تنهایی جوابگوی نیازهای زیست‌محیطی دریاچه باشد. بنابراین لازم است که مسأله به صورت یک بازی مبتنی بر همکاری ذینفعان و در قالب یک ارزیابی چندمعیاره مطرح شود، چراکه ابعاد این تصمیم مستقل از نتایج آن بر سایر بخش‌ها نیست.

جدول ۵. رتبه‌بندی مجدد دو سناریوی برتر به روش TOPSIS (واحدها میلیون مترمکعب در افق سال ۲۰۲۰)

رتبه در TOPSIS	رتبه‌بندی در TOPSIS	نیاز تأمین‌شده بخش صنعت	نیاز تأمین‌شده بخش شرب	نیاز تأمین‌شده بخش کشاورزی	حجم دریاچه ارومیه	سناریو تعریف شده
۲	۰.۴۷۵۶	۶۲.۷۰	۲۰۷.۴۰	۳۱۸۷.۳۰	۱۱۵۵.۸۵	انتقال آب به دریاچه (۴۵۰ میلیون مترمکعب در سال)
۱	۰.۵۲۴۴	۸۱.۴	۲۵۷.۵	۳۲۶۹.۶۷	۸۸۶.۷۸	ائتلاف کاملاً همکارانه: شرب+صنعت+کشاورزی

به جا گذارد. هم چنین چنانچه اولویت‌های مصرفی برای بخش‌های مختلف مصرف مثل شرب و صنعت یا کشاورزی و یا اولویت زیست‌محیطی (که با معیار حجم دریاچه ارومیه در این مطالعه بررسی شد) یکسان نباشد، نتایج تغییر خواهند کرد و لازم است که این مورد نیز بررسی شود. در مسئله تخصیص، با استفاده از روش شاپلی، مقدار آب تخصیص یافته به هر یک از مناطق مصرف کشاورزی، شرب و صنعت، تحت ائتلاف‌های کاملاً همکارانه، نیمه‌همکارانه و غیرهمکارانه محاسبه شد.

این پژوهش نشان داد که پس از تخصیص آب به شرکت کنندگان، با تشکیل بازی کاملاً همکارانه، سود تمامی مصرف کنندگان افزایش خواهد یافت. مقایسه این دو روش حل مسأله نشان داد که اعمال یک سناریو به سبک صرفاً یک مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره، نمی‌تواند به تنهایی جوابگوی نیازهای زیست‌محیطی دریاچه باشد؛ بنابراین لازم است که مسأله به صورت یک بازی مطرح شود و نه یک مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره؛ چراکه ابعاد این تصمیم مستقل از نتایج آن بر سایر بخش‌ها نیست.

در ادامه جهت پیشبرد این مطالعه، موارد زیر برای مطالعه بیشتر پیشنهاد می‌شود: در نظر گرفتن هزینه اجرای طرح‌های پیشنهادی در ماتریس تصمیم‌گیری به عنوان یک عامل مهم می‌تواند در نتایج مؤثر باشد. از سوی دیگر، لازم است جنبه‌های محیطی و اجتماعی این سناریوها نیز در کنار جنبه اقتصادی اجرای آنان، بررسی شود. بنابراین معرفی تعداد بیشتری از معیارها و حل مجدد مسئله می‌تواند در این زمینه کمک کننده باشد.

۶. منابع

مؤمنی، م.، ۱۳۸۵، **مباحث نوین تحقیق در عملیات**، چاپ اول، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، تهران.
 مهرگان، م.ر.، دری، ب. و صارمی، م.، ۱۳۸۰، **تحقیق در عملیات**، جلد اول، چاپ دوم، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، تهران.

این پژوهش نشان داد که پس از تخصیص آب به ذینفعان، با تشکیل بازی کاملاً همکارانه، سود همه مصرف کنندگان افزایش خواهد یافت. مقایسه این روش حل مسأله به کمک تصمیم‌گیری چندمعیاره و نیز تئوری بازی‌ها، نشان داد که اعمال یک سناریو به سبک صرفاً یک مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره، نمی‌تواند به تنهایی جوابگوی نیازهای زیست‌محیطی دریاچه باشد؛ بنابراین لازم است که مسأله به صورت یک بازی مطرح شود و نه یک مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره؛ چراکه ابعاد این تصمیم مستقل از نتایج آن بر سایر بخش‌ها نیست.

در این مطالعه به ارائه یک جعبه ابزار نرم‌افزاری- برنامه‌نویسی شده پرداخته و نحوه تشکیل آن بررسی شد. جهت بررسی هرچه دقیق‌تر این جعبه ابزار، لازم بود که آن در یک محدوده مطالعاتی اجرا شود؛ از این رو جعبه ابزار تهیه شده در محدوده حوضه آبریز دریاچه ارومیه مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفت و نتایج آن تحلیل و بررسی شد. در ادامه با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، ماتریس تصمیم‌گیری ایجاد شد و برنامه فرترنی بر مبنای روش TOPSIS به کار گرفته شد تا بتوان با تکیه بر آن، با توجه به اولویت‌های موجود، سناریوهای ارائه شده توسط ستاد احیای دریاچه ارومیه جهت حل مشکل دریاچه را بررسی و رتبه‌بندی نمود. قدم آخر انتخاب بهترین سناریو است که با هدف دستیابی به توسعه پایدار و تکیه بر جعبه ابزار تهیه شده در این تحقیق، می‌توان تصمیماتی را اتخاذ نمود.

سناریوی انتخابی در این پژوهش توسط روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، سناریوی انتقال آب به دریاچه ارومیه است. واضح است که هرچه معیارهای متنوع و بیشتری در ماتریس تصمیم‌گیری لحاظ شوند، نتایج دقیق‌تر خواهند بود و لذا لازم است مطالعات بیشتری در این زمینه صورت گیرد؛ چرا که این سناریو هزینه اجرایی بسیار بالایی دارد و ممکن است لطمه جدی زیست‌محیطی، به‌ویژه بر اکوسیستم و اقلیم منطقه

- Engineers-Water Management. Thomas Telford Ltd, pp. 261-266.
- Yazdandoost, F. and Izadi, A., 2016, **A decision-making framework for designing water distribution networks based on multi-objective optimisation**, International Journal of Multicriteria Decision Making, 6(4), pp. 269-289
- Zarghami, M., Safari, N., Szidarovszky, F., Islam, S., 2015, **Nonlinear Interval Parameter Programming Combined with Cooperative Games: a Tool for Addressing Uncertainty in Water Allocation Using Water Diplomacy Framework**. Water resources management, 29(12), pp. 4285-4303.
- نیکوفر، ب. و رومیانفر، س.، ۱۳۹۰، **مدل‌سازی بهره‌برداری بهینه از مخزن سد ستارخان با استفاده از سیستم پشتیبانی DSS تصمیم‌گیری**، اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق آبی، تهران.
- پیرنیا، س. و یزدان‌دوست، ف.، ۱۳۹۲، **جعبه ابزار مدل بهم پیوسته منابع و مصارف آب در حوضه دریاچه ارومیه**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی عمران.
- صفاری، ن. و زرغامی، م.، ۱۳۹۲، **تخصیص بهینه منابع آب سطحی حوضه دریاچه ارومیه به استان‌های ذینفع با روش‌های تصمیم‌گیری فاصله محور**، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۳، شماره ۱، صفحات ۱۳۵-۱۴۹.
- شاهین تاج، ش.، ۱۳۹۱، **مدل مدیریت بهم پیوسته پارامترهای موثر در تخمین عملکرد حوضه‌های خشک و نیمه خشک**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی عمران.
- یزدان‌دوست، ف. و مرادیان، س.، ۱۳۹۴، **مدیریت انعطاف پذیر ریسک در حوضه‌های با بیلان منفی**، دومین همایش ملی بحران آب در ایران و خاورمیانه، شیراز.
- Butler, D. and Davies, J.W., 2004, **Urban Drainage**, Taylor & Francis e-Library, CRC Press.
- Hashemi, M., 2012, **A socio- technical assessment framework for integrated water resources management (IWRM) in lake Urmia basin**, PhD thesis, university of Newcastle, England.
- Yazdandoost, F. and Bozorgy, B., 2008, **Flood risk management strategies using multi-criteria analysis**, In: Proceedings of the Institution of Civil



مجله
سنجش از دور و
GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال یازدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۸
Vol.11, No. 1, Spring 2019

19-32

A Decision Support System for Water Allocation in Water Scarce Basins

Moradian, S.^{1*}, Taleai, M.², Javadi, Gh.^{3,4}

- 1- Ph.D. student of Civil Engineering, Water and Hydraulic Structures, K.N.Toosi University of Technology.
- 2- Associate Professor in Faculty of Geodesy & Geomatics, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran.
- 3- PhD Student of Geographic Information Systems, K.N.Toosi University of Technology.
- 4- Faculty Member of Geomatics Engineering, University of Bojnord.

Abstract

Nowadays, water supply is one of the main causes of tension for scientists in arid countries. Therefore, the assessment of water resources can be considered as a main challenge for the authorities around the world. Successful decision making in water resources management tries to resolve competing and conflicting needs of water users from different sectors including: domestic, agriculture and industry. In this research, a systematic framework for assessing different scenarios in the system, has been defined based on WEAP. The proposed model was used in the Urmia Lake basin as a case study; A scenario, proposed by the Urmia Lake Reconstruction Team, persists on transmission of water to the lake. In this study, this scenario and some others, proposed by the Urmia Lake Reconstruction Team, were used in this model and the best scenario was identified using a decision support tool based on the principles of TOPSIS, which has been written in FORTRAN. In the following section, water allocation in the catchment was investigated based on the principles of game theory and the outcome of this research shows that applying game theory and using full cooperation games (based on the Shapley Values method), provides better outcomes for all competing users of water. In other words, using the notion of coalition between different sectors including domestic, agriculture and industry, can save about 332 MCM of water which can be used in the dying lake.

Keywords: Multi criteria decision making, Game theory, Water scarce basins, Urmia lake, TOPSIS.