سنجش از دور
و
GIS ایران

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

۱۹-۳۲

ارزیابی چندمعیاره سناریوهای تخصیص منابع آب در حوضه‌های کم‌آب، مبتنی بر روش TOPSIS و مدل مدیریت منابع آبی WEAP

سوگل مرادیان[1*]، محمد طالعی[2]، قاسم جوادی[3,4]

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 علمی‌گروه مهندسی عمران-نقشه‌برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۶/۱۷

چکیده

تأمین آب و مدیریت صحیح منابع آب، یکی از چالش‌های جدی مدیران و تصمیم‌گیران‌این 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 مشکلات‌این حوضه (ارائه شده توسط ستاد احیای دریاچه ارومیه)، به انتقال آب از دریاچه خزر به‌این دریاچه تأکید دارند که فعالیتی پر هزینه بوده و اثرات زیست محیطی و مشکلات متعددی دربر خواهد داشت. دراین مطالعه‌این سناریو به همراه تعدادی از دیگر سناریوهای پیشنهاد شده توسط‌این ستاد، با استفاده از جعبه‌ابزار حامی‌تصمیم‌گیری مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد ارزیابی قرار گرفته و انتخاب بهترین سناریو به کمک‌این 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 مشکل‌این حوضه، با پیشنهاد ۴ سناریو مبتنی بر ائتلاف های 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 کاملا همکارانه می‌تواند به عنوان جایگزینی برای سناریوی انتقال آب به‌این 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.
Email: sogolmoradian@live.com

۱. مقدمه

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 کم آبی داشته باشد.این نگرش، باایجاد یک چارچوب سیستماتیک که از طریق آن استراتژی‌ها قابل بررسی هستند، مدیریت منابع آب را به سمت توسعه‌پایدار[1] سوق می‌دهد. در تعریف توسعه‌پایدار آمده است: "برآورده کردن نیازها و آرمان‌های نسل حاضر بدون به‌خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده برای برآورده کردن نیازهای خود" (بوتلر و دیویز، ۲۰۰۴). توسعه‌پایدار در تعریف از سه جنبه اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی بررسی می‌شود. بنابراین برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب، نیاز به یک 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 واین 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 درنظر داشتن معیارهایی برای مقایسه در قالب یک چارچوب دینامیک است (پیرنیا و یزدان‌دوست، ۲۰۱۳ و نیکوفر و رومیانفر، ۲۰۱۱).

جدول۱. تاریخچه استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت منابع آب (پیرنیا و یزدان‌دوست، ۲۰۱۳ و نیکوفر و رومیانفر، ۲۰۱۱).

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

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 شرکت‌کننده در مذاکرات تخصیص منابع آب استفاده‌شده 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 ارایه 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؛ بااین وجود صفاری و ضرغامی‌در 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 به‌کمک تئوری بازی‌ها و با استفاده از راه حل نش غیرمتقارن[1]، 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؛ بااین وجود، دراین مدل تنها مطالعه آب‌های سطحی مورد ملاک بوده و سایر موارد در مطالعات تخصیص بررسی نشدند. موارد ذکرشده نشان می‌دهد استفاده از مدل‌های ریاضی دارای توانائی 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 درنظرگرفتن مسأله به صورت یک بازی و با درنظرگرفتن 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 دارابودن دومین دریاچه شور دنیا با مساحت حدود ۵۵ هزار کیلومتر مربع متأسفانه در دهه‌های اخیر به‌دلیل 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 حقابه زیست‌محیطی دریاچه که در این مطالعه با معیار حجم آب دریاچه بررسی شد، رعایت نمی‌شود.

دراین 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 حامی‌تصمیم‌گیری مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه، نحوه تخصیص بهینه آب به بخش‌های مصرفی در حوضه موردمطالعه به کمک نظریه بازی‌ها مورد بررسی قرار گرفت. جعبه‌ابزار توسعه‌یافته در این پژوهش در قالب یک سامانه حامی

1 Non-Symmetric Nash Solution

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 دراین تحقیق کاربرد تصمیم‌گیری در یک مطالعه موردی بررسی شده است، می‌توان آن را کاربردی دانست. از سوی دیگر، از آن‌جا که‌این پژوهش نتایجی را در برخواهد داشت که مختص به ناحیه موردمطالعه 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 درنظرگرفتن معیارهای اصلی جهت ارزیابی است. رویکرد تعریف شده در این تحقیق، به منابع‌طبیعی معطوف بوده و سایر ساختارهای مرتبط با جامعه به‌ویژه شرایط اقتصادی و فرهنگی را پوشش نمی‌دهد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، تصمیم‌گیران معمولاً در مسائل مدیریتی (دراین‌جا 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 باتوجه به معیارهای تعریف‌شده است. هنگامی‌که تعداد معیارها زیاد باشد، ذهن انسان دیگر قادر به اولویت‌بندی آن‌ها نخواهد بود؛ لذا در این رابطه، باید از ابزاری با عنوان روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] یا سیستم‌های حامی‌تصمیم‌گیری استفاده نمود. اهمیت طرح‌ریزی به عنوان یک وظیفه مهم مدیریتی است که مستلزم اخذ یک‌سری تصمیمات است؛ از قبیل‌این‌که: 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 تقسیم‌کرد که عبارتند از: تعریف مسأله، جست‌وجو برای تعیین گزینه‌های ممکن، ارزشیابی گزینه‌ها و انتخاب یک گزینه. ترتیب قرارگیری این چهار مرحله، لزوما 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 آن(ها) باشد (مهرگان و همکاران، ۲۰۰۱). سناریو نویسی‌ها بر مبنای "اگر" و "آن‌گاه"ها هستند؛ به‌این 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، به‌منظور حل مسأله استفاده شده است. در ادامه به تشریح این روش

1 Multi-criteria decision making

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 کاهشی است. حل مسأله، مستلزم طی شش گام زیر است (مومنی، ۲۰۰۶):

- کمی‌کردن 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:

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

- تعیین راه‌حل‌ایده‌آل مثبت و راه‌حل‌ایده‌آل منفی: راه‌حل‌ایده‌آل مثبت و منفی، به صورت زیر تعریف می‌شوند:

= راه حل‌ایده‌آل مثبت (V_j^+)

[بردار بهترین مقادیر هر شاخص ماتریس]

= راه حل‌ایده‌آل منفی (V_j^-)

[بردار بدترین مقادیر هر شاخص ماتریس]

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

- بدست آوردن میزان فاصله هر گزینه تاایده‌آل‌های مثبت و منفی: فاصله اقلیدسی هر گزینه تاایده‌آل مثبت (d_j^+) و فاصله هر گزینه تاایده‌آل منفی (d_j^-)، بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۲)
$$d_j^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(v_{ij} - v_j^+\right)^2} \qquad i = 1,2,\dots,m$$
$$d_j^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(v_{ij} - v_j^-\right)^2} \qquad i = 1,2,\dots,m$$

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

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

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

۲.۲. نظریه بازی‌ها[1]

در اولین قدم از تخصیص اولیه، مسئله به‌صورت 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 به‌علت 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 ازاین 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 آن‌جمله 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

1. Game Theory

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[1] یکی از مفاهیم بازی همکارانه است. دراین 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 می‌کنند، تعیین می‌شود. تابع ارزش شاپلی با $\varphi_{i(v)}$ معرفی می‌شود که آن نشان‌دهنده سود بازیکن iام است:

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

رابطه (۴)

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 (ضرغامی‌و همکاران، ۲۰۱۵).

۳.۲. تصمیم‌سازی در قالب جعبه ابزار

جعبه ابزار حل مسأله که دراین 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).

شکل۱. مراحل انجام کار در این پژوهش

1. The Shapley Values

۳. یافته‌های پژوهش

۱.۳. مطالعه موردی

مدل ساخته‌شده دراین پژوهش در حوضه‌آبریز 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 حامی‌تصمیم‌گیری 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 WEAPرا می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود: چارچوب برنامه‌ریزی جامع و بهم پیوسته؛ 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 دراین 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 هزارکیلومترمربع 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 نیروی‌ایران) و در هر یک از زیرحوضه‌ها تمامی‌داده‌ها 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؛ ازاین‌رو 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

- 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. دراین 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 دراینجا 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. دراین 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 ماتریس به تعداد سناریوها در معیارها است.
- گام ششم: به‌کارگیری 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: به‌کارگیری روش‌های تخصیص بهینه به کمک تئوری بازی‌ها (روش ارزش شاپلی): دراین 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 برای‌این 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[1]های جزئی (کشاورزی، شرب و صنعت) در نظر گرفته شد. در ادامه چهار سناریو در مدل ساخته شد که سناریوها پنج ائتلاف را در برگرفتند:

- ائتلاف غیرهمکارانه[2] اول: شرب، صنعت، کشاورزی (خروجی مدل، بدون سناریو)
- ائتلاف نیمه‌همکارانه[3] 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)

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

- ائتلاف کاملاً همکارانه[1]: 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 تشکیل‌این ائتلاف‌ها بررسی می‌گردد.

- گام هشتم: مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و حل مسأله به کمک روش تئوری بازی‌ها: دراین روش مجدداً از برنامه فرترن نوشته شده برای روش TOPSIS استفاده می‌شود و نتایج حل مسأله به دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و روش تئوری بازی‌ها، مقایسه شدند.

۴. نتایج

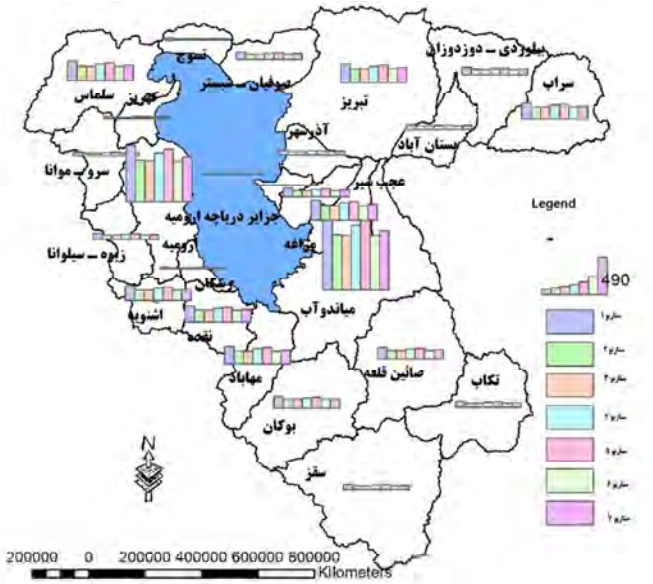
در جدول زیر نتایج حاصل از گام اول تا ششم گردآوری شده است. این نتایج خروجی مدل WEAP است.

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 دراین شهرستان می‌تواند حجم قابل‌توجهی از منابع آب موجود را ذخیره کرده و به دریاچه ارومیه بازگرداند.

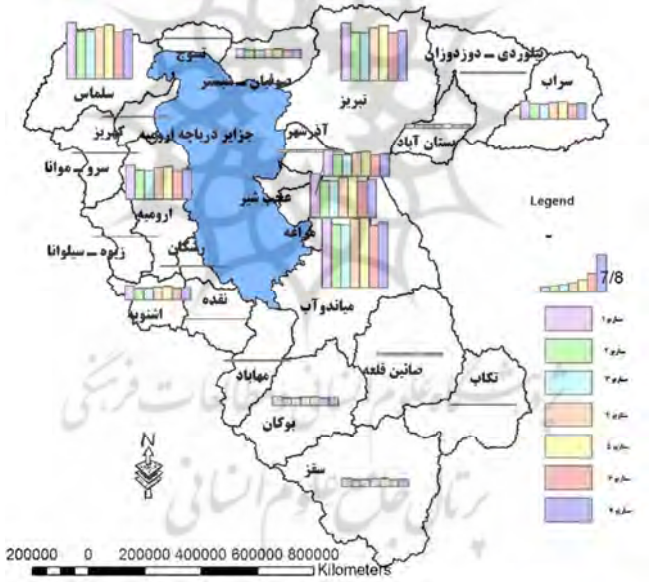
جدول۲. مقایسه رتبه سناریوها در روش TOPSIS (واحدها میلیون مترمکعب در افق سال ۲۰۲۰).

سناریو تعریف شده	شماره سناریو	حجم دریاچه ارومیه	نیاز تأمین‌شده بخش کشاورزی	نیاز تأمین‌شده بخش شرب	نیاز تأمین‌شده بخش صنعت	نرخ رتبه‌بندی در TOPSIS	رتبه در TOPSIS
سناریوی مرجع (روند کنونی بدون تغییر)	مرجع	۷۰۵.۸۵	۳۱۸۷.۳۰	۲۰۷.۴۰	۶۲.۷۰	۰.۰۰	۸
کاهش ۴۰٪ آب مصرفی کشاورزی	۱	۷۲۲.۶۵	۴۳۷۲.۹۸	۲۸۳.۹۰	۷۵.۴۵	۰.۲۷۶	۲
کاهش ۲۵٪ آب مصرفی شرب	۲	۷۰۶.۸۶	۳۲۳۵.۵۲	۲۱۰.۵۱	۶۳.۲۲	۰.۰۱۴۰	۶
کاهش ۲۰٪ آب مصرفی صنعت	۳	۷۰۵.۸۶	۳۱۹۸.۹۶	۲۰۸.۱۵	۶۲.۸۳	۰.۰۰۳۴	۷
کاهش ۲۰٪ آب مصرفی کشاورزی و صنعت	۴	۷۱۷.۰۶	۳۷۹۱.۸۰	۲۴۶.۴۰	۶۹.۲۰	۰.۱۷۱۰	۴
کاهش سطح زیر کشت به میزان ۳۰٪	۵	۷۱۸.۲۵	۴۰۷۶.۵۶	۲۶۴.۷۷	۷۲.۲۶	۰.۲۱۹۷	۳
انتقال آب به دریاچه (۴۵۰ میلیون‌مترمکعب در سال)	۶	۱۱۵۵.۸۵	۳۱۸۷.۳۰	۲۰۷.۴۰	۶۲.۷۰	۰.۷۳۲۷	۱
افزایش راندمان کشاورزی به میزان ۳۰٪	۷	۷۱۰.۰۵	۳۴۸۳.۷۲	۲۲۶.۵۲	۶۵.۸۸	۰.۰۸۱۹	۵

1. Full Cooperation

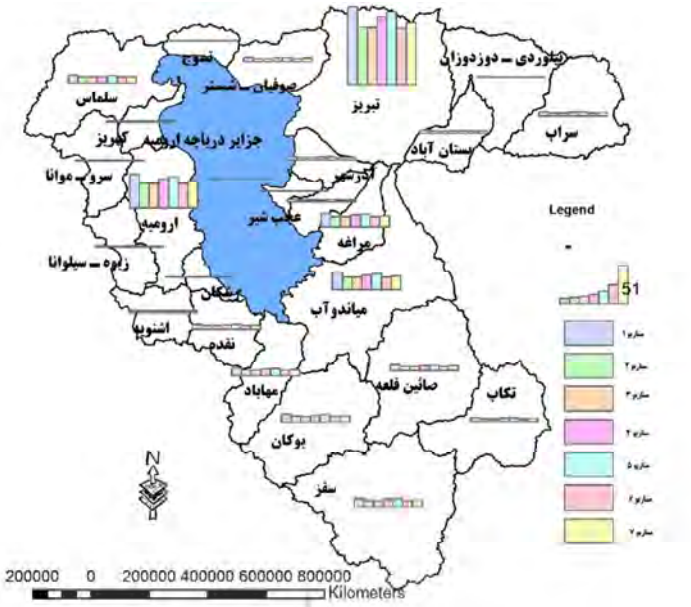


شکل ۳. نقشه مقایسه‌ای میزان تأمین نیاز آبی با در نظرگرفتن نسبت مساحت زیر کشت و آب مصرفی هر زیرحوضه در بخش کشاورزی در سناریوهای ۷ گانه پیشنهادی



شکل۴. 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

بر این اساس، سناریوی انتخابی در این‌پژوهش (که بر اساس مستندات موجود منتخب ستاد احیای دریاچه ارومیه است) تا به‌این‌جا، 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 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.



شکل ۵. نقشه مقایسه‌ای میزان تأمین نیاز آبی با در نظرگرفتن 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.

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

در گام بعدی مسئله، سود حاصل از شرکت در ائتلاف‌ها به هر بخش به روش شاپلی تخصیص داده شد. نتایج در جدول ۴ آورده شده است. این نتایج از محاسبات مربوط به حل مسأله به صورت بازی به دست آمده‌اند:

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

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

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

سود حاصل از ائتلاف نیمه همکارانه اول = (4289.7 + 452.589 + 77.1) − (4289.7 + 444.689) = 85 MCM

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

از جدول ۴ نتیجه می‌شود که سود حاصل از ائتلاف کاملا همکارانه با شرکت بازیگران شرب، صنعت و کشاورزی، بیشینه است؛ این نتیجه نشان می‌دهد که پس از تخصیص آب به ذینفعان، با تشکیل بازی کاملا همکارانه، سود تمامی بازیگران افزایش می‌یابد. شایان ذکر است که ائتلاف کاملا 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 مجددا 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.

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 آسیب های 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 گاها کاهش 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 کاملا 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. به‌عبارت 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.

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

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

این پژوهش نشان داد که پس از تخصیص آب به ذینفعان، با تشکیل بازی کاملا همکارانه، سود همه مصرف‌کنندگان افزایش خواهد یافت. مقایسه این روش حل مسأله به‌کمک تصمیم‌گیری چندمعیاره و نیز تئوری بازی‌ها، نشان داد که اعمال یک سناریو به سبک صرفا یک‌مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره، نمی‌تواند به‌تنهایی جوابگوی نیازهای زیست محیطی دریاچه باشد؛ بنابراین لازم است که مسأله به صورت یک بازی مطرح شود و نه یک مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره؛ چراکه ابعاداین تصمیم مستقل از نتایج آن بر سایر بخش‌ها نیست.

دراین مطالعه به ارائه یک جعبه ابزار نرم‌افزاری-برنامه‌نویسی شده پرداخته و نحوه تشکیل آن بررسی شد. جهت بررسی هرچه دقیق‌تراین جعبه ابزار، لازم بود که آن در یک محدوده مطالعاتی اجرا شود؛ ازاین رو جعبه ابزار تهیه شده در محدوده حوضه‌آبریز دریاچه ارومیه مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفت و نتایج آن تحلیل و بررسی شد. در ادامه بابهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، ماتریس تصمیم‌گیری ایجاد شد و برنامه فرترنی بر مبنای روش TOPSIS به‌کار 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 به‌جا گذارد. هم‌چنین 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 این‌مورد نیز بررسی شود. در مسئله تخصیص، با استفاده از روش شاپلی، مقدار آب تخصیص‌یافته به هر یک از مناطق مصرف کشاورزی، شرب و صنعت، تحت ائتلاف‌های کاملا همکارانه، نیمه‌همکارانه و غیرهمکارانه محاسبه شد.

این پژوهش نشان‌داد که پس از تخصیص آب به شرکت‌کنندگان، با تشکیل بازی کاملا همکارانه، سود تمامی مصرف‌کنندگان افزایش خواهد یافت. مقایسه این دو روش حل مسأله نشان داد که اعمال یک سناریو به‌سبک صرفا یک مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره، نمی‌تواند به‌تنهایی جوابگوی نیازهای زیست‌محیطی دریاچه باشد؛ بنابراین لازم است که مسأله به صورت یک بازی مطرح شود و نه یک‌مسأله 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: درنظرگرفتن هزینه اجرای طرح‌های پیشنهادی در ماتریس تصمیم‌گیری به‌عنوان 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 کمک‌کننده 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.

نیکـوفر، ب. و رومیـانفر، س.، ۱۳۹۰، **مـدل‌سـازی بهره‌برداری بهینه از مخزن سـد سـتارخان بـا استفاده از سیستم پشتیبانی DSS تصمیم‌گیری**، اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفـرانس ملـی سد و نیروگاه‌های برق آبی، تهران.

پیرنیا، س. و یـزدان‌دوسـت، ف.، ۱۳۹۲، **جعبـه ابـزار مدل بهـم پیوسـته منـابع و مصـارف آب در حوضه دریاچه ارومیه**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشـگاه خواجـه نصـیرالدین طوسـی، دانشـکده مهندسی عمران.

صفاری، ن. و ضـرغامی، م.، ۱۳۹۲، **تخصـیص بهینـه منابع آب سطحی حوضه دریاچـه ارومیـه بـه استان‌های ذینفع با روش‌هـای تصـمیم‌گیـری فاصله محور**، نشریه دانش آب و خـاک، جلـد ۲۳، شماره ۱، صفحات ۱۳۵-۱۴۹.

شاهین تاج، ش.، ۱۳۹۱، **مدل مدیریت بهم پیوسـته پارامترهـای مـوثر در تخمـین عملکـرد حوضه‌های خشک و نیمـه خشـک**، پایـان‌نامـه کارشناسـی ارشـد، دانشـگاه خواجـه نصـیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی عمران.

یـزدان‌دوسـت، ف. و مرادیـان، س.، ۱۳۹۴، **مـدیریت انعطاف پذیر ریسک در حوضه‌هـای بـا بـیلان منفی**، دومین همایش ملـی بحـران آب درایـران 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 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.

سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال یازدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۸
Iranian Remote Sensing & GIS 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 dicision 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, presists 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.

Correspondence Address: Nima Farhadi, Faculty of Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology, No. 1346, Vali-Asr Street, Mirdamad Cross, Tehran, Iran. Postal Code: 15433-19967
Email: sogolmoradian@live.com