Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال پانزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸
Volume 15, No. 4, Winter 2020 (IR-WRR)
۳۱۴-۳۲۷

ارزیابی پایداری سناریوهای عرضه و تقاضای آب در حوضه‌های آبریز با کاربرد مدل IDS

مسعود بهبودیان[۱*] و رضا کراچیان[۲]

چکیده

امروزه ایجاد تعادل در تخصیص آب به نیازهای محیط زیستی و نیازهای دیگر، از چالش‌های مدیریت منابع آب در کشور ایران می‌باشد. به‌عنوان مثال، یکی از دلایل مهم وضعیت نابسامان دریاچه ارومیه، عدم تخصیص مناسب حقابهٔ بخش‌های مختلف از جمله تخصیص آب مورد نیاز دریاچه ارومیه است. همچنین بررسی تبعات تخصیص آب به دریاچه بر بخش‌های مختلف همچون کشاورزی، محیط زیست، شهری و صنعت از موضوع مهمی است که باید مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق در نظر است در حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه، ارزیابی کمّی تبعات سناریوهای مختلف تخصیص آب به بخش‌های مختلف از جمله دریاچه ارومیه، در یک دورهٔ ۶۰ ساله در قالب مفهوم پایداری انجام شود. بدین منظور، از یک مدل تخصیص آب استفاده شده است و سه شاخص معروف اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری برای استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان و علاوه بر آنها در مورد دریاچه ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در مرحله بعد، با استفاده از مفهوم نظریه استنتاج شهودی در محیط نرم‌افزار IDS، پایداری سناریوهای مدیریت منابع آب در محدودهٔ حوضهٔ آبریز دریاچه ارومیه در قالب تصمیم‌گیری چندمعیاره بررسی شد. نتایج نشان دادند که تأمین کامل حقابهٔ دریاچه منجر به کاهش تخصیص آب به بخش کشاورزی شده است که ممکن است تبعات اجتماعی- فرهنگی- سیاسی مختلفی در بر داشته باشد. علی‌رغم کاهش حقابه بخش کشاورزی در سناریوی تخصیص کامل نیاز آب دریاچه ارومیه نسبت به تأمین بخشی از نیاز دریاچه، سناریوی تأمین کامل حقابهٔ دریاچه با درجه پایداری عمومی ۰/۹۴ به‌عنوان سناریوی برتر انتخاب شده است. این در حالی است که درجه پایداری سناریوی دوم ۰/۸۳ به‌دست آمده است. در نهایت توصیه می‌شود تا در تحقیقات آتی وضعیت پایداری بخش کشاورزی نیز در اثر اجرای سناریوهای مختلف مدیریتی مورد ارزیابی بیشتری قرار گیرد.

کلمات کلیدی: تخصیص آب، دریاچه ارومیه، پایداری، نرم‌افزار IDS، سناریوهای عرضه و تقاضای آب.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۷/۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۹/۷

۱- دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.
۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

Sustainability Assessment of Basin-wide Water Supply and Demand Scenarios Using Intelligent Decision System (IDS) Model

M. Behboodian [1] and R. Kerachian [2]*

Abstract

Nowadays, balancing the water allocation to environmental and other demand nodes is one of the most important issues in Iran. For instance, an important reason for the critical situation of the Lake Urmia is lack of proper allocation of water for different demand nodes (i.e. the required water allocation for Lake Urmia). It is also important to consider the implications of lake water allocation to agricultural, environmental, municipal, and industrial demand nodes. This paper intends to quantitatively evaluate these effects in the Lake Urmia basin on different demand nodes such as Lake Urmia over 60 years under different water allocation scenarios in the context of sustainability. For this purpose, three well-known performance criteria such as reliability, resiliency, and vulnerability were evaluated for East Azarbaijan, West Azarbaijan, and Kurdistan provinces and also Lake Urmia. In the next step, using the intelligent decision system (IDS), the grade-based sustainability of water resource management scenarios in the Urmia Lake basin was investigated. The results showed that full allocation of the Lake Urmia water requirement resulted in reduced water allocation to the agricultural sectors which may have different socio-cultural-political consequences. In spite of decline of water allocation for the agricultural sectors in the first scenario (full allocation of Lake Urmia water requirement), this scenario was chosen as the top scenario with sustainability (utility) of 0.94. This index for the second scenario is 0.83. Finally, it is suggested to further evaluate the sustainability of the agricultural sectors by implementing corresponded different management options.

Keywords: Water Allocation, Lake Urmia, Sustainability, Intelligent decision system, Water Supply and Demand Scenarios.

Received: October 1, 2019
Accepted: November 28, 2019

1- Ph.D. Candidate, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: behboodian@ut.ac.ir
2- Professor, School of Civil Engineering and Center of Excellence for Engineering and Management of Civil Infrastructures, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: kerachian@ut.ac.ir
*- Corresponding Author

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، رشد جمعیت و افزایش فعالیت‌های بشر در کنار محدودیت منابع آب، منجر به افزایش نیاز آب در بخش‌های مختلف شده است. از این‌رو، تأمین پایدار آب، از موضوعات چالش‌برانگیز در بسیاری از کشورها است. به‌منظور بررسی این پایداری، درک مناسب از مفهوم پایداری تأمین و تقاضای آب و ارتباط بین آنها لازم و ضروری است. در مدیریت سیستم‌های منابع آب، در نظر گرفتن معیارهای عملکرد برای ارزیابی پایداری سناریوهای مدیریت منابع آب از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (Jahanshahi and Kerachian, 2019). در همین راستا، Hashimoto et al. (1982) از معیارهای عملکرد اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری برای برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های منابع آب استفاده کردند. Loucks (1997) با تلفیق معیارهای عملکرد، یک شاخص پایداری برای ارزیابی سناریوهای مدیریت منابع آب ارائه کردند. Ahmadi (2011) نیاز آبی محصولات کشاورزی در مقیاس محلی و تخصیص آب آبیاری را در حوضهٔ رودخانه اهرچای در شمال غرب کشور ایران بررسی کردند. در این مطالعه، یک شاخص پایداری برای ارزیابی سیستم معرفی شد. Safavi et al. (2016) به تحلیل سناریوهای برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه منابع آب مبتنی بر عدم قطعیت در حوضهٔ آبریز زاینده‌رود پرداختند. در آن تحقیق، سناریوهای مرتبط با مدیریت تأمین آب، مدیریت تقاضای آب و مدیریت عرضه و تقاضای آب تعریف شدند. سپس، با تعریف معیارهای عملکرد همچون اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری شاخص پایداری منابع آب با ترکیب این معیارهای عملکرد معرفی شد. نتایج نشان دادند که سناریوی مدیریت توأمان عرضه و تقاضای آب منجر به بهبود مدیریت منابع آب از دیدگاه پایداری شده است. Karamouz et al. (2017) به ارزیابی پایداری عرضه و تقاضای آب با در نظرگیری عدم قطعیت در حوضهٔ رودخانه اهرچای ایران پرداختند. در این مطالعه، یک شاخص پایداری بر اساس معیارهای عملکرد معرفی شد. نتایج نشان دادند این شاخص قادر است سناریوهای مختلف برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب را ارزیابی کند و برای بهبود وضعیت پایداری عرضه و تقاضای آب مورد استفاده قرار گیرد. Sarindizaj and Zarghami (2019) به ارزیابی پایداری برنامه‌های احیاء دریاچه ارومیه مبتنی بر پویایی سیستم تحت شرایط تغییر اقلیم پرداختند. ارزیابی برنامه‌های احیای دریاچه ارومیه بر اساس معیارهای عملکرد همچون اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری انجام شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از آن تحقیق، برنامه‌های مدیریتی مشمول عرضه و تقاضای آب به جای استفاده از یک رویکرد منفرد، تأثیر بسزایی در احیاء دریاچه ارومیه خواهند داشت. از جمله برنامه‌های احیاء تأثیرگذار می‌توان به مواردی همچون افزایش بازدهی آبیاری، تغییر الگوی کشت و انتقال آب بین حوضه‌ای اشاره کرد.

مطالعات متعددی برای حل مسأله مدیریت منابع آب با در نظر گرفتن معیارهای مختلف تصمیم‌گیری بر مبنای تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره انجام شده است. Hyde et al. (2005) از تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر عدم قطعیت در مدیریت منابع آب استفاده کردند. در آن تحقیق، عدم قطعیت وزن معیارهای تصمیم‌گیری مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان‌دهنده اهمیت در نظرگیری عدم قطعیت وزن معیارها در تصمیم‌گیری چندمعیاره بوده است. Calizaya et al. (2010) به کاربرد تصمیم‌گیری چندمعیاره در حوضه دریاچه Poopo در کشور بولیوی پرداختند. در آن تحقیق، معیارهای اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی در یک فضای غیرقطعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. Zarghami and Ehsani (2012) روش‌های مختلف تصمیم‌گیری گروهی چندمعیاره را در انتخاب طرح‌های انتقال آب به حوضه دریاچه ارومیه ارزیابی کردند. آن پژوهش، چهار سناریوی مختلف در قالب مسیرهای پیشنهادی مختلف برای ساخت سامانه انتقال آب از رودخانه ارس به دریاچه ارومیه را با در نظر گرفتن چهار معیار ارزیابی کرده است. معیارهای مورد نظر شامل اثرات محیط زیستی، هزینه اجرا، سهولت در اجرا و پذیرش اجتماعی از دیدگاه سه تصمیم‌گیر به‌طور جداگانه وزن‌دهی شدند. در مرحله بعد، با استفاده از چهار روش مهم میانگین وزنی ساده، برنامه‌ریزی سازشی، TOPSIS[1] و عملگر میانگین وزنی مرتب، سناریوهای مختلف اولویت‌بندی شدند و سناریوی مناسب به‌دست آمد. Geng and Wardlaw (2013) کاربرد تصمیم‌گیری چندمعیاره را در مدیریت یکپارچه منابع آب ارزیابی کردند. در آن تحقیق، مجموعه‌ای از سناریوهای مدیریتی همچون کاهش سطح آبیاری، بهبود بازدهی کشاورزی و تغییر الگوی کشت برای نیل به هدف تحقیق پیشنهاد شده است. Karamouz and Taheri (2018) به ارائهٔ راه‌کارهای مدیریتی سیلاب برای مقابله با مخاطرات سیلاب‌های ساحلی و درون شهری پرداختند. در این تحقیق راهکارهای مختلف برای کاهش اثرات سیلاب معرفی شدند و سپس بر اساس معیارهای مختلف همچون هزینه‌های ساخت، هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری و سطح سازگاری با طبیعت، بهترین راهکار مدیریتی در قالب تصمیم‌گیری چندمعیاره تعیین شد.

نظریه استنتاج شهودی (ER[2]) یک رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره است که برای حل مسائلی با معیارهای کمی و کیفی مبتنی بر عدم قطعیت قابل استفاده است. مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد پژوهش‌های مختلفی از این رویکرد برای حل مسائل محیط زیستی و مدیریت منابع آب استفاده کرده‌اند. Wang et al. (2006) به‌صورت

www.SID.ir

Archive of SID

موفقیت‌آمیز از رویکرد استنتاج شهودی بـــرای ارزیابی اثرات محیط زیستـــی در طـــرح‌های عمـرانی مختلف استفاده کـــردنـــد. Abed-Elmdoust and Kerachian (2016) با استفاده از نظریه استنتاج شهودی و با استفاده از نرم‌افزار IDS[3] به ارزیابی سیاست‌های مدیریتی زباله‌های جامد صنعتی پرداختند. نتایج نشان‌دهنده کارآیی مناسب نرم‌افزار IDS در ارزیابی مسائل پیچیده تصمیم‌گیری چندمعیاره بوده است. Bazargan-Lari (2014) از نظریه استنتاج شهودی برای پایش بهینه سیستم توزیع آب شرب استفاده کردند. نتایج روش پیشنهادی در آن مقاله با الگوریتم تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS مقایسه شدند. Liu et al. (2015) به بررسی تصمیم‌گیری گروهی مبتنی بر نظریه استنتاج شهودی برای رتبه‌بندی چندمعیاره همراه با عدم قطعیت پرداختند. در آن تحقیق، یک شاخص با عنوان درجه رضایت تصمیم‌گیرندگان تعریف شد که بر مبنای این شاخص هـــرکدام از سناریوها مورد ارزیابی قرار گرفتند و سناریویی بـــا بالاترین درجه باور به‌عنوان بهترین سناریو مد نظر قرار گرفت. Estalaki et al. (2016) سیاست‌های مختلف مدیریت کیفیت آب دریاچه چیتگر را با توجه به مفاهیم استنتاج شهودی و انتخاب اجتماعی فازی توسعه دادند. برای همین منظور، مجموعه‌ای از ۱۵ سناریوی مختلف برای مدیریت کمیت و کیفیت آب دریاچه چیتگر تعریف شد. در ادامه، شش معیار عملکرد نیز برای ارزیابی سناریوها در نظر گرفته شدند. Akhoundi and Nazif (2018) پایداری سناریوهای مختلف استفاده مجدد از پساب را با استفاده از رویکرد استنتاج شهودی ارزیابی کردند. ابتدا معیارهای مختلف همچون معیارهای فنی، اقتصادی و محیط زیستی تعیین گردیدند. در مرحله بعد با استفاده از نظریه استنتاج شهودی معیارهای تعریف شده باهم تلفیق شدند و بهترین سناریوی استفاده مجدد از پساب انتخاب شد. Zhou et al. (2018) کاربرد نظریه استنتاج شهودی را در تصمیم‌گیری گروهی با در نظر گرفتن وزن‌ها و شاخص اعتمادپذیری برای مجموعه معیارها و تصمیم‌گیرندگان ارزیابی کردند. در این تحقیق مدل‌های برنامه‌ریزی مختلف با در نظر گرفتن وزن‌ها و اعتمادپذیری به صورت بازه‌ای مبتنی بر نظریه استنتاج شهودی برای ساخت ساختارهای باور به کار گرفته شد. Jahanshahi and Kerachian (2019) یک شاخص پایداری بر مبنای نظریه استنتاج شهودی برای ارزیابی و تحلیل سناریوهای مدیریت منابع آب توسعه دادند. در این تحقیق، ابتدا معیارهای عملکرد اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری محاسبه و با استفاده از نظریه استنتاج شهودی تلفیق شدند تا در نهایت یک شاخص پایداری مبتنی بر عدم قطعیت به دست آید. در مرحلهٔ آخر، با استفاده از معیار پایداری توسعه داده شده، سناریوهای مدیریت منابع آب ارزیابی شدند. در مقالهٔ حاضر، ابتدا سیستم منابع آب مورد مطالعه به چند زیرسیستم تقسیم می‌شود. هر زیرسیستم خود شامل بخش‌های مختلف نیاز همچون شهری، صنعت، کشاورزی و محیط زیست هستند. در مرحلهٔ بعد، معیارهای عملکرد مختلف همچون اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری برای هرکدام از بخش‌های متعلق به زیرسیستم‌ها محاسبه می‌شوند. سپس، با استفاده از نظریه استنتاج شهودی و کاربرد آن در نرم‌افزار Intelligent Decision System (IDS) که توسط Xu and Yang (2001) توسعه داده شده است، معیارهای عملکرد بخش‌های مختلف هر کدام از زیر سیستم‌ها با هم تلفیق می‌شوند تا معیار پایداری هر زیرسیستم به دست آید. پس از آن، معیارهای پایداری زیرسیستم‌ها دوباره با یکدیگر تلفیق می‌شوند و در نهایت معیار پایداری نهایی مبتنی بر عدم قطعیت برای سیستم مدنظر تعیین می‌گردد. این فرآیند برای دو سناریوی مدیریتی مختلف تکرار می‌شود و از روی نتایج به دست آمده، سناریوها با یکدیگر مقایسه می‌گردند تا بهترین سناریو برای سیستم مورد مطالعه تعیین گردد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه مطالعاتی

دریاچه ارومیه با موقعیت جغرافیایی بین '۳۷°۰۳ و '۳۸°۱۷ عرض شمالی و '۴۴°۵۹ و '۴۵°۵۶ طول شرقی بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و یکی از دریاچه‌های مهمّ شور در جهان است. طول این دریاچه حدوداً ۱۴۶ کیلومتر و بیشترین عرض آن حدود ۵۸ کیلومتر است. حوضهٔ دریاچه ارومیه استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان را در بر می‌گیرد. مشخصات کلی حوضهٔ آبریز دریاچه ارومیه به همراه مرز استان‌ها و نقشه رودخانه‌ها در شکل ۱ قابل ملاحظه است. در دهه‌های گذشته سطح دریاچه به‌طور چشم‌گیری کاهش پیدا کرده است. همچنین، روند کاهش تراز دریاچه در سال‌های اخیر یکی از موضوعات چالش‌برانگیر در این منطقه است که اثرات مخربی بر بخش‌های کشاورزی، محیط زیست و اقتصاد حوضه برجای گذاشته است. محصولات اصلی که در این حوضه کشت می‌شوند شامل گندم، جو، چغندرقند، یونجه، سیب‌زمینی، پیاز، انگور و گوجه فرنگی می‌باشد.

۲-۲- پتانسیل منابع آب در حوضهٔ دریاچه ارومیه

همان‌طور کـــه در تحقیق انجـام شـــده تـــوسط Moghaddasi et al. (2018) اشاره شده است، پتانسیل منابع آب در استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، کردستان و همچنین حقابه دریاچه ارومیه در جدول ۱ قابل مشاهده است. بر اساس اطلاعات موجود در این جدول، مجموع پتانسیل منابع آب در حوضه دریاچه ارومیه برابر ۶۹۲۵ میلیون مترمکعب و حقابه دریاچه ارومیه نیز برابر ۳۱۰۰ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

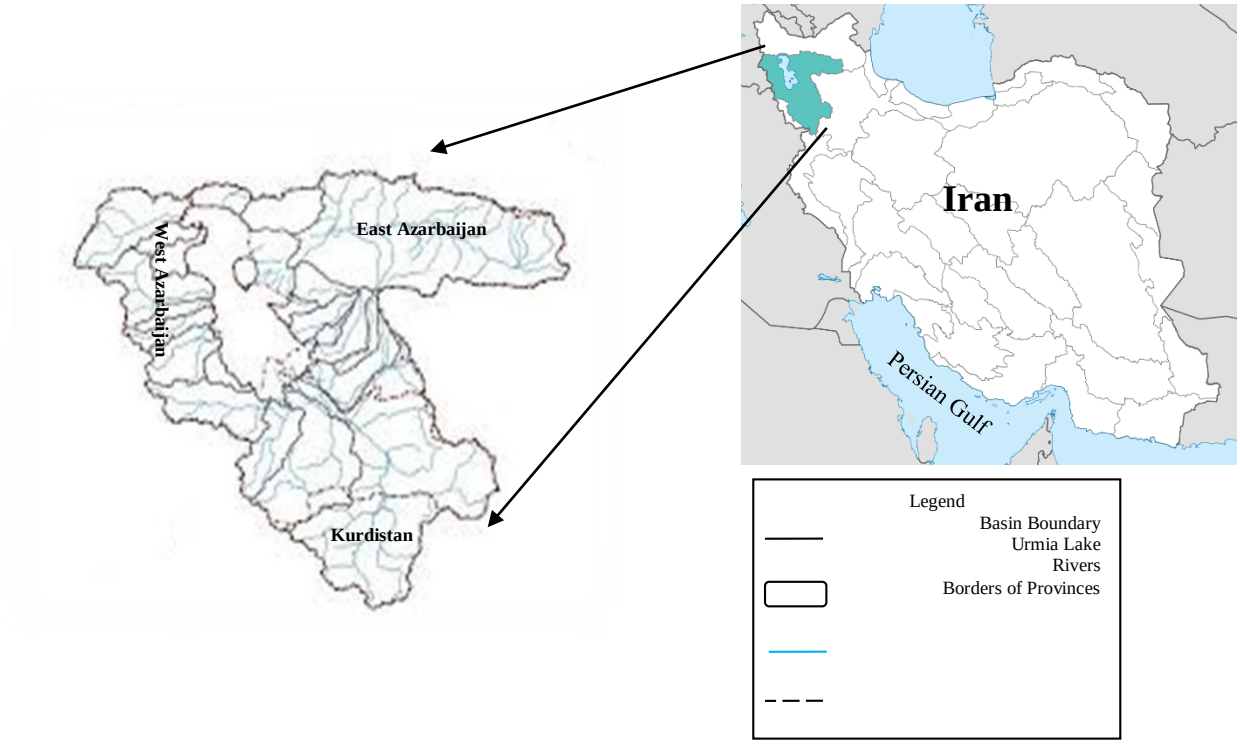

Fig. 1- Location of the Urmia Lake basin
شکل ۱- موقعیت مکانی حوضهٔ آبریز دریاچه ارومیه

Table 1- Water resources potential of the provinces in Lake Urmia basin (Moghaddasi et al., 2018; Delavar et al., 2012)
جدول ۱- پتانسیل منابع آب استان‌های واقع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

Province	Water resources (Million m^3)	Contribution to Lake Urmia
West Azarbaijan	3982.7	1870.5
East Azarbaijan	1360.8	270.5
Kurdistan	1583.5	959.1

۲-۳- مدل‌سازی حوضه دریاچه ارومیه بر مبنای سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

مطابق با Delavar et el. (2012)، برای تخصیص بهینه منابع آب به نیازهای (گره‌ها) مختلف همچون شهری، صنعت، کشاورزی و محیط زیست از مدل UWAP[۴] استفاده شده است. ورودی لازم برای مدل‌سازی، سری زمانی جریان‌های طبیعی در رودخانه‌های موجود در حوضهٔ آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. دوره مورد مطالعه بین سال‌های ۱۳۳۷ لغایت ۱۳۹۷ است که شامل سال‌های پر آب و خشکسالی‌های موجود می‌باشد. لذا، دوره زمانی انتخاب شده از تنوع مناسب خشکسالی و ترسالی برخوردار است.

مدل‌سازی‌های انجام شده در این مقاله، دارای مقیاس و مرزبندی خاصی است به‌طوری که محدوده حوضه دریاچه ارومیه در قالب یک سیستم به زیرسیستم‌های رودخانه‌ای تقسیم‌بندی شده‌اند و هر استان شامل یک یا چندین زیرسیستم می‌باشد. تبادل اطلاعات بین زیرسیستم‌ها منجر به تخصیص بهینه آب می‌گردد. در نهایت مجموعه زیرسیستم‌های موجود در هر استان همراه با دریاچه ارومیه حوضه دریاچه ارومیه را تشکیل می‌دهند. مبانی کامل این مدل در Delavar at el. (2012) شرح داده شده است.

۲-۴- سناریوهای مدیریت منابع آب

در مدل UWAP تخصیص بهینه بر اساس معادله بیلان انجام می‌شود. از این‌رو، میزان کاهش تخصیص آب به بخش‌های کشاورزی و دریاچه ارومیه در سناریوهای مختلف مدیریت منابع آب تعیین می‌شود. از این‌رو، دو سناریوی مهم به‌منظور تأمین آب دریاچه ارومیه بررسی می‌شوند. سناریوی اول مطابق با تخصیص حتی‌الامکان تمام

www.SID.ir

Archive of SID

حقابه دریاچه ارومیه می‌باشد که معادل ۳۱۰۰ میلیون متر کعب در سال است. در مقابل، در سناریوی دوم تخصیص آب دریاچه ارومیه متناسب با شرایط خشکسالی تا حدود ۳۵٪ کاهش می‌یابد. البته در سناریوی دوم فرض بر این است که در سال‌های پرآب، حقابه بخش کشاورزی زیاد نخواهد شد و آب مازاد، کمبود تخصیص‌های قبلی به دریاچه ارومیه را جبران خواهد کرد (Moghaddasi et al., 2012). لازم به ذکر است مدل استفاده شده در این پژوهش تخصیص هر زیرسیستم را متناسب با شرایط خشکسالی و کم‌آبی مختلف تعیین می‌کند. بـــرای بـــررسی بیشتر جزییات سناریوها به تحقیق Moghaddasi et al. (2012) و Moghaddasi et al. (2018) رجوع گردد.

۲-۵- سامانه تصمیم‌گیری چندمعیاره

برای ارزیابی معیارهای عملکرد و محاسبه شاخص پایداری، از نرم‌افزار IDS استفاده می‌شود. برای همین منظور، نخست درجات باور مرتبط با نظریه استنتاج شهودی برای ارزیابی هرکدام از زیرحوضه‌ها در قالب معیارهای عملکرد تعریف می‌شوند. پس از ارزیابی تمامی معیارهای عملکرد زیرسیستم‌ها، وزن معیارها تعیین می‌شوند تا شاخص پایداری هر کدام از بخش‌های متقاضی آب (شهری، صنعت، کشاورزی و محیط زیست) مبتنی بر درجات باور با ترکیب معیارهای عملکرد محاسبه شود. در مرحله بعد، با در اختیار داشتن شاخص پایداری هرکدام از بخش‌ها در زیرسیستم‌ها، وزن بخش‌های مختلف تعیین می‌شود و با استفاده از IDS شاخص پایداری زیرحوضه‌ها نیز تعیین می‌شود. به همین ترتیب، در سطح سوم محاسبات نظریه استنتاج شهودی، شاخص پایداری هر استان با تلفیق شاخص‌های پایداری زیرسیستم‌های مربوط به آن استان و با استفاده از نظریه استنتاج شهودی محاسبه می‌شود. سپس، یک معادله بیلان برای دریاچه ارومیه توسعه داده می‌شود که در آن تغییرات حجم سالانه دریاچه ارومیه محاسبه می‌گردد. برای انجام این کار، ابتدا میزان ورودی دریاچه از زیرحوضه‌های اطراف تعیین می‌شود. سپس با محاسبه مقادیر تغییرات بارش سالانه و تبخیر سالانه از سطح دریاچه و استفاده از معادله بیلان، تغییرات سالانه حجم دریاچه ارومیه محاسبه می‌شود. بر این اساس، وضعیت حجم دریاچه نیز بر مبنای درجات باور کلاس‌بندی می‌شود تا به‌عنوان یک شاخص پایداری دیگر برای دریاچه در تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شود. لازم به ذکر است وضعیت حجم دریاچه مبتنی بر تراز اکولوژیکی دریاچه و وضعیت آرتمیا از کلاس‌های "بهترین" تا "بدترین" تقسیم‌بندی می‌شود. در نهایت، با در دست داشتن شاخص پایداری هرکدام از استان‌ها مبتنی بر درجات باور و همچنین وضعیت تغییرات حجم دریاچه ارومیه، بهترین سناریوی مدیریت منابع آب با استفاده از نظریه استنتاج شهودی تعیین می‌شود.

توضیحات بیشتر در رابطه با جزئیات محاسبات مسأله در ادامه شرح داده می‌شود.

۲-۵-۱- تعریف درجات باور

در این پژوهش مجموعه درجات باور شامل چند کلاس ارزیابی می‌باشد که هرکدام از کلاس‌ها منحصر به فرد و فاقد فصل مشترک هستند. لازم به ذکر است که تعداد کلاس‌های ارزیابی نشان دهنده دقت مسئله است و مطابق مطالعات پیشین معمولاً پنج کلاس از دقت مناسبی برخوردار است.

$$H = \{H_1, H_2, H_3, H_4, H_5\} \quad (۱)$$

که در آن H_5 بهترین (Best) کلاس و H_1 بدترین (Worst) کلاس در ارزیابی المان مدنظر است. در نظریه استنتاج شهودی، هرکدام از کلاس‌ها مقداری بین صفر تا یک به خود اختصاص می‌دهند که درجه باور آن کلاس نامیده می‌شود. فرض شود یک پروژه دارای M سناریوی مدیریتی $(a_l\ (l = 1, \dots, M$، C معیار عملکرد $(c_k\ (k =$ $1,\dots,C)$، N_d بخش (گره) برای تقاضای آب $(d_q\ (q = 1,\dots,N_d)$ و N_s زیرسیستم $(s_j\ (j = 1,\dots,N_s)$ باشد که زیرسیستم‌ها زیرمجموعهٔ N_b حوضه $(b_i\ (i = 1,\dots, N_b)$ هستند. بر این اساس، در این پژوهش، دو سناریوی مدیریت منابع آب در مقیاس حوضهٔ آبریز در پنج سطح مورد ارزیابی قرار می‌گیرند که هر سطح خود دارای المان‌هایی برای ترکیب خواهند بود. همچنین، سه معیار عملکرد اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری برای چهار بخش (گره) مختلف تقاضای آب همچون شهری، صنعت، کشاورزی و محیط زیست در سه استان آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و کردستان به ترتیب دارای پنج، پنج و یک زیرسیستم مدنظر قرار خواهند گرفت. اگر یک معیار عملکرد همچون c_k از گره d_q که در زیرسیستم s_j قرار دارد دارای کلاس H_n با درجه باور $\beta_{n,ijqk}(a_l)$ باشد، نحوه نمایش درجات باور این معیار عملکرد به صورت رابطه زیر خواهد بود که ساختار باور مربوط به آن معیار عملکرد نامیده می‌شود.

$$S\left(e_{ijqk}(a_l)\right) = \left\{\left(H_n, \beta_{n,ijqk}(a_l)\right), n = 1, \dots, N\right\} \quad (۲)$$

در رابطه بالا H_n، n اُمین کلاس از مجموعه کلاس‌های H می‌باشد. همچنین e ارائه کننده المان مورد نظر برای تلفیق می‌باشد که بسته به سطح مورد نظر در سلسله مراتب محاسباتِ نظریه استنتاج شهودی می‌تواند معیار عملکرد، بخش تقاضای آب (گره)، زیرسیستم یا استان باشد. همچنین N برابر تعداد کلاس‌های ارزیابی است که در این تحقیق پنج کلاس برای ارزیابی تعریف شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۵-۲- تعریف معیارهای عملکرد

استفاده از معیارهای عملکرد امکان ارزیابی و مقایسه سناریوهای مدیریتی را فراهم می‌کند. معیار اول اعتمادپذیری است که میزان موفقیت در تأمین نیاز را در گام زمانی منتخب مشخص می‌کند. به عبارت دیگر، این معیار میزان موفقیت در تأمین آب مورد نیاز در طول دورهٔ زمانی برنامه‌ریزی را تعیین می‌کند. این معیار به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{Reliability}_t = \frac{\text{supply}_t}{\text{demand}_t} * 100 \qquad (۳)$$

معیار دوم برگشت‌پذیری است که توانایی بازیابی از شکست تعریف می‌شود. محاسبه این شاخص نکات مختلفی دارد که در محاسبه آن باید به آنها توجه کرد. اولین نکته‌ای که باید در نظر داشت این است که اگر میزان نیاز آبی به صورت کامل تأمین نشود، این حالت شرایط شکست در نظر گرفته می‌شود. بسته به شدت شکست در هر گام زمانی و میزان تأمین آب در گام زمانی بعدی، این شاخص محاسبه می‌شود. اگر مقدار پوشش نیاز آب در گام زمانی t کمتر از پوشش نیاز آب در گام زمانی t+1 باشد، مقدار این شاخص صفر خواهد بود. در غیر این صورت شاخص برگشت‌پذیری به‌صورت زیر محاسبه خواهد شد (Jahanshahi and Kerachian, 2019):

$$\text{Resiliency}_t = \frac{(\text{Reliability}_{t+1} - \text{Reliability}_t \mid \text{Reliability}_t < 100)}{100 - \text{Reliability}_t} * 100 \quad \geq 0 \qquad (۴)$$

معیار سوم، مربوط به آسیب‌پذیری بخش‌های مربوط به نیاز آبی (شهری، صنعت و غیره) است که نشان‌دهندهٔ میزان اثر شرایط شکست بر بخش‌ها در دوره زمانی برنامه‌ریزی است. در واقع این شاخص شدت شرایط شکست بخش‌ها را نشان می‌دهد. محاسبه این شاخص به صورت زیر انجام می‌پذیرد:

$$\text{Vulnerability}_t = \begin{cases} \text{Demand}_t - \text{Supply}_t, & \text{if } \text{Demand}_t > \text{Supply}_t \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (۵)$$

لازم به ذکر است پس از محاسبه سری زمانی معیارهای عملکرد برای هرکدام از بخش‌ها، درجات باور آنها بسته به کلاس‌بندی آنها تعیین می‌شود. به‌عنوان مثال اگر معیار اعتمادپذیری در تمامی گام‌های زمانی مقادیر بالای ۸۰ درصد داشته باشند و کلاس H_5 که بهترین کلاس موجود است دارای تغییرات ۸۰ درصد تا ۱۰۰ درصد باشد، آنگاه درجه باور این کلاس برابر با یک و بقیه کلاس‌ها صفر خواهد بود. لازم به ذکر است معیارهای عملکرد تعریف شده در تمامی زیرسیستم‌ها در دوره زمانی ۱۳۳۷ تا ۱۳۹۷ به‌صورت سالانه محاسبه می‌شوند. پس از محاسبه معیارها، با دست داشتن سری زمانی آنها، نمرات ساختارهای باور مربوط به هر کدام از معیارها بر اساس دامنه تعریف شده در هر کدام از کلاس‌ها تعیین می‌شوند. در مرحلهٔ بعد، تلفیق معیارهای عملکرد با استفاده از نظریه استنتاج شهودی انجام می‌شود که در بخش بعدی توضیح داده می‌شود.

۲-۵-۳- نرم‌افزار IDS و نحوهٔ به‌کارگیری نظریه استنتاج شهودی

IDS یک بسته نرم‌افزای برای تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره است که شامل چندین منابع عدم قطعیت ناشی از فقدان داده، قضاوت ذهنی و بازه‌ای بودن داده‌ها می‌باشد. این نرم‌افزار به منظور مدل‌سازی مسأله از ساختار باور و برای ترکیب معیارهای مسأله از نظریه استنتاج شهودی استفاده می‌کند. خروجی نرم‌افزار IDS شامل رتبه‌بندی سناریوها و نمرهٔ نهایی تلفیق شده برای هر کدام از سناریوها مبتنی بر ساختار باورشان می‌باشد.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، هدف این مقاله ارزیابی پایداری سناریوهای عرضه و تقاضای آب در حوضهٔ آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از نرم‌افزار IDS است. برای این کار، از سه معیار اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری استفاده می‌شود. شکل ۲ نمونه‌ای از نحوهٔ تعریف معیار در نرم‌افزار را نشان می‌دهد. علاوه بر این، می‌توان تعداد کلاس‌های ارزیابی معیارها را نیز مطابق این شکل تعیین کرد.

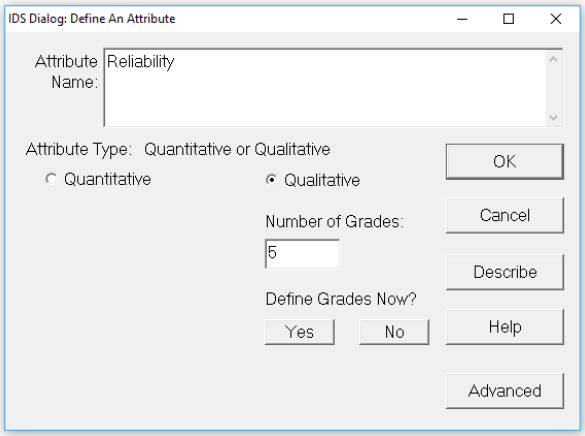

Fig. 2- Defining a qualitative criterion for sustainability assessment of the scenarios in the IDS dialog

شکل ۲- تعریف معیار کیفی برای ارزیابی پایداری سناریوها در نرم‌افزار IDS

پس از تعریف معیارها و زیرمعیارها، مقادیر درجه باور کلاس‌های ارزیابی مرتبط با آن معیار یا زیرمعیار توسط کاربر محاسبه می‌شوند. درجه باور محاسبه شده برای یک معیار نشان دهنده وضعیت آن معیار در زیرسیستم یا گره مورد نظر است. به‌عنوان مثال شکل ۳ نشان می‌دهد معیار اعتمادپذیری در گره مربوط به بخش کشاورزی ۴۴ درصد از دوره زمانی شبیه‌سازی جزء کلاس "بدترین" ارزیابی شده است و

www.SID.ir

Archive of SID

با این تحلیل می‌توان تعیین کرد که وضعیت گره کشاورزیِ مربوط در طول دوره شبیه‌سازی وضعیت مناسبی از دید معیار اعتمادپذیری نداشته است.

با تعریف تمامی معیارهای عملکرد در هر کدام از گره‌های تقاضای آب (مثلاً شهری، کشاورزی و غیره) در نرم‌افزار IDS و محاسبه درجات باور، وزن معیارهای عملکرد و همچنین وزن تمامی گره‌های تقاضا با استفاده از نرم‌افزار تعیین می‌شوند. در این مقاله از روش مقایسه زوجی[5] برای تخمین وزنها استفاده شده است. شکل ۴ نحوهٔ محاسبه وزن معیارهای عملکرد با استفاده از نرم‌افزار و به روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP[6] را نشان می‌دهد. برای مطالعه بیشتر در مورد این رویکرد به Akhoundi and Nazif (2018) مراجعه گردد.

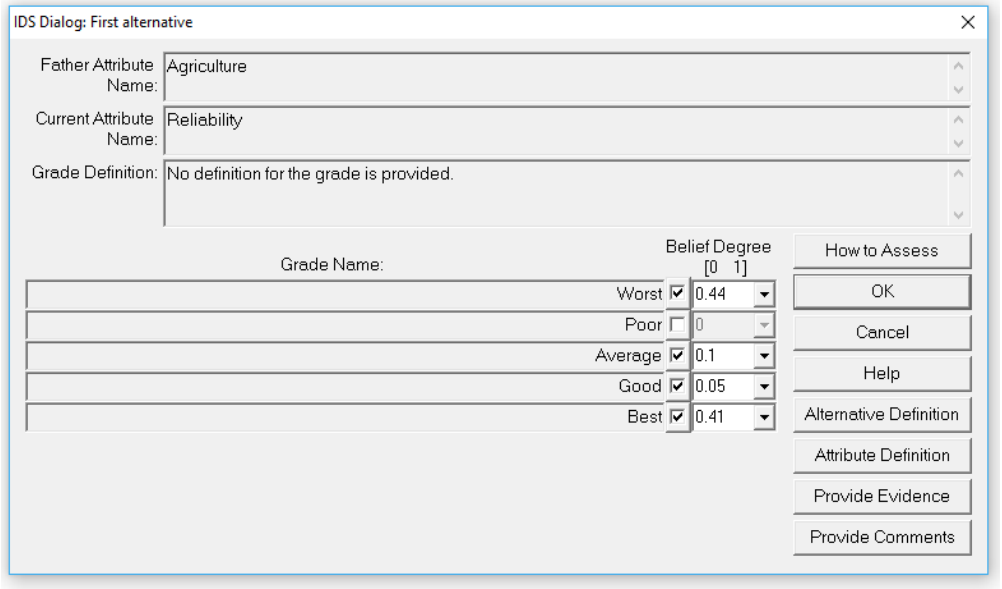

Fig. 3- Importing the assessment grades of a performance criterion in the IDS dialog

شکل ۳- وارد کردن درجات باور یک معیار عملکرد با استفاده از نرم‌افزار IDS

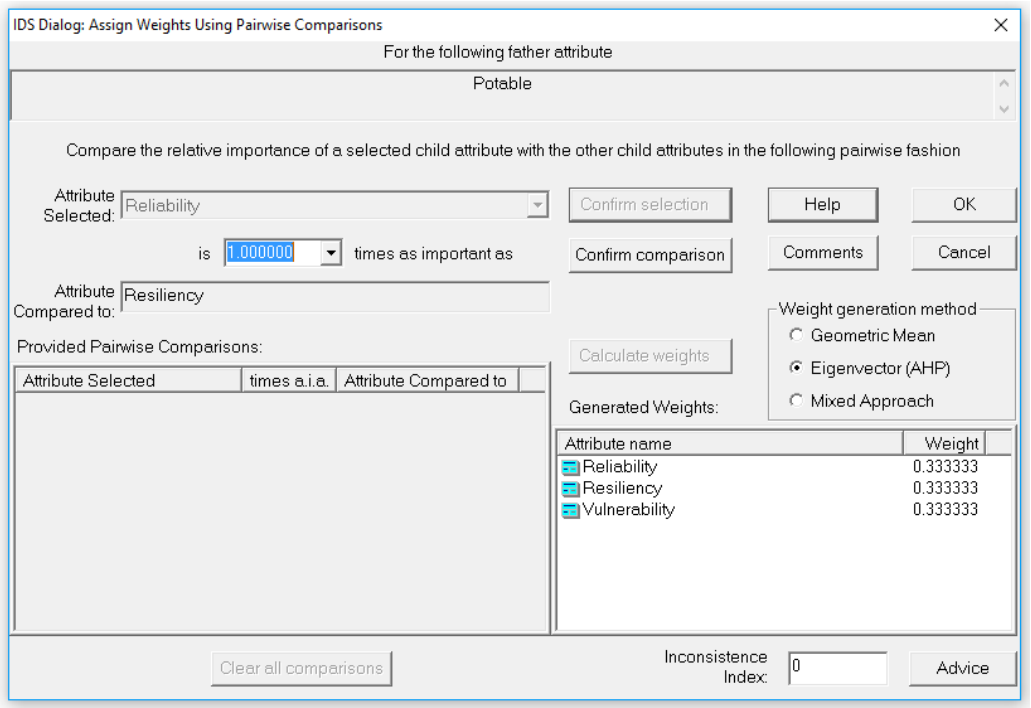

Fig. 4- Assigning the weights of the performance criteria using pair-wise comparison method in IDS dialog

شکل ۴- تحلیل و تخمین وزنهای معیارهای عملکرد در نرم‌افزار IDS با استفاده از روش مقایسه زوجی

www.SID.ir

Archive of SID

در گام بعد، درجات باور تلفیق شده برای سناریوهای مختلف عرضه و تقاضای آب توسط نرم‌افزار محاسبه می‌شود (شکل ۵). علاوه بر این، کاربر می‌تواند برای کلاس‌های ارزیابی سناریوها نمره‌ای بین صفر تا یک اختصاص دهد که این نمره‌ها نشان‌دهندهٔ درجهٔ اهمیت کلاس ارزیابی مدنظر است. با توجه به اینکه هدف اصلی در مقاله حاضر یافتن سناریوی پایدار عرضه و تقاضای آب توسط نرم‌افزار IDS است، بنابراین نمرهٔ کلاس‌های ارزیابی به ترتیب از "بدترین" به "بهترین" حالت صعودی خواهد داشت تا سناریوی با پایداری بیشتر انتخاب شود. شکل ۶ نمونه‌ای از نمره‌دهی کلاس‌های ارزیابی را برای یک سناریو ارائه می‌کند. در نهایت، با در اختیار داشتن درجات باور و نمرهٔ هر کدام از کلاس‌های ارزیابی در سناریوهای مختلف، نمره هر سناریو با میانگین‌گیری نمره‌های کلاس‌های ارزیابی تعیین می‌شود و بر اساس آن سناریو با بالاترین نمره به‌عنوان بهترین سناریوی عرضه و تقاضای آب انتخاب می‌شود. جزییات بیشتر در رابطه با اجرای نرم‌افزار IDS و چگونگی انتخاب سناریوی بهینه در Yang (2007) ارائه شده است.

۳- نتایج و تحلیل نتایج

در این بخش ابتدا در مورد به روزرسانی مدل تخصیص آب بحث می‌شود. سپس نتایج کاربرد نرم‌افزار IDS و نظریه استنتاج شهودی با جزییات بیشتر بررسی و تحلیل می‌شوند.

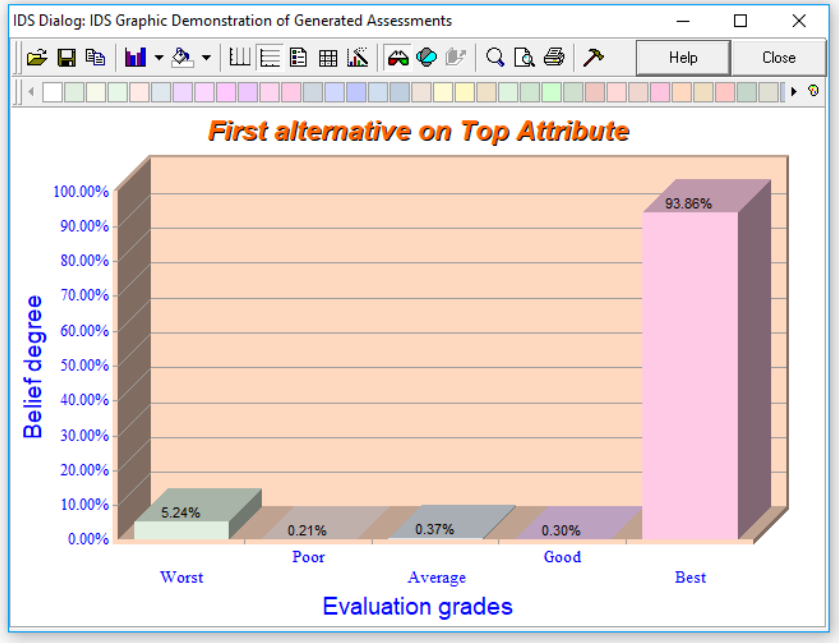

Fig. 5- The grades of assessment generated by the IDS for a water supply and demand scenario

شکل ۵- درجات باور محاسبه شده توسط نرم‌افزار IDS برای یک سناریوی عرضه و تقاضای آب

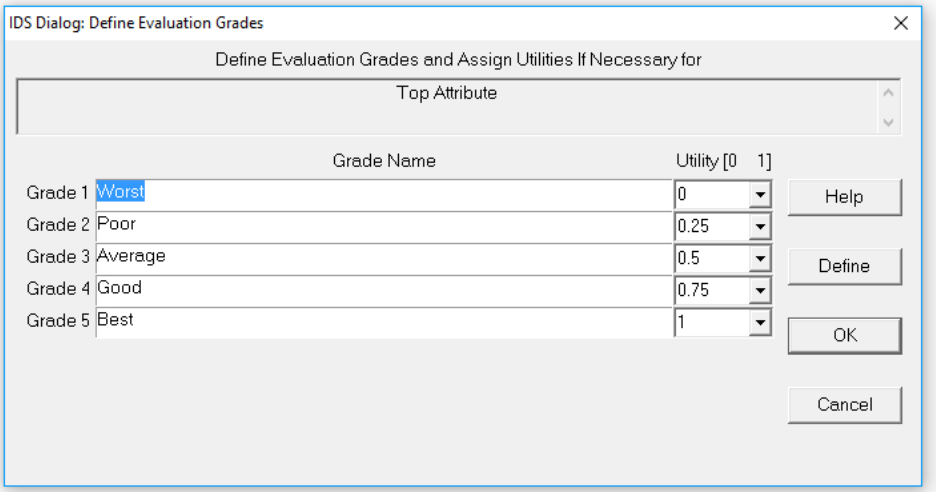

Fig. 6- Defining the grades of assessment and their utilities in the IDS dialog

شکل ۶- تعریف درجات باور و نمره‌های ارزیابی آنها با استفاده از نرم‌افزار IDS

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۱- مدل تخصیص آب UWAP

مدل استفاده شده در Moghaddasi et al. (2018) برای دوره زمانی ۱۳۳۶ تا ۱۳۸۵ مورد استفاده قرار گرفته است. لازم به ذکر است که اطلاعات مورد استفاده برای اجرای مدل، پتانسیل منابع آب موجود در سیستم‌های رودخانه‌ای واقع در حوضهٔ آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. بنابراین برای به‌روز کردن مدل کافی است این اطلاعات به روز گردند. از این‌رو، از اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری و همچنین اطلاعات ورودی و خروجی سدهای موجود در محدوده مطالعاتی استفاده شد. لازم به ذکر است اطلاعات حجم ورودی و خروجی سد و اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد نیاز از پایگاه داده IWRM (2019) دریافت شد. برای به‌روزرسانی مدل UWAP، ابتدا ضریب همبستگی اطلاعات مدل و پایگاه داده مورد استفاده تا سال ۱۳۸۵ محاسبه شد. با بررسی ضرایب همبستگی مشخص شد تمام اطلاعات دریافت شده از پایگاه داده‌ها، ضریب همبستگی مناسبی با اطلاعات مدل UWAP دارند. به‌عنوان مثال، نمودار تغییرات پتانسیل آب رودخانه زرینه‌رود تا سال ۱۳۸۵ (موجود در مدل UWAP) در بالادست سد بوکان با اطلاعات حجم ورودی سد بوکان در شکل ۷ قابل ملاحظه می‌باشد. ضرایب همبستگی مربوط به اطلاعات پایگاه داده‌ها با اطلاعات مدل UWAP در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

۳-۲- محاسبه معیارهای عملکرد

همان‌طور که گفته شد منابع آب موجود در دوره زمانی ۱۳۳۷ تا ۱۳۹۷ با استفاده از مدل UWAP به بخش‌های مختلف نیاز آبی در زیرسیستم‌های موجود در هر استان تخصیص داده شدند. در مرحلهٔ بعد، با محاسبه معیارهای عملکرد، درجات باور هرکدام از معیارها محاسبه شدند. جدول ۳ درجات باور مربوط به معیارهای عملکرد را برای سناریوی اول در هر زیرسیستم و در استان آذربایجان غربی نشان می‌دهد.

۳-۳- کاربرد نرم‌افزار IDS

برای تعیین معیار پایداری مربوط به هرکدام از نیازهای آبی، از رویکرد استنتاج شهودی در نرم‌افزار IDS استفاده شد. در این مرحله، برای تلفیق معیارهای عملکرد، وزن معیارها باید تعیین شوند. برای تعیین وزن معیارها، با استفاده از قضاوت مهندسی، وزن معیارهای عملکرد برابر ۰/۳۳ فرض شد. پس از تعیین وزن‌ها، درجات باور معیارهای عملکرد با یکدیگر تلفیق شدند و معیار پایداری هرکدام از نیازها محاسبه شدند. در مرحله بعد، شاخص‌های پایداری مبتنی بر درجات باور بخش‌های مربوط به نیاز آبی و متعلق به یک زیرسیستم با یکدیگر تلفیق شدند. لازم به ذکر است برای انجام این‌کار نیز وزن مربوط به نیازهای آبی (گره‌ها) باید تعیین گردد. مطابق با تحقیق انجام شده توسط Jahanshahi and Kerachian (2019)، اهمیت بخش‌های مختلف نیاز نسبت به یکدیگر تعیین شده‌اند.

از این‌رو، با در اختیار داشتن اهمیت نسبی هرکدام از بخش‌ها و استفاده از روش مقایسه زوجی، وزن هرکدام از بخش‌ها تعیین گردید. بر این اساس، وزن بخش‌های شهری- صنعت، محیط زیست و کشاورزی به‌ترتیب برابر ۰/۵۰، ۰/۳۵ و ۰/۱۵ تعیین شدند. در ادامه، شاخص‌های پایداری زیرحوضه‌ها نیز محاسبه شدند. نتایج مربوط به سناریوی اول در جدول ۴ ارائه شده است.

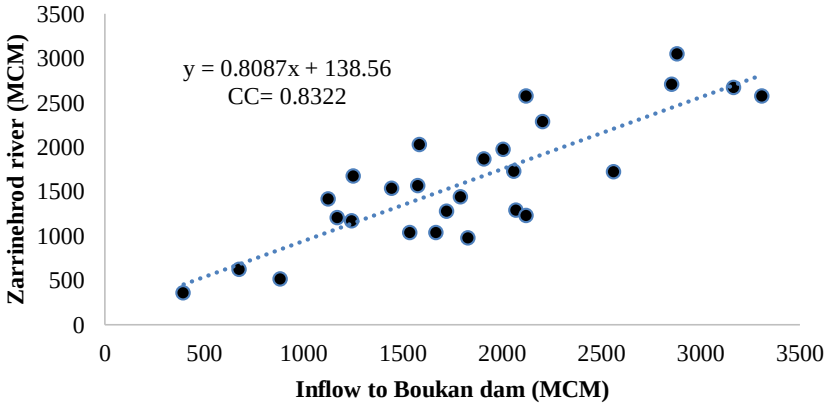

Fig. 7- Annual variation of potential water resources for Zarrinehrud river, upstream of Bukan dam (Available in UWAP) versus annual inflow to the Bukan dam

شکل ۷- روند تغییرات سالانه پتانسیل منابع آب رودخانهٔ زرینه‌رود در بالادست سد بوکان (موجود در مدل) در مقابل تغییرات سالانه حجم ورودی به سد بوکان تا سال ۱۳۸۵

www.SID.ir

Archive of SID

Table 2- Existing sub-systems in the Lake Urmia basin and the way their available water data are updated using IWRM information by 2018

جدول ۲- زیرسیستم‌های مختلف با نیازهای آبی موجود در حوضهٔ آبریز دریاچه ارومیه و نحوهٔ به‌روزرسانی منابع آب در دسترس زیرسیستم‌ها با توجه به اطلاعات شرکت مدیریت منابع آب ایران تا سال ۱۳۹۷

Province	Sub-system	Demand node				Basis data for updating available water data	Correlation coefficient
West Azarbaijan	Downstream of Boukan dam	Municipal	Industrial	Environmental	Agricultural	Dam inflow data	0.8128
	Shahrchay	Municipal	Industrial	Environmental	Agricultural	Station data	0.8174
	Upstream of Mahabad dam	-	-	Environmental	Agricultural	Dam inflow data	0.8198
	Downstream of Mahabad dam	Municipal	Industrial	Environmental	Agricultural	Dam inflow data	0.8740
	Other rivers	-	-	Environmental	Agricultural	Station data	0.7957
East Azarbaijan	Upstream of Venyar dam	Municipal	Industrial	Environmental	Agricultural	Dam inflow data	0.9460
	Downstream of Venyar dam	-	-	Environmental	Agricultural	Dam inflow data	0.9223
	Upstream of Alavian dam	-	-	Environmental	Agricultural	Dam inflow data	0.8316
	Downstream of Alavian dam	Municipal	Industrial	Environmental	Agricultural	Dam inflow data	0.8539
	Other rivers	-	-	Environmental	Agricultural	Station data	0.8562
Kurdistan	Upstream of Boukan dam	-	-	Environmental	Agricultural	Dam inflow data	0.8322

Table 3- Grade-based assessment of performance criteria in the ER approach

جدول ۳- نتایج معیارهای عملکرد محاسبه شده در رویکرد استنتاج شهودی مبتنی بر درجات باور

Province	Sub-system	Node	Criteria	Distributed assessment of the criteria for demand nodes				
				H_1	H_2	H_3	H_4	H_5
West Azerbaijan	Downstream of Boukan dam	Mun-Ind[a]	Rel[d]	0	0	0	0	1
			Res[e]	0	0	0	0	1
			Vul[f]	0	0	0	0	1
		Env[b]	Rel	0	0	0	0	1
			Res	0.16	0	0	0	0.84
			Vul	0.36	0	0	0	0.64
		Agr[c]	Rel	0.55	0	0.10	0.10	0.24
			Res	0.48	0.02	0.03	0.05	0.43
			Vul	0.56	0	0.10	0.10	0.24
	Shahrchay	Mun-Ind	Rel	0	0	0	0	1
			Res	0	0	0	0	1
			Vul	0	0	0	0	1
		Env	Rel	0	0	0	0	1
			Res	0.23	0	0	0	0.77
			Vul	0.39	0	0	0	0.61
		Agr	Rel	0.39	0.13	0.10	0.08	0.30
			Res	0.48	0.02	0.03	0.02	0.46
			Vul	0.52	0	0.01	0.08	0.30
	Upstream of Mahabad dam	Env	Rel	0	0	0	0	1
			Res	0.07	0	0	0	0.93
			Vul	0.11	0	0	0	0.89
		Agr	Rel	0.21	0	0.13	0.15	0.51
			Res	0.16	0.03	0.05	0.03	0.72
			Vul	0.21	0.13	0	0.15	0.51
	Downstream of Mahabad dam	Mun-Ind	Rel	0	0	0	0	1
			Res	0	0	0	0	1
			Vul	0	0	0	0	1
		Env	Rel	0	0	0	0	1
			Res	0.07	0	0	0	0.93
			Vul	0.13	0	0	0	0.87
		Agr	Rel	0.31	0	0.13	0.21	0.35
			Res	0.31	0	0.05	0.07	0.57
			Vul	0.31	0	0.13	0.21	0.35
	Other rivers	Env	Rel	0	0	0	0	1
			Res	0.26	0	0	0	0.74
			Vul	0.43	0	0	0	0.57
		Agr	Rel	0	0.28	0.15	0.16	0.41
			Res	0.36	0.07	0.02	0.03	0.52
			Vul	0.28	0.15	0.16	0.05	0.36

a) Municipal-Industrial, b) Environmental, c) Agricultural, d) Reliability, e) Resiliency, f) Vulnerability

www.SID.ir

Archive of SID

Table 4- Grade-based assessment of sustainability index for sub-systems using the ER approach
جدول ۴- نتایج شاخص پایداری محاسبه شده برای زیرسیستم‌ها در رویکرد استنتاج شهودی مبتنی بر درجات باور

Province	Sub-system	Distributed Assessments grades of subsystems				
		H_1	H_2	H_3	H_4	H_5
West Azarbaijan	Downstream of Boukan dam	0.08	0	0	0	0.92
	Shahrchay	0.07	0	0	0	0.91
	Upstream of Mahabad dam	0.05	0.01	0	0.01	0.93
	Downstream of Mahabad dam	0.03	0	0.01	0.01	0.95
	Other rivers	0.18	0.02	0.01	0.01	0.78
East Azarbaijan	Upstream of Venyar dam	0.09	0	0.04	0.03	0.84
	Downstream of Venyar dam	0.02	0.02	0.01	0.02	0.93
	Upstream of Alavian dam	0.04	0	0.02	0.01	0.93
	Downstream of Alavian dam	0.01	0	0.01	0.01	0.97
	Other rivers	0.17	0.01	0.02	0.09	0.71
Kurdistan	Upstream of Boukan dam	0.14	0	0.01	0.01	0.84

در سطح چهارم، شاخص پایداری زیرسیستم‌های مربوط به هر استان با استفاده از نرم‌افزار IDS با یکدیگر تلفیق می‌شوند. برای تلفیق شاخص پایداری زیرسیستم‌ها، وزن هرکدام از آنها باید تعیین گردد. در این مرحله، برای تعیین وزن زیرسیستم‌ها از قضاوت مهندسی استفاده شد. به‌طوری که زیرسیستم‌های با مقدار پتانسیل منابع آبی زیاد و شامل نیاز آب شهری و صنعت از اهمیت بیشتری برخوردار باشند. بر این اساس و با استفاده مجدد از روش مقایسه زوجی، وزن زیرسیستم‌ها مشخص گردید. نتایج در جدول ۵ قابل ملاحظه می‌باشند.

با استفاده از نتایج جدول‌های ۴ و ۵ و استفاده از نظریه استنتاج شهودی در محیط نرم‌افزار IDS، شاخص پایداری هر استان مبتنی بر درجه باور تعیین شد. پس از محاسبه شاخص‌های پایداری استان‌ها، تغییرات حجم دریاچه ارومیه با استفاده از معادله بیلان توسعه داده شده در این مقاله، تعیین شد. معادله بیلان دریاچه ارومیه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V_{t+1} - V_t = I_t + Gw_t + (P_t - E_t) * A_t \qquad (۶)$$

که در آن V نشان دهنده حجم آب دریاچه ارومیه (Million m^3)، A نماینده سطح آب دریاچه ارومیه (km^2)، G_w میزان حجم تبادل یافته بین بخش آب زیرزمینی و دریاچه ارومیه (Million m^3)، P بارش سالانه به میلی‌متر و در نهایت E تبخیر سالانه از سطح دریاچه به میلی‌متر است.

بـــرای تعیین میزان بارش سالانه دریـــاچه ارومیه از مطالعه Chudhari et al. (2018) استفاده شد. همچنین از نتایج مطالعه Alizadeh et al. (2016) برای تخمین تبخیر از سطح دریاچه ارومیه استفاده گردید. مطابق با Alizadeh et al. (2016)، میزان تبخیر سالانه از سطح دریاچه به طور میانگین هر ده سال معادل ۶/۲ میلی‌متر افزایش پیدا می‌کند.

همچنین میزان بارش دریاچه ارومیه با کاهش ۸/۹ میلی‌متری در هر ده سال مواجه است. با توجه به این نکته، مقادیر بارش و تبخیر از سطح دریاچه ارومیه برای سال‌های مدنظر تخمین زده شدند و سری زمانی بارش و تبخیر سالانه تعیین شدند. همچنین رابطه حجم- سطح دریاچه ارومیه بر اساس اطلاعات موجود در RWCWA (2019) استخراج شد. رابطه نهائی مورد استفاده برای تعیین تغییرات حجم سالانه دریاچه ارومیه به صورت رابطه زیر ارائه گردید:

$$V_{t+1} - V_t = I_t + Gw_t + 0.001(P_t - Evap_t) * [151.66 * V_t^{0.3525}] \qquad (۷)$$

پس از محاسبه حجم دریاچه به صورت سالانه، درجات باور متناظر با آن مطابق با کلاس‌های تعریف شده در جدول ۶ محاسبه گردیدند. پس از تعیین درجه‌های باور متناظر با تغییرات حجم دریاچه و همچنین تلفیق شاخص‌های پایداری زیرسیستم‌های مربوط به هر استان، نتایج آنها در جدول ۷ بر هر دو سناریو ارائه شدند.

Table 5- The calculated weights of sub-systems using pair-wise comparison method
جدول ۵- وزن محاسبه شده برای زیرسیستم‌ها با استفاده از روش مقایسه زوجی

Province			
Sub-systems of West Azerbaijan		**Sub-systems of East Azerbaijan**	
Downstream of Boukan dam	0.35	Upstream of Venyar dam	0.37
Shahrchay	0.12	Downstream of Venyar dam	0.19
Upstream of Mahabad dam	0.06	Upstream of Alavian dam	0.10
Downstream of Mahabad dam	0.12	Downstream of Alavian dam	0.15
Other rivers	0.35	Other rivers	0.19

www.SID.ir

Archive of SID

Table 6- Description of grades of assessment for annual variations of Urmia Lake's volume

جدول ۶- کلاس‌های ارزیابی تعریف شده به‌منظور تعیین درجات باور برای تغییرات سالانه حجم دریاچه ارومیه

Assessment grades	Definition	Description of assessment grades (Million m3, MCM)
H_1	Worst	$0 \leq Volume < 6$
H_2	Poor	$6 \leq Volume < 8$
H_3	Average	$8 \leq Volume < 10$
H_4	Good	$10 \leq Volume < 12$
H_5	Best	$12 \leq Volume < 14$

در نهایت، با در اختیار داشتن شاخص‌های باور استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، کردستان و همچنین تغییرات حجم دریاچه ارومیه مبتنی بر درجات باور، بهترین سناریوی مدیریت منابع آب تعیین شد. نتایج این ارزیابی در شکل ۸ برای سناریوهای مدیریتی مبتنی بر درجات باور ارائه گردیده است.

همان‌طور که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود سناریوی اول (تخصیص حدالامکان ۱۰۰ درصد نیاز آب دریاچه ارومیه) دارای درجه ارزیابی ۰/۹۴ در کلاس پنجم (بهترین) و ۰/۷۳ در سناریوی دوم (کاهش تخصیص آب به دریاچه تا ۳۵ درصد بسته به شرایط خشکسالی) است. از این‌رو سناریوی اول دارای پایداری بیشتری است. همچنین با ترکیب درجات ارزیابی کلاس‌های مختلف، پایداری عمومی (نمره نهایی) در سناریوی اول برابر ۰/۹۴ و برای سناریوی دوم برابر ۰/۸۳ محاسبه شدند. یکی از دلایل انتخاب سناریوی اول به‌عنوان بهترین سناریو می‌تواند اهمیت احیای دریاچه ارومیه نسب به تخصیص کامل نیاز آب کشاورزی باشد.

به‌عبارت دیگر، وزن بخش محیط زیستی در ارزیابی بخش‌ها و همچنین اهمیت شاخص تغییرات حجم دریاچه به‌عنوان معیار عملکرد چهارم، منجر به انتخاب این سناریو به‌عنوان بهترین راهکار برای احیای دریاچه ارومیه و بهبود پایداری حوضه دریاچه ارومیه شده است. نتایج مشابهی در تحقیق Moghaddasi et al. (2018) به‌دست آمده است که در آن به‌صورت ضمنی، سناریوی اول به‌عنوان بهترین سناریو انتخاب شده است. با این وجود، در سناریوی اول پایداری کشاورزی از شرایط مناسبی برخوردار نیست و شرایط شکست در معیار عملکرد برگشت‌پذیری به وفور مشاهده شد.

Table 7- Distributed sustainability assessment of provinces in the study area and Lake Urmia for the water resources management scenarios

جدول ۷- ارزیابی پایداری منابع آب استان‌های موجود در حوضهٔ دریاچه ارومیه و دریاچه ارومیه مبتنی بر درجات باور در سناریوهای مدیریت منابع آب

Demand group (i)	Demand type (e_i)	Distributed assessment of Sustainability Indices				
		H_1	H_2	H_3	H_4	H_5
1th scenario	West Azarbaijan	0.08	0.01	0	0	0.91
	East Azarbaijan	0.06	0	0.02	0.02	0.90
	Kurdistan	0.15	0	0.01	0	0.84
	Lake Urmia	0	0	0	0	1
2nd scenario	West Azarbaijan	0.13	0.01	0.03	0.10	0.73
	East Azarbaijan	0.11	0.02	0.05	0.12	0.70
	Kurdistan	0.17	0.01	0.10	0.16	0.56
	Lake Urmia	0.15	0.02	0.02	0.08	0.73

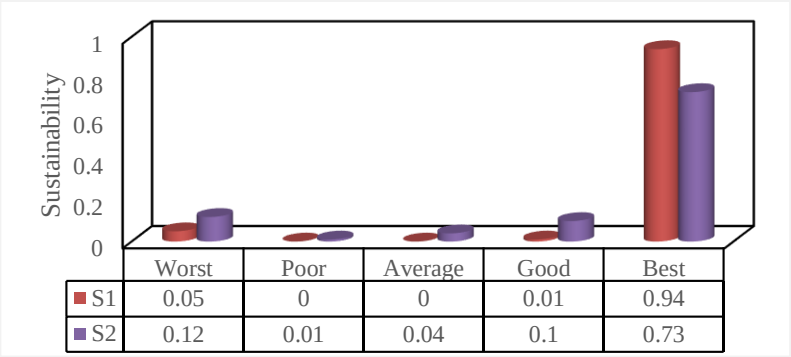

Fig. 8- Comparison of water resources management scenarios using grade-based values of the sustainability index

شکل ۸- مقایسه سناریوهای مدیریت منابع آب با استفاده از شاخص پایداری مبتنی بر درجات باور

www.SID.ir

Archive of SID

این بدین معنی است که علاوه بر بهبود وضعیت دریاچه و بهبود شرایط پایداری حوضهٔ دریاچه ارومیه، باید تمهیداتی در بخش کشاورزی اندیشیده شود و مدیریت خاص این بخش مورد ارزیابی جزیی‌تری قرار گیرد. از نمونه کارهای مدیریتی در بخش کشاورزی می‌توان به کاهش سطح کشت، تغییر نوع آبیاری و یا حذف برخی از محصولات زراعی اشاره کرد. در یک تصمیم‌گیری کلی در تحقیق حاضر، اگرچه بخش کشاورزی در سناریوی اول از شرایط مناسبی برخوردار نیست، اما سناریوی دوم وضعیت نامناسب‌تری از دید پایداری حوضهٔ دریاچه ارومیه دارد و سناریوی مناسبی نیست. بنابراین، سناریوی اول به‌عنوان بهترین سناریوی مدیریتی انتخاب می‌شود، اما پیشنهاد می‌گردد مدیریت بخش کشاورزی نیز همزمان انجام شود.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

در تحقیق حاضر پایداری سناریوهای مدیریت منابع آب در حوضهٔ دریاچه ارومیه مبتنی بر نظریه استنتاج شهودی ارزیابی شد. محدودهٔ مطالعاتی انتخاب شده در این تحقیق از حوضه‌های چالش‌برانگیزی است که طی سالهای اخیر توجه خاص سازمانهای مختلف را به خود جلب کرده است، طوری‌که هزینه‌های بسیار زیادی در راستای احیای دریاچه ارومیه صرف شده است. لذا بررسی پایداری این حوضه از اهمیت خاصی برخوردار است. در این پژوهش معیارهای عملکرد مهم از جمله اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری را در حوضهٔ آبریز دریاچه ارومیه محاسبه شدند. سپس با در نظرگیری دو سناریوی مدیریت منابع آب و تحلیل آنها بر مبنای الگوریتم استنتاج شهودی در نرم‌افزار IDS، بهترین سناریوی مدیریتی انتخاب شد. این نوع ارزیابی با دیدگاه نظریه استنتاج شهودی در این حوضه، احتمالاً به‌عنوان اولین بار انجام شده است. ارزیابی سناریوهای مدیریتی مورد استفاده در این تحقیق در پنج سطح انجام شد. ابتدا حوضهٔ آبریز دریاچه ارومیه در محدوده سه استان آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و کردستان به چند زیرسیستم تبدیل شد. زیرسیستم‌ها دارای گره‌های نیاز آب همچون شهری، صنعت، محیط زیست و کشاورزی بودند. از این‌رو، در این مقاله و در سطح اول پس از محاسبه معیارهای ارزیابی، الگوریتم استنتاج شهودی به کار گرفته شد و معیارهای ارزیابی هر گره باهم تلفیق شدند تا شاخص پایداری گره‌ها مبتنی بر ساختار باور به‌دست آید. با ادامه این فرآیند، در سطح سوم شاخص پایداری هر استان تعیین شد. در این مرحله و قبل از ورود به سطح چهارم، تغییرات سالانهٔ حجم دریاچه ارومیه با استفاده از معادله بیلان محاسبه شدند و با توجه به تراز اکولوژیکی دریاچه، درجه باور حجم سالانه دریاچه برای هر کلاس تعیین شد. این تغییرات به‌عنوان معیار دیگر در کنار شاخص پایداری استان‌ها تعریف شد و در سطح چهارم نظریه استنتاج شهودی در نرم‌افزار برای تلفیق شاخص‌های پایداری استان‌ها و شاخص تغییرات حجم دریاچه ارومیه مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، در سطح پنجم شاخص پایداری هر کدام از سناریوهای مدیریتی مبتنی بر درجه باور و همچنین پایداری عمومی سناریوها (نمرهٔ نهایی) تعیین شدند. با مقایسه درجه‌های باور سناریوها و شاخص پایداری عمومی، بهترین سناریوی مدیریتی انتخاب شد. بر این اساس، سناریوی اول که تأمین حدالامکان تمام حقابه دریاچه را تحت شرایط خشکسالی مختلف در نظر دارد با پایداری عمومی ۰/۹۴ به‌عنوان سناریوی برتر انتخاب شد. این شاخص برای سناریوی دوم ۰/۸۳ به‌دست آمد. علی‌رغم ارجحیت این سناریو، وضعیت معیارهای عملکرد و شاخص پایداری در بخش کشاورزی در این سناریو از شرایط مناسبی برخوردار نیست. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده علاوه بر سناریوهای مدیریت کلان منابع آب، وضعیت بخش کشاورزی نیز با جزییات بیشتر مورد ارزیابی قرار گیرد. ازاین‌رو، با اجرای راهکاری مختلف مدیریتی در بخش کشاورزی، می‌توان خدمات اکوسیستمی متناسب با این بخش را نیز ارزیابی کرد. همچنین پیشنهاد می‌شود علاوه بر شاخص پایداری، وضعیت‌های اقتصادی و قابلیت اجرای سناریوها از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی بررسی و تحلیل شوند.

پی‌نوشت‌ها

1- Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
2- Evidential Reasoning
3- Intelligent Decision System
4- Urmia Water Allocation Package
5- Pair-Wise Comparison
6- Analytic Hierarchy Process

۵- مراجع

Abed-Elmdoust A and Kerachian R (2016) Assessment of industrial solid waste using the intelligent decision system (IDS) method. Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ) 15(8):1789-1800

Ahmadi B (2011) A climate driven model for increased in water productivity agricultural sector. M. Sc. Thesis, School of Civil Engineering, University of Tehran (In Persian)

Akhoundi A and Nazif S (2018) Sustainability assessment of wastewater reuse alternatives using the evidential reasoning approach. Journal of Cleaner Production 195:1350-1376

Alizadeh Choobari O, Ahmadi Givi F, Mirzaei N, and Owlad E (2016) Climate change and anthropogenic impacts on the rapid shrinkage of Lake Urmia.

www.SID.ir

Archive of SID

Karamouz M, Mohammadpour P, and Mahmoodzadeh D (2017) Assessment of sustainability in water supply-demand considering uncertainties. Water Resources Management 31(12):3761-3778

Loucks DP (1997) Quantifying trends in system sustainability. Hydrological Sciences Journal 42(4):513-530

Moghaddasi M, Morid S, and Delavar M (2012) Urmia drought risk management program. Agricultural Water Allocation in Drought Conditions. Iran's Wetlands Restoration Plan, 231p (In Persian)

Moghaddasi M, Morid S, Delawar M, and Hosseini Safa H (2018) Challenges and compromises of agricultural water supply and environmental water right in the Lake Urmia basin. Iran-Water Resources Research 15(2):26-38 (In Persian)

Regional Water Company of West Azarbaijan (2019) Available online: http://www.agrw.ir/

Safavi HR, Golmohammadi MH, and Sandoval-Solis S (2016) Scenario analysis for integrated water resources planning and management under uncertainty in the Zayandehrud river basin. Journal of Hydrology 539:625-639

Sarindizaj EE and Zarghami M (2019) Sustainability assessment of restoration plans under climate change by using system dynamics: application on Urmia Lake, Iran. Journal of Water and Climate Change 10(4):938-952

Wang YM, Yang JB, and Xu DL (2006) Environmental impact assessment using the evidential reasoning approach. European Journal of Operational Research 174(3):1885-1913

Xu DL and Yang JB (2001) Introduction to multi-criteria decision making and the evidential reasoning approach. working paper series no. 0106, Manchester School of Management, University of Manchester Institute and Technology, ISBN: 1 86115 111 X

Yang J B (2007) Intelligent decision system multicriteria assessor manual. Web: www.eids.co.uk

Zarghami M and Ehsani I (2012) Evaluation of different multi criteria group decision making methods in selecting water transfer plans to lake Urmia basin. Iran-Water Resources Research 7(2):1-14 (In Persian)

Zhou M, Liu XB, Chen YW, and Yang JB (2018) Evidential reasoning rule for MADM with both weights and reliabilities in group decision making. Knowledge-Based Systems 143:142-161

International Journal of Climatology 36(13):4276-4286

Bazargan-Lari MR (2014) An evidential reasoning approach to optimal monitoring of drinking water distribution systems for detecting deliberate contamination events. Journal of Cleaner Production 78:1-14

Calizaya A, Meixner O, Bengtsson L, and Berndtsson R (2010) Multi-criteria decision analysis (MCDA) for integrated water resources management (IWRM) in the Lake Poopo Basin, Bolivia. Water Resources Management 24(10):2267-2289

Chaudhari S, Felfelani F, Shin S and Pokhrel Y (2018) Climate and anthropogenic contributions to the desiccation of the second largest saline lake in the twentieth century. Journal of Hydrology 560:342-35

Delavar M, Morid S, Hosseini Safa H, and Moghaddasi M (2012) Urmia Lake drought risk management program. Water Resources Allocation Model and Status Assessment, Iran's Wetlands Restoration Project, 78p (In Persian)

Estalaki SM, Kerachian R and Nikoo MR (2016) Developing water quality management policies for the Chitgar urban lake: Application of fuzzy social choice and evidential reasoning methods. Environmental Earth Sciences 75(5):1-16

Geng G and Wardlaw R (2013) Application of multi-criterion decision making analysis to integrated water resources management. Water Resources Management 27(8):3191-3207

Hashimoto T, Stedinger JR, and Loucks DP (1982) Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. Water Resources Research 18(1):14-20

Hyde K M, Maier HR, and Colby CB (2005) A distance-based uncertainty analysis approach to multi-criteria decision analysis for water resource decision making. Journal of Environmental Management 77(4):278-290

Iran’s Water Resources Management (IWRM) (2019) Available online: https://www.wrm.ir/

Jahanshahi S and Kerachian R (2019) An evidential reasoning-based sustainability index for water resources management. Hydrological Sciences Journal 64(10):1223-1239

Karamouz M and Taheri M (2018) Providing management solutions to the simultaneous hazards of coastal and suburban floods. Iran-Water Resources Research 14(5):71-84 (In Persian)

www.SID.ir