

A Comprehensive Assessment of Water Resources Carrying Capacity in Anzali Wetland Using AHP-Entropy-CRITIC Combined Weighting Method and TOPSIS-GRA Model

ABSTRACT

Urban wetlands are rapidly deteriorating due to urbanization and wastewater disposal, posing a threat to water quality and human livelihoods. Assessing the water resources carrying capacity (WRCC) of these wetlands is crucial to facilitate sustainable development and synergy between economic growth and water resource conservation. This study evaluated the WRCC of Anzali Wetland, located in the Fumanat region of Gilan Province, over a 10-year period (2011-2021). eight evaluation indicators were defined based on available data and information, considering three subsystems: water resources, economy, and environment. Each indicator was classified into four levels: I (loadable), II (weak), III (critical), and IV(Overload). The weight of each indicator was calculated using three methods: AHP, Entropy, and CRITIC. The weights obtained from the three methods were combined using the geometric mean. Subsequently, the annual values of each indicator, along with their corresponding weights and four evaluation levels, were applied to a model combining Grey Relational Analysis (GRA) and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). Finally, based on the annual WRCC results, the obstacle factors were identified. The WRCC assessment indicated that the wetland has been in a overloading condition (IV) since 2013. The water resources subsystem is in a critical or overloading condition, reducing the overall carrying capacity, while the economic subsystem contributes to this capacity. According to the obstacle degree model results, the four main factors affecting the WRCC include the quality of incoming water, the percentage of water supply required, the percentage of water supply for upstream areas, and the ratio of total available water to the population.

Keyword: Barrier Degree, Composite Weights, Evaluation Indicators, Water Resources Carrying Capacity

Introduction

Urban wetlands are facing severe threats due to urbanization and pollution from wastewater, which significantly impacts water quality and human livelihoods. Assessing Water Resources Carrying Capacity (WRCC) with a focus on balancing water supply for human needs and environmental preservation is crucial. Various approaches have been employed for this assessment, including comprehensive index modeling and complex systems analysis. These efforts help optimize water resource allocation and promote sustainable development, although challenges in data and precise modeling exist. Numerous studies have utilized diverse models for WRCC assessment, such as the "Pressure-State-Response" model, the "Socio-economic-ecological-water resources" model, and other region-specific models."

Objective

The objective of this study is to assess the water resources carrying capacity of Anzali Wetland using a comprehensive indicator modeling approach. Evaluation indicators were defined based on the long-term conditions of Anzali Wetland, and the AHP, entropy, and CRITIC methods were employed to calculate the weights of these indicators. The combined weight was computed using the geometric mean method. Subsequently, considering the various approaches for WRCC assessment, a model combining the Grey Relational Analysis (GRA) and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) methods was utilized.

Methods

This study assesses the water resources carrying capacity of Anzali Wetland, which is under threat from urbanization. Initially, the influencing environmental factors were categorized into three subsystems: population, water resources, and socio-economic-environmental.: Indicators were defined for each subsystem,

and their weights were determined using a combined AHP-Entropy-CRITIC method. Subsequently, the TOPSIS-GRA model was employed to calculate the water resources carrying capacity over a 10-year period. Finally, using an obstacle degree model, the critical factors influencing the improvement of the wetland's carrying capacity were identified, and recommendations for its enhancement were proposed.

Results

The results of the indicator weighting revealed significant differences in the weights obtained from various methods. The geometric mean can effectively reflect the importance of indicators from multiple perspectives. The results indicated that the highest weights were assigned to indices C8 and C7. The TOPSIS-GRA model results for assessing the WRCC of each year at different evaluation levels showed that the wetland was predominantly in a critical (IV) condition, particularly from 2013 onwards, while 2012 exhibited a better status. An examination of the three subsystems of water resources, economy, and ecology in assessing the status of Anzali Wetland's water resources indicated that the water resources subsystem was consistently in a critical or hypercritical condition throughout the period. Conversely, the economic subsystem was in a hypercritical condition in all years except 2012, and the ecological subsystem was in a similar state. Comparing the proximity degrees to evaluation levels in each subsystem revealed that the economic subsystem contributed to increasing the overall carrying capacity, whereas the water resources subsystem decreased it. The results of the obstacle degree model analysis of WRCC barriers demonstrated that the four primary factors influencing the current status of the wetland's water resources carrying capacity were the quality of water entering the Anzali Wetland, the percentage of water supply required for the wetland, the percentage of water supply demand for the upstream areas of Anzali Wetland, and the ratio of total available water to the population.

Conclusions

Based on the results of the obstacle degree analysis and the identification of the most significant factors affecting the WRCC of Anzali Wetland, it is recommended to take actions to improve the wetland's carrying capacity considering the region's specific conditions and culture. Whenever possible, it is advisable to implement these actions. For instance, measures could be planned in the wetland's upstream areas to improve the quality of incoming water and increase its volume.

Author Contributions

Conceptualization, Maedeh Keyvanfar and Somaye Janatrostami; methodology, Somaye Janatrostami and Maedeh Keyvanfar; software, Maedeh Keyvanfar and Afshin Ashrafzadeh; validation, Somaye Janatrostami; formal analysis and investigation, Maedeh Keyvanfar, Somaye Janatrostami; resources, Maedeh Keyvanfar; data curation, Maedeh Keyvanfar and Afshin Ashrafzadeh; writing—original draft preparation, Maedeh Keyvanfar; writing—review and editing, Somaye Janatrostami; visualization, Somaye Janatrostami; supervision, Somaye Janatrostami; project administration, Somaye Janatrostami.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

ارزیابی جامع ظرفیت برد منابع آب تالاب انزلی با استفاده از روش وزندهی ترکیبی - AHP

TOPSIS-GRA و مدل Entropy- CRITIC

چکیده

تالاب‌های شهری به دلیل فرایند شهرنشینی و دفع فاضلاب با سرعت بالایی در حال نابودی هستند که تهدیدی برای کیفیت آب و منابع زندگی انسان‌هاست. ارزیابی ظرفیت برد منابع آب (WRCC) در این تالاب‌ها ضروری است تا دستیابی به توسعه پایدار و هم‌افزایی بین توسعه اقتصادی و حفاظت از منابع آب تسهیل شود. این مطالعه با ارزیابی ظرفیت برد منابع تالاب انزلی به بررسی وضعیت این تالاب که در محدوده مطالعاتی فومنات استان گیلان واقع شده است، در یک دوره زمانی ۱۰ ساله (۱۳۹۱-۱۴۰۰) پرداخته است. در این مطالعه، ابتدا با توجه به داده‌ها و اطلاعات موجود، ۸ شاخص ارزیابی با در نظر گرفتن ۳ زیرسیستم منابع آب، اقتصاد و محیط زیست تعریف شد. بر اساس داده‌ها و اطلاعات در دسترس، هر شاخص در ۴ سطح I (قابل بازیابی)، سطح II (ضعیف)، سطح III (بحرانی) و سطح IV (فوق بحرانی) طبقه‌بندی شدند. سپس وزن هر شاخص با سه روش AHP، Entropy و CRITIC محاسبه شد و وزن‌های حاصل از سه روش با روش میانگین هندسی ترکیب و تعیین شد. در ادامه، مقادیر سالانه هر یک از شاخص‌ها به همراه وزن‌های مربوطه و در ۴ سطح ارزیابی به مدلی که ترکیبی از تحلیل رابطه خاکستری (GRA) و روش شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS) است، اعمال شد. در نهایت بر اساس نتایج ظرفیت برد سالانه، عوامل مانع WRCC شناسایی شدند. ارزیابی WRCC حاکی از وضعیت IV (فوق بحرانی) تالاب از سال ۱۳۹۲ به بعد است. زیرسیستم منابع آب در شرایط بحرانی و فوق بحرانی قرار دارد و موجب کاهش ظرفیت برد کلی می‌شود. در حالی که زیرسیستم اقتصادی به این ظرفیت کمک می‌کند. بر اساس نتایج مدل درجه مانع، چهار عامل اصلی تأثیرگذار بر ظرفیت برد شامل کیفیت آب ورودی، درصد تامین آب مورد نیاز، درصد تامین آب نواحی بالادست و نسبت کل آب در دسترس به جمعیت هستند.

کلیدواژه‌ها: درجه مانع، شاخص‌های ارزیابی، ظرفیت برد منابع آب، وزن‌های ترکیبی

مجله علمی نشریه

مقدمه

تالاب‌ها یکی از مهمترین اکوسیستم‌هایی هستند که در طول فرایند شهرنشینی با سرعت بالایی در حال نابودی هستند (Zeng et al., 2016). معمولاً از بین اکوسیستم‌های تالابی، تالاب‌های شهری بیشترین آسیب را می‌بینند (Hettiarachchi et al., 2014). در این مناطق، بسیاری از منابع زندگی انسان‌ها توسط تالاب‌ها تأمین می‌شود، در حالی که انسان‌ها ظرفیت اکولوژیکی آن‌ها را نادیده می‌گیرند و هم‌زمان به دنبال افزایش نرخ شهرنشینی هستند (Morin et al., 2014). به دلیل دفع گسترده فاضلاب‌های صنعتی و خانگی کیفیت آب تالاب‌های شهری به طور پیوسته در حال کاهش است. تهدید محیط زندگی شهروندان باعث شده است که مردم به تدریج اهمیت حفظ تالاب‌های شهری را درک کنند (Wang et al., 2017). شهری‌سازی ساختارهای صنعتی و اجتماعی، تعداد صنایع مصرف‌کننده آب را افزایش داده و تقاضا برای منابع آب بیشتر شده است (Wang et al., 2022). این مسائل، توسعه پایدار سیستم‌های اکولوژیک و اجتماعی-اقتصادی را مختل می‌کنند و یک رابطه متضادی بین توسعه اقتصادی و حفاظت از منابع آب ایجاد کرده است (Wang et al., 2015). بنابراین، ارزیابی ظرفیت‌برد منابع آب (WRCC) در راستای توسعه پایدار در چنین تالاب‌هایی ضروری است. WRCC به‌عنوان معیاری برای پایداری منابع آب یک حوضه عمل می‌کند (Wang et al., 2023b). زمانی که این شاخص در محدوده مشخصی حفظ شود، توسعه اجتماعی-اقتصادی و استفاده از منابع آب می‌تواند هم‌افزایی شود.

در حال حاضر، ارزیابی ظرفیت‌برد منابع آب عمدتاً بر اولویت‌بندی تأمین آب برای تولید انسانی، معیشت و محیط‌های اکولوژیکی متمرکز است (Chen et al., 2023). این رویکرد با اصول توسعه پایدار همسو است (Liu et al., 2005)، زیرا بر بهینه‌سازی تخصیص منابع آب منطقه‌ای به عنوان یک پیش‌نیاز تأکید دارد (Chen et al., 2023; Ait-Aoudia and Berezowska-Azzag, 2016). تا به طور جامع تعادل بین عرضه و تقاضای آب را بررسی کند و در عین حال استفاده کارآمد از این منابع را ارتقا دهد (Dai et al., 2024).

به طور کلی، تاکنون از دو روش مدل‌سازی شاخص جامع و تحلیل سیستم‌های پیچیده برای تعیین و ارزیابی ظرفیت‌برد منابع آب استفاده شده است. تحلیل سیستم‌های پیچیده بر ویژگی‌های جامع و سیستماتیک تأکید دارد، در حالی که روش‌های پویایی سیستم برای ارزیابی و پیش‌بینی پس از تعیین تعاملات بین اجزای سیستم استفاده می‌شوند (Wang et al., 2021). با این حال، تحلیل سیستم‌های پیچیده با برخی مشکلات مواجه است؛ به‌عنوان مثال، نمی‌تواند تقاضای بیش از حد برای داده‌های با کیفیت بالا که به ویژه برای مناطق دورافتاده یک چالش محسوب می‌شود، مطابقت داشته باشد (Chen et al., 2019). علاوه بر این، میزان تأثیر دانش کارشناسان بر ایجاد مدل‌های علمی و دقیق مهم است و در نتایج تولیدشده تحت شرایط اولیه و انتخاب پارامترها عدم قطعیت وجود دارد (Wang et al., 2023a). در همین حال، سیستمی که بیش از حد اصلاح شده باشد، نمی‌تواند عوامل کلیدی را به دقت تعیین کند. بنابراین، اکثر پژوهشگران برای ارزیابی WRCC از مدل‌سازی شاخص جامع استفاده کرده‌اند و روش مدل‌سازی شاخص یکپارچه برای ارزیابی WRCC به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (Li et al., 2023a; Lv et al., 2023; Zhou et al., 2023). این رویکرد شامل ساخت یک سیستم ارزیابی جامع، تعیین وزن‌های شاخص‌ها و انتخاب یک روش ارزیابی منطقی و دقیق است.

پیشینه پژوهش

مطالعاتی که تاکنون انجام شده نشان داد که تاکنون از چندین مدل ارزیابی برای ساخت یک سیستم ارزیابی جامع استفاده شده است. به عنوان نمونه، Wu et al., 2020، از مدل «فشار-نظارت-پشتیبانی» برای کمی‌سازی منطقی ظرفیت‌برد منابع آب منطقه‌ای استفاده کردند. Jiang and He, 2023، برای ارزیابی جامع ظرفیت‌برد منابع آب، چهار بعد محیط‌زیست طبیعی، اجتماعی، اقتصادی و اکولوژیکی را با استفاده از مدل «اجتماعی-اقتصادی-اکولوژیکی-منابع آب» و مشتقات آن توسعه دادند و Jia and Wang, 2023، بر اساس مدل «نیروی محرکه-فشار-وضعیت-اثر-پاسخ» و مشتقات آن، یک سیستم شاخص ارزیابی جامع تهیه کردند. علاوه بر این، برخی از محققان مانند Zhang, 2023، نیز سیستم‌های ارزیابی را بر اساس وضعیت واقعی منطقه مورد مطالعه بر اساس سیاست‌های مربوطه توسعه دادند. همه این روش‌هایی که برای ساخت سیستم‌های ارزیابی استفاده

می‌شوند، اهمیت نظری و ارزش عملی خاصی دارند.

پس از تعریف شاخص‌های ارزیابی، وزندهی هر یک از شاخص‌ها انجام می‌شود. روش‌های متداول برای محاسبه وزن شاخص‌ها شامل روش AHP (Zhou, 2022)، روش وزن انتروپی (Cheng, 2010) و روش CRITIC (Zhang and Wei, 2012) می‌شود که می‌تواند به صورت جداگانه یا ترکیبی از دو یا سه روش وزندهی محاسبه شود. برای محاسبه وزن ترکیبی از روش‌های میانگین وزنی، میانگین هندسی یا استفاده از نظریه بازی استفاده می‌شود (Dai et al., 2024). روش تحلیل سلسله مراتبی یا AHP یکی از روش‌های وزندهی ذهنی و هدفمند است که بر اساس نظرسنجی از افراد متخصص، فرآیند وزندهی را انجام می‌دهد. تاکنون این روش به طور گسترده برای محاسبه وزن‌های WRCC استفاده شده است (Xu et al., 2020). اما به دلیل اینکه این روش عمدتاً شامل تحلیل‌های کیفی است و تحت تأثیر ترجیحات ذهنی کارشناسان قرار می‌گیرد، نتایج بحث‌برانگیزی را تولید می‌کند. روش آنتروپی، بر استفاده از کل اطلاعات تأکید دارد و نوسانات داده را در نظر می‌گیرد. این روش به عنوان یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای محاسبه وزن‌های شاخص‌های WRCC تبدیل شده است (Lv et al., 2023). روش آنتروپی هنگام محاسبه وزن‌ها، تعاملات بین شاخص‌ها را نادیده می‌گیرد (Yu, 2021) که روش CRITIC می‌تواند همبستگی بین شاخص‌ها را نیز تعیین کند (Li et al., 2023a). با این وجود، روش CRITIC، ماهیت گسسته داده‌های شاخص را در نظر نمی‌گیرد و بیشتر برای محاسبه وزن شاخص‌های پایدار استفاده می‌شود (Yu, 2021). به همین دلیل، برای محاسبه وزن شاخص‌ها سعی می‌شود از روش‌های ترکیبی استفاده شود که در این مطالعه سعی شد از ترکیب سه روش AHP، انتروپی و CRITIC استفاده شود زیرا این سه روش مکمل یکدیگر هستند و محدودیت‌های خود را برطرف می‌کنند (Li et al., 2023a).

برای ارزیابی جامع WRCC از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که روش ارزیابی جامع فازی (FCA) (Wang et al., 2021)، نسبت مجموع رتبه (RSR) (Wang and Zhang, 2014)، روش شباهت به راه حل ایده‌آل (TOPSIS) (Lv et al., 2023) و تحلیل رابطه خاکستری (GRA) (Wang et al., 2023c) از روش‌های پرکاربرد در این زمینه هستند. با این حال، مدل‌های FCA و RSR و AHP نتایج نامطمئن و ذهنی تولید می‌کنند زیرا به قضاوت کارشناسان متکی هستند؛ بنابراین نتایج می‌تواند تا حدی بحث‌برانگیز باشند. برای جلوگیری از تأثیر عوامل ذهنی، روش TOPSIS به طور معمول برای ارزیابی WRCC استفاده می‌شود. با این حال، روش TOPSIS تعاملات بین شاخص‌های ارزیابی را نادیده می‌گیرد و تنها بر نزدیکی آن‌ها به راه‌حل ایده‌آل تمرکز می‌کند. در حالی که، GRA قادر است نقاط قوت، ضعف، مقیاس‌ها و ترتیب شاخص‌های ارزیابی را تعیین کند. برای جبران این کمبودها، GRA در روش TOPSIS ترکیب شد تا WRCC ارزیابی شود (Gulshengmu et al., 2023).

در این مطالعه با توجه به اهمیت تالاب انزلی که به عنوان یکی از اکوسیستم‌های طبیعی همواره با پیشرفت فرآیندهای شهرنشینی در حال نابودی است، ظرفیت‌برد منابع آب تالاب انزلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای ارزیابی ظرفیت‌برد منابع آب ابتدا به عوامل موثر محیطی محدوده مورد مطالعه به سه زیرسیستم‌های جمعیت، منابع آب، اقتصادی و زیست‌محیطی طبقه بندی شد و در ادامه با توجه به داده‌ها، برای هر یک از زیرسیستم‌ها شاخص‌هایی با هدف ارزیابی ظرفیت‌برد منابع آب تالاب انزلی تعریف شد. وزندهی شاخص‌ها با استفاده از روش ترکیبی CRITIC-Entropy-AHP انجام شد و با استفاده از مدل TOPSIS-GRA، شاخص ظرفیت‌برد منابع آب تالاب انزلی برای سطح‌های ارزیابی مختلف در یک دوره ۱۰ ساله محاسبه شد. در نهایت برای تعیین عوامل مهم در توسعه WRCC تالاب انزلی از مدل درجه مانع (Li et al., 2023b) استفاده شد و بر اساس آن پیشنهادهایی در راستای بهبود شرایط تالاب ارائه شد.

با توجه به مطالعه انجام شده توسط (Wang et al., 2022) در ارزیابی ظرفیت‌برد منطقه هنان، ظرفیت‌برد منابع آب استان هنان با استفاده از روش ترکیب وزن آنتروپی بهبود یافته محاسبه شد و نتایج ارزیابی نشان داد که ظرفیت‌برد منابع آب استان از سطح IV (فوق بحرانی) در سال ۲۰۰۵ به سطح II (ضعیف) در سال ۲۰۱۷ رسیده است. در مطالعه (Yang et al., 2023) از ظرفیت‌برد در شهر ژانگیه با استفاده از روش وزندهی ترکیبی TOPSIS مشاهده شده که طی بازه ۱۰ ساله از ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ WRCC وضعیتی نسبتاً پایدار و در سطح‌های III (بحرانی) و IV (فوق بحرانی) قرار دارد.

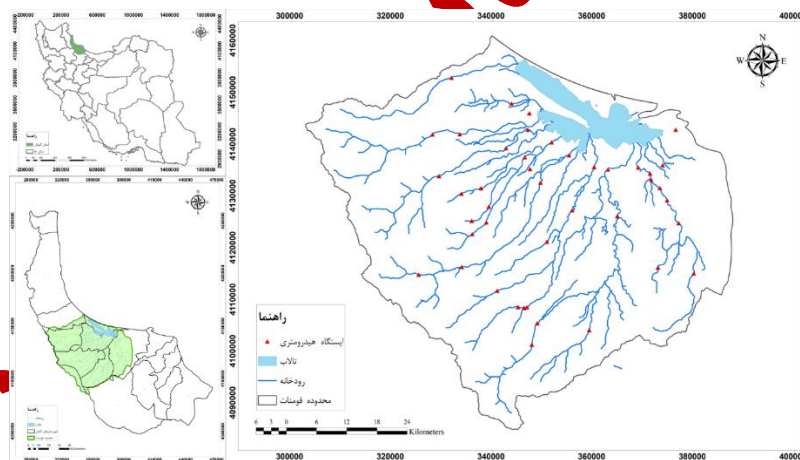
نتایج ارزیابی منطقه فومنات تالاب انزلی نیز نشان می‌دهد که در بازه سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ ظرفیت برد منطقه از سطح II (ضعیف) در سال ۱۳۹۱ به سطح IV (فوق بحرانی) در سال ۱۴۰۰ رسیده است.

روش‌شناسی پژوهش

– معرفی منطقه مورد مطالعه

استان گیلان یکی از استان‌های شمالی کشور با مساحت ۱۴۷۱۱ کیلومتر مربع می‌باشد. این استان، از شمال به دریای خزر و جمهوری آذربایجان، از غرب به استان اردبیل، از جنوب به استان زنجان و قزوین و از شرق به استان مازندران محدود می‌گردد. (استاندارداری گیلان) آب و هوای استان گیلان معتدل می‌باشد که ناشی از تأثیر آب و هوای کوهستانی البرز و دریای خزر است. این استان به دلیل همجواری با دریای خزر، منطقه‌ای با رطوبت زیاد بوده و رطوبت نسبی آن بین ۴۱ تا ۱۱۱ درصد است. بارندگی در تمامی نواحی استان به یک میزان صورت نمی‌گیرد، به طور کلی مقدار بارندگی سالیانه ۱۱۱۱ تا ۲۱۱۱ میلی‌متر است که بیشترین ریزش در سطح دشت مربوط به شهر بندرانزلی می‌باشد و حداقل بارندگی در حوالی رودبار، لوشان و منجیل صورت می‌پذیرد. (اداره کل هواشناسی گیلان).

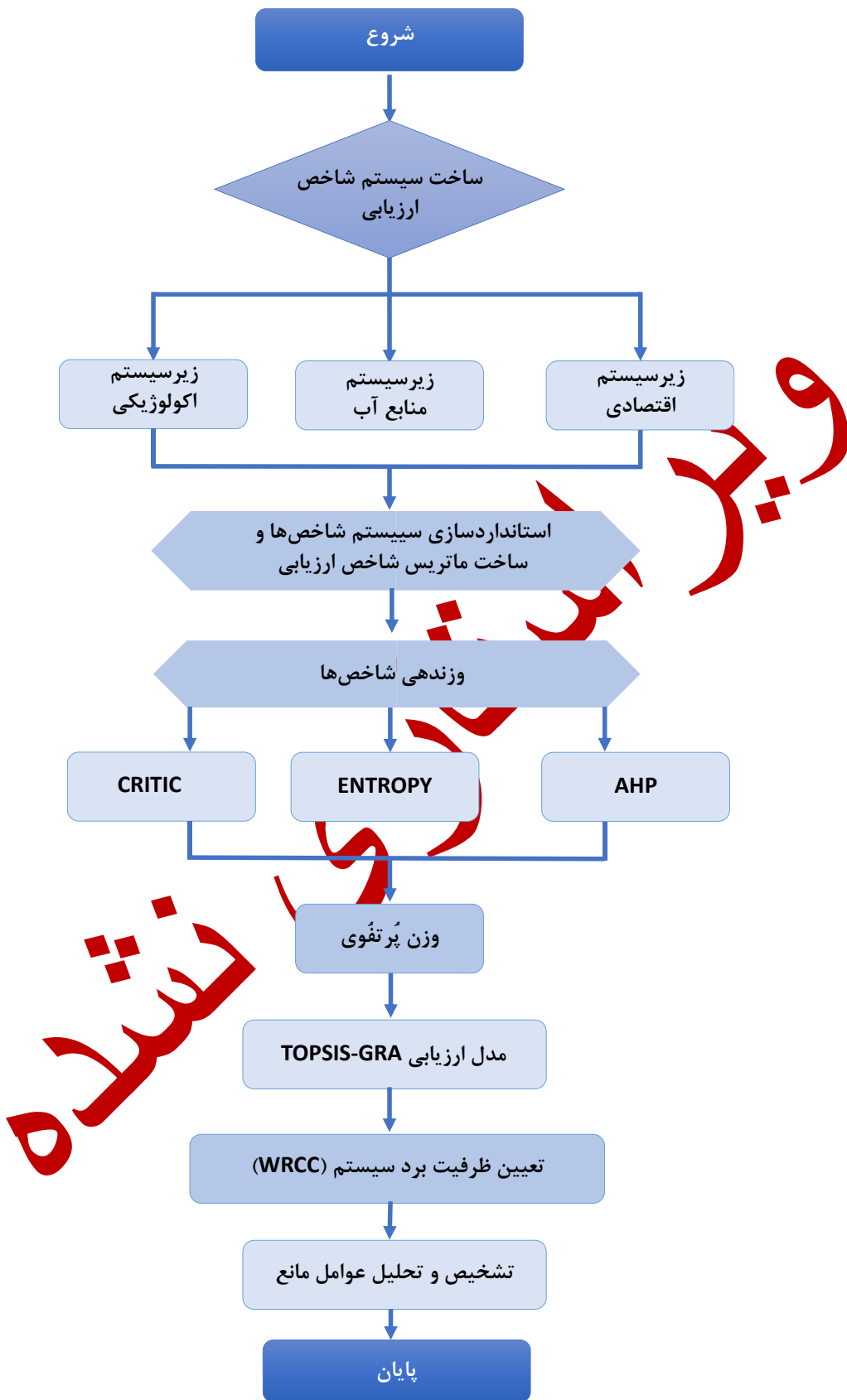
مهم‌ترین تالاب این استان، تالاب انزلی است، که در عرض ۳۷ شمالی و طول ۴۹ شرقی واقع شده و از شمال به دریای خزر، از جنوب به صومعه سرا، از شرق به پیربازار و از غرب به کپورچال و آبکنار محدود است (زبردست و جعفری، ۱۳۹۰). تالاب انزلی جزء تالاب‌های طبیعی و آب شیرین کشور بوده و دارای ۱۱ رود اصلی و ۳۰ رود فرعی است که پس از آبیاری مزارع و شالیزارها به همراه جریانهای سطحی حوزه آبریز تالاب به آن وارد می‌شوند. (صفری و همکاران، ۱۳۹۳) در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی تالاب انزلی

– داده‌ها و جمع‌آوری اطلاعات

اطلاعات مربوط به منابع آب سطحی و زیرزمینی و مصرف آب برای آبیاری، صنعت و محیط زیست زیست از سال ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ از آمار گزارش سالانه سازمان منابع آب منطقه‌ای استان گیلان به دست آمده است. داده‌های اقتصادی و اجتماعی مانند جمعیت منطقه‌ای، ارزش تولید ناخالص داخلی منطقه‌ای و داده‌های اکولوژیکی مانند از سالنامه آماري سازمان آمار و اطلاعات در دسترس قرار گرفت. شکل ۲ نمای کلی از مدل ارزیابی ظرفیت برد منابع آب انجام شده در این مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمای کلی مدل ارزیابی ظرفیت برد منابع آب

– ساختار سیستم شاخص ظرفیت برد منابع آب

ظرفیت برد منابع آب تحت تأثیر جنبه‌های بسیاری از جمله منابع آب، توسعه اجتماعی-اقتصادی و وضعیت اکوسیستم آب قرار دارد. تالاب انزلی در منطقه فومنات استان گیلان، به دلیل توسعه اجتماعی منطقه‌ای، تقاضا برای منابع آب به طور چشمگیری افزایش یافته که فشار بر منابع آب را افزایش می‌دهد و با کمبود جدی منابع مواجه است، بنابراین ظرفیت برد منابع آب ضروری است.

– تعریف شاخص‌ها

تحقیقات نشان می‌دهد که WRCC یک سیستم بزرگ و پیچیده است که بر ایجاد یک سیستم ارزیابی علمی برای ارزیابی دقیق سیستم مورد مطالعه تأکید دارد. در این راستا، انتخاب شاخص‌هایی که در چندین منطقه قابل اجرا باشند و وضعیت فعلی منطقه مورد مطالعه را به طور واقعی منعکس کنند، دارای اهمیت است. در این مطالعه، برای انتخاب شاخص‌های ارزیابی دو نکته مورد توجه قرار گرفت. در ابتدا مطالعاتی که در زمینه ارزیابی ظرفیت برد منابع آب بودند، مورد بررسی قرار گرفت و شاخص‌هایی که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گرفتند انتخاب شدند (Liu et al., 2022, Makropoulos et al., 2008, Murgatroyd et al., 2021). سپس، شاخص‌های منتخب در مرحله قبل، بر اساس مطالعات منطقه‌ای موجود و داده‌ها و اطلاعات در دسترس در محدوده مطالعاتی فومنات و همچنین وضعیت فعلی تالاب انزلی انتخاب شدند. به این ترتیب، با هدف تعیین ظرفیت برد منابع آب تالاب انزلی، ۸ شاخص ارزیابی تعریف شد که به سه بخش وضعیت منابع آب، وضعیت اقتصادی و محیط‌زیست طبقه‌بندی شد. شاخص‌ها به دو گروه شاخص‌های مثبت و منفی تقسیم شد. هر چه مقدار شاخص مثبت بزرگتر باشد، ظرفیت برد منابع آب بیشتر و هر چه مقدار شاخص منفی بزرگتر باشد، ظرفیت برد منابع آب کمتر است (Zhang et al., 2019). برای تعیین مقادیر شاخص‌های ارزیابی منتخب، شرایط موجود در منطقه با استفاده از مدل پویایی سیستم در یک دوره ۱۰ ساله (۱۴۰۰-۱۳۹۱) شبیه‌سازی شد. در جدول ۲، سیستم شاخص‌های ارزیابی معرفی شدند.

شاخص‌های C1 و C2 از تقسیم منابع آب سطحی و زیرزمینی در دسترس بر مساحت آبخوان منطقه محاسبه شده است. با توجه به جمعیت منطقه و محاسبات نیاز آبی سالانه هر نفر، شاخص C3 از تقسیم کل منابع آب بر جمعیت محاسبه شده است. بر اساس مقدار تولید ناخالص کشاورزی شاخص C4 به ازای هر نفر و شاخص C5 مقدار آب مصرفی از تولید ناخالص محاسبه شد. شاخص C6 از تقسیم کل منابع آبی به مقدار نیاز منطقه تعریف شد. شاخص C7 برای تحلیل و بیان نسبت تامین و تقاضای آب تالاب (برای ارتفاع آب تالاب ابتدا با استفاده تصاویر ماهواره‌ای مساحت آب تالاب و سپس با توجه به حجم برآورد شده در میانگین شرایط اکولوژی تالاب در دو سطح مطلوب و حداقلی (Modaberi and Shokohi, 2019) تعیین شدند و از تقسیم حجم به مساحت ارتفاع آب تعیین شد) و در نهایت C8 بر اساس شاخص کیفی WAWQI برای تحلیل کیفیت آب تعریف شدند. لازم به ذکر است که هدف این مطالعه تامین نیاز آب تالاب است، بنابراین در پارامترهای C1 تا C4 هر چه این مقدار کمتر باشد در واقع تالاب با بحران شدیدتری مواجه است. برای مثال هر چه منابع آب سطحی کمتر باشد تامین نیاز آب تالاب دشوارتر است.

در ادامه، به منظور ارزیابی دقیق‌تر ظرفیت برد منابع آب، به طوری که نتایج مطابق با وضعیت واقعی موجود در منطقه باشد، با توجه به وضعیت منابع آب تالاب انزلی با در نظر گرفتن وضعیت منابع و مصارف آب موجود در محدوده مطالعاتی فومنات که در بالادست تالاب انزلی واقع شده، همچنین وضعیت اقتصادی و زیست‌محیطی منطقه و استفاده از منابع آب محدوده مطالعاتی، شاخص‌های ارزیابی به چهار سطح I (قابل بارگیری)، II (ضعیف)، III (بحرانی) و IV (فوق بحرانی) تقسیم شد. اطلاعات جزئی‌تر در مورد معیارهای درجه‌بندی هر سطح شاخص در جدول ۱ آورده شده است.

گروه	شاخص	واحد	جهت شاخص	سطح I (قابل بارگیری)	سطح II (ضعیف)	سطح III (بحرانی)	سطح IV (فوق بحرانی)
منابع آب	منابع آب سطحی در دسترس بر مساحت منطقه (C1)	m ³ /ha	+	۵۵۰۰-۶۵۰۰	۴۵۰۰-۵۵۰۰	۳۵۰۰-۴۵۰۰	۲۵۰۰-۳۵۰۰
	منابع آب زیرزمینی در دسترس بر مساحت منطقه (C2)	m ³ /ha	+	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۱۲۵۰-۱۵۰۰	۱۰۰۰-۱۲۵۰	۵۰۰-۱۰۰۰
	کل منابع آبی سالانه به ازای هر نفر (C3)	m ³ /person	+	۶۰۰-۸۰۰	۵۰۰-۶۰۰	۴۰۰-۵۰۰	۲۰۰-۴۰۰
	عرضه بر تقاضا (C6)	%	-	۶۰-۷۰	۸۰-۷۰	۹۰-۸۰	۹۰-۱۰۰
اقتصادی	تولید ناخالص کشاورزی سالانه به ازای هر نفر (C4)	million Rials	+	۴/۵-۵/۵	۳/۵-۴/۵	۲/۵-۳/۵	۱/۵-۲/۵
	آب مصرفی بر تولید ناخالص کشاورزی (C5)	m ³ /million F	-	۳۵۰۰-۴۵۰۰	۴۵۰۰-۵۵۰۰	۵۵۰۰-۶۵۰۰	۶۵۰۰-۷۵۰۰
محیط زیست	تامین آب تالاب بر تقاضا (C7)	%	+	۶۰-۸۰	۴۰-۶۰	۲۰-۴۰	۰-۲۰
	شاخص کیفیت آب (C8)	%	-	۰-۳۰	۳۵-۵۰	۵۰-۷۰	۷۰-۱۰۰

جدول ۲- داده‌های ورودی شاخص‌ها

سال	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
۱۳۹۱	۴۳۴۱/۱	۹۳۶/۵	۵۶۲/۵	۲/۷	۴۶۹۴/۹	۱۰۰/۰	۳۶/۷	۳۲/۸
۱۳۹۲	۳۷۸۱/۱	۹۶۳/۹	۴۹۱/۲	۲/۸	۴۹۱۸/۱	۹۱/۶	۱۸/۷	۵۵/۹
۱۳۹۳	۳۲۲۲/۸	۹۸۳/۳	۴۱۹/۸	۲/۹	۵۱۴۰/۲	۸۱/۲	۱۱/۷	۴۵/۵
۱۳۹۴	۳۲۷۷/۰	۱۰۰۴/۵	۴۲۷/۹	۳/۱	۵۴۱۵/۷	۸۲/۶	۱۳/۵	۳۶/۵
۱۳۹۵	۳۹۴۴/۲	۱۰۱۷/۶	۵۱۶/۴	۳/۳	۵۶۵۷/۱	۹۵/۷	۴۳/۶	۳۹/۶
۱۳۹۶	۴۷۱۴/۹	۱۰۱۳/۲	۶۲۵/۸	۳/۳	۵۷۱۳/۷	۱۰۰/۰	۱۹/۷	۸۴/۰
۱۳۹۷	۳۸۹۱/۵	۱۰۲۲/۰	۵۱۸/۹	۳/۳	۵۵۶۶/۶	۹۴/۹	۲۳/۱	۵۳/۸
۱۳۹۸	۴۰۸۵/۵	۱۰۴۸/۲	۵۴۹/۹	۲/۷	۶۲۲۶/۵	۹۹/۲	۲۹/۵	۸۳/۸
۱۳۹۹	۳۸۳۲/۹	۱۱۳۵/۵	۶۱۷/۰	۴/۵	۶۴۳۷/۹	۹۴/۸	۳۹/۵	۸۶/۵
۱۴۰۰	۳۲۸۲/۳	۱۲۱۸/۵	۴۷۸/۶	۴/۰	۶۲۳۴/۸	۸۴/۹	۱۵/۴	۶۸/۶

- محاسبه وزن پرتفوی بر اساس روش AHP-Entropy - CRITIC

برای محاسبه وزن شاخص‌ها با استفاده از روش سلسله مراتب AHP به دلیل وابستگی به نظر ذهنی تصمیم‌گیرندگان و در روش Entropy، به دلیل اینکه نتایج آن قادر به انعکاس همبستگی بین شاخص‌ها نیست، از روش CRITIC استفاده شد. علیرغم اینکه روش CRITIC، همبستگی بین شاخص‌ها را در نظر می‌گیرد، تنها با این روش نمی‌توان ماهیت گسسته داده‌های شاخص را نشان داد. بنابراین از روش AHP-Entropy - CRITIC برای محاسبه وزن‌ها استفاده شد.

- روش وزن‌دهی AHP

در این مطالعه، تأثیر شاخص‌های مختلف بر WRCC متفاوت است، بنابراین تعیین وزن شاخص‌ها ضروری است. در حال حاضر، روش‌های محاسبه وزن‌ها اصولاً به دو بخش وزن‌دهی ذهنی (AHP) و وزن‌دهی عینی (Entropy) تقسیم می‌شوند (Lu et al, 2022). در روش وزن‌دهی ذهنی، وزن هر شاخص توسط کارشناسان تعیین می‌شود؛ در روش وزن‌دهی عینی، رویکردهای ریاضی و نظری برای محاسبه استفاده می‌شود که به قضاوت کارشناسی محقق وابسته نیست. این رویکرد به ساده‌سازی مسائل پیچیده، معادله‌سازی مسائل چندوجهی، کمی‌سازی چالش‌های کیفی و استفاده از داده‌های محدود برای حل پیچیده تصمیم‌گیری کمک می‌کند (Zyoud et al, 2016; Yang et al, 2021). اصول اساسی و مراحل روش AHP به اختصار به شرح زیر می‌باشد.

- دامنه مسئله: درک عوامل مرتبط و شناسایی ارتباطات آنها مراحل اولیه و حیاتی را تشکیل می‌دهد. پس از تجزیه و

تحلیل اولیه سیستم ارزیابی، ساختار سیستم به یک ساختار درختی سلسله‌مراتبی تبدیل می‌شود که معمولاً از سه سطح تشکیل شده است: سلسله مراتب موضوع، سلسله مراتب قوانین و لایه شاخص بنیادی.

- از روش ساخت مقیاس برای ایجاد ماتریس قضاوت استفاده می‌شود. عوامل شاخص برای مقایسه یک به یک، تعیین اهمیت دو مورد نسبت به درجه اهمیت مقایسه شده و به دست آوردن وزن مربوط به شاخص، ماتریس قضاوت در جدول ۳ نشان داده شده است:

$A = (b_{ij})_{n \times n}$	رابطه (۱)
-----------------------------	-----------

در رابطه (۱) A ، ماتریس قضاوت است. b_{ij} ، b_i ، b_j ($i, j=1, 2, \dots$) نشان‌دهنده ضریب نشانگر نام یا نام است و b_{ij} نشان‌دهنده درجه اهمیت b_i در مقایسه با b_j است.

به منظور کمی‌سازی درجه اهمیت بین دو عامل شاخص، روش سنتی توصیف کمی با استفاده از روش ۹ مقیاسی استفاده می‌شود. معنای هر مقیاس در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- تعریف مقیاس‌های عددی سیستم امتیازدهی

عدد مقیاس	تعریف
۱	اهمیت برابر بین دو شاخص
۳	اهمیت جزئی یک شاخص در مقایسه با شاخص دیگر
۵	اهمیت قوی یک شاخص در مقایسه با شاخص دیگر
۷	تسلط یک شاخص بر شاخص دیگر
۹	تسلط مطلق یک شاخص بر شاخص دیگر
۲، ۴، ۶، ۸	مقادیر میانی بین دو سطح همسایه
متقابلها	اگر نسبت اهمیت فاکتورهای i و j باشد، نسبت اهمیت J تا I است

حداکثر مقدار ویژه (λ_{max}) هر ماتریس قضاوت و بردار ویژه متناظر با آن محاسبه می‌شود. با نرمال‌سازی بردارهای ویژه، وزن‌های نسبی عناصر در سطح شاخص مربوط به وزن عناصر در سطح محاسبه می‌شود، این بردار ویژه با حداکثر مقدار ویژه مطابقت دارد.

$K_i = \prod_{j=1}^n b_{ij}, i = 1, 2, \dots, n$	رابطه (۲)
--	-----------

در رابطه (۲)، K حاصل ضرب عناصر ماتریس در هر ردیف است، i تعداد ستون‌های ماتریس را نشان می‌دهد، Z تعداد ردیف‌های ماتریس را نشان می‌دهد؛ n ستون n ماتریس را نشان می‌دهد.

$\bar{w}_t = \sqrt[n]{K_i}$	رابطه (۳)
$w_i = \frac{\bar{w}_t}{\sum_{j=1}^n \bar{w}_t}$	رابطه (۴)
$\lambda_{max} \approx \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$	رابطه (۵)

سپس برای اطمینان از اینکه وزن‌های تخصیص داده شده شاخص‌ها از نظر علمی معتبر هستند، آزمون سازگاری CR و شاخص سازگاری CI برای وزن‌ها باید به ترتیب محاسبه شوند.

$CR = \frac{CI}{RI}$	رابطه (۶)
$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$	رابطه (۷)

روش آنتروپی

پراکندگی هر شاخص را می‌توان به‌طور موثر با استفاده از روش آنتروپی ارزیابی کرد و شاخص موردنظر بر اساس پراکندگی آن وزن دهی می‌شود. در فرآیند محاسبه وزن‌ها با استفاده از روش آنتروپی، به دلیل اینکه $\ln 0$ قابل محاسبه نیست به هر یک از مقادیر ماتریس Y ، مقدار 0.0001 اضافه شد (رابطه ۸). روند محاسبات در ادامه آورده شده است:

$y_{ij}^* = y_{ij} + 0.0001$	رابطه ۸
------------------------------	---------

گام ۱- تعیین وزن زامین شاخص و تشکیل ماتریس وزن شاخص‌ها

$P_{ij} = \frac{y_{ij}^*}{\sum_{i=1}^a y_{ij}^*}$	رابطه ۹
---	---------

که $a, 1, 2, \dots, a$ و i تعداد شاخص‌ها است.
گام ۲- محاسبه مقدار آنتروپی شاخص زام و تشکیل ماتریس H_j

$H_j = -k \sum_{i=1}^a P_{ij} \ln P_{ij}$	رابطه ۱۰
---	----------

که $k = 1/\ln a$ و $H_j \geq 0$ است.
گام ۳- تعیین درجه انحراف E_j شاخص j

$E_j = 1 - H_j$	رابطه ۱۱
-----------------	----------

گام ۴- محاسبه ضریب وزن آنتروپی هر شاخص و تشکیل ماتریس ضرایب وزنی W_{Ej}

$W_{Ej} = \frac{E_j}{\sum_{j=1}^b E_j}$	رابطه ۱۲
---	----------

روش CRITIC

روش وزندهی^۱ CRITIC براساس همبستگی و انحراف معیار داده‌های ماتریس تصمیم انجام می‌شود. این روش مشابه روش آنتروپی است با این تفاوت که در این روش فقط بر اساس پراکندگی داده‌ها نیست. روند محاسبات این روش در ادامه آورده شده است.

گام ۱- تعیین انحراف معیار شاخص زام و تشکیل ماتریس S_j

$\bar{y}_i = \frac{1}{a} \sum_{j=1}^a y_{ij}$	رابطه ۱۳
---	----------

$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^a (y_{ij} - \bar{y}_j)^2}{n - 1}}$	رابطه ۱۴
--	----------

که S_j ماتریس انحراف معیار است که تغییرات مقادیر شاخص‌ها را نشان می‌دهد. هر چه مقدار تغییرات یک شاخص بیشتر باشد، وزن آن شاخص بیشتر است.

گام ۲- تعیین مقدار ضریب همبستگی شاخص‌ها (r_{ij}) و تضاد شاخص‌ها (R_j)

$r_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^a (y_i - \bar{y}_i)(y_i - \bar{y}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^a (y_i - \bar{y}_i)^2 \sum_{i=1}^a (y_i - \bar{y}_i)^2}}$	رابطه ۱۵
$R_j = \sum_{i=1}^a (1 - r_{ij})$	رابطه ۱۶

که r_{ij} برای نمایش همبستگی بین شاخص‌ها استفاده می‌شود. هرچه همبستگی بیشتر و قوی‌تر باشد، تضاد کمتر و وزن کمتر می‌شود.

گام ۳- محاسبه ماتریس اطلاعات C_j

$C_j = S_j \times R_j$	رابطه ۱۷
------------------------	----------

گام ۴- محاسبه ضرایب وزنی هر شاخص و تشکیل ماتریس ضرایب وزنی W_{Cj}

$w_{Cj} = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^b C_j}$	رابطه ۱۸
---	----------

- وزن پرتفوی

هنگامی که از چند روش برای محاسبه وزن استفاده می‌شود، وزن پرتفوی از روش‌هایی مانند میانگین‌گیری حسابی، میانگین‌گیری هندسی و روش ضرب محاسبه می‌شود. روش میانگین‌گیری هندسی به عنوان یک روش ارزیابی غیرمکمل؛ روشی متعادل و نسبتاً غیرحساس است. برخلاف میانگین حسابی، اطلاعاتی در مورد وزن‌های نسبی ارائه می‌دهد. علاوه بر این، برخلاف روش ضرب، تأثیرات عوامل را متعادل می‌کند و از تأکید بیش از حد بر یک وزن خاص اجتناب می‌کند. با این حال، ممکن است شرایطی ایجاد شود که نتایج بدست آمده طوری باشد که مجموع وزن‌ها برابر با ۱ نباشد (Pavlacka, 2014). بنابراین، این مقاله محاسبات وزن‌های ترکیبی را نرمال‌سازی می‌کند.

$W_j = \frac{\sqrt[3]{W_{Ej} W_{Cj} W_{AHPj}}}{\sum_{j=1}^b \sqrt[3]{W_{Ej} W_{Cj} W_{AHPj}}}$	رابطه ۱۹
--	----------

- مدل GRA-TOPSIS

برای ارزیابی جامع ظرفیت برد منابع آب تالاب انزلی از مدل GRA-TOPSIS استفاده شد. در ادامه روند محاسبات این مدل آورده شده است.

گام ۱- محاسبه ماتریس وزندهی شده Z_{ij}

$Z_{ij} = (Z)_{a \times b} = y_{ij} \times W_j$	رابطه ۲۰
---	----------

گام ۲- راه‌حل ایده آل Z^+ و راه‌حل ضد ایده آل Z^- هر شاخص مورد ارزیابی به ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۲۱) و (۲۲)

تعیین می‌شود.

$Z^+ = \{\text{MAX}Z_{ij} i = 1, 2, \dots, a\} = \{Z_1^+, Z_2^+, \dots, Z_a^+\}$	رابطه ۲۱
$Z^- = \{\text{MIN}Z_{ij} i = 1, 2, \dots, a\} = \{Z_1^-, Z_2^-, \dots, Z_a^-\}$	رابطه ۲۲

گام ۳- فواصل +D و -D از هدف ارزیابی تا راه حل های ایده آل مثبت و منفی را محاسبه کنید.

$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^b (Z_j^+ - Z_{ij})^2}$	رابطه ۲۳
$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^b (Z_j^- - Z_{ij})^2}$	رابطه ۲۴

گام ۴- راه حل ایده آل +m و ضد ایده حال -m برای تعیین ضرایب همبستگی خاکستری به ترتیب با استفاده از روابط ۲۵ و ۲۶ تعیین می شود.

$m_{ij}^+ = \frac{\min_i \min_j \Delta Z_{ij}^+ + \rho \max_i \max_j \Delta Z_{ij}^+}{\Delta Z_{ij}^+ + \rho \max_i \max_j \Delta Z_{ij}^+}; \Delta Z_{ij}^+ = Z_j^+ - Z_{ij} $	رابطه ۲۵
$m_{ij}^- = \frac{\min_i \min_j \Delta Z_{ij}^- + \rho \max_i \max_j \Delta Z_{ij}^-}{\Delta Z_{ij}^- + \rho \max_i \max_j \Delta Z_{ij}^-}; \Delta Z_{ij}^- = Z_j^- - Z_{ij} $	رابطه ۲۶

که در آن $\min \min \Delta Z_{ij}$ حداقل تفاوت دو سطح، $\max \max \Delta Z_{ij}$ حداکثر تفاوت دو سطح، و $\rho \in [0, 1]$. فاکتور وضوح است؛ هر چقدر مقدار آن کمتر باشد، وضوح بیشتر است. به طور کلی مقدار ρ برابر ۰٫۵ است.

گام ۵- از راه حل ایده آل F_i^+ و ضد ایده حال F_i^- برای شناسایی همبستگی های خاکستری های به ترتیب با استفاده از روابط ۲۷ و ۲۸ استفاده می شود.

$F_i^+ = \frac{1}{b} \sum_{j=1}^b m_{ij}^+$	رابطه ۲۷
$F_i^- = \frac{1}{b} \sum_{j=1}^b m_{ij}^-$	رابطه ۲۸

گام ۶- بی بعد کردن روابط :

$\Psi_i = \frac{\psi_i}{\max \psi_i}$	رابطه ۲۹
---------------------------------------	----------

هنگامی که Ψ_i برابر با D_i^+ ، D_i^- و F_i^+ ، F_i^- باشد؛ ψ_i برابر d_i^+ ، d_i^- و f_i^+ ، f_i^- است

گام ۷- تعیین نزدیکی نسبی T_i :

$T_i = \frac{\theta_1 d_i^- + \theta_2 f_i^+}{(\theta_1 d_i^- + \theta_2 f_i^+) + (\theta_1 d_i^+ + \theta_2 f_i^-)}$	رابطه ۳۰
---	----------

که θ_1 و θ_2 بیانگر ضریب بایاس هستند که می تواند میزان جانبداری ارزیاب را نشان دهد؛ $\theta_1 + \theta_2 = 1$. $\theta_1 = 0.5$ و $\theta_2 = 0.5$ مقادیر مورد استفاده در این مطالعه هستند. هرچه مقدار T بالاتر باشد، WRCC بیشتر است.

-شناسایی عوامل اصلی مانع در WRCC-

برای ارائه تدابیر مدیریتی و کنترلی هدفمند در راستای بهبود وضعیت ظرفیت برد منابع آب، شناسایی عوامل اصلی تأثیرگذار

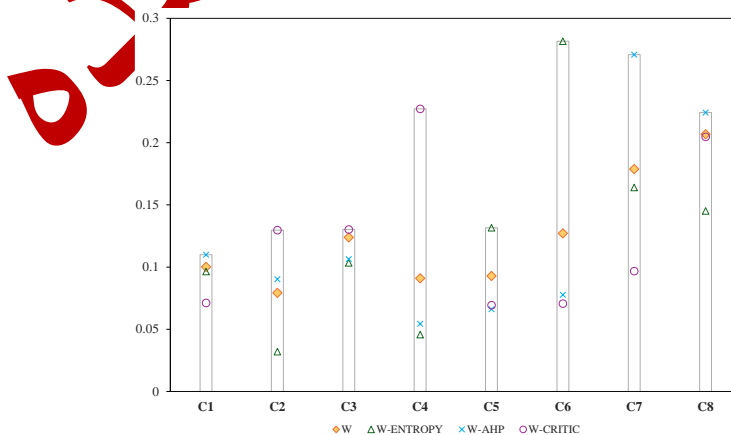
در WRCC ضروری است. مدل عامل مانع برای محاسبه دقیق تر عوامل مانع شاخص‌ها با توجه به هدف کلی ارزیابی WRCC استفاده می‌شود. عامل مانع با استفاده از روابط (۳۱) و (۳۲) محاسبه می‌شود (Zhou et al., 2020):

$O_{ij} = \frac{d_{ij}f_{ij}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}f_{ij}} \times 100\%$	رابطه (۳۱)
$d_{ij} = 1 - y_{ij}$	رابطه (۳۲)

در رابطه (۳۱)، O_{ij} نشان‌دهنده عامل مانع یک شاخص منفرد در هر سطح است؛ f_{ij} سهم هر شاخص است که نشان‌دهنده سهم یک شاخص منفرد در هر سطح است و در رابطه (۳۲)، d_{ij} درجه انحراف شاخص است.

یافته‌های پژوهش

بر اساس داده‌های مربوط به شاخص‌های ارزیابی منتخب، برای ارزیابی ظرفیت برد منابع آب تالاب انزلی، وزن شاخص‌ها با استفاده از روش‌های AHP، انترپوی و CRITIC محاسبه شد، که در نهایت وزن ترکیبی هر شاخص با استفاده از روش میانگین هندسی تعیین شد. محاسبه این وزن‌ها دارای اهمیت است زیرا این وزن‌ها می‌توانند به طور موثر، میزان مشارکت شاخص‌های ارزیابی را در سیستم WRCC منعکس کند. هرچه مقدار وزن یک شاخص بیشتر باشد، سهم آن شاخص بیشتر و شاخص مربوطه دارای اهمیت بیشتری است. نتایج محاسبات وزن شاخص‌ها در شکل ۳ آورده شده است. شکل ۳ نشان می‌دهد که در بعضی از شاخص‌ها وزن‌های به دست آمده از سه روش انترپوی، AHP و CRITIC دارای تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای است. علاوه بر این اختلاف بین وزن‌های محاسبه شده به روش انترپوی و CRITIC نیز در همه شاخص‌ها به خصوص شاخص‌های C2، C4، C6 و C7 قابل توجه است. به عنوان مثال وزن انترپوی محاسبه شده برای C6 بسیار زیاد است در حالی که وزن CRITIC این شاخص کوچک است. در مقابل وزن CRITIC محاسبه شده برای C4 بسیار زیاد است در حالی که وزن انترپوی محاسبه شده برای این شاخص کوچک است. این موضوع بیانگر این نکته است که همبستگی شاخص C4 با سایر شاخص‌ها قوی‌تر است و به همین دلیل مقدار وزن محاسبه شده به روش CRITIC این شاخص بیشتر شده علاوه بر این، به دلیل این که اختلاف مقدار C4 در دوره زمانی مورد مطالعه خیلی قابل توجه نیست مقدار وزن محاسبه شده به روش انترپوی این شاخص کمتر شده است. مقایسه مقادیر وزن‌دهی به روش AHP در شکل ۳ بیانگر این نکته است که این روش به طور قابل ملاحظه‌ای می‌تواند بر نتایج ارزیابی تاثیر بگذارد. با توجه به تنوع مقادیر وزن‌دهی محاسبه شده، میانگین وزن‌های محاسبه شده می‌تواند اهمیت شاخص‌ها را از ابعاد مختلف منعکس کند. بر این اساس بیشترین وزن‌های نهایی به ترتیب برای شاخص‌های C8 و C7 بدست آمد.

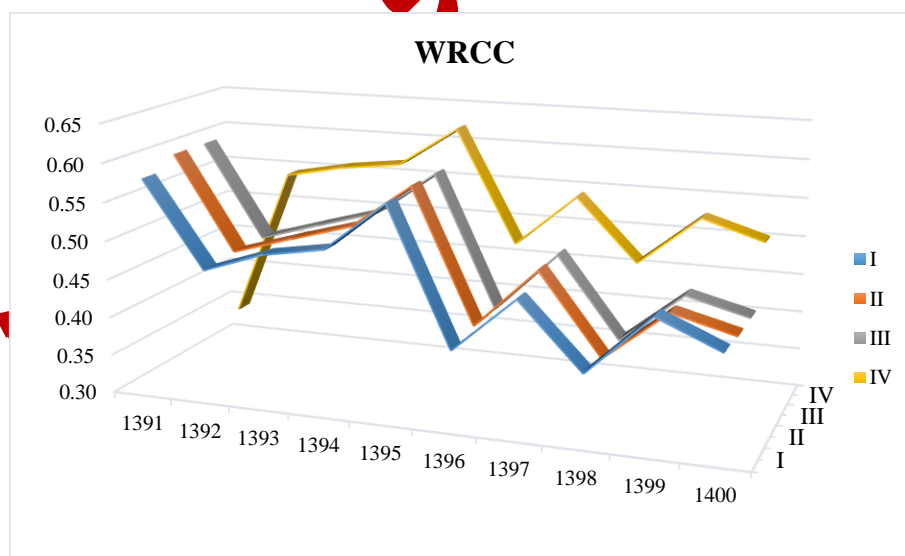


شکل ۳- مقدار وزن محاسبه شده به روش‌های AHP، انترپوی و CRITIC برای هر شاخص

پس از تعیین وزن هر یک از شاخص‌های ارزیابی در ادامه Tz که بیانگر درجه نزدیکی نسبی بر اساس فاصله اقلیدسی و درجه رابطه خاکستری است، به دست می‌آید. مقادیر به دست آمده درجه نزدیکی شرایط هر سال را در سطح ارزیابی مورد نظر نشان می‌دهد. مقادیر Tz بین صفر و یک تغییر می‌کند و هرچه درجه نزدیکی بیشتر باشد ظرفیت برد منابع آب به سطح ارزیابی بهینه مورد نظر نزدیک‌تر است به عبارت دیگر، ظرفیت برد منابع در آن سال بیشتر یا قوی‌تر است، برعکس هرچه درجه نزدیکی کمتر باشد ظرفیت برد در آن سال کمتر یا ضعیف‌تر است. با توجه به این نکته مقادیر ظرفیت برد در سطوح مختلف ارزیابی در سال‌های مختلف در جدول ۴ آمده است، مقادیر این جدول درجه نزدیکی هر سال در هر سطح ارزیابی را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، به جز در سال ۱۳۹۱، درجه نزدیکی بقیه سال‌ها سطح ارزیابی IV بیشتر از سطوح دیگر ارزیابی است و این مطالب بیانگر این است که شرایط ظرفیت برد در سال‌های ۱۳۹۲-۱۴۰۰ در وضعیت فوق بحرانی است. سال ۱۳۹۱ در وضعیت II (ضعیف) است.

جدول ۴- مقادیر سالانه ظرفیت برد تالاب انزلی در سطوح ارزیابی مختلف

سال	I	II	III	IV	نتیجه ارزیابی
۱۳۹۱	۰/۵۸	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۳۴	II
۱۳۹۲	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۵۴	IV
۱۳۹۳	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۶	IV
۱۳۹۴	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۷	IV
۱۳۹۴	۰/۵۷	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۶۲	IV
۱۳۹۶	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۴۷	IV
۱۳۹۷	۰/۴۷	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۵۴	IV
۱۳۹۸	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۴۶	IV
۱۳۹۹	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۵۳	IV
۱۴۰۰	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۵۰	IV



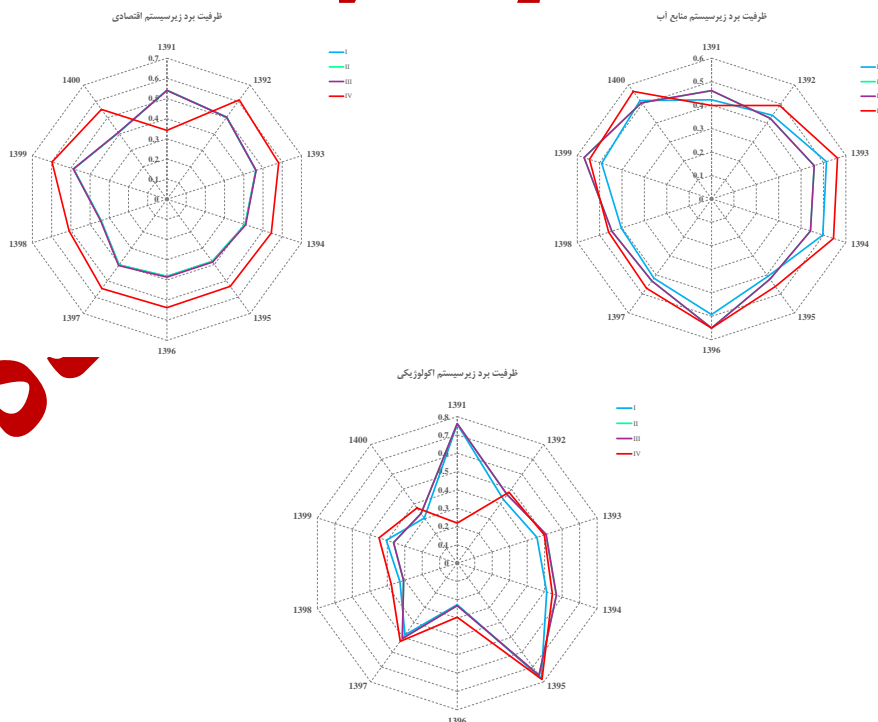
شکل ۴- مقایسه مقادیر ظرفیت برد منابع آب در سطوح ارزیابی مختلف

از آنجا که در انتخاب شاخص‌ها برای ارزیابی وضعیت سیستم منابع آب تالاب انزلی، سیستم در سه زیر سیستم منابع آب، اقتصادی و اکولوژی تعریف شد، در شکل ۵ مقادیر ظرفیت برد هر یک از زیر سیستم‌ها و در شکل ۶ ظرفیت برد کلی سیستم آورده شده است. همانطور که ذکر شد در ارزیابی کلی ظرفیت برد منابع آب تالاب انزلی، همه سال‌های مورد بررسی به جز سال

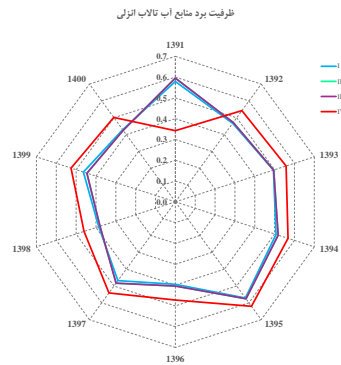
۱۳۹۱ در وضعیت IV (فوق بحرانی) قرار گرفته است. برای تعیین دلیل به وجود آمدن چنین شرایطی در کل سیستم، مقادیر ظرفیت برد منابع آب، اقتصادی و اکولوژی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بحث

مقایسه ظرفیت برد زیرسیستم منابع آب نشان می‌دهد که زیرسیستم منابع آب در سال ۱۳۹۱ به شرایط II و III نزدیکتر است و سیستم از این لحاظ در وضعیت ضعیف تا بحرانی قرار می‌گیرد. با وجود اینکه در سال‌های ۱۳۹۲-۱۴۰۰، سیستم کلی در وضعیت فوق بحرانی است در زیرسیستم منابع آب در بعضی از سال‌ها مانند ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹ این زیرسیستم به وضعیت II و III نزدیکتر است و در سال ۱۳۹۸ اختلاف کمی با وضعیت II و III دارد. لازم به ذکر است که مقادیر آب سطحی در دسترس و درصد تامین و تقاضا سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ بیشترین مقدار را نسبت به سال‌های دیگر دارد و سال ۱۳۹۹ علی‌رغم اینکه مقادیر آب سطحی در دسترس کمتر است اما به دلیل بالاتر بودن مقادیر آب زیرزمینی قابل استفاده و بالاتر بودن نسبت منابع آب در دسترس نسبت به جمعیت، مقدار ظرفیت برد در این سال به وضعیت II و III نزدیکتر می‌شود. لازم به ذکر است که جمعیت در سال ۱۳۹۹، به دلیل ورود گردشگر کمتر در این استان در اثر شیوع ویروس کرونا کمتر شده است. ارزیابی ظرفیت برد زیرسیستم اقتصادی نشان می‌دهد که در همه سال‌ها به جز سال ۱۳۹۱ که شرایط خوبی برقرار است در بقیه سال‌ها در وضعیت فوق بحرانی قرار می‌گیرد. ارزیابی ظرفیت برد زیرسیستم اکولوژیکی نشان می‌دهد که به جز در سال ۱۳۹۱ که شرایط خوبی برقرار است در بقیه سال‌ها در وضعیت فوق بحرانی قرار می‌گیرد، البته در سال ۱۳۹۴ شرایط به گونه‌ای بوده که با اختلاف کمی و وضعیت II (ضعیف) و III (بحرانی) برقرار است. مقادیر درجه نزدیکی در این زیرسیستم نشان می‌دهد که در اغلب سال‌ها این مقادیر کمتر از ۰/۵ است. و این بیانگر این نکته است که شرایط در سال مربوطه به وضعیت حداقلی سطح ارزیابی نزدیکتر است در حالی که اگر بیشتر از ۰/۵ باشد، شرایط به وضعیت بهینه آن سطح ارزیابی نزدیکتر است. با توجه به مقایسه ظرفیت برد هر یک از زیرسیستم‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که زیرسیستم اقتصادی عامل افزایش ظرفیت برد کلی سیستم و زیرسیستم منابع آب عامل کاهش ظرفیت برد کلی سیستم مورد مطالعه است.



شکل ۵- ظرفیت برد زیرسیستم‌های منابع آب، اقتصادی و اکولوژیکی تالاب انزلی

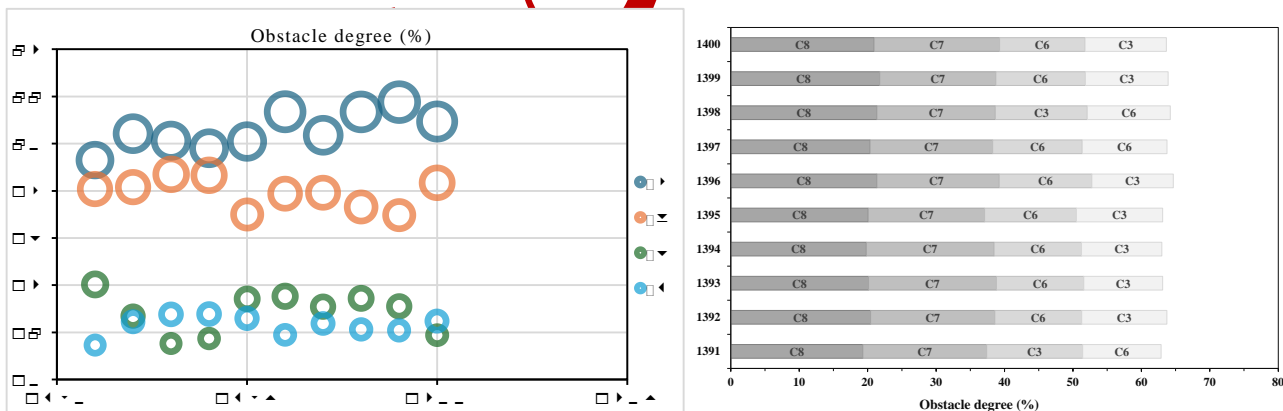


شکل ۶- ظرفیت برد منابع آب تالاب انزلی

تحلیل منابع ارزیابی WRCC در تالاب انزلی نشان داد که این تالاب عمدتاً در وضعیت IV (فوق بحرانی) قرار دارد که بیانگر این نکته است که برنامه‌ریزان منطقه بهتر است برای خروج از این وضعیت برنامه‌ریزی‌ها و راهکارهایی را اجرایی کنند. سال ۱۳۹۱، شروع ارزیابی‌هاست که با توجه به مقادیر WRCC در وضعیت II (ضعیف) و III (بحرانی) قرار می‌گیرد. وضعیت ظرفیت برد این سال در مقایسه با سال‌های دیگر نشان می‌دهد که این سال وضعیت ظرفیت برد بیشتر و به عبارتی شرایط بهتری را تجربه می‌کند. دلیل این موضوع می‌تواند به خاطر مقادیر قابل توجه آب سطحی نسبت به سال‌های دیگر و کیفیت مطلوب‌تر آب ورودی تالاب باشد. از سال ۱۳۹۲ به بعد همه سال‌ها در وضعیت فوق بحرانی هستند که در هر یک از این سال‌ها عامل ایجاد چنین شرایطی می‌تواند متفاوت باشد. در ادامه علت این موضوع در هر یک از سال‌ها بررسی می‌شود. در سال ۱۳۹۲ کیفیت آب ورودی به تالاب به همراه کاهش ۵۰ درصدی تامین آب تالاب نسبت به سال قبل می‌تواند علت این موضوع باشد که وضعیت ظرفیت برد در این سال فوق بحرانی شده است. در سال ۱۳۹۳، کاهش منابع آب سطحی در دسترس به کاهش بارندگی‌ها و به واسطه آن کاهش ۳۷ درصدی تامین آب تالاب نسبت به سال قبل می‌تواند دلیل کاهش ظرفیت برد و ایجاد شرایط فوق بحرانی در این سال باشد. سال ۱۳۹۴ هم شرایط تقریباً مشابه سال قبلی بوده است. سال ۱۳۹۵، علی‌رغم این که وضعیت ظرفیت برد در این سال فوق بحرانی است اما مقدار درجه نزدیکی به شرایط بهینه این سطح ارزیابی (سطح فوق بحرانی) نزدیکتر است، بنابراین عملاً اتفاقی که در این سال افتاده است به نسبت ۳ سال قبل وضعیت بهتری بوده است، هرچند که هنوز در وضعیت فوق بحرانی قرار گرفته است. سال ۱۳۹۶، با وجود این که مقدار حجم منابع آب سطحی در دسترس افزایش قابل توجهی نسبت به سال‌های قبل داشته، به طوری که حجم منابع آب سطحی حداکثر مقدار را در دوره ۱۰ ساله مورد بررسی دارد اما به دلیل درصد بالایی تامین تقاضاهای آب بالادست تالاب مقدار حجم آب ورودی به تالاب خیلی قابل توجه نبوده است. بنابراین این عامل به همراه پایین بودن کیفیت آب ورودی به تالاب می‌تواند دلیل پایین بودن درجه نزدیکی به سطح ارزیابی و قرار گرفتن ظرفیت برد در وضعیت بحرانی باشد. سال ۱۳۹۷ ظرفیت برد در این سال نیز در وضعیت بحرانی است اما مقدار درجه نزدیکی به سطح بهینه سطح ارزیابی بیشتر شده است که این می‌تواند به دلیل مطلوب‌تر شدن وضعیت کیفیت آب ورودی به تالاب نسبت به سال قبل و بالاتر رفتن درصد تامین آب تالاب باشد. ظرفیت برد در سال ۱۳۹۸، نیز در وضعیت فوق بحرانی است. در این سال نیز نسبت به سال قبل مقدار درجه نزدیکی به سطح حداقلی وضعیت فوق بحرانی بیشتر شده است که علت اصلی این موضوع می‌تواند به دلیل بدتر شدن کیفیت آب ورودی به تالاب باشد، علی‌رغم این که در این سال درصد تامین آب تالاب نسبت به سال قبل بیشتر شده است. سال ۱۳۹۹ نیز یکی از سال‌هایی است که ظرفیت برد آن در وضعیت فوق بحرانی است. با توجه به بالاتر رفتن درصد تامین آب تالاب در این سال و شیوع ویروس کرونا علت کاهش ظرفیت برد نسبت به سال‌های دیگر کمی متفاوت‌تر است، زیرا در این سال به دلیل ورود مسافران کمتر و کمتر شدن جمعیت منطقه مورد مطالعه، مقدار شاخص C3 افزایش یافت. از طرفی به دلیل مصرف بالایی آب شرب و شوینده‌ها مقدار مصرف آب زیرزمینی افزایش یافت و کیفیت آب ورودی به تالاب کاهش داشت. البته علت پایین بودن کیفیت آب در سال ۱۳۹۸ نیز به دلیل شیوع این بیماری بوده زیرا شروع شیوع این بیماری از انتهای بهمن سال ۱۳۹۸ بوده است. سال ۱۴۰۰ نیز به دلیل کاهش درصد تامین آب تالاب و کیفیت

نامطلوب آب ورودی به تالاب در وضعیت فوق بحرانی بوده است. نتایج ارزیابی ظرفیت برد در سال‌های مختلف مورد بررسی این مطالعه نشان داد که باتوجه به تعیین علت به وجود آمدن شرایط فوق بحرانی در ظرفیت برد تالاب انزلی، می‌توان با اقدامات برنامه‌ریزی شده بر روی عوامل موثر برای ایجاد چنین شرایطی در جهت بهتر شدن وضعیت تالاب گام برداشت. نتایج بررسی‌های Wang et al., 2022 و Yang et al., 2023 نیز نشان داد که ممکن است در بعضی از سال‌ها نتایج ارزیابی با مقادیر مشاهده شده در منطقه تفاوت کمی داشته باشد که آن‌ها علت این موضوع را در تعریف شاخص‌ها و روش ارزیابی معرفی کردند. این مطلب بیانگر این نکته است که یافتن روش‌های علمی‌تر و واقع‌بینانه‌تر برای ارزیابی وضعیت WRCC می‌تواند در برنامه تحقیقات محققین در آینده قرار گیرد.

با توجه به مدل تشخیص موانع، درجات موانع WRCC تالاب انزلی محاسبه شد و نتایج رتبه‌بندی در شکل ۷ نشان داده شده است. در این شکل فقط ۴ عامل اصلی مانع به همراه درجه موانع مربوط به آن دوره زمانی ۱۳۹۱-۱۴۰۰ آورده شده است. مجموع درجه مانع ۴ عامل اصلی بالای ۶۰ درصد است که بیانگر این نکته است که این عوامل بیشترین تاثیر را در بین ۸ شاخص منتخب دارند. بررسی‌های انجام شده بر روی میانگین درجه موانع و تعداد تکرار عوامل موانع نشان داد که شاخص کیفیت آب ورودی به تالاب انزلی (C8) با میانگین درجه مانع ۲۰/۶ درصد و تعداد دفعات ۸، بهترین عامل مانع به شمار می‌رود. پس از آن درصد تامین آب مورد نیاز تالاب با میانگین درجه مانع ۱۷/۹ درصد با تعداد دفعات ۸، درصد تامین آب مورد تقاضای نواحی بالادست تالاب انزلی با میانگین درجه مانع ۱۳/۳ درصد و تعداد دفعات ۵ و شاخص نسبت کل آب در دسترس به جمعیت (C3) با میانگین درجه مانع ۱۲/۱ درصد و تعداد دفعات ۵ به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.



شکل ۷- عوامل مانع WRCC در سال‌های مورد ارزیابی (۴ عامل اصلی مانع)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف این مطالعه ارزیابی ظرفیت برد منابع آب تالاب انزلی با استفاده از روش مدل‌سازی شاخص جامع بود. شاخص‌های ارزیابی بر اساس شرایط درازمدت تالاب انزلی تعریف شدند و به منظور محاسبه وزن شاخص‌ها، از روش‌های AHP، آنتروپی و CRITIC استفاده شد که

با روش میانگین هندسی، وزن ترکیبی محاسبه شد. در ادامه با توجه به کاربرد رویکردهای مختلف برای ارزیابی WRCC، از مدلی که ترکیب دو روش تحلیل رابطه خاکستری (GRA) و روش TOPSIS بود استفاده شد. پس از تعیین مقادیر WRCC هر یک سال‌ها، عوامل اصلی به وجود آمدن وضعیت موجود در تالاب با استفاده از مدل عامل مانع شناسایی شد. نتایج هر بخش از این مطالعه در ادامه آورده شده است:

- در این مطالعه، با توجه به وضعیت واقعی منطقه منطقه فومنات استان گیلان، از روش‌های آنتروپی، AHP و CRITIC برای به دست آوردن وزن‌ها استفاده شد و سپس با استفاده از روش میانگین هندسی، وزن‌ها تعیین و تخصیص داده شد که به طور جامع به تفاوت‌ها و همبستگی بین شاخص‌ها توجه می‌کند و از اشتباهات مطالعات گذشته که در محاسبه وزن‌های ترکیبی از مدل ضربی میانگین حسابی استفاده می‌کردند، جلوگیری می‌کند.
- نتایج وزندهی شاخص‌ها نشان داد که وزن‌های به دست آمده از روش‌های مختلف در برخی شاخص‌ها تفاوت‌های قابل توجهی دارند. مقایسه وزن‌دهی به روش AHP نیز نشان می‌دهد که این روش به طور قابل ملاحظه‌ای بر نتایج ارزیابی تأثیر می‌گذارد و میانگین هندسی می‌تواند اهمیت شاخص‌ها را از ابعاد مختلف منعکس کند. نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر وزنی به شاخص‌های C8 و C7 تخصیص داده شد.
- نتایج مدل TOPSIS-GRA در ارزیابی WRCC هر یک از سال‌ها در سطوح مختلف ارزیابی نشان داد که این تالاب عمدتاً در وضعیت IV (فوق بحرانی) قرار دارد، به‌ویژه از سال ۱۳۹۲ به بعد، در حالی که سال ۱۳۹۱ وضعیت بهتری داشته است. عوامل متعددی مانند کاهش تأمین آب، کیفیت نامناسب آب ورودی، و تغییرات اقلیمی موجب ایجاد این شرایط فوق بحرانی در سال‌های مختلف شده‌اند. نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد که با برنامه‌ریزی صحیح و بهبود عوامل مؤثر، می‌توان به بهبود وضعیت تالاب کمک کرد و نیاز به روش‌های علمی‌تر برای ارزیابی دقیق‌تر وضعیت WRCC مورد تأکید قرار می‌گیرد.
- بررسی سه زیرسیستم منابع آب، اقتصادی و اکولوژیکی در ارزیابی وضعیت منابع آب تالاب انزلی نشان داد که زیرسیستم منابع آب در کل دوره در شرایط بحرانی و فوق بحرانی است. در حالی که زیرسیستم اقتصادی در همه سال‌ها به جز ۱۳۹۱ در وضعیت فوق بحرانی بوده و زیرسیستم اکولوژیکی نیز در وضعیت مشابه قرار دارد. مقایسه مقادیر درجه نزدیکی به سطوح ارزیابی در هریک از زیرسیستم‌ها نشان داد که زیرسیستم اقتصادی به افزایش ظرفیت برد کلی کمک می‌کند، در حالی که زیرسیستم منابع آب موجب کاهش آن می‌شود.
- برای حل مشکل زیرسیستم منابع آب، دولت باید مقرراتی را پیاده کند تا تلفات منابع آب و مصرف آب بر اساس هر نفر را کاهش دهد. در بخش صنعتی، بهره‌گیری از اعمال افزایش قیمت آب نقش حیاتی دارد. که می‌تواند از طریق اجرای نرخ‌های طبقه‌بندی منابع آب و چرخه‌های قیمت‌گذاری برای جلوگیری از استفاده بیش از حد از آب صنعتی به دست آید. صنایعی که به مصرف مقادیر بیش از حد از آب ادامه می‌دهند، باید با جریمه‌هایی مانند اصلاح، محدودیت‌های تولید یا جریمه‌های قابل توجه روبرو شوند. در کشاورزی، بهینه‌سازی روش‌های آبیاری ضروری است. جایگزینی تدریجی روش‌های آبیاری سنتی با تکنیک‌های کارآمدتر مانند آبیاری قطره‌ای و میکرو-آبیاری می‌تواند به حفظ آب کمک کند. ترویج توسعه و بهره‌برداری از منابع آب غیرمعمول و اجرای شیوه‌های مدیریت منابع آب کارآمد می‌تواند به حفظ آب کمک کند. در همین حال، باید سیستم حفاظت از منابع آب در استان گیلان را تشکیل و بهبود داد تا از آلودگی منابع آب قابل استفاده جلوگیری شود.
- نتایج بررسی موانع WRCC تالاب انزلی نشان می‌دهد که چهار عامل اصلی کیفیت آب ورودی به تالاب انزلی، درصد تامین آب مورد نیاز تالاب، درصد تامین آب مورد تقاضای نواحی بالادست تالاب انزلی و نسبت کل آب در دسترس به جمعیت با مجموع درجه مانع بالای ۶۰ درصد، بیشترین تأثیر را وضعیت موجود ظرفیت‌برد منابع آب تالاب دارند.

- با توجه به نتایج درجه موانع و شناسایی مهم‌ترین عوامل موثر بر WRCC تالاب انزلی، اقداماتی در جهت بهبود ظرفیت برد تالاب با توجه به شرایط واقعی و فرهنگی منطقه پیشنهاد می‌شود که در صورت امکان بهتر است اقداماتی در جهت اجرایی شدن آن صورت گیرد. به عنوان مثال اقداماتی در بالادست تالاب برنامه‌ریزی شود که در صورت انجام آن کیفیت منابع آب ورودی به تالاب بهبود یابد و حجم آب ورودی به تالاب افزایش یابد.
- از نظر زمان، این مقاله بیشتر بر روی WRCC گذشته و حاضر تمرکز دارد؛ با این حال، نیاز به بررسی روند توسعه WRCC آینده هنوز وجود دارد. اگرچه ویژگی‌های مکانی منطقه فومنتا به عنوان هدف این مطالعه در نظر گرفته شده است، اما می‌توان منطقه مورد مطالعه را گسترش داد تا دید وسیع‌تری از منطقه را نشان دهد. بنابراین، در مطالعه آینده، ابعاد زمان و مکان گسترش داده خواهند شد.

منابع

زبردست، لعبت، جعفری، حمیدرضا، (۱۳۹۰)، ارزیابی روند تغییرات تالاب انزلی با استفاده از سنجش از دور و ارائه راه‌حل مدیریتی، محیط شناسی، سال سی و هفتم، شماره ۵۷، صص ۵۷-۶۴
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.10258620.1390.37.57.7.5>
 صفری، عبدالرضا، آوریده، حمیدرضا، همایونی، سعید، خزایی، صفا، (۱۳۹۳)، برآورد عمق آب‌های ساحلی به کمک تصاویر سنجش از دور فراطیفی، نشریه علمی-ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، سال ششم، شماره ۱، صص ۱-۱۱.
[10. magiran.com/p1364335](http://10.magiran.com/p1364335)
 مدبری، هادی، شکوهی، علیرضا، (۱۳۹۹)، تعیین نیاز آبی تالاب انزلی بر اساس شاخصهای اکولوژیکی - گردشگری در چارچوب IWRM، تحقیقات آب و خاک ایران. DOI:// 668633jswr10.22059/

Ait-Aoudia, M.N., Berezowska-Azzag, E., (2016). Water resources carrying capacity assessment: The case of Algeria's capital city. *Habitat International* 58, 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.09.006>.

Avarideh, H. R., Safari, A. R., Homayouni, S., Khazaei, S. 2015. Nearshore bathymetry using hyperspectral remotesensing. *Geospatial Engineering Journal*, 6(1): 1-10. (In Persian)

Chen, Q, Y., Zhu, M, T., Zhang, C.J.. et al.,2023.The driving effect of the spatial-temporal difference of water resources carrying capacity in the Yellow River Basin. *Journal of Cleaner Production* ,388:135709. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135709>.

Chen, Y.-T., Sun, E.W., Lin, Y.-B., (2019). Coherent quality management for big data systems: a dynamic approach for stochastic time consistency. *Annals of Operations Research*, 277, 3-32. <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2795-1>.

Cheng, Q.Y.,(2010). Structure Entropy Weight Method to Confirm the Weight of Evaluating Index. *systems engineering-theory & practice*,30(07):1225-1228.

Gulishengmu, A., Yang, G., Tian, L., Pan, Y., Huang, Z., Xu, X., Gao, Y., Li, Y., (2023). Analysis of water resource Carrying capacity and obstacle factors based on GRATOPSIS evaluation method in Manas River basin. *Water* 15. <https://doi.org/10.3390/w15020236>

Hettiarachchi M., Morrison T. H., Wickramasinghe D., Mapa R., De Alwis A., McAlpine C. A., (2014). The eco-social transformation of urban wetlands: A case study of Colombo, Sri Lanka, *Landscape and Urban Planning*,132, 55-68. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.08.006>

Jia, Y., Wang, H., (2023). Study on water resource Carrying capacity of Zhengzhou City based on DPSIR model, 20 *International Journal of Environmental Research and Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021394>.

Jiang, H., He, G., (2023). Analysis of spatial and temporal evolution of regional water resources Carrying capacity and influencing factors-Anhui Province as an example. *Sustainability*, 15. <https://doi.org/10.3390/su151411255>.

Li, Q., Liu, Z., Yang, Y., Han, Y., Wang, X., (2023a). Evaluation of water resources carrying capacity in Tarim River basin under game theory combination weights, 154 *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110609>.

Li, W., Jiang, S., Zhao, Y., Li, H., Zhu, Y., Ling, M., Qi, T., He, G., Yao, Y., Wang, H., (2023b). Comprehensive evaluation and scenario simulation of water resources carrying capacity: a case study in xiong'an new area, China. *Ecological Indicators*. 150 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110253>.

Liu, Y., Jia, R.X., Hou, X.L.,(2005). Evaluation of China's regional sustainable utilization of water resources and its type classification. *Environmental Science*. 2005, 26, 42.

Liu, Y.; Gao, C.; Ji, X.; Zhang, Z.; Zhang, Y.; Liu, C.; Wang, Z., (2022). Simulation of water resources carrying capacity of the Hangbu River Basin based on system dynamics model and TOPSIS method. *Frontiers in Environmental Science*, (2022). 10, 1045907. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1045907>

Lu, L., Lei, Y., Wu, T., Chen, K., (2022). Evaluating water resources carrying capacity: the empirical analysis of Hubei Province, China 2008–2020[J]. *Ecological Indicators*. 144, 109454 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109454>.

Lv, B., Liu, C., Li, T., Meng, F., Fu, Q., Ji, Y., Hou, R., (2023). Evaluation of the water resource carrying capacity in Heilongjiang, eastern China, based on the improved TOPSIS model, 150 *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110208>.

Makropoulos, C.; Natsis, K.; Liu, S.; Mittas, K.; Butler, D., (2008). Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management. *Environmental Modelling & Software*. (2008). 23, 1448–1460. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.04.010>

Modaberi, H., Shokoohi, A., (2019). Determining Water requirement of Anzali Wetland based on Eco-Tourism Indices within the Framework of IWRM. *Iranian Journal Of Soil And Water Research*. DOI://668633ijswr10.22059/ (In Persian)

Morin T.H., Bohrer G., Naor-Azrieli L., Mesi S., Kenny W.T., Mitsch W.J., Schäfer K.V.R., (2014). The seasonal and diurnal dynamics of methane flux at a created urban wetland, *Ecological Engineering*, 72, 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.02.002>

Murgatroyd, A., & Hall, J. W. (2021). Selecting indicators and optimizing decision rules for long-term water resources planning. *Water Resources Research*, 57, e2020WR028117. <https://doi.org/10.1029/2020WR028117>

Pavlacka, O., 2014. On various approaches to normalization of interval and fuzzy weights. *Fuzzy Sets and Systems*. 243, 116–130. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2013.07.026>.

Wang, G., Xiao, C., Qi, Z., Meng, F., Liang, X., (2021). Development tendency analysis for the water resource carrying capacity based on system dynamics model and the improved fuzzy comprehensive evaluation method in the Changchun city, China. *Ecological Indicators*. 122 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107232>.

Wang, Q., Zhao, Z., Shen, N., Liu, T., (2015). Have chinese cities achieved the win-win between environmental protection and economic development? from the perspective of environmental efficiency. *Ecological Indicators*. 51, 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.022>.

Wang, S., Chakrabarty, A., Taha, A.F.F., (2023a). Data-driven identification of dynamic quality models in drinking water networks, 149 *Journal of Water Resources Planning and Management*. <https://doi.org/10.1061/jwrmd5.Wreng-5431>.

Wang, S., Zhang, G., (2014). Study on Comparing the comprehensive Carrying capacity among Beijing-Tianjin-Hebei region based on the rank-sum ratio. *Areal Research and Development*. 33, 19–25.

Wang, X., Zhang, S., Tang, X., Gao, C., 2023c. Spatiotemporal heterogeneity and driving mechanisms of water resources carrying capacity for sustainable development of Guangdong Province in China. *Journal of Cleaner Production*. 412 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137398>.

Wang, Y., Wang, J., Duan, X., Wang, L., (2023b). Assessment and simulation of water environment Carrying capacity in a River Basin using system dynamics model. *Polish Journal of Environmental Studies*. 32, 2893–2907. <https://doi.org/10.15244/pjoes/161326>.

- Wang, Y., Zhang, Y., Sun, W., Zhu, L., (2022). The impact of new urbanization and industrial structural changes on regional water stress based on water footprints. *Sustainable Cities and Society*. 79 <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103686>.
- Wu, C., Zhou, L., Jin, J., Ning, S., Bai, L., (2020). Regional water resource carrying capacity evaluation based on multi-dimensional precondition cloud and risk matrix coupling model. *Science of The Total Environment*. 710, 136324 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136324>.
- Xu, M., Chen, M., Li, Y., Jiang, Y., (2020). Analysis of water resources Carrying capacity of coastal cities along the Yangtze River based on PSR model. *Journal of Coastal Research*. 109 <https://doi.org/10.2112/JCR-SI109-018.1>.
- Yang, G., Dong, Z., Feng, S., Li, B., Sun, Y., Chen, M., (2021). Early warning of water resource carrying status in Nanjing City based on coordinated development index. *Journal of Cleaner Production*. 284, 124696 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124696>.
- Yu, L., (2021). Study on the essence of objective weighting method and its application in scientific and technological evaluation. *Information Studies: Theory & Application* 44, 50–56. <https://doi.org/10.16353/j.cnki.1000-7490.2021.02.007>.
- Zebardast, L., Jafari, H. 2011. Use of Remote Sensing in Monitoring the Trend of Changes of Anzali Wetland in Iran and Proposing Environmental Management Solution. *Journal of Environmental Studies*, 37(57), 1-8.. 20.1001.1.10258620.1390.37.57.7.5. (In Persian)
- Zeng X.T., Huang G.H., Chen H.L., Li Y.P., Kong X.M., Fan Y.R., (2016). A simulation-based water-environment management model for regional sustainability in compound wetland ecosystem under multiple uncertainties, *Ecological Modelling*, 334, 60–77. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.04.021>
- Zhang, J.; Zhang, C.; Shi, W.; Fu, Y., (2019). Quantitative evaluation and optimized utilization of water resources-water environment carrying capacity based on nature-based solutions. *Journal of Hydrology*. (2019), 568, 96–107. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.059>
- Zhang, Y, Wei, H.B., (2012). Multi-attribute decision-making combination weighting method based on CRITIC. *statistics and decision*, (16):75-77. <https://link.cnki.net/doi/10.13546/j.cnki.tjyjc.2012.16.009> (in Chinese).
- Zhang, Y., (2023). Quantitative evaluation of the Carrying capacity of county water resources in the context of “four determinations with water”. *China Rural Water and Hydropower*. 60–68+73. <https://doi.org/10.12396/znsd.220812>.
- Zhou, F., Zhang, W., Jiang, A., Peng, H., Li, L., Deng, L., Sun, Y., Wang, H., (2023). Spatialtemporal variation characteristics and coupling coordination of the “water resources - water environment - water ecology” carrying capacity in the three gorges reservoir area. *Ecological Indicators*. 154 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110874>.
- Zhou, K., (2022). Comprehensive evaluation of water resources carrying capacity based on improved AGA-AHP method. *Applied Water Science*. 12 (5). <https://doi.org/10.1007/S13201-022-01626-2>.
- Zuo, Q., Zhang, Z., Wu, B., 2020. Evaluation of water resources carrying capacity of nine provinces in Yellow River basin based on combined weight TOPSIS model. *Water Resour. Prod.* 36 (02), 1–7 in (Chinese)
- Zyoud, S.H., Kaufmann, L.G., Shaheen, H., Samhan, S., Fuchs-Hanusch, D., (2016). A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: integration of fuzzy AHP with fuzzy TOPSIS. *Expert Systems with Applications*. 61, 86–105. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.05.016>.