Research Paper

Evaluation of the Water Quality of Soufi Chai by Shannon Entropy and AHP Methods

Marziyeh Manafi Mollayousefi [1], Leila Malekani[2*]

[1] Ph. D. Graduated of agricultural economics, Department of Agricultural Economics, Agriculture Faculty, Tabriz University, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Marand Technical & Engineering Faculty, Tabriz University, Iran

10.22125/IWE.2021.267140.1470

Received:
January 12, 2021
Accepted:
August 25, 2021
Available online:
December 11, 2022

Keywords:
Water Quality Index, Shannon Entropy, AHP, Time trend, Soufi Chai River.

Abstract

Evaluation of the changes in river water quality plays key role in sustainable management of surface water resources. This study evaluates the river water quality of Sofi Chai River using the water quality index (WQI) from 1972 to 2016. Shannon's Entropy Method and Analytical Hierarchy Process (AHP) have been used to determine the relative weight of water quality parameters and then these parameters have been compared with the weights provided by the World Health Organization (WHO). Qualitative parameters of Electrical Conductivity (EC), acidity (pH), Total Dissolved Solids (TDS), calcium (Ca^{2+}), bicarbonate ($HCO3^{-}$), sulfate ($SO4^{2-}$), chloride (Cl^{-}), magnesium (Mg^{2+}) and sodium (Na^{+}) have been used to evaluate the water quality of Soufi Chai River. The results of this study show TDS and EC in AHP and sodium, chlorine and sulfate in the Entropy Method are the most effective parameters on the water quality of Soufi Chai River. The average of Water Quality Indicator calculated by the weighting methods such as entropy, AHP and standard weighting of the WHO during the period of 1972 and 2016 are 13, 38 and 16, accordingly, which indicates that the water quality of Soufi Chai River is excellent.

1. Introduction

Water is essential substance for the survival of human being and all living creatures. Recently, declining water quality has become a global concern. Considering these concerns, monitoring the water resources is essential for the identification and evaluation of the effective factors in their quantity and quality level. In order to assist in the interpretation of the status of the water quality, collected analytical data are often considered in the form of WQI. Soufi Chai River supplies drinking water to Maragheh, a major city in the North West of Iran. Due to the important role of this river in supplying the water required by the agricultural and drinking sectors of this county, it is very important to identify the most effective parameters of WQI to determine the water quality of this river and learn the trend of the water quality changes. Therefore, the main purpose of this study is to evaluate the water quality trend of this river from 1972 to 2016.

[*] **Corresponding Author:** Leila Malekani
Address: Department of Civil Engineering, Tabriz University, Iran.
Email: Lmalekani@tabrizu.ac.ir
Tel: +984142260003

2. Materials and Methods

In order to determine the value of WQI, it is necessary to determine its two components, namely the quality rating and the relative weight of each parameter. There are two sets of methods is used to determine these weights – normatives and positives methods. In order to exactly determine of the water quality in this study, two methods have been used, Shannon entropy and AHP methods from positive and normative techniques, respectively.

3. Results

The results of weight calculation by AHP showed that EC and TDS has gained the most relative weight. The error criteria calculation results for these two weighting methods showed that in terms of both error criteria (RMSE and MAE), the calculated weights of parameters by entropy methods have the least difference with the weights provided by the WHO. In order to further investigate, the WQI was calculated for all three methods based on the conventional and strict criteria of the WHO and their graphs was drawn in the period 1972 to 2016. The value of WQI in all the methods for the years under study is less than 50, which indicates that water quality of the study area is in the excellent class. All three graphs show the same trend, but the graph for the AHP is relatively taller than the others which shows this method calculates the value of WQI more the other methods. On the other hand, the entropy chart has been located below the WHO chart, but follows a very similar trend, and both methods have the same ups and downs.

4. Discussion and Conclusion

The findings of this research showed that although the water quality of the Soufi Chai River is excellent, WQI has been increasing steadily, especially in the last decade. Also, the results show that the extracted weights of WQI vary in the different methods, thus only relying on one method for extraction of the indicators' weights can lead to wrong results. It is also recommended to use the AHP to be aware of the relative importance of the water quality parameters from the opinion of local experts for localization of water quality indexes.

5. Six important references

1) Akhoni Pourhosseini, F. and K. Ebrahimi. 2019. Shannon's entropy evaluation on determination of surface water quality (case studies: Karun and Babolrood rivers). Journal of water and irrigation management, 9(2), 171-183.
2) OECD. 2008. Handbook on constructing composite indicators. OECD, Joint Research Centre, Paris.
3) Parsamehr, A. H., H. Malekinezhad and Z. Khosravani. 2018. Investigation of Shannon entropy theory in weighting of water quality index (case study: Mighan Aquifer). Iranian Water Researches Journal, 12(2), 101-110.
4) Ramos, M. A. G., E. S. B. Oliveria, A. C. S. Piao, D. A. N. O. Leite and D. F. Angelis. 2016. Water Quality Index (WQI) of Jaguari and Atibaia Rivers in the region of Paulínia, São Paulo, Brazil. Environ Monit Assess, 188-263.
5) Saaty, T.L. 1980. The analytical hierarchical process planning, priority setting, resource allocation. RWS publications, USA. 2: 16–24.
6) Singh, R.K., H.R. Murty, S.K. Gupta and A.K. Dikshit. 2012. An overview of sustainability assessment methodologies. Ecological Indicators. 15, 281–299.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال سیزدهم. شماره پنجاه. زمستان ۱۴۰۱

بررسی کیفیت آب رودخانه صوفی‌چای با استفاده از روش‌های آنتروپی شانون و AHP

مرضیه منافی ملایوسفی[۱]، لیلا ملکانی[۲]

تاریخ ارسال:۱۳۹۹/۱۰/۲۳
تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۰۴/۰۳

مقاله پژوهشی

چکیده

بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه‌ها نقش مهمی در مدیریت پایدار منابع آب سطحی دارد. در این راستا، هدف از این مطالعه بررسی کیفیت آب رودخانه صوفی‌چای با استفاده از شاخص WQI در بازه زمانی ۹۵-۱۳۵۱ می‌باشد. در این مطالعه، روش‌های آنتروپی شانون و تحلیل سلسله مراتبی جهت تعیین وزن نسبی پارامترهای کیفیت آب استفاده شده است و سپس آنها با وزن‌های ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی مقایسه شده‌اند. پارامترهای کیفی هدایت الکتریکی، اسیدیته، کل مواد جامد محلول، کلسیم، بی‌کربنات، سولفات، کلر، منیزیم و سدیم برای بررسی کیفیت آب رودخانه صوفی‌چای استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داد که کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی در روش تحلیل سلسله مراتبی و سدیم، کلر و سولفات در روش آنتروپی به عنوان مؤثرترین پارامترها بر کیفیت آب رودخانه صوفی‌چای تعیین شده‌اند. میانگین مقدار شاخص کیفیت آب با استفاده از روش‌های وزن‌دهی آنتروپی، تحلیل سلسله مراتبی و وزن‌دهی استاندارد سازمان بهداشت جهانی در طول دوره زمانی ۱۳۵۱-۹۵ به ترتیب برابر ۱۳، ۳۸ و ۱۶ می‌باشد و به عبارتی کیفیت آب رودخانه صوفی‌چای در وضعیت عالی قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: شاخص کیفیت آب، آنتروپی شانون، تحلیل سلسله مراتبی، روند زمانی، صوفی‌چای.

[۱] فارغ‌التحصیل دکترای اقتصاد منابع طبیعی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران، m.manafi.m@tabrizu.ac.ir
[۲] استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی مرند، دانشگاه تبریز، ایران، ۰۴۱۴۲۲۶۰۰۰۳ ، Lmalekani@tabrizu.ac.ir (نویسنده مسئول)

مقدمه

نقش آب به عنوان شکل‌دهنده و ضامن بقای تمدن‌ها در طول تاریخ ثابت شده است. در سه دهه پایانی قرن بیستم نگرانی در خصوص کیفیت آب به طور گسترده‌ای افزایش یافته است، به طوری‌که در حال حاضر کیفیت آب اهمیتی به اندازه کمیت آن پیدا کرده است (آخونی پورحسینی و ابراهیمی، ۱۳۹۸). کیفیت نازل آب می‌تواند آثار منفی بر حیات آبی و مصارف و تقاضاهای شرب، تفریحی، کشاورزی و صنعتی داشته باشد (معاونت نظارت راهبردی، ۱۳۸۹). اهمیت آب برای بهداشت و توسعه به اندازه‌ای است که سازمان جهانی بهداشت (WHO) مهم‌ترین نارسایی قرن بیستم را عدم دسترسی همگان به آب آشامیدنی سالم و کافی عنوان کرده است؛ لذا پایش تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب و مدیریت بهینه منابع آب به ویژه آب شیرین، به عنوان یکی از مهم‌ترین برنامه‌های کشورها محسوب می‌شود (زارعی و بهرامی، ۱۳۹۵؛ وو و همکاران، ۲۰۲۰).

با توجه به نگرانی‌های موجود در رابطه با کیفیت منابع آبی، نظارت بر این منابع جهت ارزیابی و شناسایی عوامل مؤثر در سطح کمی و کیفی ضروری است. به منظور کمک به تفسیر و تعیین وضعیت کیفی آب، داده‌های جمع‌آوری شده‌ی تحلیلی اغلب به صورت شاخص کیفیت آب (WQI) مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شاخص اطلاعات فنی را به توصیف وضعیت کیفی آب تبدیل می‌کند، اثربخشی استفاده از آن را برجسته می‌کند و در صورت لزوم روند تصمیم‌گیری را هدایت می‌نماید (راموس و همکاران، ۲۰۱۶).

با توجه به اهمیت موضوع تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با بررسی کیفیت منابع آب و روند مکانی و زمانی پارامترهای کیفی آن صورت گرفته است. امیری و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای با استفاده از شاخص کیفیت آب به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان پرداختند. در این مطالعه ۱۲ پارامتر کلسیم، سدیم، پتاسیم، منیزیم، نیترات، کروم، آهن، هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول در آب، اسیدیته، اکسیژن محلول و میزان اکسیژن بیوشیمیایی با استفاده از روش آنتروپی وزن‌دار شده و عوامل اصلی تأثیرگذار بر کیفیت آب شناسایی شدند. نخعی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای به بررسی کیفی آب زیرزمینی دشت ورامین پرداخته‌اند. در این مطالعه، وزن‌دهی پارامترهای کیفی آب با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام شده و پس از محاسبه شاخص کیفیت آب، نقشه پتانسیل کیفی منطقه مورد مطالعه از نظر کشاورزی در محیط GIS تهیه شد. رشید سرخ‌آبادی و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای کیفیت آب زیرزمینی دشت زاوه را با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی تحلیل نمودند. آنان از پارامترهای منیزیم، کلسیم، کلر، اسیدیته، سولفات، سختی کل و کل مواد جامد محلول جهت طبقه‌بندی شولر استفاده نمودند و سپس به تعیین مناسب‌ترین مکان استحصال آب در منطقه پرداختند.

زارعی و بهرامی (۱۳۹۵) تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت فسا را در مطالعه‌ای بررسی کرده‌اند. نتایج مطالعه‌ی آنان نشان داد که تمامی پارامترهای مورد بررسی (هدایت الکتریکی، سولفات، کلسیم، منیزیم، کلر، سدیم و اسیدیته) در بازه زمانی مورد مطالعه، دارای روندی صعودی می‌باشند که نشان‌دهنده کاهش کیفیت منابع آبی است. آخونی پورحسینی و قربانی (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای از روش آنتروپی شانون جهت تعیین مؤثرترین پارامترهای شیمیایی بر کیفیت آب صوفی‌چای استفاده کرده‌اند. در این مطالعه، جهت سنجش کیفی آب از روش شاخص کیفیت آب استفاده شد و اسیدیته، منیزیم و کل مواد جامد محلول به عنوان مؤثرترین پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب صوفی‌چای شناسایی شدند. پارسامهر و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای به بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت فسا پرداخته‌اند. آنان از تئوری آنتروپی شانون برای وزن‌دار کردن پارامترهای کیفی (نیترات، هدایت الکتریکی، اسیدیته، نیکل، سرب، مس، روی، آهن، کل مواد جامد محلول، اکسیژن محلول و میزان اکسیژن بیوشیمیایی) شاخص کیفیت آب استفاده نمودند و سپس عوامل اصلی مؤثر بر کیفیت آب تعیین شدند. سبزواری و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای کیفیت

منابع آب زیرزمینی دشت بروجرد- دورود را با استفاده از دیاگرام شولر و ویلکاکس بررسی کرده‌اند. پارامترهای هدایت الکتریکی، نسبت جذبی سدیم، اسیدیته، کلسیم، کلر، منیزیم، سدیم و سولفات جهت تعیین کیفیت آب در این مطالعه استفاده شده‌اند. عبدالهی آرپناهی و اسلامی (۱۳۹۹) با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی رودخانه کارون در استان خوزستان در بازه مسجدسلیمان تا اهواز را به لحاظ کیفی پهنه‌بندی نمودند. با استفاده از AHP وزن ضرایب وزنی پارامترهای هدایت الکتریکی، نسبت جذبی سدیم، سدیم، کلر و TDS را بدست آورده سپس از ضرب ضرایب وزنی در لایه‌های فازی و تلفیق آنها، نقشه پهنه‌بندی کیفی منطقه مورد مطالعه از نظر کشاورزی بدست آمد. از هشت ایستگاه واقع در این بازه، کیفیت آب دو ایستگاه ولی‌آباد و تنگ دوالب برای کشاورزی نامناسب و در سایر ایستگاه‌ها مناسب و یا بسیار مناسب است. رجایی و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از AHP فاصله بهینه بین ایستگاه‌های پایش کیفیت آب در حوضه آبریز لواسانات و تهران-کرج را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که فاصله بهینه بین ایستگاه‌های پایش به مقدار ۱۴/۱ کیلومتر است.

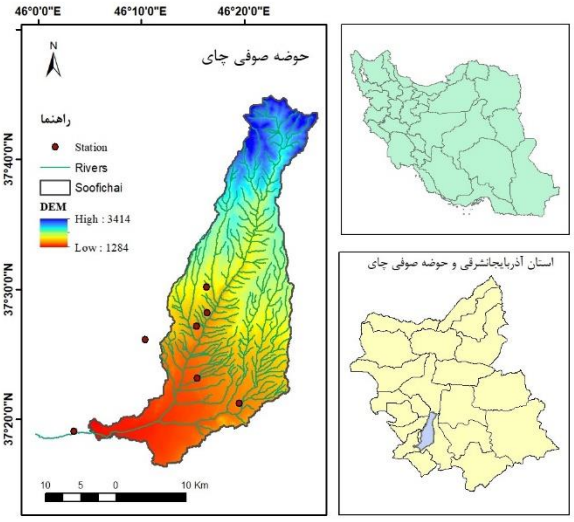
جیانهوا و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای کیفیت آب زیرزمینی شهرستان جینگ یوآن در چین را با استفاده از شاخص کیفیت آب بررسی کرده‌اند. وزن پارامترهای کیفیت آب با استفاده از روش آنتروپی تعیین شده و نتایج ارزیابی نشان داد که غلظت ید، آهن و کل مواد جامد محلول مهمترین پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب این منطقه هستند و کیفیت آب برای نوشیدن مناسب است. راموس و همکاران (۲۰۱۶) جهت تعیین شاخص کیفیت آب رودخانه‌های جگواری و آتیبابا در فصول خشک و بارانی سال در برزیل، به مطالعه‌ای پرداخته‌اند. پارامترهایی نظیر، وجود باکتری در آب، اسیدیته، دما، کدورت، کل مواد جامد، نیتروژن کل، فسفر کل و اکسیژن محلول جهت تعیین کیفیت آب استفاده شده‌اند. مائو و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به ارزیابی کیفیت زیست‌محیطی آب رودخانه چیشوی چین پرداخته‌اند. در این مطالعه وزن‌دهی پارامترهای کیفیت آب با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای انجام شده و سپس شاخص مرکب کیفیت آب را ایجاد نموده‌اند. سینگ و همکاران (۲۰۱۹) از آنتروپی شانون به عنوان ابزاری برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه بکی در هند استفاده نمودند و در این تحقیق آمده است که به دلیل تأثیر رویکردهای احتمالی و تصادفی در مقدار متغیرهای کیفی آب، بهتر است این متغیرهای تصادفی را با آنتروپی اطلاعاتی که عدم قطعیت مربوط به وقوع متغیر را اندازه‌گیری می‌کند، کمی نمود. هولادار و همکاران (۲۰۲۰) کیفیت آب رودخانه سورمای بنگلادش را با استفاده از شاخص کیفیت آب در مطالعه‌ای بررسی کرده‌اند. نتایج مطالعه آنان نشان می‌دهد کیفیت آب رودخانه بسیار پایین است و پارامترهای بیولوژیکی آب بالاتر از حد استاندارد قرار دارند. حسن و رای (۲۰۲۰) کیفیت آب زیرزمینی حوضه گنگای را با استفاده آنتروپی شانون برای محاسبه شاخص کیفیت آب (WQI) تعیین نمودند. در ادامه با استفاده از GIS پهنه‌بندی حوضه را بر اساس WQI انجام دادند. گلال‌الدین و همکاران (۲۰۲۱) انواع مدل با ساختارهای متفاوت و نیز وزن‌های مختلف برای پارامترها را جهت تعیین کیفیت آب بر اساس شاخص WQI مورد بررسی قرار دادند. به این نتیجه رسیدند که انتخاب پارامترها و تعیین وزن مناسب به نظرات محققان وابسته است که موجب عدم قطعیت در نتایج می‌شود بنابراین استفاده از تکنیک‌های ریاضی برای اطلاع بهتر از انتخاب پارامترها و وزن دهی آنها و فرایند تجمیع نتایج سودمند هست. شهرستان مراغه به واسطه موقعیت جغرافیایی و واقع شدن در دره حاصلخیزی که بوسیله آب رودخانه صوفی‌چای که از سرچشمه کوه سهند جاری است، مشروب می‌گردد و به واسطه وفور آب، نقش مهمی در تولیدات کشاورزی استان دارد (سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، ۱۳۸۹). همچنین این رودخانه تامین کننده آب شرب شهر مراغه نیز هست. لذا تعیین کیفیت آب این رودخانه و آگاهی از روند تغییرات کیفی آن، همراه با شناسایی عوامل اصلی آلودگی آن از اهمیت بسیاری برخوردار است. طبق بررسی‌های انجام شده تعیین

کیفیت سطحی رودخانه صوفی‌چای به روش تحلیل سلسله مراتبی انجام نگرفته است. همچنین در مطالعه‌ای در خصوص مقایسه دو روش رایج در وزن‌دهی چندان صورت نگرفته است. از این رو هدف اصلی این مطالعه علاوه بر بررسی و ارزیابی روند کیفی آب این رودخانه، مقایسه نتایج دو روش رایج در وزنی‌دهی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز صوفی‌چای با مساحت ۱۹۰۵ کیلومترمربع یکی از زیرحوضه‌های دریاچه‌ی ارومیه است که از سمت شمال به ارتفاعات سهند، از شمال غرب و غرب به حوضه‌ی آبریز قلعه چای، از سمت شرق به دامنه‌های کوهستانی سهند و حوضه‌ی آبریز لیلان‌چای و از سمت جنوب و جنوب غرب به دریاچه‌ی ارومیه منتهی می‌شود. جهت کلی جریان رودخانه از شمال شرقی به جنوب غربی می‌باشد. آب رودخانه از ارتفاعات سهند سرچشمه می‌گیرد. شکل (۱) موقعیت حوضه آبریز صوفی‌چای و ارتفاع آن را نشان می‌دهد (بیابانی و همکاران، ۱۳۹۹).



شکل (۱): نقشه موقعیت حوضه رودخانه صوفی چای

پارامترهای کیفیت آب

جهت بررسی کیفیت شیمیایی آب‌های سطحی در حوزه رودخانه صوفی‌چای از آمار کیفیت آب هفت ایستگاه کیفیت‌سنجی حوضه صوفی‌چای (ایستگاه‌های تازه‌کند، کهلیک‌درسی، اسفنجان، مراغه، خرمازرد، چکان و بناب) استفاده شد. پارامترهای کیفی آب رودخانه شامل کل مواد جامد محلول، هدایت الکتریکی، اسیدیته، بی‌کربنات، کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم و سدیم می‌باشند که از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی اخذ شده‌اند. برای بررسی کیفیت آب رودخانه، یک دوره آماری مشترک که همه ایستگاه‌ها دارای داده‌های مناسبی باشند در نظر گرفته شد، که این دوره آماری از ابتدای سال ۱۳۵۱ تا پایان سال ۱۳۹۵ می‌باشد. به دلیل حجم زیاد داده‌ها، میانگین کیفیت شیمیایی آب رودخانه برای هر سال محاسبه شده است.

بمنظور بررسی صحت آنالیز نمونه‌های آب از روش توازن یونی طبق رابطه‌ی (۱) استفاده شده است (فاریابی، ۱۳۹۷):

$$Error = \frac{|\sum Cations - \sum Anions|}{\sum Cations + \sum Anions} \times 100 \qquad (۱)$$

در این رابطه $\sum Cations$ و $\sum Anions$ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها است. اصل الکتریکی خنثی بودن ایجاب می‌کند که مجموع یون‌های مثبت (کاتیون‌ها) باید برابر با مجموع یون‌های منفی (آنیون) باشد. طبق این رابطه در صورتی که خطای آزمایش کمتر از پنج درصد باشد می‌توان به صحت آنالیزها اطمینان داشت.

شاخص کیفیت آب

یکی از ساده‌ترین روش‌ها جهت تعیین شرایط کیفیت آب استفاده از شاخص‌های کیفی آب است. این شاخص‌ها، معیاری برای طبقه‌بندی آب‌های سطحی بر مبنای پارامترهای استاندارد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و در واقع ابزاری ریاضی است که توسط روابطی خاص، برای توصیف ویژگی‌های آب، این پارامترها به کمیت تبدیل شده و سطح کیفی آب را به دست می‌دهد (نادری و همکاران، ۱۳۹۹). شاخص کیفی آب در واقع جزء شاخص‌های مرکب طبقه‌بندی می‌شود که اطلاعات چندین

پارامتر کیفی را با استفاده از فرمول ریاضی در یک عدد خلاصه می‌نماید.

شاخص‌های ارزیابی مرکب به طور گسترده‌ای برای نظارت، مدیریت و تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده می‌شوند (سینگ و همکاران، ۲۰۱۲). این رویکردها به خلاصه کردن اطلاعات پیچیده و چندبعدی کمک می‌نمایند و ارتباط بین دانشمندان، سیاست‌گذاران، تنظیم‌کنندگان و عموم مردم را تسهیل می‌کند (OECD، ۲۰۰۸). شاخص‌های مرکب در بخش آب توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده‌اند، زیرا یکی از روش‌های بسیار ساده و دور از پیچیدگی‌های ریاضی و آماری هستند که می‌توانند شرایط کیفی آب را بازگو کنند (طهماسبی و همکاران، ۱۳۹۰).

در این مطالعه از شاخص WQI جهت تعیین وضعیت کیفی رودخانه صوفی‌چای استفاده شده است. این شاخص از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد (یوای و همکاران، ۲۰۱۰):

$$WQI = \sum_{j=1}^{n} w_j q_j \qquad (۲)$$

در این رابطه q_j معیار رتبه‌بندی برای هر پارامتر j و w_j وزن نسبی پارامتر j می‌باشد. در واقع برای مشخص کردن میزان شاخص کیفیت آب لازم است دو جزء آن یعنی معیار رتبه‌بندی برای هر پارامتر و وزن هر پارامتر مشخص باشد. هر کدام از این اجزاء به نحوی خاص محاسبه می‌شوند.

در گام اول برای تعیین معیار رتبه‌بندی کیفی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$q_j = \frac{C_j}{S_j} \times 100 \qquad (۳)$$

در این رابطه C_j غلظت هر پارامتر شیمیایی در هر نمونه و S_j غلظت همان پارامتر بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای مصرف شرب می‌باشد. جهت اطمینان از کیفیت آب دو سری مقادیر برای استاندارد S_j در نظر گرفته شده است. یک سری استاندارد معمول و سری دوم استانداردهای سخت‌گیرانه‌تری که برای درجه کیفیت بالاتر منابع آبی توسط سازمان بهداشت جهانی در نظر گرفته می‌شود. جدول (۱) مقادیر استاندارد ارائه شده برای پارامترهای شاخص کیفیت آب را در دو حالت معمول و سختگیرانه برای آب شرب ارائه می‌دهد.

جدول (۱): مقادیر استاندارد پارامترهای کیفیت آب بر اساس سازمان بهداشت جهانی

	TDS	EC	PH	HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	Na
استاندارد WHO	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۶/۵ -۹/۲	۱۵۰	۲۵۰	۵۰۰	۳۰۰	۳۰	۲۰۰
استاندارد WHO*	۵۰۰	۵۰۰	۶/۵ -۸/۵	۱۲۰	۲۰۰	۲۰۰	۷۵	۳۰	۲۰

(WHO مقدار استاندارد معمول پارامترها. *WHO مقدار سختگیرانه استاندارد پارامترها) (منبع: سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۱۱)

نکته دیگری که حائز اهمیت است کوچک بودن میزان تغییرات اسیدیته است. برای همسان کردن درجه نوسانات این پارامتر با سایر پارامترها از رابطه (۴) برای محاسبه معیار رتبه‌بندی کیفی آن استفاده شده است:

$$q_{PH} = \frac{C_{PH} - S_I}{S_{PH} - S_I} \times 100 \qquad (۴)$$

در این معادله q_{PH} معیار رتبه‌بندی کیفی اسیدیته، C_{PH} مقدار PH مشاهداتی، S_{PH} بیشترین مقدار مجاز PH بر اساس استاندارد WHO و S_I نیز مقدار ایده‌آل PH می‌باشد که برابر با هفت در نظر گرفته شده است (جیانهوا و همکاران، ۲۰۱۱).

در گام دوم لازم است مقدار وزن پارامترها مشخص شود، در استفاده از شاخص WQI تعیین مناسب وزن پارامترها در ارزیابی قابل اطمینان از کیفیت منابع آب تأثیر بسزایی دارد (سیفی و همکاران، ۲۰۲۰). مرور منابع نشان می‌دهد استفاده از دو سری روش برای تعیین این وزن‌ها کاربرد دارد. سری اول روش‌هایی هستند که وزن پارامترها را از طریق روش‌های آماری محاسبه می‌کنند و به آنان روش‌های علمی یا درون‌زا (Positives) گفته

می‌شـــود، این روش‌ها وزن پارامترها را از طریق روش‌های آماری و ریاضـــی محاســـبه می‌کنند و اجازه‌ی هیچ گونه قضـــاوت ارزشـــی را در مورد اهمیت نســـبی شـــاخص‌ها نمی‌دهند؛ معروف‌ترین این روش‌ها در تعیین شـــاخص کیفیت آب، تکنیک آنتروپی شـــانون اســـت (جیان و ژئوپینگ، ۲۰۰۷). دســـته دوم روش‌هایی هســـتند که وزن پارامترها را به عنوان تابعی از نظر کارشناسان متخصص یا تصـــمیم‌گیران خـارجی تعیین می‌کننـد و تکنیـک‌هـای هنجاری یا برون‌زا (Normatives) نامیده می‌شوند. تحلیل سلسله مراتبی شناخته شده‌ترین روش این تکنیک‌ها است (OECD، ۲۰۰۸). در اغلب مطالعات انجام شـــده یکی از روش‌ها برای تعیین وزن پارامترها بکار برده شده است. در این مطالعه جهت تعیین دقیق کیفیت آب صـــوفی‌چای و نیز مقایســـه کارایی این دو روش علمی از هر دو روش آنتروپی شانون و تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است.

روش تحلیل سلسله مراتبی از سه گام اصلی تشکیل شده است (زنجیرچی، ۱۳۹۳):

گام اول: تعیین ساختار سلسله مراتبی. یک مسئله پیچیده می‌تواند با تقسیم به زیرمجموعه‌هایی که به صورت سلسله مراتبی در نظر گرفته شده‌اند، بیان شوند. در بالاترین سطح هدف ارزیابی و در سطح پایین‌تر معیارها و شاخص‌های ارزیابی قرار دارند.

گام دوم: محاسبه وزن. در این گام عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوط خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه و وزن آنها مشخص می‌شود. برای انجام مقایسات زوجی پارامترها در روش AHP از طیف ساعتی استفاده شده است. جدول زیر طریقه‌ی کمی کردن معیارهای کیفی در روش تحلیل سلسله مراتبی را نشان می‌دهد.

جدول (۲): جدول مقیاس کلامی برای بیان درجه اهمیت

مقدار	متغیر زبانی
۱	دو پارامتر اهمیت یکسانی دارند.
۲	بینابین حالت ۱ و ۳
۳	پارامتر اول کمی مهم‌تر از پارامتر دوم است.
۴	بینابین حالت ۳ و ۵
۵	پارامتر اول مهم‌تر از پارامتر دوم است.
۶	بینابین حالت ۵ و ۷
۷	پارامتر اول بسیار مهم‌تر از پارامتر دوم است.
۸	بینابین حالت ۷ و ۹
۹	پارامتر اول کاملاً مهم‌تر از پارامتر دوم است.

(منبع: ساعتی، ۱۹۸۰)

گام سوم: آزمون سازگاری. محاسبات مربوط به فرایند تحلیل ســـلســـله مراتبی بر اســـاس قضـــاوت اولیه تصـــمیم‌گیرندگان که در قالب ماتریس مقایســـات زوجی ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد و چون این مقایسات ذهنی می‌باشـــند امکان بروز خطا وجود دارد. نرخ ناســـازگاری وســـیله‌ای اســـت که نشـــان می‌دهد تا چه حد می‌توان به اولویت‌های حاصـــل از مقایســـات زوجی اعتماد کرد. طبق پیشـنهاد ساعتی (۱۹۸۰) اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشـد ســـازگاری مقایســـات قابل قبول بوده و در غیر این صورت باید در مقایسه‌ها تجدید نظر کرد.

روش آنتروپی شـانون جزء تکنیک‌های آماری وزن‌دهی اســـت که بر اســـاس نظریه اطلاعات شـــکل گرفته اســـت. آنتروپی یک معیار عدم اطمینان است که به وسـیله توزیع احتمال مشـخص P_{ij} بیان می‌شـود. اندازه‌گیری این عدم اطمینان یا آنتروپی (E_j) توسط شانون به صورت ذیل بیان شده است (اصغرپور، ۱۳۹۳):

$$E_j = -M \sum_{i=1}^{n} P_{ij} ln P_{ij} \;\; ; \; i = 1,2, \dots, n \qquad (۵)$$

n تعداد گزینه‌ها را نشـــان می‌دهد. در این رابطه M مقدار ثابتی است و P_{ij} به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$M = \frac{1}{ln\, n} \quad \& \; P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} X_{ij}} \qquad (۶)$$

X_{ij} مقدار نرمال شده شاخص j ام برای فرد یا گزینه i ام را نشان می‌دهد.

در ادامه مقدار درجه انحراف (d_j) محاســـبه می‌شـــود که

بیان می‌کند شـــاخص j ام چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد. هر چه مقادیر اندازه‌گیری شده شاخصی به یکدیگر نزدیکتر باشند نشـــان‌دهنده آن اســـت که گزینه‌های رقیب از نظر آن شـــاخص تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. لذا نقش آن شـاخص در تصـمیم‌گیری باید به همان اندازه کاهش یابد. بنابراین:

$$d_j = 1 - E_j \ ; \ \forall j \qquad (۷)$$

سپس مقدار وزن (W_j) محاسبه می‌گردد:

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{k} d_j} \ ; \forall j \qquad (۸)$$

$M = 1,2, \dots, k$ اشاره به شاخص‌ها دارد.

همچنین جهت اطمینـان از صـــحت نتایج، وزن‌های محاسبه شده توسط دو روش با وزن‌های ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی مقایسه می‌شوند.

برای مقایســـه نتایج حاصـــل از وزن‌دهی پارامترهای کیفی آب در دو روش آنتروپی شـانون و تحلیل سـلسـله مراتبی با وزن‌های ارائه شـده توسـط سـازمان بهداشـت جهانی از شـاخص‌های آماری ریشـه متوسـط مربعات خطا (RMSE) و معیار میانگین مطلق خطا (MAE) اسـتفاده شده است. (آخونی پورحسینی و ابراهیمی، ۱۳۹۸):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}(x_j - y_j)^2}{n}} \qquad (۹)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left|x_j - y_j\right| \qquad (۱۰)$$

در این روابط، x_j مقدار وزن پارامترهای شیمیایی است که از روش‌های آنتروپی یا تحلیل سلسله مراتبی به دست آمده اسـت و y_j مقدار وزن شـاخص متناظر بر اسـاس نظر سازمان بهداشت جهانی است. مدلی که کمترین میزان این دو معیـار را کســـب کنـد، بهترین تطـابق را بـا وزن‌هـای سازمان‌های بهداشت جهانی، خواهد داشت.

در نهایت با مشـــخص شـــدن دو جزء رابطه (۲) مقدار شـــاخص کیفیت آب (WQI) که یک شـــاخص بدون بعد اسـت، برای هر کدام از سـال‌های مورد بررسـی محاسـبه می‌شـود و پس از محاســبه طبق جدول (۳) کیفیت منابع آب از نظر مصـــرف شـــرب طبقه‌بندی می‌شـــوند (پیبو و همکاران، ۲۰۱۰). از آنجا کـه افزایش تمـامی پارامترهـای مورد اسـتفاده در این مطالعه جهت ارزیابی کیفیت آب، در راســـتای بدتر شـــدن کیفیت آب اســـت، مقدار کمتر این شاخص نشان‌دهنده کیفیت بهتر آب می‌باشد.

داده‌هـا و اطلاعـات مورد نیـاز این مطـالعـه از طریق مراجعه به سـازمان آب منطقه‌ای اسـتان آذربایجان شـرقی در سـال ۱۳۹۹ جمع‌آوری شـد، همچنین پرسـش‌نامه‌های مورد استفاده در روش تحلیل سلسله مراتبی توسط گروهی از کارشـناسـان این حوزه تکمیل گردید و وزن شـاخص‌ها توسط نرم‌افزار SuperDecision استخراج شد.

جدول (۳): کلاس‌بندی کیفی آب بر اساس شاخص WQI

کیفیت آب	رتبه	WQI
عالی	۱	۵۰ >
خوب	۲	۵۰ - ۱۰۰
متوسط	۳	۱۰۰ - ۱۵۰
ضعیف	۴	۱۵۰ - ۲۰۰
خیلی ضعیف	۵	۲۰۰ <

نتایج و بحث

نتایج حاصـل از تعیین صـحت آنالیز نمونه‌های آب در این مطالعه نشـــان داد که خطای آنالیز همه نمونه‌های آب رودخانه در سال‌های مورد مطالعه کمتر از پنج درصد است بنابراین بر اســـاس روش توازن یونی می‌توان به صـــحت آنالیزها اطمینان نمود.

جدول (۴) ویژگی‌های آماری پارامترهای شـــیمیایی مورد اسـتفاده در مطالعه جهت ارزیابی کیفیت آب را نشـان می‌دهد. همچنین واحد اندازه‌گیری پارامترهای شـــیمیایی در دومین ردیف جدول ذکر شده است.

نگاهی گذرا به تمامی این پارامترها نشـــان می‌دهد که مقدار حداکثر همگی آنان در رودخانه صـــوفی‌چای در بازه زمانی مورد بررســی، کمتر از اســتانداردهای ســخت‌گیرانه سـازمان بهداشـت جهانی می‌باشـد، که نشـان‌دهنده کیفیت مناســب آب این رودخانه اســت. برای مثال مقدار میانگین کل مواد جامد محلول در آب و میزان هدایت الکتریکی به

ترتیب ۲۲۱/۷۸۳ میلی‌گرم در هر لیتر آب و ۳۴۴/۹۹۷ میکروموس بر سانتی‌متر بوده و دارای توزیع نرمالی بازه زمانی مورد بررسی می‌باشند. حداکثر و حداقل مقدار اسیدیته آب رودخانه در بازه زمانی مورد بررسی به ترتیب ۸/۳ و ۶/۹۶ می‌باشد که در محدوده مقدار استاندارد سخت‌گیرانه سازمان بهداشت جهانی قرار دارد. مقدار سایر پارامترها نیز در حد استانداردهای سازمان بهداشت جهانی می‌باشد.

جدول (۴): ویژگی‌های آماری پارامترهای مورد بررسی رودخانه صوفی چای در بازه زمانی ۹۵-۱۳۵۱

	TDS	EC	PH	HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	Na
واحد اندازه‌گیری	mg/lit	µmos.cm	-	mg/lit	mg/lit	mg/lit	mg/lit	mg/lit	mg/lit
حداکثر	۲۶۲/۷۵۷	۴۱۴/۳۸۴	۸/۳	۳/۰۴۹	۰/۹۹۰۳	۰/۷۷۶	۲/۳۲۵	۱/۲۸۸	۱/۳۵۸
حداقل	۱۶۲	۲۸۷/۰۰۴	۶/۹۶۲	۱/۶۳۳	۰/۲۵۱	۰/۱۰۳	۱/۳	۰/۵۰۴	۰/۴۷۳
میانگین	۲۲۱/۷۸۳	۳۴۴/۹۹۷	۷/۶۷۷	۲/۵۳۹	۰/۴۴۱	۰/۳۴۰	۱/۹۰۴	۰/۸۵۵	۰/۷۱۷
انحراف معیار	۲۱/۵۰۵	۳۰/۸۴۷	۰/۳۲۶	۰/۲۷۵	۰/۱۶۷	۰/۱۷۰	۰/۲۲۲	۱/۹۳۷	۰/۲۲۵
کشیدگی	۲/۹۹۹	۲/۵۶۶	۲/۰۳۸	۴/۶۹۹	۵/۲۱۹	۳/۳۲۵	۳/۴۳۰	۲/۶۱۰	۳/۴۱۰
	(۰/۶۶۲)	(۰/۷۰۵)	(۰/۰۴۹)	(۰/۰۳۰۵)	(۰/۰۱۳)	(۰/۳۶۸)	(۰/۳۰۳)	(۰/۷۷۹)	(۰/۳۱۴)
چولگی	-۰/۲۷۳	۰/۱۵۱	-۰/۰۶۵	-۰/۹۱۷۶	۱/۵۹۶	۰/۸۵۹	-۰/۶۱۱	۰/۵۶۲	۱/۰۹۰
	(۰/۴۰۶)	(۰/۶۴۴)	(۰/۸۴۲)	(۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۰۱)	(۰/۰۱۶)	(۰/۰۷۴)	(۰/۰۹۸)	(۰/۰۰۳۵)

(مقادیر داخل پارانتز سطوح معنی‌داری را نشان می‌دهد)

جهت تعیین وزن شاخص‌ها در روش تحلیل سلسله مراتبی، پرسش‌نامه مقایسات زوجی توسط گروه کارشناسان تکمیل گردید که جدول (۵) نتایج تکمیل این پرسش‌نامه را نشان می‌دهد.

جدول (۵): ماتریس مقایسات زوجی پارامترها

	TDS	EC	PH	HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	Na
TDS	۱	۱	۷	۵	۷	۷	۵	۵	۷
EC		۱	۹	۷	۹	۹	۳	۳	۹
PH			۱	۱	۶	۳	۱	۱	۳
HCO_3				۱	۹	۹	۱	۱	۳
Cl					۱	۱	۱/۵	۱	۱
SO_4						۱	۱/۵	۱	۳
Ca							۱	۱	۱/۳
Mg								۱	۳
Na									۱

اعداد درون ماتریس نشان‌دهنده ارجحیت پارامتر ردیف بر ستون متناظر ماتریس است. بنابراین اعداد روی قطر اصلی برابر با یک می‌باشند و به عنوان مثال از لحاظ کیفیت منابع آب، کل مواد جامد محلول اهمیتی برابر با هدایت الکتریکی دارد اما کل مواد جامد محلول نسبت به اسیدیته بسیار مهم‌تر می‌باشد و وجود کلسیم در آب از لحاظ کیفیت آب مهم‌تر از کلر است. از آنجا که عناصر متناظر دو طرف قطر اصلی معکوس هم می‌باشند، بنابراین از تصمیم‌گیرندگان خواسته شده که تنها در مورد درایه‌های بالای قطر اصلی قضاوت کنند.

نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی فوق برابر با ۰/۰۸۷۶۴ است که کمتر از حداکثر میزان قابل قبول پیشنهادی ساعتی (۰/۱) می‌باشد. پس از نرمالایز کردن ماتریس فوق و محاسبه میانگین عناصر هر سطر، وزن پارامترها در روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آمد.

وزن پارامترهای کیفیت آب در روش آنتروپی نیز پس از انجام محاسبات لازم استخراج شد. جدول (۶) نتایج به دست آمده از وزن‌دهی در روش‌های آنتروپی و AHP را در مقایسه با وزن‌های ارائه شده توسط سازمان بهداشت

جهانی نشـان می‌دهد. همچنین نتایج محاسـبه معیارهای خطای این دو مدل در مقایسه با وزن‌های ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی نیز در این جدول ارائه شده است.

بر اسـاس نتایج به دسـت آمده، هدایت الکتریکی که اشاره به شوری آب دارد و کل مواد جامد محلول بیشترین وزن را در روش تحلیل سـلسـله مراتبی کسـب کرده‌اند و می‌توان گفت از نظر کارشـناسـان بیش از نیمی از اهمیت نسـبی کیفیت آب مربوط به این دو پارامتر اسـت. شـوری آب اثرات منفی بر خاک زراعی داشـتـه و باعث کاهش عملکرد محصـولات کشـاورزی می‌شـود، همچنین رسـوب بیش از حد آن در بدن باعث بیماری‌های قلبی می‌شـود. TDS نیز بر روی ایجاد طعم آب آشـامیدنی بسـیار مؤثر اسـت (ولایتی، ۱۳۸۸). از سـوی دیگر، ارتباط مسـتقیمی بین این دو پارامتر وجود دارد، زیرا وجود یون‌های مختلف در آب باعث قابلیت هدایت الکتریکی در آن شده و شدت جریان متناسب با میزان مواد حل شده در آب یعنی TDS می‌باشـد. هر چه مقدار TDS بیشـتر باشـد مقدار EC نیز افزایش پیدا می‌کند (غلامعلی‌زاده آهنگر، ۱۳۸۱). این دو شاخص در مطالعه آخونی پورحسینی و قربانی (۱۳۹۵) نیز جزء عوامل اثرگذار بر کیفیت آب رودخانه صـوفی‌چای شناخته شد.

جدول (۶): وزن نسبی پارامترهای کیفیت آب صوفی‌چای در روش‌های مورد استفاده وزن‌دهی

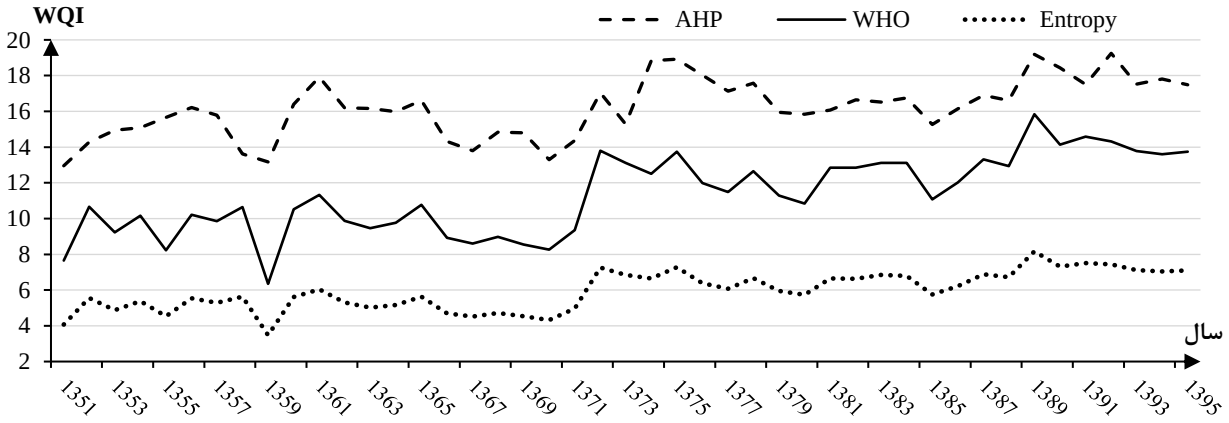
پارامترها	تحلیل سلسله مراتبی AHP	آنتروپی شانون Entropy	سازمان بهداشت جهانی WHO
TDS	۰/۲۸۹۶	۰/۰۴۶	۰/۱۴۲۹
EC	۰/۳۱۱۶	۰/۰۹۷۴	۰/۱۴۲۹
PH	۰/۰۷۱۵	۰/۰۷۱۳	۰/۱۴۲۹
HCO_3	۰/۱۰۰۹	۰/۰۳۶	۰/۱۰۷۱
Cl	۰/۰۲۵۸	۰/۱۹۶۴	۰/۱۰۷۱
SO_4	۰/۰۳۱۸	۰/۱۵۷۷	۰/۱۴۲۹
Ca	۰/۰۸۳۸	۰/۰۵۱۲	۰/۰۷۱۴
Mg	۰/۰۱۷۱	۰/۰۹۵۵	۰/۰۷۱۴
Na	۰/۰۴۲۷	۰/۲۴۸۵	۰/۰۷۱۴
جمع وزن‌ها	۱	۱	۱
RMSE	۰/۰۹۲۲۴	۰/۰۸۳۱۲۵	-
MAE	۰/۰۷۲۸۵۳	۰/۰۶۷۸۴۴	-

بی‌کربنات، کلسیم و اسیدیته پارامترهای بعدی از نظر اهمیت نسـبی در روش AHP هسـتند. میزان یون‌های بی‌کربنات در آب بر درجه قلیائیت آب اثر مثبت دارد و اسـیدیته آب را کنترل می‌کند، بررسـی داده‌های اسـیدیته در طول دوره مطالعه نشان می‌دهد روند افزایشی ثابتی در میزان این پارامتر شیمیایی وجود دارد که نشان از افزایش قلیـائیـت آب دارد؛ اودایلاکسـمی و همکـاران (۲۰۱۰) معتقدند که منبع اصـلی قلیائیت آب، فاضـلاب‌ها و انواع فعالیت‌های بشـر اسـت. این پارامتر به عنوان اثرگذارترین عامل بر کیفیت آب در مطالعات آخونی پورحسـینی و ابراهیمی (۱۳۹۸) و آخونی پورحسـینی و قربانی (۱۳۹۵) شناخته شده است. کلسیم یکی از دیگر از فاکتورهای مهم در تعیین کیفیت آب برای آشامیدن است و بیشترین وزن را در اسـتاندارد سـازمان بهداشـت جهانی دارد. در مطالعه امیری و همکاران (۱۳۹۲) نیز این پارامتر جزء سـه عامل اثرگذار بر کیفیت آب تعیین شـده بود. کلسـیم یکی از فراوان‌ترین عناصـر آب‌های طبیعی اسـت. این عنصـر در سـنگ‌ها به مقدار بیشـتری وجود دارد که خود باعث افزایش آن در آب می‌شود. فاضلاب‌ها و پساب‌های صنعتی نیز منابع مهم کلسیم هستند. غلظت زیاد کلسیم در آب باعث سختی آب می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۳).

وزن پارامترها در روش آنتروپی شـانون بر اسـاس آنتروپی پارامترها تعیین می‌شـود هر چه آنتروپی پارامتری کمتر باشـد مقدار وزن نسـبی بیشـتری خواهد داشـت. مقدار آنتروپی برابر با تفاضـل مجموع آنتروپی مرزی و آنتروپی مشـترک اسـت (وو و همکاران، ۲۰۱۱). سـدیم، کلر و سولفات، به ترتیب مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب در این روش شناخته شده‌اند، این نتایج مطابق با یافته‌های امیری و همکاران (۱۳۹۲) در مورد سـدیم، رشـید سـرخ‌آبادی و همکـاران (۱۳۹۳) در رابطـه بـا کلر و جیـانهواو همکـاران (۲۰۱۱) در مورد سولفات است. منبع اصلی سدیم آب‌های طبیعی مربوط به هوادیدگی و تجزیه سـنگ‌های مختلف اسـت، همچنین تخلیه فاضلاب‌ها و پساب‌ها باعث افزایش سـدیم در آب می‌شـود. کلراید یکی دیگر از یون‌های مهم در تشـخیص آلودگی آب‌ها اسـت، زیادی کلر در آب

آشامیدنی باعث مزه شوری آب می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۳)، برای بسیاری از گیاهان مضر است و همچنین سبب خورندگی فلزات نیز می‌شود. پساب‌های صنعتی، حوزه‌های نمک‌گیری و برخی کودهای شیمیایی می‌توانند منشأ کلر باشند. وجود سولفات در آب آشامیدنی می‌تواند ایجاد طعم قابل ملاحظه‌ای نماید. نامطلوب شدن آب با طبیعت کاتیون مربوطه متغیر است (ولایتی، ۱۳۸۸).

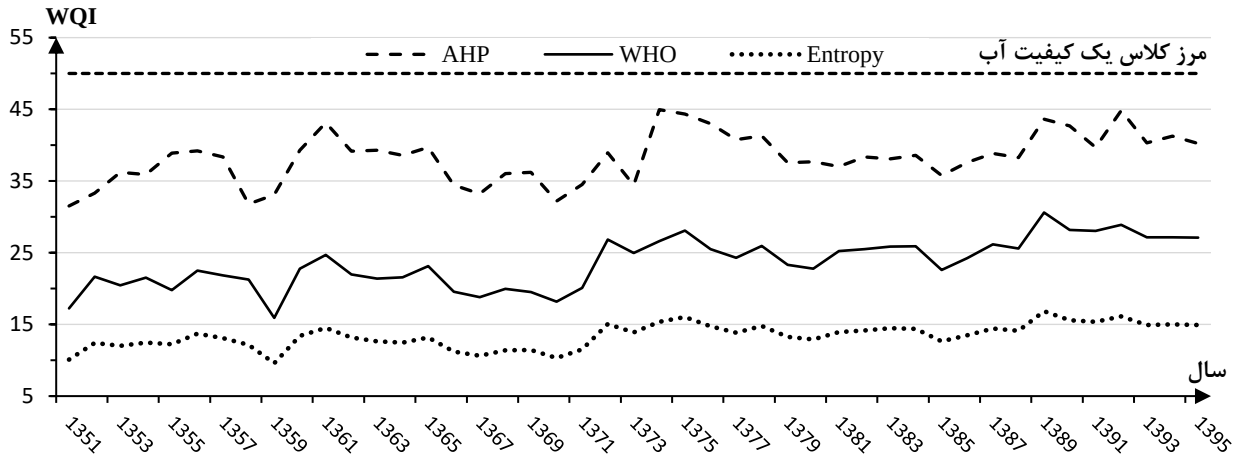
نتایج محاسبه معیارهای خطا برای این دو روش نشان می‌دهد که از نظر هر دو معیار یعنی ریشه متوسط مربعات خطا و میانگین مطلق خطا، وزن‌های محاسبه شده توسط روش آنتروپی کمترین تفاوت را با وزن‌های ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی دارند. جهت بررسی بیشتر شاخص کیفیت آب برای هر سه روش بر اساس معیارهای متداول و سختگیرانه سازمان بهداشت جهانی محاسبه شد. شکل (۲) روند شاخص کیفیت آب رودخانه صوفی‌چای را بر اساس معیارهای معمول WHO در بازه زمانی ۹۵-۱۳۵۱ نشان می‌دهد.



شکل (۲): مقایسه روند شاخص کیفیت آب رودخانه صوفی‌چای بر اساس معیارهای معمول WHO در بازه زمانی ۹۵-۱۳۵۱

مقدار شاخص کیفیت آب در تمامی روش‌ها برای سال‌های مورد بررسی کمتر از ۵۰ می‌باشد که نشان می‌دهد کیفیت آب در کلاس عالی قرار دارد. هر سه نمودار روند حرکتی یکسانی را نشان می‌دهند، اما نمودار مربوط به روش تحلیل سلسله مراتبی با فاصله کمی بالاتر از سایر روش‌ها قرار دارد که نشان می‌دهد وزن‌های نسبی محاسبه شده در این روش مقدار شاخص کیفیت آب را نسبتاً بیشتر محاسبه می‌کنند. از سوی دیگر نمودار مربوط به آنتروپی با فاصله اندکی پایین‌تر از نمودار سازمان بهداشت جهانی قرار گرفته است، اما روند حرکتی بسیار مشابهی را دنبال می‌کند و هر دو روش دارای اوج‌ها و فرودهای یکسانی هستند.

این نمودارها نشان می‌دهند مقدار شاخص کیفیت آب رودخانه صوفی‌چای اگرچه در کلاس عالی قرار دارد اما مقدار آن با شیب ملایمی به ویژه در دهه‌های اخیر در حال افزایش است که نشان از کاهش کیفیت آب می‌باشد. جهت اطمینان از صحت نتایج مقدار شاخص کیفیت آب بر اساس معیارهای سخت‌گیرانه نیز محاسبه شد و شکل (۳) روند این شاخص را در طی سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل (۳): مقایسه روند شاخص کیفیت آب رودخانه صوفی چای بر اساس معیارهای سخت‌گیرانه WHO در بازه زمانی ۹۵-۱۳۵۱

همان طور که انتظار می‌رفت میزان محاسباتی شاخص کیفیت آب بر اساس معیارهای سخت‌گیرانه در هر سه روش افزایش یافته و شاهد جهشی تقریباً دوبرابری هستیم، اما علیرغم این افزایش، همچنان کلاس کیفیت آب در حالت عالی قرار دارد و در هیچ سالی از بازه‌ی زمانی مورد بررسی ۹۵-۱۳۵۱ بیشتر از ۵۰ نشده است. بنابراین با اطمینان می‌توان گفت که کیفیت آب این رودخانه بر اساس پارامترهای شیمیایی مورد بررسی، مناسب شرب می‌باشد.

نتیجه‌گیری

شاخص کیفی آب (WQI) پرکاربردترین شاخص جهت بیان کیفیت آب به منظور مصارف مختلف می‌باشد (وو و همکاران، ۲۰۲۰؛ گلال‌الدین و همکاران، ۲۰۲۱). بررسی مقدار این شاخص با استفاده از روش‌های وزن‌دهی مورد استفاده در طول دوره زمانی ۹۵-۱۳۵۱ نشان داد که کیفیت آب رودخانه صوفی‌چای در حد عالی قرار دارد و میانگین مقدار شاخص کیفیت آب با استفاده از روش‌های وزن‌دهی آنتروپی، AHP و وزن‌دهی استاندارد سازمان بهداشت جهانی در طول دوره زمانی ۹۵-۱۳۵۱ به ترتیب برابر ۱۳، ۳۸ و ۱۶ می‌باشد. روند زمانی شاخص در هر سه روش مشابه هم می‌باشد و تنها مقدار محاسبه شده در روش تحلیل سلسله مراتبی کمی بیش از مقدار دو شاخص دیگر است که نشان از حساسیت‌های گروه کارشناسان در تعیین کیفیت آب بر اساس وزن پارامترهای کیفیت آب دارد و دغدغه‌های آنان را در مورد کیفیت آب این رودخلنه آشکار می‌سازد. این نتایج مطابق با یافته‌های آخونی پورحسینی و قربانی (۱۳۹۵) در مورد کیفیت آب‌های سطحی حوضه صوفی‌چای در بازه زمانی ۹۱-۱۳۵۱، می‌باشد.

پارامترهای کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی ۶۰/۱۲ درصد از وزن نسبی را در روش تحلیل سلسله مراتبی کسب کرده‌اند. با توجه به این که هر دوی این پارامترها به شوری آب اشاره دارند، واضح است که این مسئله از دغدغه‌های اصلی زیست‌محیطی کارشناسان منابع آب استان آذربایجان شرقی در حوضه دریاچه ارومیه است. این دو شاخص در مطالعه آخونی پورحسینی و قربانی (۱۳۹۵) نیز جزء عوامل اثرگذار بر کیفیت آب رودخانه صوفی‌چای شناخته شده‌اند.

در روش آنتروپی، سدیم، کلر و سولفات، به ترتیب با وزن نسبی ۰/۲۵، ۰/۲۰ و ۰/۱۶ مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب در این روش شناخته شده‌اند، این نتایج مطابق با یافته‌های امیری و همکاران (۱۳۹۲) در مورد سدیم، رشید سرخ‌آبادی و همکاران (۱۳۹۳) در رابطه با کلر و جیانهوا و همکاران (۲۰۱۱) در مورد سولفات است. همچنین بررسی تمامی پارامترهای شیمیایی نشان داد که

دارای مقدار حداکثر پایین‌تر از مقدار مجاز استاندارد برای آب شرب هستند.

با توجه به نتایج بدست آمده پیشنهاد می‌شود استفاده از روش‌های ترکیبی جهت اطمینان از کیفیت منابع آب به کار برده شود، زیرا تنها تکیه بر یک روش جهت استخراج وزن‌ها می‌تواند به نتایج گمراه‌کننده منجر شود. همچنین کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی برای آگاهی از اهمیت نسبی پارامترها جهت بومی‌سازی شاخص‌های اندازه‌گیری کیفیت آب توصیه می‌شود. که نتایج این تحقیق مشابه با مقاله گلال‌الدین و همکاران (۲۰۲۱) می‌باشد که استفاده از تکنیک‌های ریاضی مانند AHP را برای رسیدن به نتایج با اطمینان بیشتر توصیه می‌نماید.

منابع

آخونی پورحسینی، ف. و م. ع. قربانی. ۱۳۹۵. کاربرد آنتروپی شانون در تعیین مؤثرترین پارامتر شیمیایی در کیفیت آب‌های سطحی (مطالعه موردی: حوضه صوفی چای). محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۲، شماره ۴، ص ۳۳۲-۳۲۲.

آخونی پورحسینی، ف. و ک. ابراهیمی. ۱۳۹۸. ارزیابی کاربرد آنتروپی شانون در تعیین کیفیت آب‌های سطحی (مطالعه موردی: رودخانه‌های کارون و بابلرود). مدیریت آب و آبیاری، دوره ۹، شماره ۲، ص ۱۸۳-۱۷۱.

اصغرپور، م. ج. ۱۳۹۳. تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوازدهم.امیری، و.، م. نخعی و ن. سهرابی. ۱۳۹۲. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی بر اساس آنتروپی وزن‌دار شاخص کیفیت آب. زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۷، ص ۳۹-۳۱.

بیابانی، ل.، ملکیان، آ. و ب. اکبرپور بناب. ۱۳۹۹. ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی حوضه‌ی آبریز صوفی چای با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و سیستم اطلاعات جغرافیایی. هیدروژئومورفولوژی، دوره ۷، شماره ۲۲، ص ۴۳-۶۵.

پارسامهر، ا. ح.، ح. ملکی‌نژاد و ز. خسروانی. ۱۳۹۷. بررسی تئوری آنتروپی شانون در وزن‌دار کردن شاخص کیفیت آب (مطالعه موردی: دشت میقان). پژوهش آب ایران، جلد ۱۲، شماره ۲، ص ۱۱۰-۱۰۱.

رجایی، ط.، ف. معصومی و ف. احمدی سیاوشانی. ۱۴۰۰. مکانیابی بهینه ایستگاه‌های پایش کیفیت آب سیستم رودخانه‌ای با استفاده از آنتروپی انتقال اطلاعات گسسته. آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۱۵، شماره ۲، ص ۲۹۵-۳۰۶.

رشید سرخ‌آبادی، م.، ع. شهیدی و ع. خاشعی سیوکی. ۱۳۹۳. تحلیل مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت زاوه برای استفاده در شرب با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند سلسله مراتبی. مهندسی آبیاری و آب، سال پنجم، شماره هفدهم، ص ۹۶-۱۰۹.

زارعی، ع. و م. بهرامی. ۱۳۹۵. بررسی تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت فسا- فارس (سال‌های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۲). مهندسی آبیاری و آب ایران، سال ششم، شماره ۲۴، ص ۱۱۳-۱۰۳.

زنجیرچی، س. م. ۱۳۹۳. فرایند تحلیل سلسله مراتب فازی. انتشارات صانعی شهمیرزادی. چاپ دوم.سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی. ۱۳۸۹. گزارش تحلیلی منابع آب شهرستان مراغه. آماربرداری سراسری منابع آب سطحی و زیرزمینی استان آذربایجان شرقی. مهندسان مشاور کمند آب، شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی.

سبزواری، ی.، ع. ح. نصرالهی و ح. یونسی. ۱۳۹۹. بررسی تغییرات زمانی- مکانی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت بروجرد- دورود. مهندسی آبیاری و آب ایران، سال یازدهم، شماره چهل و یکم، ص ۱۶۷-۱۵۰.

طهماسبی، س.، م. افخمی و ا. تکدستان. ۱۳۹۰. تحلیل وضعیت فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب رودخانه گرگر با استفاده از شاخص کیفیت آب NSF. فصلنامه علمی- پژوهشی علوم بهداشتی، سال سوم، شماره ۴، ص ۶۴-۵۵.

فاریابی، م. ۱۳۹۷. بررسی روند تکامل کیفی آب‌های سطحی حوزه آبریز رودخلنه هلیل رود با استفاده از پارامترهای فیزیکوشیمیایی و تکنیک‌های آماری چند متغیره. مهندسی آبیاری و آب، سال هشتم، شماره سی و یکم، ص ۲۰۰-۱۸۵.

عبدالهی آرپناهی، ح. و ح. اسلامی. ۱۳۹۹. ارزیابی کیفیت آب رودخانه کارون برای تأمین آب مورد نیاز کشاورزی با استفاده از مدل AHP. دو فصلنامه مهندسی آب، دوره هشتم، شماره ۱، صص ۱۱-۱.

علیزاده، م. ۱۳۸۳. روش‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری آلودگی آب. تألیف ترپاتهی و رانی گوویل، انتشارت موج سبز، تهران، ص ۲۱۱.

غلامعلی‌زاده آهنگر، ا. ۱۳۸۱. کیفیت و ارزیابی کیفی آب آبیاری. انتشارات علوم کشاورزی، ص ۱۱۴.

معاونت نظارت راهبردی. ۱۳۸۹. راهنمای مطالعات ظرفیت خودپالایی رودخانه‌ها. نشریه شماره ۴۸۱، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، وزارت نیرو، تهران، ایران.

نادری، م. ح.، م. پورغلام آمیجی، م. خوش‌روش، آ. قجقی و ن. عرب. ۱۳۹۹. ارزیابی مقایسه‌ای مکانی- زمانی پارامترهای کیفی آب و سلامت رودخانه زیارت با استفاده از تحلیل آماری و شاخص کیفی NSFWQI. تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۶، ص ۱۳۷۲-۱۳۵۳.

نخعی، م.، م. ودیعتی و م. اسمعیلی فلک. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی دشت ورامین از نظر کشاورزی به روش تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS. تحقیقات منابع آب ایران، سال نهم، شماره ۳، ص ۹۸-۹۴.

ولایتی، س. ۱۳۸۸. هیدرولوژی سازندهای نرم و سخت مبانی نظری و عملی. انتشارات جهاد دانشگاهی.

Galal-Uddin, M., Nash, S., and A. Olbert. 2021. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. Ecological Indicators, 122. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218.

Hasan, M. S. U. and A. K. Rai. 2020. Groundwater quality assessment in the Lower Ganga Basin using entropy information theory and GIS. Journal of Cleaner Production, 274, 123077, 1-13.

Howladar, M.F., E. Chakma, N.J. Koley, S. Islam, M.A. Al Numanbakht, Z. Ahmed, T.R. Chowdhury and Sh. Akter. 2020. The water quality and pollution sources assessment of Surma River, Bangladesh using, hydrochemical, multivariate statistical and water quality index methods. Groundwater for sustainable development, 12 (2021):1-9.

Jinhua, W., l. Peiyue and Q. Hui. 2011. Groundwater quality in Jingyuan County, a semi- humid area in northwest China. Journal of Chemistry, 8(2): 787-793.

Mao, F., X. Zhao, P. Ma, Sh. Chi, K. Richards and J. Clark. 2019. Developing composite indicators for ecological water quality assessment based on network interactions and expert judgment. Environmental Modelling & Software, 115 (2019): 51-62.

OECD. 2008. Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide. Methodology and user guide, Organization for Economic Co-operation and Development, Joint Research Centre, Paris.

Pei-Yue L., Q. Hui and W. Jian-Hua. 2010. Groundwater Quality Assessment Based on Improved Water Quality Index in Pengyang County, Ningxia, Northwest China. Journal of Chemistry, 7(S1): 209-216.Qian, L. and Xueping, H. 2007. Assessment of the agricultural sustainability of Shaanxi Province China. Journal of Ecological Economy, 3: 60-66.Ramos, M. A. G., E. S. B. Oliveria, A. C. S. Piao, D. A. N. O. Leite and D. F. Angelis. 2016. Water Quality Index (WQI) of Jaguari and Atibaia Rivers in the region of Paulínia, São Paulo, Brazil. Environ Monit Assess, 188-263.

Saaty, T.L. 1980. The analytical hierarchical process planning, priority setting, resource allocation. RWS publications, USA. 2: 16–24.

Seifi, A., M. Dehghani, and V. P. Singh. 2020. Uncertainty analysis of water quality index (WQI) for groundwater quality evaluation: Application of Monte-Carlo method for weight allocation. Ecological Indicators, 117, 106653.

Singh, R.K., H.R. Murty, S.K. Gupta and A.K. Dikshit. 2012. An overview of sustainability assessment methodologies. Ecol. Indicat. 15, 281–299.

Singh, K. R., R. Dutta, A. S. Kalamdhad and B. Kumar. 2019. Information entropy as a tool in surface water quality assessment. Environmental Earth Sciences, 78(1), 15.

Udayalaxmi, G., D. Himabindu and G. Ramadass. 2010. Geochemical evaluation of groundwater quality in selected areas of Hyderabad, A.P, India. Indian Journal of Science and Technology, 3(5): 546-553.

World Health Organization. 2011. Guidelines for drinking-water quality - 4th edition, Publications of the World Health Organization, available on the WHO web site (http://www.who.int).

Wu J. P., H. Li and M. Qian. 2011. Groundwater quality in Jing Yuan County a semi-humid area in northwest China. J. Chem., 8(2), 787-793.

Wu, H., W. Yang, R. Yao., Y, Zhao., Q, Yuan and R. Zhang. 2020. Evaluating surface water quality using water quality index in Beiyun River, China. Environmental Science and Pollution Research, 27: 35449–35458.

Yue L. P., Q. Hui, and W. Jian-Hu. 2010. Groundwater quality assessment based on improved water quality index in Pengyang Country, Ningxia, northwest China. J. Chem., 7(S1), 209-216.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال سیزدهم. شماره پنجاه. زمستان ۱۴۰۱

Evaluation of the Water Quality of Soufi Chai by Shannon Entropy and AHP Methods

Marziyeh Manafi Mollayousefi[1], Leila Malekani[2]

Abstract

Evaluation of the changes in river water quality plays key role in sustainable management of surface water resources. This study evaluates the river water quality of Sofi Chai River using the water quality index (WQI) from 1972 to 2016. Shannon's Entropy Method and Analytical Hierarchy Process (AHP) have been used to determine the relative weight of water quality parameters and then these parameters have been compared with the weights provided by the World Health Organization (WHO). Qualitative parameters of Electrical Conductivity (EC), acidity (pH), Total Dissolved Solids (TDS), calcium (Ca2+), bicarbonate (HCO3-), sulfate (SO42-), chloride (Cl-), magnesium (Mg2+) and sodium (Na+) have been used to evaluate the water quality of Soufi Chai River. The results of this study show TDS and EC in AHP and sodium, chlorine and sulfate in the Entropy Method are the most effective parameters on the water quality of Soufi Chai River. The average of Water Quality Indicator calculated by the weighting methods such as entropy, AHP and standard weighting of the WHO during the period of 1972 and 2016 are 13, 38 and 16, accordingly, which indicates that the water quality of Soufi Chai River is excellent.

Keywords: Water Quality Index, Shannon Entropy, AHP, Time trend, Soufi Chai River.

[1] Ph. D. Graduated of agricultural economics, Department of Agricultural Economics, Agriculture Faculty, Tabriz University, Iran. m.manafi.m@tabrizu.ac.ir
[2] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Marand Technical & Engineering Faculty, Tabriz University, Iran. Lmalekani@tabrizu.ac.ir (Responsible author)