



Zoning of Drinking Water Quality Using Entropy Method and Its Relationship With the Drought (Case Study: Abdalan Aquifer, Gachsaran)

Akbar Khedri¹, Taleb Moradinejad^{*2}, Majid Dashti Barmaki³, Marzie Eskandari⁴

1. Ph.D. Hydrogeology, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
2. Ph.D. Student. Hydrogeology, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
3. Ph.D. Hydrogeology, Kharazmi University, Tehran, Iran.
4. MSc. Agricultural, Shiraz University, Shiraz, Iran.

*Corresponding Author: talebmoradinejad@yahoo.com

Keywords:

Drought index, EWQI index,
Groundwater, Magnesium

Extended Abstract

Introduction:

In this research, it has been tried to use entropy theory to evaluate the quality of sixteen water well samples at Abdalan aquifer, April 2018 to September 2019. This has been done to reduce taste judgments. Additionally, SIAP and EWQI indices have been used to investigate the relationship between drought and groundwater quality. The results showed that chlorine has the highest rate of influence on the quality of underground water in the region and is the main factor in water quality reduction. Also, sodium and potassium have the most instability and constant changes. The results showed that 74% of the groundwater samples in the study area have high quality, 13% have average quality, and the other 13% have poor quality. Also, the inverse relationship between the drought index (SIAP) and the groundwater resources quality index (EWQI) in the 18-month period shows the leaching effect of evaporative formations in increased precipitation. Various methods such as fuzzy logic (Nakhaei and Vadiati, 2013), factor analysis (Jalali and Asghari Moghaddam, 2013), gray modeling (Ip et al., 2009), and analytic hierarchical process (Nakhaei and Vadiati, 2013) to evaluate water quality have been used by various researchers. These methods are often qualitative and cannot accurately describe water quality. In this research, an attempt will be made to determine the rank of underground water quality using the weighted entropy index method. This research evaluates the quality groundwater of the Abdalan plain in Gachsaran city in terms of drinking. Also, to reduce expert judgments and obtain more accurate results, Shannon's entropy theory was applied to weight the water quality index. In the second place, an attempt is made to establish and justify a meaningful relationship between the drought index and groundwater quality changes.

Materials and Methods:

First, descriptive analysis of statistical characteristics of hydrochemical parameters

How to cite this article:

Khedri, A., Moradinejad, T., Dashti Barmaki, M., & Eskandari, M. (2024). Zoning of Drinking Water Quality Using Entropy Method and Its Relationship With the Drought (Case Study: Abdalan Aquifer, Gachsaran). *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(4), 17-36. [10.22077/JDCR.2023.6366.1023](https://doi.org/10.22077/JDCR.2023.6366.1023)



was used to gain a correct understanding of the hydrogeological and hydrochemical conditions of the aquifer. Then, using the entropy-weighted groundwater quality index (EWQI), the groundwater quality of the alluvial aquifer in the northeast of Gachsaran was analyzed. The Shannon entropy is a concept introduced by Shannon (1948), which measures the uncertainty of an event occurring given partial information about the system. In the first step, the entropy weight of each parameter should be calculated. Considering that groundwater qualitative parameters have different units and also the difference in the quality of the samples, the data is prepared using the normalization function. The second step is calculating the EWQI, determining the quality rating criteria for each parameter. Finally, based on Pei-Yue et al. classification (Pei-Yue et al., 2010), groundwater quality based on EWQI for drinking purposes is placed in 5 categories: very good, good, moderate, bad and very bad. After qualitative studies in the scope of studies in the period of 18 months (April 2017 to September 2018), the examination of the six-month period of dry or wet period compared to the long-term climatic average and its relationship with the EWQI qualitative index will be done using the SIAP index (Khalili, 1991) to check whether the period is dry or wet will be a great help to achieve this goal. The SIAP index has been used in three six-month periods at Dogonbadan rain gauge station. The first period is April 2017 to September 2017, the second period from October 2017 to March 2018 and the third period to April 2018 to September 2018.

Result and discussion:

The average value of all parameters measured in this study (measurement of major ions in 16 wells for 18 months) is lower than the permissible value of the WHO standard for drinking water. Considering the geological characteristics of the studied area and the presence of the Gachsaran formation, it can be expected that the concentration of sulfate ions is slightly higher than other ions. According to the results of the correlation coefficients of the mentioned parameters, the presence of Gachsaran formation and marl and evaporite sediments in the southern and central parts of the region, as well as the feeding role of hard limestone formations in the north and northwest of the aquifer region, have caused high changes in the quality of underground water in the region. The high entropy values of chlorine indicate the higher influence of this ion than other parameters on groundwater quality in the study area. According to the EWQI index, most groundwater samples are ranked second (good quality), followed by two samples ranked third (average quality), and two other samples ranked fourth. Therefore, the results show that the quality of underground water in most wells in the study area is in a good class. The samples with a higher EWQI value are located near the Gachsaran formation, Bakhtiari, and Pabdeh. This has caused groundwater quality degradation in the studied area. Examining the relationship between the water quality index (EWQI) and drought index (SIAP) shows an inverse relationship between the two, as the more climatic conditions move towards wetter and more humid, the more qualitative conditions of groundwater will worsen. In fact, with the increase in precipitation in the study area, more leaching occurs in the region.

Conclusion:

Only parameters such as bicarbonate and potassium have values higher than the permissible limit. The high proportion of bicarbonate can be attributed to geological features and aquifer nutrition from the hard Asmari limestone formations in the study area. The rest of the parameters are below standard. According to the results of using the entropy method, chlorine has the highest influence on the quality of underground water in the study area. It is the main factor in reducing water quality and increasing electrical conductivity. The results of qualitative zoning of underground water in this study area showed that the quality of underground water in most of the wells in the study area is in a high-quality category. The relationship between precipitation amounts and the quality of water resources has been manifested by the increase in dissolution, especially in marl-evaporite formations. As explained by the increase in precipitation and the consequent increase in water discharge, the amount of leaching has increased and the quality of water resources has decreased.



پهنه‌بندی کیفیت آب شرب با استفاده از روش آنتروپی و ارتباط آن با میزان خشکسالی (مطالعه موردی: آبخوان آبدالان، گچساران)

اکبر خدري^۱، طالب مرادی نژاد^{۲*}، مجید دشتی برمکی^۳، مرضیه اسکندری^۴

۱. دانش آموخته دکتری هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، اهواز، ایران.

۲. دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۳. دانش آموخته دکتری هیدروژئولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران.

۴. کارشناس ارشد کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

*نویسنده مسئول: talebmoradinejad@yahoo.com

چکیده

واژه‌های کلیدی:

آب زیرزمینی، شاخص خشکسالی، شاخص EWQI، منیزیم

کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی در نیم قرن گذشته توجه فزاینده‌ای را از سوی هیدروژئولوژیست‌ها به خود جلب کرده است. از این رو، روش‌های مختلفی تحت عنوان شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی جهت بررسی وضعیت کیفی این منابع حیاتی استفاده شده است. با این همه، استفاده از قضاوت‌های کارشناسانه از جمله نقطه ضعف‌های این مدل‌های کیفی محسوب می‌گردد. در این تحقیق سعی شده است از تئوری آنتروپی جهت ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی و کاهش اینگونه قضاوت‌های سلیقه‌ای استفاده گردد. برای این منظور، داده‌های ۱۶ نمونه‌ی آب زیرزمینی، جهت ارزیابی فیزیکی - شیمیایی در بازه زمانی ۱۸ ماهه (فروردین ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۸) بررسی شدند. نتایج کاربرد روش آنتروپی نشان داد که کلر بالاترین نرخ تأثیرگذاری بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه را داراست و عامل اصلی کاهش کیفیت آب می‌باشد. همچنین نتایج بررسی روش آنتروپی نشان داد که غلظت سدیم و پتاسیم دارای بیشترین ناپایداری و تغییرات مداوم است که می‌تواند ناشی از وجود سازندهای تبخیری گچساران و پابده باشد. بیشترین وزن آنتروپی نیز مربوط به منیزیم است و نشان می‌دهد که تغییرات پایدار و یکنواختی در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برقرار است. به‌طور کلی نتایج نشان داد ۷۴ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه دارای کیفیت خوب و ۱۳ درصد دارای کیفیت متوسط می‌باشند و ۱۳ درصد دیگر کیفیت مطلوبی ندارند. همچنین، ارتباط معکوس بین شاخص خشکسالی (SIAP) و شاخص کیفی منابع آبی (EWQI) در بازه زمانی ۱۸ ماهه نشان دهنده اثر آبشستگی سازندهای تبخیری در شرایط افزایش بارش است.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۲/۱۸

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۲/۰۶/۰۴

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۶/۱۱

مقدمه

امروزه در تمام نقاط دنیا منابع آبی سطحی و زیرزمینی نقش بسیار مهم و تعیین کننده‌ای در توسعه اقتصادی، اجتماعی و همچنین کیفیت زندگی ایفا می‌کنند (Amiri et al., 2013). رشد جمعیت و افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و همچنین توسعه مناطق صنعتی در نقاط مختلف، موجب افت سطح آب زیرزمینی و کاهش کیفیت منابع مورد استفاده برای کشاورزی و شرب شده است. سلامت و بهداشت زندگی انسان در ارتباط نزدیک با کیفیت آب زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع تأمین آب مصرفی در بسیاری از نقاط دنیا و به‌خصوص کشورمان است.

آب شرب، آبی است عاری از موجودات بیماری‌زا که ترکیبات سمی یا دارای اثرات دراز مدت خطرناک بر سلامتی انسان در آن ناچیز است. با عبور آب از لایه‌های مختلف خاک و سازندهای موجود در مسیر حرکت آب از بالادست به پایین دست و فاصله گرفتن از منطقه تغذیه و نزدیک شدن به محل تخلیه، کیفیت آب زیرزمینی کاهش می‌یابد (Todd, 2005). انحلال کانی‌های سازنده ساختمان خاک که در مسیر حرکت آب زیرزمینی قرار دارند، موجب می‌شود کیفیت آب زیرزمینی تغییر کند. آب‌هایی که میزان کلر آن‌ها بیش از حد است، شور و آب‌هایی که مقدار سولفات سدیم و سولفات منیزیم آن‌ها زیاد است، گس و تلخ مزه‌اند. کلسیم و منیزیم نیز از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز بدن هستند. املاح این دو فلز موجب سختی آب می‌شود (Lalehzari, 2010). همچنین مقادیر بالای نیترات در آب زیرزمینی منجر به بروز نارسایی حاد خونی در کودکان و کاهش توانایی انتقال اکسیژن توسط رگ‌ها می‌شود (Comply, 1945). با اندازه‌گیری مقادیر هدایت الکتریکی که رابطه مستقیمی با مقدار مجموع نمک‌های محلول در آب دارد؛ می‌توان به‌طور نسبی آلودگی معدنی آب را مشخص ساخت. کل املاح محلول نقش مستقیمی در ایجاد خطرات بهداشتی ندارد اما زمینه‌ساز ایجاد سنگ کلیه در انسان است. همچنین غلظت بالای کل املاح محلول می‌تواند باعث ایجاد سوزش معده و روده انسان شود.

کیفیت آب زیرزمینی به دلیل عوامل مختلفی همچون

ورود فاضلاب، ورود کودهای شیمیایی، نشت از شبکه فرآورده‌های نفتی، محل‌های دفن زباله در معرض کاهش و تخریب قرار می‌گیرند. همچنین شرایط هیدروژئولوژیکی و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان باعث تغییر کیفیت آب زیرزمینی در مناطق مختلف می‌شود. از این‌رو کیفیت آب زیرزمینی متأثر از شرایط زیست‌محیطی و هیدروژئولوژیکی حاکم بر آبخوان است. روش‌های گوناگونی برای ارزیابی کیفیت آب توسط محققین مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. برای مثال می‌توان به روش‌های منطق فازی (Nakhaei and Vadiati, 2013)، تحلیل عاملی^۱ (Jalali and Asghari Moghaddam, 2013)، مدل‌سازی خاکستری (Ip et al., 2009) و تحلیل سلسله مراتبی^۲ (Nakhaei and Vadiati, 2013) اشاره کرد. این روش‌ها اغلب به‌صورت کیفی هستند و قابلیت توصیف دقیق کیفیت آب را ندارند. در این پژوهش تلاش خواهد شد تا با استفاده از روش شاخص آنتروپی وزن دار، رتبه کیفیت آب زیرزمینی تعیین گردد.

سازمان بهداشت جهانی به‌عنوان بالاترین نهاد بین‌المللی در کنترل کیفیت آب رهنمودهایی برای آلاینده‌های مختلف آب آشامیدنی ارائه کرده است. هدف اصلی تدوین رهنمودهای کیفی برای آب آشامیدنی، حفظ بهداشت عمومی است. مواد شیمیایی که در تعیین مقادیر رهنمودی انتخاب می‌شود، بالقوه برای سلامتی انسان خطرناک است. با استفاده از روش شاخص کیفی آب (WQI) می‌توان از بیان عددی برای مشخص کردن کیفیت آب استفاده کرد. با توجه به توانایی بالای آن در توصیف اطلاعات کیفیت آب و همچنین استفاده از پارامترهای تأثیرگذار در ارزیابی و مدیریت کیفیت آب زیرزمینی، روش‌های مبتنی بر شاخص کیفی آب در بسیاری از نقاط جهان مورد توجه و استفاده قرار گرفته است (Simos et al., 2008). در زمینه کاربرد شاخص کیفیت آب زیرزمینی مطالعات متنوعی انجام شده است. از جمله این روش‌ها، روش شاخص آنتروپی وزن دار است. این روش، در جهان برای

1. Fuzzy Logic
2. Factor Analysis Method
3. Analytic Hierarchy Process Method
4. Water Quality Index Method

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و شاخص کیفیت آب با وزن یکپارچه (IWQI) که در آن از روش آنتروپی وزن‌دار استفاده شده، مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های آن‌ها بینش‌هایی را در مورد وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی در منطقه ارائه کرده است که می‌تواند در توسعه یک استراتژی حفاظت از آب سودمند باشد. در مراحل پیشرفته‌تر، برخی نظیر ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2021)، برای محاسبه وزن نسبی متغیرها و اجتناب از کاستی‌های آنتروپی، از روش همبستگی بین معیاری هرچند اهمیت معیار (CRITIC) به عنوان روش وزن دهی عینی استفاده کردند. در ایران نیز تجربیات موفقی بر اساس روش آنتروپی وزن‌دار انجام شده است. امیری و همکاران (Amiri et al., 2013) پارامتر کیفی آب شامل کلسیم، سدیم، پتاسیم، منیزیم، نیترات، کروم، روی، هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول، اسیدیته، اکسیژن محلول و میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی را در ۵۹ نمونه آب زیرزمینی دشت زنجان با استفاده از آنتروپی وزن‌دار (IWQI یا EWQI) تحلیل نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند که کروم و روی به ترتیب دارای کمترین و بیشترین نرخ تأثیرگذاری بر آب زیرزمینی منطقه می‌باشند. تئوری آنتروپی شانون در وزن‌دار کردن شاخص کیفیت آب زیرزمینی در دشت میقان (Parsamehr et al., 2018) نشان داد که ۵۸ درصد نمونه‌ها دارای کیفیت بسیار خوب، ۲۷ درصد دارای کیفیت خوب و مابقی دارای کیفیت متوسط تا ضعیف هستند. این روش در مطالعات آب سطحی نیز انجام شده است که برای مثال می‌توان به مطالعه آخونی پورحسینی و قربانی (۱۳۹۵) اشاره کرد. ایشان از روش آنتروپی شانون در تعیین مؤثرترین پارامتر شیمیایی در کیفیت آب‌های سطحی حوضه صوفی چای استفاده نمودند. بر اساس مقدار آنتروپی و وزن آنتروپی محاسباتی، پارامتر مؤثر در شش ایستگاه تازه کند، خرما زرد، اسفستانج، کهلیکدرسی، مراغه و چکان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اسیدیته و منیزیم در زمره مؤثرترین پارامتر در این ایستگاه‌هاست. همچنین، نتایج محاسبه شاخص کیفیت آب با استفاده از روش آنتروپی بیانگر کیفیت عالی آب‌های سطحی منطقه است (Akhoni

تعیین کیفیت آب سطحی و زیرزمینی استفاده شده است. پی‌یو و همکاران (Pei-Yue et al., 2010) در منطقه پنگیانگ، در مطالعه‌ای به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از آنتروپی وزن‌دار شاخص کیفیت آب^۱ (EWQI) پرداختند. نتایج نشان داد این روش در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی قابل اعتماد است. وو و همکاران (Wu et al., 2011) از آنتروپی وزنی شانون برای تعیین کیفیت آب زیرزمینی در منطقه نینگوخیا توسط ۱۲ پارامتر کیفی استفاده کردند که از میان آن‌ها، TDS و آهن مهمترین پارامترهای مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی منطقه بود. همچنین، پیو و همکاران (Yue et al., 2011) جهت تعیین کیفیت آب منطقه دونگ شینگ از روش آنتروپی وزنی استفاده کردند و نتیجه گرفتند که کیفیت آب این منطقه نسبتاً خوب می‌باشد. به تدریج از روش‌های تلفیقی برای بررسی کیفیت آب استفاده شد. برای مثال، ارزیابی کیفیت منابع آبی با روش آنتروپی و تلفیق آن با ارزیابی ریسک سلامت نیز از جمله روش‌های مورد استفاده در جهان می‌باشد که در این راستا می‌توان به مطالعاتی نظیر ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از مدل شاخص کیفیت وزن آنتروپی (EWQI) و ارزیابی خطر سرطان سلامت انسان در فلزات سنگین در شرق هند توسط ساو و همکاران (Saw et al., 2022) اشاره کرد. در برخی موارد نیز، از ترکیب روش‌های آماری و شاخص آنتروپی وزن‌دار برای بررسی کیفیت منابع آبی استفاده شد. هدف مطالعه احمد و همکاران (Ahmad et al., 2022) شناسایی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از رویکرد آماری چند متغیره یکپارچه و شاخص کیفیت وزنی آنتروپی (EWQI) در شهر ماتورا در اوتار پراداش بود. به عقیده آن‌ها شاخص کیفیت وزنی آنتروپی (EWQI) با استفاده از مقادیر آنتروپی متشکل از متغیرهای هیدروشیمیایی متعدد استفاده شده است و به دلیل محاسبات گسترده‌تر، از روش WQI عملی‌تر است. ژیانو و همکاران (Giao et al., 2023)، کیفیت آب در دلتای مک دونگ ویتنام را با استفاده از روش‌های مختلف نظیر تجزیه و تحلیل خوشه‌ای (CA)، تجزیه و

1. Entropy Weighted Water Quality Index Weighted Water Quality Index

(Pourhosseini and Ghorbani, 2016).

هدف از این پژوهش در وهله اول، ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت آبدالان در شهرستان گچساران از لحاظ شرب است. همچنین، برای کاهش قضاوت‌های کارشناسی و حصول نتایج دقیق‌تر از تئوری آنتروپی شانون برای وزن‌دار کردن شاخص کیفیت آب استفاده شد. در وهله دوم، سعی بر آن است که بین شاخص خشکسالی و تغییرات کیفی آب زیرزمینی ارتباط معناداری برقرار و توجیه شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

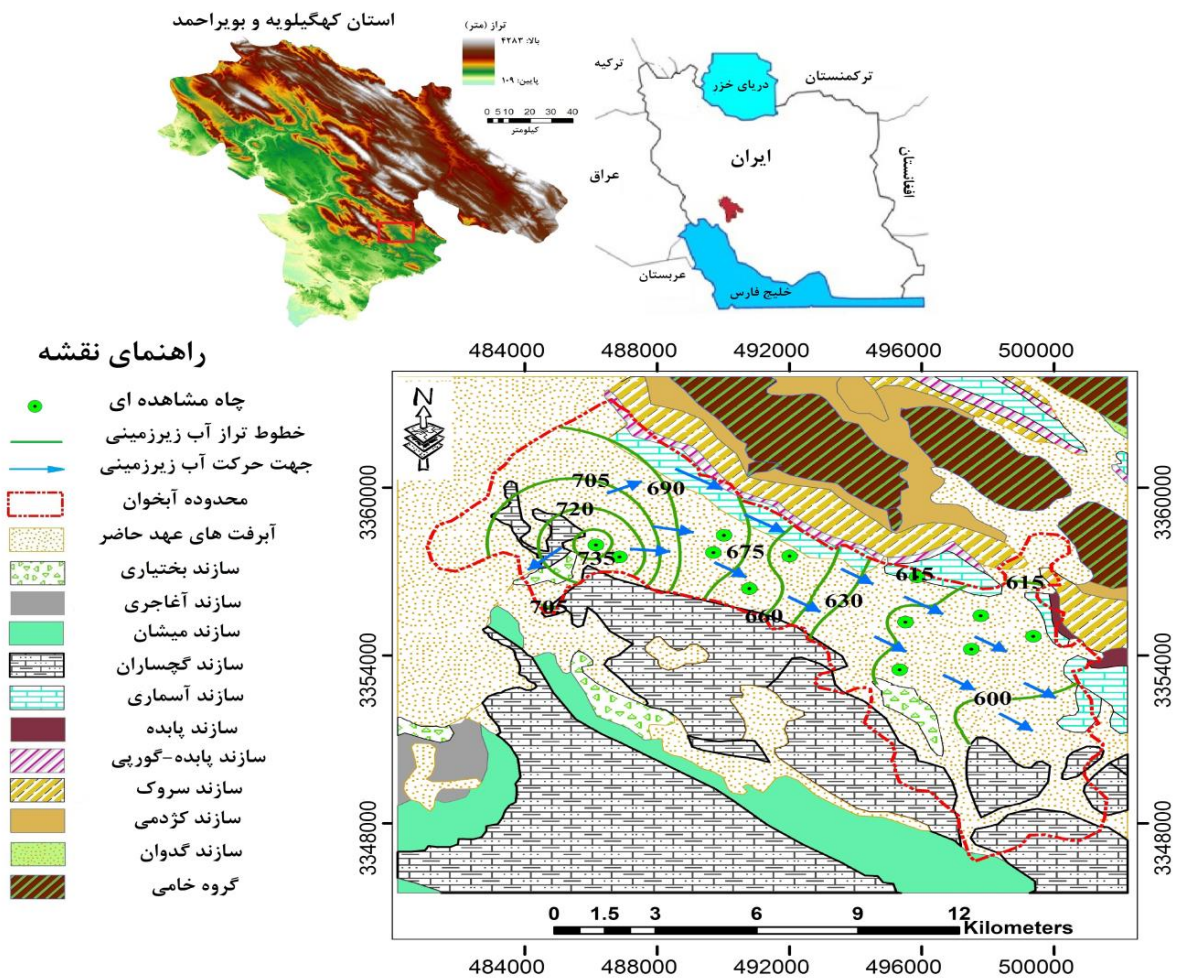
منطقه مورد مطالعه محدوده مطالعاتی، در جنوب استان کهگیلویه و بویراحمد در ۵ کیلومتری شمال شرق شهر گچساران بین مختصات $50^{\circ}52'$ الی $51^{\circ}09'$ طول شرقی و $30^{\circ}15'$ الی $30^{\circ}28'$ عرض شمالی و ارتفاع متوسط ۷۰۰ متر از سطح دریا واقع گردیده که از شمال به ارتفاعات کوه خامی، از جنوب به مسیل فصلی خربل (خروجی دشت) منتهی به رودخانه زهره، از شرق به دشت کوچک سربیشه و بیدزرد و از غرب به محدوده مطالعاتی دوگنبدان و شهر گچساران محدود می‌شود. از لحاظ چینه‌شناسی حوضه آبریز محدوده مورد مطالعه از نهشته‌های کرتاسه تا کواترنری تشکیل شده است که از قدیم به جدید شامل گروه خامی (فهلپیان، گدوان، داریان)، کژدمی، ایلام-سروک، پابده-گورپی، آسماری، گچساران، میشان، بختیاری و آبرفت‌ها و رسوبات عهد حاضر می‌باشد (Darvishzadeh, 2003). بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، آبخوان شمال شرق شهر گچساران دارای اقلیم نیمه خشک و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه دارای اقلیم نیمه‌خشک معتدل می‌باشد (khedri and kalantari, 2020). امتداد این آبخوان در جهت شمال‌غربی- جنوب‌شرقی و جهت جریان آب زیرزمینی نیز با توجه به اطلاعات پیزومترها در همین امتداد می‌باشد. این آبخوان عمدتاً حاصل فرسایش سازندهای آهکی بالادست بوده که مواد متشکله آن در امتداد مخروط‌افکنه‌ها غالباً درشت و از نوع قلوه سنگ، گراول، ماسه و رس و در نواحی مرکزی آبخوان

با دانه‌بندی متوسط و در ناحیه خروجی معمولاً ریزدانه و از جنس رس و سیلت می‌باشد. ضخامت متوسط آبخوان با توجه به اطلاعات ۸۶ سونداژ الکتریکی قائم حدود ۱۳۵ متر و جنس سنگ کف، سازند گچساران و در بخش‌هایی از دشت، آهک‌های نابرجای آسماری و گنگلومرای بختیاری بدست آمده است. در شکل (۱) نقشه زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه آورده شده است.

تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی آبدالان گچساران مربوط به تغذیه دشت، ناشی از نزولات جوی، جریان‌های زیرزمینی، سیلاب‌ها و آب‌های برگشتی کشاورزی بوده که سبب بالا آمدن سطح آب زیرزمینی می‌شود و تخلیه آب زیرزمینی دشت به دلیل بهره‌برداری از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق است که سبب پایین رفتن سطح آب زیرزمینی در سفره می‌گردد. بنابراین تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه چشمگیر است و در طول سال تغییرات زیادی دارد.

ابتدا، از تحلیل توصیفی خصوصیات آماری پارامترهای هیدروشیمیایی استفاده شد تا بتوان به درک درستی از شرایط هیدروژئولوژیکی و هیدروشیمیایی آبخوان دست یافت. پس از بررسی‌های مذکور، با استفاده از آنتروپی وزن‌دار شاخص کیفیت آب زیرزمینی (EWQI) به تحلیل کیفیت آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی شمال شرق گچساران پرداخته شده است. مفهوم آنتروپی برای اولین بار توسط شانون در سال ۱۹۴۸ ارائه شد (Shannon, 1948). مفهوم اساسی آنتروپی این است که یک رخداد اتفاقی تا چه حد تصادفی است. در واقع میزان تصادفی بودن را به صورت یک سنج ریاضی گزارش می‌کند (Shyu, 2011). محاسبه EWQI در سه مرحله انجام می‌شود. در مرحله نخست باید وزن آنتروپی هر پارامتر را محاسبه کرد. مراحل محاسبه آنتروپی، وزن آنتروپی و EWQI است: بر اساس داده‌های کیفیت آب زیرزمینی برای m نمونه و n پارامتر ماتریس مقادیر ویژه X^1 به صورت زیر خواهد بود (Shannon, 1948).

1. Eigenvalue



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی کشور).

Fig 1. Geological map of the studied area (taken from the Geological Organization).

به‌صورت زیر خواهد بود:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - (x_{ij})_{\min}}{(x_{ij})_{\max} - (x_{ij})_{\min}} \quad (2)$$

و این در حالی است که برای نوع هزینه‌ای، تابع نرمال‌سازی داده‌ها به‌صورت رابطه زیر است (Shannon, 1948):

$$y_{ij} = \frac{(x_{ij})_{\max} - x_{ij}}{(x_{ij})_{\max} - (x_{ij})_{\min}} \quad (3)$$

ماتریس استاندارد داده‌های خام پس از نرمال‌سازی بدین صورت خواهد شد:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

با توجه به اینکه پارامترهای کیفی آب زیرزمینی واحدهای مختلفی دارند و همچنین اختلاف کیفیت نمونه‌ها، با استفاده از تابع نرمال‌سازی، داده‌ها آماده‌سازی می‌شوند. چهار نوع و حالت را بر اساس خصوصیات هر شاخص می‌توان از هم تفکیک کرد که شامل نوع کارایی^۱، نوع هزینه‌ای^۲، نوع ثابت شده^۳ و نوع بازه‌ای^۴ است. برای نوع کارایی، تابع نرمال‌سازی

1. Efficiency type
2. Cost type
3. Fixed type
4. Interval type

رتبه‌بندی^۱ کیفی (q_j) برای هر پارامتر است. معیار رتبه‌بندی کیفی نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$q_j = \frac{C_j}{S_j} \times 100 \quad (۸)$$

C_j و S_j به ترتیب غلظت پارامتر شیمیایی برای هر نمونه و غلظت همان پارامتر بر اساس رهنمودهای کیفیت آب برای مصارف شرب برحسب Mg/l است. در این پژوهش از استاندارد سازمان بهداشت جهانی استفاده شده است. مرحله پایانی محاسبه $EWQI$ به صورت زیر خواهد بود.

$$EWQI = \sum_{j=1}^n \omega_j q_j \quad (۹)$$

بر اساس تقسیم‌بندی پی و همکاران (Pei-Yue et al., 2010)، کیفیت آب زیرزمینی بر اساس $EWQI$ برای مصارف شرب در ۵ رده بسیار خوب، خوب، متوسط، ضعیف و بسیار ضعیف قرار می‌گیرد (جدول ۱).

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (۴)$$

نسبت مقدار شاخص پارامتر ز در نمونه i بر اساس معادله زیر محاسبه شده است:

$$P_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij} \quad (۵)$$

آنتروپی اطلاعات نیز به صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (۶)$$

هرچقدر مقدار آنتروپی کمتر باشد؛ تأثیر پارامتر j بیشتر خواهد بود. وزن آنتروپی (ω_j) هر پارامتر (j) با استفاده از معادله زیر محاسبه شده است:

$$\omega_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (۷)$$

مرحله دوم محاسبه میزان $EWQI$ ، تعیین معیار

جدول ۱. رتبه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی بر اساس $EWQI$ برای مصارف شرب.

Table 1. Groundwater quality ranking based on $EWQI$ for drinking purposes.

کیفیت آب water quality	رتبه rank	مقدار شاخص Index value
excellent بسیار خوب	1	کمتر از 50
well خوب	2	50 تا 100
medium متوسط	3	100 تا 150
weak ضعیف	4	150 تا 200
very weak بسیار ضعیف	5	بیشتر از 200

تر بودن دوره مورد بررسی کمک شایانی جهت نیل به این هدف خواهد بود. فرمول شاخص معیار بدون بعد SIAP (Standard Index of Annual Precipitation) که معرف ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها می‌باشد به صورت زیر است:

$$SIAP = \left(\frac{P - \bar{P}}{SP} \right) \times 100 \quad (۱۰)$$

1. Rating scale

بررسی ارتباط وضعیت اقلیمی و شاخص $EWQI$

در بازه‌های زمانی تر و خشک

پس از مطالعات کیفی در محدوده مطالعاتی در بازه زمانی ۱۸ ماهه (فروردین ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۸)، بررسی دوره شش ماهه دوره خشک یا تر نسبت به متوسط بلند مدت اقلیمی و ارتباط آن در این بازه‌های زمانی با شاخص کیفی $EWQI$ انجام خواهد شد. استفاده از شاخص SIAP (Khalili, 1991) جهت بررسی وضعیت خشک یا

موجود در آبخوان بصورت ماهیانه به مدت ۱۸ ماه متوالی نمونه‌برداری انجام گرفت. سپس از میان متغیرهای اندازه‌گیری شده در ۲۸۸ نمونه آب زیرزمینی برداشت شده، متغیرهای بی‌کربنات، سولفات، کلراید، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و هدایت الکتریکی استفاده گردیده است. از آنجایی که برای بررسی کیفیت آب از لحاظ شرب اکثراً از تحلیل آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی آب استفاده می‌شود پارامترهای فوق جهت انجام این پژوهش انتخاب گردید. تمامی اندازه‌گیری‌ها در آزمایشگاه آب‌شناسی پیشرومردن زیر نظر شرکت آب منطقه‌ای کهگیلویه و بویراحمد انجام شدند. خطای موازنه بار یونی داده‌ها کمتر از ۵٪ است که نشان می‌دهد برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی مناسب است. سپس به بررسی آماری پارامترهای مورد نظر پرداخته شد. در جداول (۳) و (۴) مشخصات چاه‌های نمونه‌گیری شده و خصوصیات آماری ۲۸۸ نمونه استفاده شده به همراه استاندارد WHO برای آب شرب ارائه شده است.

همان‌طوری که در جدول (۴) آمده است؛ به جز بی‌کربنات و پتاسیم، مقدار میانگین تمامی پارامترها پایین‌تر از مقدار مجاز استاندارد WHO برای آب شرب است. با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و وجود سازند گچی گچساران می‌توان انتظار داشت که غلظت یون سولفات اندکی بیشتر از سایر یون‌ها باشد.

برای بهتر مشخص شدن رابطه تغییرات بین پارامترهای مختلف به تحلیل ضرایب همبستگی و مقدار احتمال (p-value) پارامترهای هیدروشیمیایی مورد استفاده در پژوهش حاضر پرداخته شد. در حالتی که ضریب همبستگی (r) بزرگ‌تر از ۰/۷ باشد و مقدار احتمال (p-value) کمتر از ۰/۰۲ باشد همبستگی بسیار قوی بین دو پارامتر مورد مقایسه برقرار است و همین‌طور، ضریب همبستگی بین ۰/۵ تا ۰/۷ و در سطح معنی‌داری $p < 0/05$ همبستگی متوسطی را نشان می‌دهد (Shyu, G. S et al., 2011). مقدار ضریب همبستگی کمتر از ۰/۳ و مقدار احتمال $0/05 > P > 0/1$ به‌عنوان عدم همبستگی بین پارامترها تلقی شده است (جدول ۵ و ۶).

که در آن:

$SLAP$: شاخص معیار بارندگی سالانه

P : بارندگی سالانه (mm)

\bar{P} : متوسط بارندگی سالانه در دوره مطالعاتی (mm)

SP : انحراف معیار بارندگی سالانه (mm)

تقسیم‌بندی ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها بر اساس این شاخص، مطابق با جدول ۲ است. مقادیر منفی مبین خشک‌سالی‌ها و مقادیر مثبت مبین ترسالی‌ها است. نسبت‌ها بر حسب درصد بیان شده‌اند.

جدول ۲. آستانه‌های شاخص معیار SIAP

مفهوم	حدود شاخص (%)
Description	Index Limit (%)
بسیار خشک very dry	کمتر از -100
خشک dry	از -100 تا -50
نرمال (معمولی) normal	از -50 تا +50
مرطوب wet	از +50 تا +100
بسیار مرطوب very wet	بیشتر از +100

ایستگاه هواشناسی دوگنبدان با ۷۷۶ متر ارتفاع از سطح دریا و با کد ۴۰۳-۲۲ در مختصات جغرافیایی $46^{\circ} 50'$ طول شرقی و $22^{\circ} 30'$ درجه عرض شمالی قرار دارد. اطلاعات بارش ماهانه در این ایستگاه از سال ۱۳۷۲ موجود است. در مطالعه حاضر، از این شاخص در سه دوره شش ماهه در ایستگاه باران‌سنجی دوگنبدان استفاده شده است. دوره اول به بازه زمانی فروردین ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۷، دوره دوم به مهر ۱۳۹۷ تا اسفند ۱۳۹۷ و دوره سوم به فروردین ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۳۹۸ تعلق دارد. در این مطالعه، \bar{P} برابر با متوسط بارش دوره تر (مهر تا اسفند) یا خشک (فروردین تا شهریور) و در بازه زمانی ۱۰ ساله سال آبی ۸۹-۸۸ تا ۹۷-۹۸ است. P_i نیز مقدار بارندگی در هر یک از سه دوره مورد بررسی است. پس از آن، میزان شاخص EWQI در این سه بازه زمانی بررسی خواهد شد و نتایج آن با میزان شاخص خشک‌سالی SIAP مقایسه می‌گردد.

نتایج و بحث

در این پژوهش، ابتدا از ۱۶ حلقه چاه بهره‌برداری

جدول ۳. مشخصات چاه‌های نمونه‌گیری.

Table 3. Specifications of sampling wells

شماره چاه well number	مختصات جغرافیایی		نوع چاه type of well
	utm x	utm y	
1	486290	3356030	چاه نیمه عمیق semi deep well
2	487140	3357030	چاه عمیق deep well
3	498460	3352280	چاه عمیق deep well
4	497010	3353350	چاه عمیق deep well
5	495472	3353505	چاه عمیق deep well
6	493501	3353713	چاه عمیق deep well
7	497810	3353870	چاه عمیق deep well
8	496550	3354320	چاه عمیق deep well
9	492006	3354906	چاه عمیق deep well
10	494400	3354980	چاه نیمه عمیق semi deep well
11	493650	3355370	چاه عمیق deep well
12	496801	3351690	چاه عمیق deep well
13	495300	3352100	چاه عمیق deep well
14	492000	3356160	چاه عمیق deep well
15	491200	3356500	چاه عمیق deep well
16	488910	3356910	چاه عمیق deep well

جدول ۴. خلاصه آماری به همراه استاندارد WHO برای هر پارامتر.

Table 4. Statistical summary along with WHO standard for each parameter.

	EC	HCO ₃	CA	MG	CL	NA	K	SO ₄
	هدایت الکتریکی	بی‌کربنات	کلسیم	منیزیم	کلر	سدیم	پتاسیم	سولفات
حداکثر MAX	2340.3	264.5	236.3	79.8	200.8	123.5	46.7	680.4
حداقل MIN	733.4	184.7	53.2	16.5	25.5	18.1	1.6	66.9
میانگین AVERAGE	1160.9	219.7	95.1	38.5	53.1	37.0	14.1	212.2
انحراف معیار STANDARD DEVIATION	404.7	20.1	42.7	15.3	41.0	24.6	14.7	143.9
استاندارد STANDARD	1500	150.0	300.0	300.0	200.0	200.0	12.0	250.0

(به‌جز هدایت الکتریکی که برحسب میکروموس بر سانتی‌متر است تمامی واحدهای پارامترهای مورد استفاده برحسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد).

جدول ۵. مقدار احتمال (P-value) پارامترهای هیدروشیمیایی.

Table 5. Probability value (P-value) of hydrochemical parameters.

	EC	HCO ₃ (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Cl (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	SO ₄ (ppm)
	هدایت الکتریکی	بی‌کربنات	کلسیم	منیزیم	کلر	سدیم	پتاسیم	سولفات
EC	0.09							
HCO ₃ (ppm)	0.08	0.04						
Ca (ppm)	0.02	0.04	0.07					
Mg (ppm)	0.02	0.04	0.02	0.06				
Cl (ppm)	0.06	0.01	0.09	0.07	0.09			
Na (ppm)	0.06	0.02	0.07	0.10	0.01	0.02		
K (ppm)	0.09	0.04	0.05	0.07	0.08	0.04	0.06	
SO ₄ (ppm)	0.09	0.01	0.08	0.02	0.09	0.02	0.10	0.05

جدول ۶. ضرایب همبستگی پیرسون پارامترهای هیدروشیمیایی.

Table 6. Pearson correlation coefficients of hydrochemical parameters.

	هدایت الکتریکی	بی‌کربنات	کلسیم	منیزیم	کلر	سدیم	پتاسیم	سولفات
	EC	HCO ₃	Ca	Mg	Cl	Na	K	SO ₄
هدایت الکتریکی	1							
EC								
بی‌کربنات	0.02	1						
HCO ₃								
کلسیم	-0.06	-0.54	1					
Ca								
منیزیم	0.58	-0.08	0.35	1				
Mg								
کلر	0.56	-0.65	0.59	0.57	1			
Cl								
سدیم	0.72	-0.20	0.53	0.73	0.77	1		
Na								
پتاسیم	0.46	-0.75	0.42	0.18	0.18	0.53	1	
K								
سولفات	0.47	-0.13	0.67	0.83	0.61	0.90	0.28	1
SO ₄								

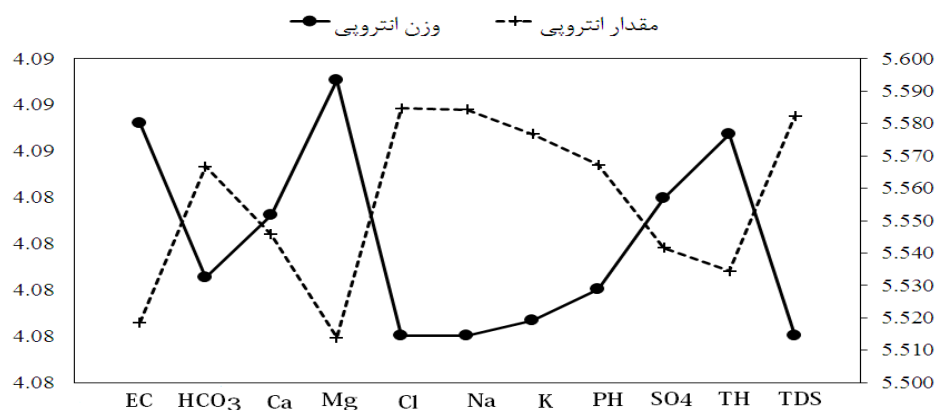
($r=0/9$) وجود دارد. بطور کلی بین اکثر پارامترهای اندازه‌گیری شده همبستگی قوی تا متوسطی برقرار است. با توجه به نتایج ضرایب همبستگی منشأ اکثر تغییرات پارامترهای هیدروشیمیایی منطقه مورد مطالعه عوامل زمین‌شناسی و محیطی است. وجود

نتایج تحلیل ضرایب همبستگی در جدول (۶) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که همبستگی مثبت قوی بین سدیم با منیزیم ($r=0/73$)، سولفات ($r=0/9$)، کلر ($r=0/77$) و همچنین بی‌کربنات با پتاسیم ($r=0/75$) و سولفات با منیزیم ($r=0/83$) و سدیم

برای هشت پارامتر مورد بررسی در پژوهش حاضر آورده شده است.

مقادیر بالای آنتروپی یون کلر نشان از تأثیرگذاری بالاتر آن نسبت به سایر پارامترها است (Wu et al., 2011). بنابراین می‌توان دریافت که کلر بالاترین نرخ تأثیرگذاری را بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه دارد. اثرگذاری عناصر مورد مطالعه بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه به ترتیب از بیشترین تا کمترین تأثیرگذاری شامل کلر، سدیم، پتاسیم، بی‌کربنات، کلسیم، سولفات، هدایت الکتریکی و منیزیم می‌باشد و بنابراین عامل اصلی کاهش کیفیت آب، کلر در نظر گرفته شده است. در شکل (۲) مقدار آنتروپی و وزن آنتروپی پارامترهای مورد استفاده آمده است.

سازند گچی گچساران و رسوبات مارنی و تبخیری در بخش جنوبی و مرکزی منطقه و همچنین نقش تغذیه‌کنندگی سازندهای سخت آهکی شمال و شمال غرب منطقه آبخوان باعث تغییرات بالای کیفیت آب زیرزمینی در منطقه شده است. پس از بررسی‌های اولیه، با استفاده از روابط ۲ تا ۹، میزان EWQI و رتبه هر نمونه آب برای مصرف شرب اندازه‌گیری شدند. در معادله ۶ مقدار آنتروپی و معادله ۷ وزن آنتروپی برای هر پارامتر محاسبه شدند. سپس معیار رتبه‌بندی کیفی آب براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی تعیین شد و در نهایت با ضرب کردن این مقدار در وزن آنتروپی برای هر پارامتر و جمع این مقادیر برای هر نمونه، مقدار EWQI معرفی گردید. در شکل (۲)، نتایج مربوط به محاسبه مقدار آنتروپی و وزن آنتروپی



شکل ۲. مقدار آنتروپی و وزن آنتروپی پارامترهای مورد استفاده.

Fig 2. Entropy value and entropy weight of the used parameters.

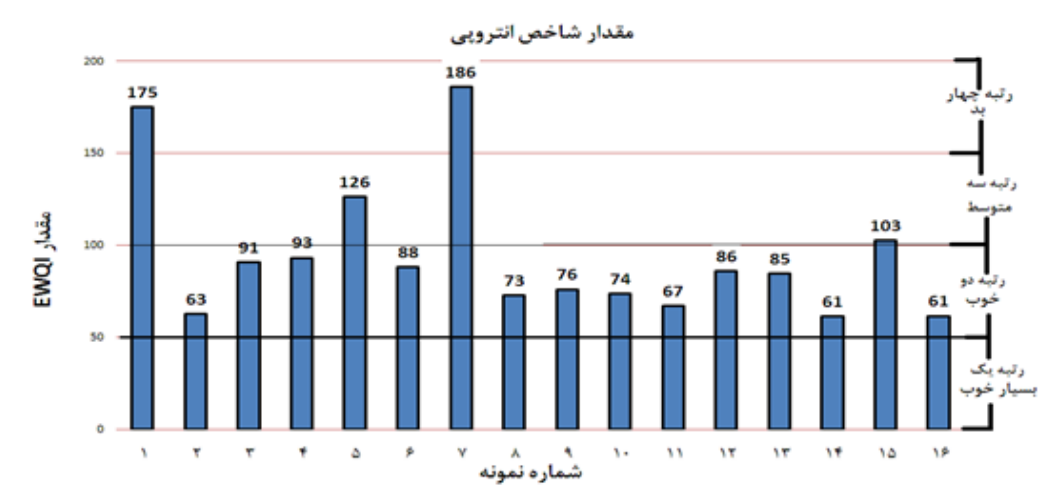
سازندهای تبخیری بر کیفیت آب زیرزمینی تأثیرگذار خواهند بود و وزن آنتروپی کمتری دارند. بیشترین وزن آنتروپی نیز مربوط به منیزیم است که تغییرات پایدار و یکنواختی در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه دارد. در نهایت پس از محاسبه مقدار آنتروپی و وزن آنتروپی، EWQI کیفیت آب شرب منطقه مورد مطالعه براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی تهیه شد. نتایج برای تمامی ۱۶ نمونه آب زیرزمینی مورد مطالعه در شکل (۳) آمده است.

همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است؛ اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی در رتبه

مقدار وزن آنتروپی نیز نشان‌دهنده پایداری کیفیت آب زیرزمینی از نظر پارامتر مورد نظر است. مقادیر وزن آنتروپی کمتر نشان‌دهنده تغییرات کیفیتی آب زیرزمینی می‌باشد (Guey-Shin et al., 2011). به عبارت دیگر اگر وزن آنتروپی پارامتری پایین باشد، تغییرات کیفیت آن زیاد بوده و در محیط آبخوان ناپایدار است و برعکس پارامتری با وزن آنتروپی بالا تغییرات کمی داشته و در محیط آبخوان به پایداری رسیده است. بنابراین کلر، سدیم، پتاسیم دارای بیشترین ناپایداری و تغییرات مداوم است. کلر، سدیم و پتاسیم به دلیل وجود ناخالصی‌های نمکی و سایر

چاه‌های منطقه مورد مطالعه در کلاس خوب قرار دارد. در جدول (۷) نیز مقدار EWQI و رتبه کیفی هر یک از نمونه‌های آب زیرزمینی از نظر شرب و براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی آورده شده است.

دو (کیفیت خوب) و پس از آن دو نمونه در رتبه سه (کیفیت متوسط) و دو نمونه دیگر نیز در رتبه چهار که کیفیت ضعیف است قرار گرفته‌اند. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی در اغلب



شکل ۳. نتایج ارزیابی مقدار EWQI برای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه.

Fig 3. EWQI value evaluation results for groundwater samples of the study area.

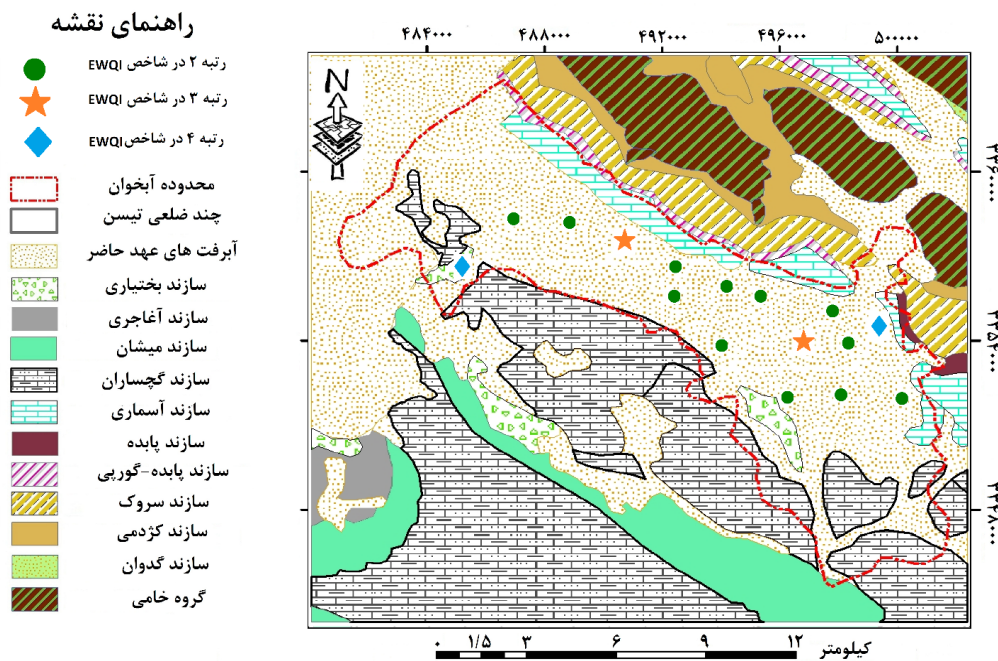
جدول ۷. شاخص EWQI و رتبه کیفی تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی از نظر شرب.

Table 7. EWQI index and quality rating of all groundwater samples in terms of potability.

نمونه Sample	1	2	3	4	5	6	7	8
EWQI	175	63	91	93	126	88	186	73
رتبه rank	4	2	2	2	3	2	4	2
کیفیت Quality	ضعیف weak	خوب well	خوب well	خوب well	متوسط medium	خوب well	ضعیف weak	خوب well
نمونه Sample	9	10	11	12	13	14	15	16
EWQI	76	74	67	86	85	61	103	61
رتبه rank	2	2	2	2	2	2	3	2
کیفیت Quality	خوب well	خوب well	خوب well	خوب well	خوب well	خوب well	متوسط medium	خوب well

رس) و آسماری می‌باشد و بر کیفیت آب تاثیر گذار است. نمونه ۵ و ۱۵ از لحاظ شاخص EWQI در رتبه ۳ و کیفیت متوسط و بقیه نمونه‌ها در رتبه ۲ و کیفیت خوب قرار دارند. به جهت درک بهتر مکانی کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، موقعیت نمونه‌ها و رتبه‌های کیفی تعیین شده در شکل ۴ نمایش داده شده است. بر این اساس، اغلب منابع آبی در گستره مطالعاتی، در رده کیفیت خوب به لحاظ آب شرب (رتبه دوم) قرار دارد که این می‌تواند ناشی از اثر بالقوه سازندهای آهکی تغذیه کننده آبخوان نظیر آسماری باشد.

به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌هایی که دارای رتبه بالایی هستند؛ به‌عبارت‌دیگر مقدار EWQI بالایی دارند، در نزدیکی سازند گچساران (با میان لایه‌های مارن، ژپیس و نمک)، بختیاری، آسماری و پابده (شیل، مارن و آهک رسی) قرار دارند که باعث تخریب کیفیت آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه شده است. نمونه ۱ به دلیل نزدیکی به سازند تبخیری گچساران و بختیاری از لحاظ کیفیت ضعیف می‌باشد و رتبه ۴ را داراست. نمونه ۴ که رتبه ۴ گرفته است از نظر کیفیت آب در رده‌ی ضعیف قرار می‌گیرد که در نزدیکی سازند پابده (شیل، مارن و

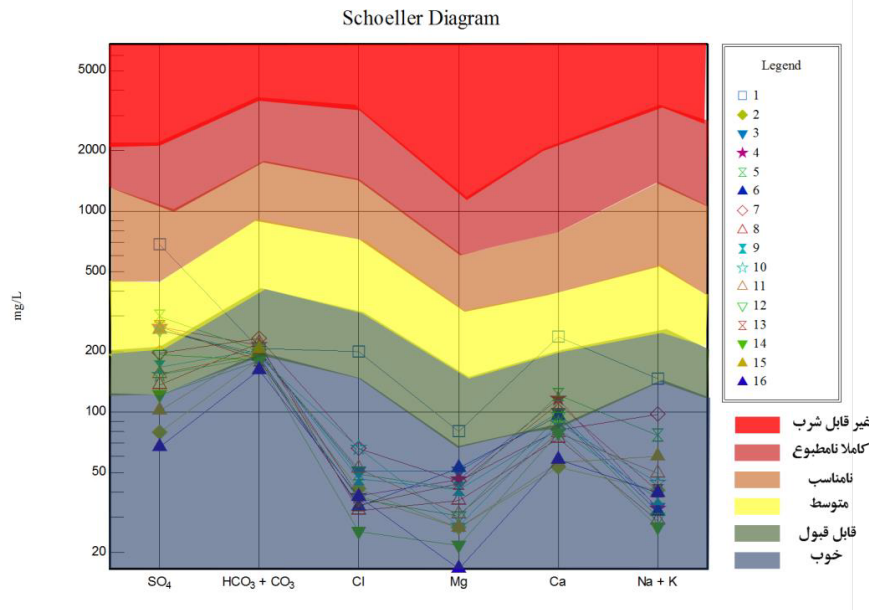


شکل ۴. موقعیت رتبه‌های کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه.

Fig 4. Status of groundwater quality ratings in the study area.

نمودار شولر نیز در رده خوب قرار می‌گیرند. برخی دیگر از نمونه‌ها نیز در رده قابل قبول قرار گرفته‌اند. در نمودار شولر تفکیک مناسبی بین کیفیت‌های مختلف وجود ندارد و تنها نمونه‌های آب زیرزمینی در نموداری لگاریتمی و در کنار هم نشان داده می‌شوند. با مقایسه نمودار شولر و روش آنتروپی به‌نظر می‌رسد روش آنتروپی در بیان تاثیر پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی و همچنین رده‌بندی کیفیت آب زیرزمینی توانایی بالاتری دارد.

به منظور بررسی و مقایسه توانایی روش آنتروپی نسبت به دیگر روش‌های مرسوم از نمودار شولر استفاده شد. نمودار شولر (Schoeller, 1959) یکی از نمودارهای مهم و پرکاربرد در بررسی کیفیت آب شرب است. این نمودار با توجه به مقیاس لگاریتمی، از نظر سرعت عمل، سهولت مقایسه و نمایش تعداد زیادی از نمونه‌ها در یک نمودار و نمایش غلظت یون‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. در شکل (۵) نمونه‌های کیفیت آب زیرزمینی در نمودار شولر نشان داده شده است. اغلب نمونه‌ها در



شکل ۵. ترسیم نمونه‌های آب زیرزمینی توسط نمودار شولر.

Fig 5. Drawing of groundwater samples by Schuler's diagram.

بین این دو شاخص می‌باشد به طوری که هر چه شرایط اقلیمی به سمت ترسالی و رطوبت بیشتر سیر می‌کند شرایط کیفی آب زیرزمینی بدتر خواهد شد (شکل ۶). در واقع با افزایش بارش در محدوده مطالعاتی، آبشستگی سازندی بیشتری در منطقه رخ می‌دهد. این مهم به خوبی در نمونه آب‌های شماره ۱ و ۷ مشهود است و نمایانگر آبشستگی سازندهای تبخیری گچساران و بختیاری و همچنین بخش رسی سازند پابده می‌باشد.

نتیجه‌گیری

مطالعه‌ی حاضر، با هدف ارزیابی و تحلیل کیفی منابع آب شرب زیرزمینی در دشت آبدلان گچساران انجام شد. علاوه بر این، استفاده از تئوری آنتروپی شانون برای استخراج وزن پارامترهای موجود در دستور کار قرار گرفت. بر اساس بررسی‌های انجام گرفته، تمامی پارامترها نظیر پارامترهای بی‌کربنات و پتاسیم دارای مقادیر بالاتر از حد مجاز هستند که نسبت بالای بی‌کربنات را می‌توان به ویژگی‌های زمین‌شناسی و تغذیه آبخوان از سازندهای سخت آهک آسماری در محدوده مطالعاتی نسبت داد. اما طبق نتایج کاربرد روش آنتروپی، کلر بالاترین نرخ تأثیرگذاری بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را داراست و عامل اصلی کاهش کیفیت آب و افزایش هدایت الکتریکی

بررسی ارتباط وضعیت اقلیمی و شاخص EWQI در بازه‌های زمانی تر و خشک (سه دوره زمانی ۶ ماهه) در این بخش ارائه شده است. بر اساس محاسبات انجام شده (جدول ۷)، متوسط شاخص EWQI در دوره اول (بازه زمانی فروردین ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۷) در عدد ۸۷ (کیفیت خوب) قرار دارد. اعداد شاخص در دوره دوم (مهر ۱۳۹۷ تا اسفند ۱۳۹۷) و سوم (فروردین ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۳۹۸) نیز برابر با ۹۵ (رده خوب) و ۱۰۰ (رده خوب - متوسط) می‌باشد.

پس از آن، شاخص خشکسالی دوره‌های سه گانه مورد بررسی قرار گرفته است. لذا، برای تعیین شاخص خشکسالی SIAP، نیاز به متوسط بارش دوره خشک و تر بازه زمانی بلند مدت ده ساله خواهد بود. جدول (۹) متوسط بارش در بازه زمانی ده ساله به تفکیک فصل تر و خشک و شاخص خشکسالی SIAP مربوط به هر دوره را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در سه بازه زمانی مورد بررسی (فروردین ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۷، مهر ۱۳۹۷ تا اسفند ۱۳۹۷ فروردین ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۳۹۸) به ترتیب دوره‌های نرمال، بسیار مرطوب و بسیار مرطوب رخ داده است. بررسی ارتباط بین شاخص کیفی آب (EWQI) و شاخص خشکسالی (SIAP) بیانگر ارتباط معکوس

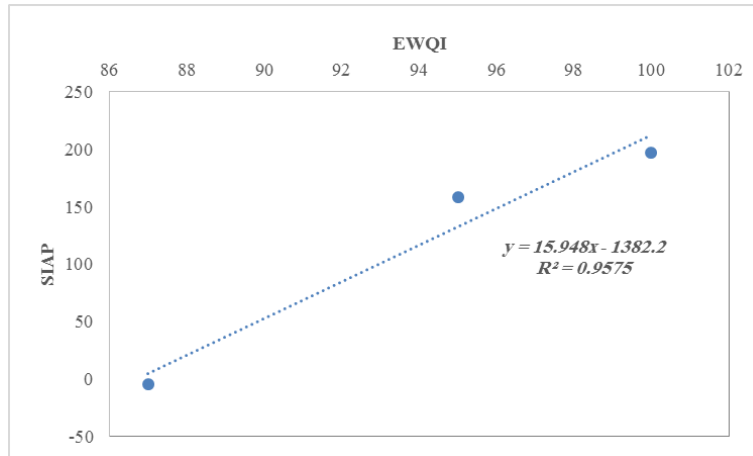
جدول ۸. مقادیر شاخص EWQI در سه دوره زمانی فروردین ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۸

فروردین ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۳۹۸ April 2019-September 2019			مهر ۱۳۹۷ تا اسفند ۱۳۹۷ October 2018-March 2019			فروردین ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۷ April 2018-September 2018		
کیفیت Quality	رتبه Rank	EWQI index	کیفیت Quality	رتبه Rank	EWQI index	کیفیت Quality	رتبه Rank	EWQI index
ضعیف weak	4	163	ضعیف weak	4	170	ضعیف weak	4	195
خوب well	2	69	خوب well	2	60	خوب well	2	57
خوب well	2	98	خوب well	2	87	خوب well	2	88
متوسط medium	3	110	خوب well	2	82	خوب well	2	86
متوسط medium	3	133	متوسط medium	3	149	خوب well	2	90
متوسط medium	3	113	خوب well	2	74	خوب well	2	76
ضعیف weak	4	186	ضعیف weak	4	186	ضعیف weak	4	186
خوب well	2	73	خوب well	2	69	خوب well	2	76
خوب well	2	66	خوب well	2	86	خوب well	2	76
خوب well	2	79	خوب well	2	79	خوب well	2	60
خوب well	2	81	خوب well	2	66	خوب well	2	52
متوسط medium	3	112	خوب well	2	71	خوب well	2	73
خوب well	2	85	خوب well	2	71	متوسط medium	3	101
خوب well	2	68	خوب well	2	62	خوب well	2	52
خوب well	2	94	متوسط medium	3	133	خوب well	2	78
خوب well	2	69	خوب well	2	68	بسیار خوب Excellent	1	46

جدول ۹. مقادیر شاخص خشکسالی SIAP در بازه زمانی سال آبی ۸۹-۸۸ تا ۹۸-۹۷

Table 9. SIAP drought index values in 2009-2010 to 2018-2019

فصل خشک				فصل تر			
وضعیت اقلیمی Climate	مقدار SIAP SIAP value	بارندگی (میلی متر) Rain (mm)	دوره آبی water period	وضعیت اقلیمی Climate	مقدار SIAP SIAP value	بارندگی (میلی متر) Rain (mm)	دوره آبی Water period
normal نرمال	23.9	60.5	88-89	normal نرمال	35.7	356	88-89
بسیار خشک very dry	-139.4	3	89-90	wet مرطوب	53.2	377	89-90
خشک dry	-91.1	20	90-91	normal نرمال	1.6	315	90-91
normal نرمال	42.3	67	91-92	بسیار مرطوب very wet	122.6	460.5	91-92
خشک dry	-95.4	18.5	92-93	normal نرمال	17.4	334	92-93
بسیار مرطوب very wet	104.8	89	93-94	خشک dry	-73.2	225	93-94
normal نرمال	-7.4	49.5	94-95	normal نرمال	-42.5	262	94-95
normal نرمال	-30.1	41.5	95-96	بسیار خشک very dry	-114.8	175	95-96
<u>نرمال</u> normal	-4.5	50.5	96-97	<u>بسیار خشک</u> very dry	-158.5	122.5	96-97
بسیار مرطوب very wet	197.1	121.5	97-98	<u>بسیار مرطوب</u> very wet	158.4	503.5	97-98



شکل ۶. نمودار همبستگی بین شاخص کیفی آب (EWQI) و شاخص خشکسالی SIAP

Fig 6. Correlation diagram between water quality index (EWQI) and SIAP drought index

022-02776-8

Akhoni Pourhosseini, F. & Ghorbani, M A. (2016).

Application of Shannon entropy in determining the most effective chemical parameter in surface water quality (Case study: Sofi Chay watershed), *Journal of Environment and Water Engineering*, 2(4), 322-332. [In Persian].

Amiri, V., Nakhaei, M., & Sohrabi, N. (2013).

Assessment of Groundwater Quality Based on Entropy Weighted Water Quality Index. *Advanced Applied Geology*, 3(1), 31-39. [In Persian].

Comply, HH. (1945). Cyanosis in infants caused

by nitrates in well water. *Journal of American Medicines Association*, 129, 112- 117.

Darvishzadeh, A. (2003). Geology of Iran. 5th Edition,

Amirkabir Publication, Tehran. [In Persian].

Giao, N.T., Nhien, H.T.H., Anh, P.K. & et al.

(2023). Groundwater quality assessment for drinking purposes: a case study in the Mekong Delta, *Vietnam. Sci Rep*, 13, 4380. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31621-9>.

Guey-Shin, S., Bai-You, C., Chi, TC., Pei, HY. &

Tsun, KC. (2011). Applying Factor Analysis Combined with Kriging and Information Entropy

می‌باشد. همچنین نتایج بررسی روش آنتروپی نشان داد سدیم و پتاسیم دارای بیشترین ناپایداری و تغییرات مداوم هستند که می‌تواند ناشی از وجود سازندهای تبخیری گچساران و پابده باشد. بیشترین وزن آنتروپی نیز مربوط به منیزیم است و نشان می‌دهد که تغییرات پایدار و یکنواختی در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برقرار است. نتایج به‌نهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی در این محدوده مطالعاتی، نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی اغلب چاه‌های منطقه مورد مطالعه در رده خوب قرار می‌گیرد. ارتباط بین میزان بارش و کیفیت منابع آبی با افزایش انحلال به ویژه در سازندهای مارنی - تبخیری نمود پیدا کرده است به شرحی که با افزایش بارش و بالتبع آن افزایش آبدهی منابع آبی، میزان آبشستگی افزایش و کیفیت منابع آبی تنزل یافته است. بر این اساس ارتباط معکوس بین شاخص خشکسالی (SIAP) و شاخص کیفی منابع آبی (EWQI) برقرار است.

منابع

Ahmad, S., Umar, R. & Ahmad, I. (2022). Assessment of groundwater quality using Entropy-Weighted Quality Index (EWQI) and multivariate statistical techniques in Central Ganga plain, India. *Environ Dev Sustain*. <https://doi.org/10.1007/s10668->

- Journal*, 6(2), 115-121. [In Persian].
- Parsamehr, A. H., Malekinezhad, H., & Khosravani, Z. (2018). Investigation of Shannon Entropy Theory in Weighting of Water Quality Index (Case Study: Mighan Aquifer). *Iranian Water Researches Journal*, 12(2), 101-110. [In Persian].
- Pei-Yue, L., Hui, Q. & Jian, HW. (2010). Groundwater Quality Assessment Based on Improved Water Quality Index in Pengyang County, Ningxia, North west China. *E-Journal of Chemistry*, 7, 209-216
- Zhang, Q., Qian, H., Xu, P., Hou, K., & Yang, F. (2021). Groundwater quality assessment using a new integrated-weight water quality index (IWQI) and driver analysis in the Jiaokou Irrigation District, China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 212, 111992, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111992>.
- Schoeller, H. (1959). Arid zone hydrology recent developments. *UNESCO Rev.*, Reicardi.
- Shannon Claude, E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379-423.
- Saw, S., Singh, P.k., Mahato, J.K., Patel, R., Dhopte, D.A., & Asenso, E. (2022). Groundwater Suitability Evaluation Using Entropy Weightage Quality Index (EWQI) Model and Human Health Cancer Risk Assessment of Heavy Metal in Eastern India, *BioMed Research International*, 2022, <https://doi.org/10.1155/2022/2476126>.
- Shyu, G. S., Cheng, B. Y., Chiang, C. T., Yao, P. H., & Chang, T. K. (2011). Applying factor analysis combined with kriging and information entropy theory for mapping and evaluating the stability of groundwater quality variation in Taiwan. *International journal of environmental research and public health*, 8(4), 1084-1109.
- Simos, FS., Moriera, A.B., Bisinoti, MC., Gimenez, Theory for Mapping and Evaluating the Stability of Groundwater Quality Variation in Taiwan. *International Journal Environmental Resources Public Health*, 8, 1084-1109
- Ip, WC., Hu, BQ., Wong, H. & Xia, J. (2009). Applications of grey relational method to river environment quality evaluation in China. *Journal of Hydrology*, 379, 284-290.
- Jalali, L., & Asghari Moghaddam, A. (2013). Detection of Hydrogeochemical Status and Salinity Trend in Khoy Plain Aquifer by Statistical and hydrochemical Methods. *Journal of Environmental Studies*, 39(2), 113-122. [In Persian].
- Jian-Hua, W., Pei, YL. & Hui, Q. (2011). Groundwater Quality in Jingyuan County, a Semi-Humid Area in Northwest China. *E-Journal of Chemistry*, 8, 787-793
- Khalili, A. (2011). Meteorological basin reports of the country's comprehensive water plan, Ministry of Energy, Jamab, Tehran. [In Persian].
- khedri, A., & kalantari, N. (2020). Estimation of Aquifer Specific Yield Using Different Methods and Extractable Water Volume Estimation (Case Study: Alluvial Aquifer in the Northeast of Gachsaran). *Hydrogeology*, 4(2), 92-107. [In Persian].
- Lalehzari, R., & Tabatabaei, S. H. (2010). Groundwater quality analysis in Shahrekord aquifer. *Journal of Environmental Studies*, 36(53), 55-62. [In Persian].
- Nakhaei, M., & Vadiati, M. (2013). Fuzzy Evaluation of groundwater for drinking purpose in Tehran Province, *Iranian Journal of Geology*, 6(23), 37.
- Nakhaie, M., & Vadiie, M. (2012). Evaluation of drinking water quality of Dargaz plain using analytical hierarchy process in geographical information system. *Iranian Water Researches*

- SMN. & Yabe, MJS. (2008). Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies, *Ecological indicators*, 8, 476-484.
- Todd, KD, (2005). *Groundwater Hydrology*, John Wiley & Sons.
- WHO. (2008). *Guidelines for drinking water quality recommendation*. Vol. I World Health Organization, Geneva.
- Wu, JP., Li, H. & Qian, M. (2011). Groundwater Quality in Jingyuan County, a Semi-Humid Area in Northwest China. *E-Journal of Chemistry*, 8, 787-793.
- Yue, L.P., Hui, Q. & Jian-Hu, W. (2011). Application of Set Pair Analysis Method Based on Entropy Weight in Groundwater Quality Assessment a Case Study in Dongsheng City, Northwest China. *J. Chem.*, 8(2), 851-858.

