فصلنامه علوم محیطی، دوره هفدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸

۴۱-۵۶

ارزیابی کیفیت منبع‌های آب زیرزمینی دشت زنجان با استفاده از روش‌های EWQI و TOPSIS

اسماعیل اسدی و فاطمه بیات*

گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲

اسدی، ا. و بیات. ف. ۱۳۹۸. ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت زنجان با استفاده از روش‌های EWQI و TOPSIS. فصلنامه علوم محیطی. ۱۷ (۱): ۴۱-۵۶.

سابقه و هدف: امروزه شاهد کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی براثر عامل‌هایی همچون رشد جمعیت، گسترش صنایع، توسعه کشاورزی و... می‌باشیم. از طرفی با توجه به اینکه سلامت انسان تحت‌تاثیر کیفیت آب‌های زیرزمینی است. بنابراین همواره حفاظت از کیفیت آن‌ها موضوع بسیار مهم در عرصه مدیریت منبع‌های آب بوده است. بدین منظور شاخص‌های کیفی بسیاری در سرتاسر جهان برای تعیین کیفیت آب یک منطقه ابداع شده‌اند که از آن جمله می‌توان به شاخص کیفیت آب (WQI) اشاره کرد. هدف از تحقیق حاضر، تعیین پارامترهای موثر بر کیفیت آب دشت زنجان با استفاده از تئوری آنتروپی و تحلیل مولفه‌های اصلی، تعیین مکان‌های مستعد آلودگی و در نهایت رتبه‌بندی منطقه‌ها از نظر کیفیت برای مصرف‌های شرب با ترکیب روش تاپسیس با شاخص EWQI است.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه، دشت زنجان با میانگین بارندگی ۳۲۳ میلیمتر در سال و بیشترین دمای ۴۰ و کمترین دمای ۲۹/۶- درجه سانتی‌گراد است. پارامترهای مورد بررسی بمنظور تعیین کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان، سولفات، کلراید، بی‌کربنات، اسیدیته، کل مواد جامد محلول، نسبت جذب سدیمی، هدایت الکتریکی، پتاسیم، سدیم، منیزیم، کلسیم، سختی کل بودند. جهت تعیین مولفه‌های اصلی در کیفیت آب منطقه از روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده گردید. سپس با استفاده از شاخص EWQI به تبیین نتایج این روش پرداخته شد. شاخص کیفی آب بعنوان یک روش امتیازدهی برای بررسی اثرهای ترکیبی پارامترهای مستقل بر کیفیت کلی آب تعریف شده است. بمنظور جلوگیری از قضاوت‌های کارشناسی، وزن هریک از پارامترها در محاسبه شاخص کیفیت آب، با استفاده از روش آنتروپی تعیین گردید. در نهایت برای رتبه‌بندی منطقه‌ها از نظر کیفیت آب از ترکیب روش تاپسیس با EWQI استفاده شد. تاپسیس بعنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره روشی ساده ولی کارآمد در اولویت‌بندی محسوب می‌شود.

نتایج و بحث: براساس ویژگی‌های آماری پارامترهای کیفی مقادیر هدایت الکتریکی و سختی کل بیشتر از میزان استاندارد WHO است که می‌توان آن را ناشی از ساختار زمین‌شناسی، وجود لایه‌های آهکی و رسوب‌های تبخیری فراوان در سطح دشت‌ها دانست. نتایج تحقیق نشان داد، کلر، مؤثرترین پارامتر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان بوده است. با بررسی روند تغییرپذیری-های کیفی آب‌های زیرزمینی

* Corresponding Author. *E-mail Address*: esasadi@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

دشت زنجان طی سال‌های ۹۵-۱۳۸۲، چاه‌های مشاهده‌ای کوشکن و حومه زنجان بعنوان نقطه‌های مستعد آلودگی تعیین گردیدند و عامل افت کیفیت آب زیرزمینی در آن منطقه‌ها به ترتیب پارامتر کلر و نسبت جذب سدیمی تعیین شد. با توجه به نتایج روش تحلیل مولفه‌های اصلی و نمودار اسکری کتل، پارامتر سختی کل و کلر بترتیب بیشترین تاثیر را بر کیفیت آب‌زیرزمینی دشت زنجان داشته‌اند و بیش از ۸۰ درصد تغییرپذیری‌های کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان را می‌توان با سه عامل مورد ارزیابی قرار داد. عامل اول با بیش از ۵۷ درصد تغییرات بیشترین نقش را دارا است. سپس عامل دوم با بیش از ۱۲ درصد تغییرات و عامل سوم با ۹ درصد تغییرات مهمترین عامل های تاثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان می‌باشند. همچنین برای اولویت‌بندی نقاط مشاهده‌ای دشت زنجان از نظر کیفیت آب‌های زیرزمینی، از ترکیب روش تاپسیس با شاخص EWQI استفاده شد. با توجه به نتایج حاصل از این روش، ایستگاه ینگجه بعنوان بهترین ایستگاه با کیفیت عالی و ایستگاه کوشکن به عنوان بدترین ایستگاه با کیفیت نامطلوب انتخاب شدند.

نتیجه‌گیری: پارامتر کلراید با مقدار آنتروپی پایین و میزان وزن آنتروپی بالا به عنوان تاثیرگذارترین پارامتر در دشت شناخته شد. همچنین ایستگاه ینگجه به عنوان بهترین ایستگاه و ایستگاه کوشکن به عنوان بدترین ایستگاه انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: آنتروپی، تحلیل مولفه‌های اصلی، دشت زنجان، شاخص کیفیت آب.

مقدمه

امروزه تاثیر عامل‌هایی مانند رشد جمعیت، کاهش آب‌های زیرزمینی، استفاده از زمین‌هایی با قدرت پالایش کم در منطقه‌های صنعتی و کشاورزی سبب گسترش آلودگی آب‌های زیرزمینی و تشدید کاهش آب‌های زیرزمینی شده است (Gorjij *et al*., 2017). از آنجائیکه سلامت انسان به شدت تحت تاثیر کیفیت پایین آب‌های زیرزمینی، تهدید می‌شود بنابراین حفاظت از کیفیت آب‌های زیرزمینی موضوع بسیار مهم برای مدیریت تقاضا جهت استفاده از این منبع‌ها برای شرب، کشاورزی و صنعت است (Amiri *et al*., 2014). در سراسر جهان تعداد زیادی از شاخص‌های کیفی آب ابداع شده‌اند که می‌توان با استفاده از آن‌ها در مورد کیفیت کلی آب یک منطقه خاص، قضاوت نمود. بعنوان نمونه شاخص کیفیت آب سازمان بهداشت ملی ایالت متحده[1] (Sharifi, 1990)، شاخص کیفیت آب شورای کانادایی وزیران محیط زیست[2]، شاخص کیفی آب بریتیش کلمبیا[3] و شاخص کیفی آب اورگان[4] و... (Debels *et al*., 2005; Kannel *et al*., 2007; Abbasi *et al*., 2002). این شاخص‌ها بر اساس مقایسه پارامترهای کیفی آب با مقادیر استاندارد و اختصاص یک ارزش واحد به کیفیت آب عمل می‌نمایند (Khan *et al*., 2003). شاخص کیفیت آب[5] (WQI)فرآیندی است که در آن برای سطح مشخص کیفی آب زیرزمینی از یک بیان عددی استفاده می‌کند. امروزه این روش با توجه به قابلیت بالای آن در بیان و توصیف اطلاعات کیفی آب و همچنین بکارگیری پارامترهای مهم و تاثیرگذار در ارزیابی و مدیریت کیفیت آب زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان مورد توجه و استفاده قرار می‌گیرد (Simoes et al., 2008). Gorgig *et al*. (2017) در مقاله‌ای به ارزیابی کیفیت ۲۱ نمونه آب زیرزمینی دشت آذرشهر با استفاده از تئوری آنتروپی پرداختند و نتایج آن را با روش همبستگی مکانی از نظر پارامترهای موثر بر کیفیت آب مقایسه کردند براساس نتایج آن‌ها، بی‌کربنات بیشترین همبستگی، کمترین آنتروپی و در نتیجه بالاترین میزان اثرگذاری را بر کیفیت آب زیرزمینی دشت آذرشهر دارا بوده است. در تحقیقی دیگر Zahedi *et al.* (2017) به ارزیابی و اعتباربخشی به شاخص کیفیت آب زیرزمینی[6] (GWQI) با استفاده از دو مدل تاپسیس[7] و برنامه‌ریزی سازش[8] (CP) پرداختند و اعلام داشتند که WQI به ندرت می‌تواند کلاس‌های کیفیت آب را با دقت ارزیابی کند ولی روش تاپسیس می‌تواند تجزیه و تحلیل دقیق‌تری برای کلاس‌هایی با تعداد چاه کم نشان دهد Amiri *et al*. (2014). به مطالعه کیفیت آب زیرزمینی دشت لنجانات و مناسب بودن آن برای شرب پرداختند. آن‌ها با محاسبه شاخص EWQI برای نمونه‌ها نشان دادند که در

www.SID.ir

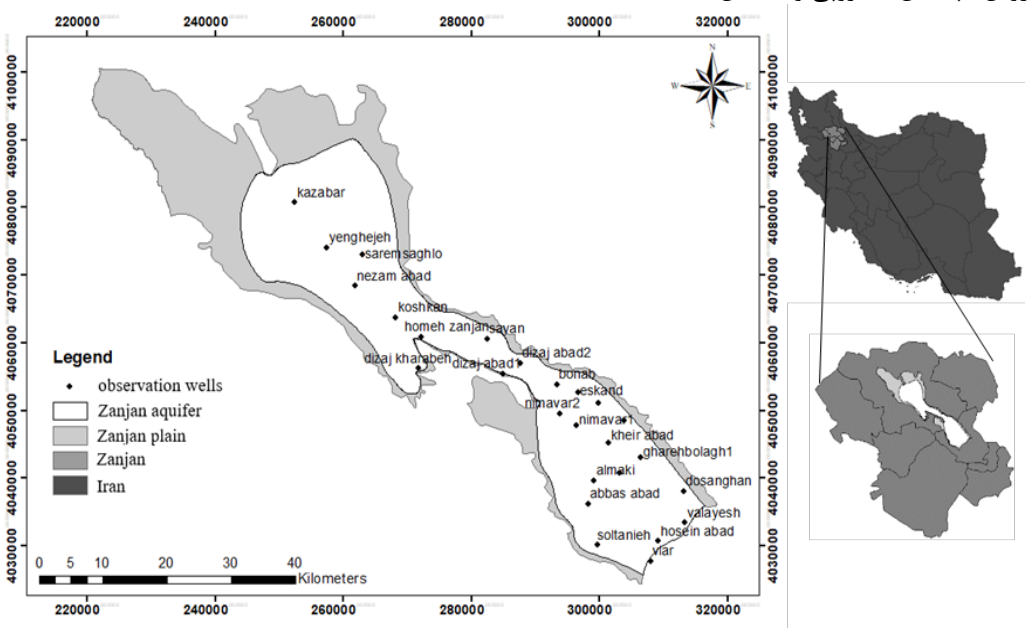
Archive of SID

فصل مرطوب براساسWHO ، بیش از ۵۷ درصد نمونه‌ها و براساس استاندارد کیفیت آب ایران، ۷۴ درصد نمونه‌ها در محدوده عالی تا متوسط کیفیت بوده‌اند. با توجه به کاهش کیفیت آب زیرزمینی در طول فصل خشک، بیش از ۴۲ درصد نمونه‌ها براساس استانداردWHO و براساس استاندارد کیفیت آب ایران ۶۲ درصد نمونه‌ها در محدوده عالی تا متوسط بودند. در مطالعات گذشته همواره از چرخش وارمیکس در روش تحلیل مولفه‌های اصلی برای تعیین مولفه‌های موثر بدون توجه به رابطه همبستگی بین مولفه‌ها استفاده شده است. در این مطالعه برای اولین بار با توجه به رابطه همبستگی بین مولفه‌ها از چرخش ابلیمن برای تعیین مولفه موثر بر کیفیت آب زیرزمینی استفاده خواهد شد. همچنین در این تحقیق برای اولین بار از روش تاپسیس برای رتبه‌بندی منطقه‌ها از نظر کیفیت برای مصرف‌های شرب استفاده خواهد شد. بنابراین با توجه به اهمیت کیفیت آب‌های زیرزمینی، هدف از مطالعه حاضر، تعیین پارامترهای موثر بر کیفیت آب دشت زنجان با استفاده از تئوری آنتروپی، تحلیل مولفه‌های اصلی، تعیین نقاط مستعد آلودگی و در نهایت رتبه بندی منطقه‌ها از نظر کیفیت برای مصرف‌های شرب با روش تاپسیس- آنتروپی و شاخص EWQI است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت زنجان در محدوده طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه تا ۳۷ درجه واقع است. میانگین بارندگی این منطقه ۳۲۳ میلیمتر در سال، بیشترین دمای مطلق ۴۰ و کمترین دمای مطلق ۲۹/۶- درجه سانتی گراد است. در این دشت، رودخانه زنجان‌رود از جنوب شرقی دشت به سمت شمال غرب در جریان است و در نهایت به رودخانه قزل‌اوزن متصل می‌شود. دشت زنجان به صورت فلات مرتفعی است که کوه‌های طارم را از رشته کوه‌های طویل و باریک سلطانیه جدا می‌کند (Najafi, 2000). میزان افت سالانه در دشت زنجان ۷۷ سانتی‌متر است که میزان تغذیه آب‌زیرزمینی این دشت ۲۷۶ میلیون متر مکعب و میزان تخلیه آن ۳۴۷ میلیون متر مکعب است. حدود ۷۷ درصد از آب استحصالی از دشت در بخش کشاورزی، ۱۲ درصد در بخش شرب و ۱۱ درصد در بخش صنعت مصرف می‌شود (Mohammad rezapor *et al*., 2017) نقشه جغرافیایی دشت زنجان و موقعیت نمونه‌ها در شکل ۱ ترسیم شده است.



شکل ۱- نقشه جغرافیایی دشت زنجان و موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای

Fig. 1- Zanjan Plain geographical map and position of the observation wells

www.SID.ir

Archive of SID

قدیمی‌ترین سنگ‌های مشاهده شده در منطقه مربوط به دوره پرکامبرین است که از سنگ‌های دگرگونی مانند شیل، گرانیت دوران تشکیل شده که پی سنگ منطقه را بوجود آورده‌اند. بر روی این سنگ‌ها در کوه‌های سلطانیه که ارتفاعات جنوبی دشت می‌باشند، مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی به ضخامت ۲۰۰۰ متر از جنس دولومیت، شیل، ماسه‌سنگ قرار گرفته که سازندهای تیپ بایندر، سلطانیه، باروت، لالون و زاگون را در منطقه بوجود آورده‌اند. سازندهای دیگری که در کوه‌های سلطانیه رخنمون دارند عبارتند از دولومیت‌های ضخیم لایه با نودولهای چرت معروف به سازند میلا، کوارتزیت، ماسه‌سنگ، شیل توأم با ماسه سنگ‌های آهکی و دولومیتی متعلق به سازند دورود و سنگ‌های آهکی با لایه‌بندی خوب به رنگ خاکستری تیره تا سیاه، سازند روته که بر روی سازندهای ماسه‌سنگی و شیلی قرار گرفته است .از سنگ‌های دوران دوم رسوبات ماسه سنگی– شیلی همراه با آثار گیاهی ژوراسیک تحتانی و سنگ‌های آهکی دریایی معروف به سازند دلیچای و لار در منطقه رخنمون دارند. سازند لار از سنگ آهک روشن با وسعت کم در کوه‌های سلطانیه رخنمون داشته و بطور هم شیب روی سازند شمشک را پوشانده است. سازندهای دوران سوم بیشتر از سازندهای دیگر دوران‌ها در محدوده مورد مطالعه گسترش دارند. قسمت عمده این سازندها سنگ‌های آتشفشانی (توف) با ضخامت زیاد است که بیشتر در قسمت شمال و شرق حوضه گسترش دارند (Sharifi *et al.*, 2011).

شاخص کیفیت آب (WQI)

اطلاعات آماری ۳۶۵ نمونه آب که در سال‌های ۸۲ تا سال ۹۵ از منطقه‌های مختلف دشت زنجان نمونه برداری شده‌اند، بمنظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان و تعیین نقطه‌های مستعد آلودگی، از سازمان آب منطقه‌ای استان زنجان گرفته شد. پارامترهای مورد بررسی شامل سولفات (SO_4)، کلراید (Cl)، بی‌کربنات (HCO_3)، اسیدیته (pH)، کل مواد جامد محلول (TDS)، نسبت جذب سدیمی (SAR)، هدایت الکتریکی (EC)، پتاسیم (K)، سدیم (Na)، منیزیم (Mg)، کلسیم (Ca)، سختی کل (TH) بودند. ابتدا برای تحلیل ویژگی‌های آماری پارامترهای شیمیایی و تعیین مولفه‌های اصلی در کیفیت آب منطقه از روش تحلیل مولفه‌های اصلی[۹] (PCA) استفاده و سپس با استفاده از شاخص EWQI به تبیین نتایج این روش پرداخته شد. شاخص کیفی آب بعنوان یک روش امتیازدهی برای بررسی تاثیرهای ترکیبی پارامترهای مستقل بر کیفیت کلی آب تعریف شده است. در این روش رابطه وزن پارامترهای مختلف کیفیت آب با استانداردهای توصیه شده و با توجه به تاثیرشان در سلامت و بهداشت اولیه، تعیین می شود (Zahedi *et al.*, 2017). نظریه آنتروپی[۱۰] توسط شانون در سال 1948 (Shannon, 1948) ولی در سال 2010 (Lie *et al.*, 2010)بیان شد. آنتروپی به این معنی است که یک رویداد تا چه حد می‌تواند تصادفی باشد. در واقع این روش، تصادفی بودن یک رویداد را در قالب معادلات ریاضی گزارش می‌دهد (Guey-Shin *et al.*, 2011). اگر فرض شود m نمونه آب (i=1, 2… m) وجود دارد و از هر نمونه n پارامتر (j=1, 2… n) برای بررسی کیفیت آب در نظر گرفته شود، ماتریس مقادیرX به صورت رابطه (۱) خواهد بود:

$$X=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdot & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdot & x_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdot & x_{mn} \end{bmatrix} \qquad (۱)$$

در ماتریس تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره بیشتر از شاخص‌هایی با مقیاس‌های متفاوت استفاده می‌شود (مانند EC بر حسب میکروموهوس بر سانتیمتر و Cl بر حسب میلی گرم در لیتر). بنابراین برای امکان مقایسه شاخص‌ها با یکدیگر، لازم است مقیاس‌ها از طریق روش‌های بهنجارسازی، قابلیت مقایسه با یکدیگر را پیدا کنند. شیوه‌های مختلفی برای بهنجارسازی وجود دارد که البته باید باتوجه به ویژگی‌های هر شاخص نوع و حالت

www.SID.ir

Archive of SID

آن را مشخص نمود که شامل نوع کارایی (شاخص مثبت)، نوع هزینه‌ای (شاخص منفی) نوع ثابت شده و نوع بازه‌ای است. از مهمترین آن‌ها می‌توان به بهنجارسازی نورم، خطی، فازی اشاره کرد (Momeni, 2003 & jin, 2005 & Amiri *et al*, 2013). بدین منظور در این مرحله، نرمال‌سازی داده ها با استفاده از رابطه (۲) صورت پذیرفت:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{min}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \qquad (۲)$$

پس از نرمال‌سازی، ماتریس استاندارد داده‌ها به صورت رابطه (۳) خواهد بود (Amiri *et al*., 2014):

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdot & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdot & y_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdot & y_{mn} \end{bmatrix} \qquad (۳)$$

براساس معادله (۴) مقدار شاخص مربوط به پارامتر j در نمونه i محاسبه می شود:

$$P_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} y_{ij}} \qquad (۴)$$

سپس با استفاده از رابطه (۵) مقدار آنتروپی محاسبه می‌شود (Amiri *et al*., 2014):

$$e_j = \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^{m} P_{ij} \times \ln P_{ij} \qquad (۵)$$

برای محاسبه وزن آنتروپی از رابطه (۶) استفاده می گردد (Amiri *et al*., 2014):

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^{n} (1 - e_j)} \qquad (۶)$$

در این شاخص هرچه میزان آنتروپی کمتر و وزن آنتروپی بیشتر باشد پارامتر مورد نظر بیشتر از دیگر پارامترها بر کیفیت آب منطقه تاثیرگذار است (Wu *et al*, 2011 & Guey-Shin *et al*., 2011). در نهایت با بهره‌گیری از رابطه (۷) می‌توان مقادیر EWQI را برای ایستگاه‌ها به دست آورد:

$$EWQI = \sum_{j=1}^{n} W_j \times q_j \qquad (۷)$$

براساس رابطه (۸)، q_j نسبت غلظت هر پارامتر به مقدار استاندارد آن بر حسب درصد است:

$$q_j = \frac{c_j}{s_j} \times 100 \qquad (۸)$$

و براساس رابطه (۸)، c_j غلظت هر پارامتر شیمیایی به میلی‌گرم بر لیتر و s_j غلظت همان پارامتر براساس استاندارد مشخص (WHO) برای مصرف شرب به میلی‌گرم است. میزان تغییرپذیری‌های مجاز pH بین ۶/۵ تا ۹/۲ است که برای محاسبه مقدار q_j برای پارامتر pH ، رابطه (۹) ارائه شده است (Amiri *et al*., 2014):

$$q_j = \frac{C_{PH} - S_I}{S_{PH} - S_I} \times 100 \qquad (۹)$$

در این رابطه C_{PH} مقدار pH مشاهداتی، S_{PH} بیشترین میزان pH مجاز (بر اساس WHOبرابر ۹/۲) و S_I نیز مقدار ایده‌ال است (Jian-Hua, 2011). کیفیت آب زیرزمینی برای مصرف‌های شرب را می‌توان در پنج گروه تقسیم کرد که میزان آن در جدول ۱ نشان داده شده است (Lie *et al*., 2010).

جدول ۱- رده بندی کیفی آب بر اساس شاخص EWQI

Table 1. Groundwater quality ranking based on EWQI

کیفیت آب Water quality	رتبه Rank	میزان شاخص Index amount
عالی Excellent	1	<50
خوب Good	2	50-100
متوسط Moderate	3	100-150
بد Poor	4	150-200
بسیار بد Extremely poor	5	>200

www.SID.ir

Archive of SID

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

تاپسیس بعنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره روشی ساده ولی کارآمد در اولویت‌بندی محسوب می‌شود. این روش در سال ۱۹۹۲ توسط چن و هوانگ مطرح شد. مرحله‌های انجام روش تاپسیس به صورت زیر است. ایجاد یک ماتریس تصمیم‌گیری براساس پارامتر و نمونه که به صورت رابطه ۱۰ بیان می‌شود (Xu *et al*., 2015).

$$A = \begin{array}{c} \\ M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_i \\ \vdots \\ M_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccccc} F_1 & F_2 & \dots & F_j & \dots & F_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1j} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2j} & \dots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ C_{i1} & C_{i2} & \dots & C_{ij} & \dots & C_{in} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ C_{m1} & C_{m2} & \dots & C_{mj} & \dots & C_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \quad (۱۰)$$

که در آن M_i نشان دهنده نمونه i ام، که $i=1,2\dots,m$، F_j نشان دهنده عامل j ام که $j=1,2,\dots,n$ است. C_{ij} نشان‌دهنده مقادیر عملکرد هریک از Miام با پارامتر مربوطه F_j است. با استفاده از رابطه ۱۱ ماتریس $r = (C_{ij})_{m\times n}$ نرمال سازی می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{m} C_{ij}^2}} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad (۱۱)$$

سپس پارامترها با استفاده از روش آنتروپی وزن‌دهی شدند. در واقع ماتریس V_{ij}حاصلضرب مقادیر استاندارد هر شاخص در اوزان مربوط به خود است که به صورت رابطه (۱۲) نمایش داده شده است.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_1 & w_2 r_2 & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (۱۲)$$

رابطه (۱۳) نحوه تعیین فاصله نمونه i ام از نمونه ایده‌ال (بالاترین عملکرد هر شاخص)که آن را با (A*) نشان می‌دهند را ارائه می‌دهد.

$$A^* = \{(maxV_{ij}|j \in J), (minV_{ij}|j \in \acute{J})\} \quad A^* = \{V_1^*, V_2^*, \dots, V_n^*\} \quad (۱۳)$$

با استفاده از رابطه (۱۴) فاصله i امین نمونه غیرایده‌آل (پایین‌ترین عملکرد هر شاخص) که آن را با A^- نشان می دهند را می‌توان محاسبه کرد.

$$A^- = \{(minV_{ij}|j \in J), (maxV_{ij}|j \in \acute{J})\} \quad A^- = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-\} \quad (۱۴)$$

تعیین معیار فاصله‌ای برای نمونه ایده‌آل (S_i^*) و نمونه غیرایده آل (S_i^-) با استفاده از رابطه (۱۵) و (۱۶):

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(V_{ij} - V_j^*)^2} \quad (۱۵)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (۱۶)$$

محاسبه ضریبی که برابر است با فاصله نمونه غیرایده‌آل، تقسیم بر مجموع فاصله‌ی نمونه غیرایده‌آل S_i^- و فاصله‌ی نمونه ایده‌آل S_i^- که آن را با C_i^* نشان داده و با استفاده از رابطه‌ی (۱۷) محاسبه می‌شود:

$$C_i^- = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (۱۷)$$

در نهایت نمونه‌ها بر اساس میزان C_i^- رتبه‌بندی می‌شوند. میزان فوق بین $0 < C_i^- < 1$ در نوسان است. در این $C_i^- = 1$ نشان‌دهنده بالاترین رتبه و $C_i^- = 0$ نیز نشان‌دهنده کمترین رتبه است (Oghani *et al*., 2013).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- ویژگی‌های آماری و مقادیر استاندارد برای پارامترهای کیفی دشت زنجان

Table 2. Statistical properties and WHO standard for Zanjan Plain quality parameters

پارامتر Parameter	واحد Unit	بیشینه Maximum	کمینه Minimum	مقدار استاندارد Standard WHO 2011	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Average
سولفات SO4	mg/l	12.58	0.02	250	2.03	2.25
کلراید Cl	mg/l	14.49	0.11	250	1.45	1.19
بی کربنات HCO3	mg/l	7.4	0.80	150	1.075	3.11
اسیدیته pH	بدون واحد	8.82	3.37	6.5-8.5	0.46	7.75
کل مواد جامد محلول TDS	mg/l	1930	23	600	233.62	426.56
نسبت جذب سدیمی SAR	mg/l	5.67	0.248	15	0.88	1.64
هدایت الکتریکی EC	s/cmμ	3060	190	500	369.95	682.78
پتاسیم K	mg/l	0.7	0	10	0.06	0.06
سدیم Na	mg/l	7.35	0.3	200	1.52	2.39
منیزیم Mg	mg/l	11.04	0.15	30	1.24	1.73
کلسیم Ca	mg/l	11.78	0.1	75	1.73	2.61
سختی کل TH	mg/l	1141	66	100	125.56	217.34

نتایج و بحث

خصوصیات آماری پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت زنجان بهمراه استانداردهای گفته شده در جدول ۲ نشان داده شده است. افزایش میزان EC و دارا بودن میانگین بالاتر از WHO ناشی از رسوب‌های تبخیری فراوان است که در سطح دشت و در عمق‌های مختلف آبرفت‌های این منطقه رویت می‌شود (Amiri *et al.*, 2013). همچنین بالابودن مقدار میانگین سختی کل از مقدار استاندارد WHO را می‌توان ناشی از ساختار زمین‌شناسی و وجود لایه‌های آهکی دانست. میزان بقیه پارامترها کمتر از حد مجاز WHO است که گویای کیفیت مناسب آب‌های زیرزمینی بیشتر منطقه-های دشت زنجان است.

برای تعیین پارامتر موثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان، از روش آماری تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. PCA یک روش آماری چندمتغیره است که با نوعی آرایش مجدد متغیرهای اصلی را به عامل‌های کمتری کاهش داده و این عامل‌های معدود برای تهیه بهترین الگوی بارگذاری قابل تفسیر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Guey-shin *et al.*, 2011). ۱۲ پارامتر کیفی مربوط به ۳۶۵ نمونه آب زیرزمینی از سال ۱۳۸۲-۹۵ در دشت زنجان مورد تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) قرارگرفت. بررسی ماتریس همبستگی وجود ضرایب ۰/۳ و بالاتر را نشان می‌دهد. برای بررسی کفایت نمونه‌ها از آماره کایزر- مایر-الکین استفاده شد. معیار کایزر بیان می‌کند که تنها عامل‌های دارای مقدار ویژه بیشتر از ۱ برای چرخش انتخاب می‌شوند. در عمل معیار کایزر پایین‌ترین حد را برای تعداد عامل‌ها مشخص می‌کند. هرگز نباید عامل‌هایی با مقادیر ارزش ویژه کوچکتر از ۱ برای چرخش انتخاب شوند. مقدار کایزر-

www.SID.ir

Archive of SID

مایر-الکین در این مطالعه ، معادل ۰/۷۵۱ به‌دست آمد، میزان عددی بالای ۰/۶ برای این شاخص نشان از کفایت مناسب نمونه گیری برای اجرای روش دارد. همچنین آزمون کرویت بارتلت به لحاظ آماری در این مطالعه معنی‌دار به‌دست آمد که عامل‌پذیری ماتریس همبستگی را تایید می‌کند. در کل دو نوع چرخش وجود دارد: ۱ - چرخش متعامد (ناهمبسته): چرخش متعامد منجر به راه‌حل‌هایی می‌شود که تفسیر و گزارش آن‌ها ساده و راحت است. ولی در این روش فرض بر آن است که سازه‌های زیربنایی مستقل هستند. به عبارت دیگر عامل‌ها طوری چرخانده می‌شوند که با یکدیگر زاویه ۹۰ درجه داشته باشند.۲ -متمایل (همبسته): روش‌های متمایل به عامل‌ها این امکان را می‌دهند که همبسته باشند، ولی تفسیر آن دشوارتر است. از این رو چهار روش چرخش متعامد شامل واریماکس[11]، کواریتمکس[12]، اکومکس[13] و دو روش متمایل شامل ابلیمن مستقیم[14] () و پرومکس[15] وجود دارد. در این مطالعه با توجه به وجود همبستگی بین عامل‌ها (با توجه به جدول ۳ به دلیل اینکه مقدار همبستگی بین دو مولفه ۱و۲ بیش از ۰/۳ است) برای بدست آوردن بارهای عاملی دقیق تر و مشخص‌تر از چرخش ابلیمن مستقیم استفاده شد.

جدول۳- مقادیر همبستگی بین مولفه‌ها

Table 3- Correlation matrix (between components)

مولفه Component	1	2	3
1	1		
2	0.365	1	
3	-0.141	-0.130	1

تحلیل مولفه‌های اصلی، وجود سه مولفه با ارزش‌های ویژه بیشتر از ۱ را نشان می‌دهد که به ترتیب ۶/۹۱۵، ۱/۵۳، ۱/۱۷ درصد واریانس را تبیین می‌کنند. در واقع می‌توان بیش از ۸۰ درصد تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان را با ۳ مولفه مورد ارزیابی قرارداد. مولفه اول با بیش از ۵۷ درصد تغییرات بیشترین نقش را دارا است. مولفه دوم با بیش از ۱۲ درصد تغییرات و مولفه سوم با ۹ درصد تغییرات مهمترین عامل‌های تاثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان هستند. مقادیر ویژه و درصد واریانس در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول۴- مقادیر ویژه و درصد واریانس مولفه‌ها

Table 4- Eigenvalues and variance componentsn components

	مولفه Component		
	1	2	3
مقدار ویژه Eigenvalue	6.915	1.53	1.17
درصد واریانس Variance component	57.63	12.80	9.76
تجمعی درصد واریانس Cumulative %	57.63	70.44	80.20

مولفه۱، پارامترهای TH، Cl، Ca، EC، TDS، SO_4، Mg است (که به صورت بولد در جدول ۵ نمایش داده شده است) که از عامل‌های تغلیظ این موارد می‌توان به ساختار زمین شناسی، وجود لایه‌های آهکی، دولومیت‌ها و عامل‌های طبیعی اشاره کرد. مولفه ۲ شامل SAR، Na، K است که از عامل‌های تغلیظ این موارد در مولفه ۲ نیز می‌توان به ساختار زمین‌شناسی مانند سازندهای رسی، مارن، دیوریت، توف‌های سبز و عامل‌های‌طبیعی اشاره کرد. مولفه ۳، پارامترهای HCO_3، pH است که از عامل‌های تغلیظ آن می‌توان به عامل‌های انسانی وجود کشتارگاه و واحدهای صنعتی فاقد سیستم‌های پالایش که شیرابه‌های خود را در چاه‌های جذبی بدون هیچ گونه پالایشی دفع می‌کنند، فرآیندهای بیولوژیکی و سازند دولومیت اشاره کرد. میزان هریک از مولفه‌ها در جدول۵ بیان شده‌است. همانطور که مشاهده می‌شود با استفاده از ملاک کایزر مولفه‌های زیادی استخراج می‌شود. یکی از روش‌های دیگر برای یافتن مولفه‌ها، روش آزمون اسکری کتل است (Catell, 1966). این روش شامل رسم نمودار مقادیر یا

www.SID.ir

Archive of SID

ارزش‌های ویژه عامل‌ها و بررسی این نمودار برای یافتن نقطه‌ای است که در آن شکل منحنی تغییر جهت داده و افقی می‌شود. کتل توصیه می‌کند که همه عامل‌های بالای نقطه تغییر یا عطف نمودار را حفظ کنید یا نگه دارید، چرا که این عامل‌ها بیشترین سهم را در تبیین واریانس مجموعه داده‌ها دارند.

جدول۵- ماتریس الگو و ساختار برای PCA با چرخش ابلیمن
Table 5. Structure and pattern matrix with oblimin rotation method

پارامتر Parameter	ضرایب الگو Pattern matrix			ضرایب ساختار Structure matrix		
	مولفه ۱ Component1	مولفه ۲ Component2	مولفه ۳ Component3	مولفه۱ Component1	مولفه ۲ Component2	مولفه ۳ Component3
سختی کل (TH)	0.99	0.11	-0.13	0.98	0.5	-0.118
کلراید (Cl)	0.95	-0.08	0.1	0.98	0.507	-0.12
کلسیم (Ca)	0.92	0.18	0	0.97	0.238	-0.24
هدایت الکتریکی (EC)	0.91	0.19	-0.002	0.91	0.437	0.05
کل مواد جامد محلول (TDS)	0.91	-0.17	-0.13	0.91	0.245	0.007
سولفات (SO4)	0.88	0.14	0.16	0.86	0.146	-0.23
منیزیم (Mg)	0.74	0.016	-0.08	0.76	0.276	-0.17
نسبت جذب سدیمی SAR	0.09	0.89	0.228	0.37	0.911	0.179
سدیم (Na)	0.5	0.67	0.126	0.72	0.843	0.037
پتاسیم (K)	-0.06	0.65	0.168	0.18	0.640	-0.188
بی کربنات (HCO3)	-0.05	0.14	0.79	-0.09	0.086	0.79
اسیدیته (pH)	0.081	0.43	-0.64	0.3	0.488	-0.67

نمودار اسکری کتل در شکل ۲ ترسیم شده‌است. با بررسی نمودار اسکری اولین تغییر جهت بین مولفه ۱و ۲ است که گویای آن است که مولفه ۱ بیشترین نقش را دارا است. تغییر جهت کوچکی نیز بین ۲ و ۳ است. که این نشان دهنده تاثیرگذاری مولفه ۲ نیز می‌باشد. از طرفی در مولفه ۱ که بیشترین تاثیرگذاری را بر کیفیت آب دشت دارد به ترتیب پارامترهای سختی کل و کلر بیشترین مقدار واریانس یا تغییرات در دشت را شامل می‌شوند.

بنابراین با توجه به این موارد تاثیرگذارترین پارامترها بر کیفیت آب زیرزمینی پارامتر سختی کل و کلراید است. با توجه به نتایج تئوری آنتروپی، در سال ۸۲ عامل تاثیرگذار بر کیفیت آب شرب دشت زنجان پارامتر کلر Cl، همچنین در سال ۸۳ پارامترk ، در سال ۸۴ پارامتر Cl، در سال ۸۵، سولفات و تا ۹۵ پارامترCl است. بنابراین تاثیرگذارترین عامل در دشت زنجان پارامتر کلراید (Cl) می باشد. نتایج تئوری آنتروپی برای برخی از سال‌ها در جدول ۶ بیان شده‌است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶- مقادیر و وزن آنتروپی پارامترهای کیفیت منبع‌های آب دشت زنجان

Table 6. Values of entropy and entropy weight of quality parameters of water resources of Zanjan Plain

پارامتر Parameter	1382		1388		1394		1395	
	Wj	ej	Wj	ej	wj	Ej	w_j	ej
سولفات (SO_4)	0.13	0.86	0.099	0.89	0.13	0.86	0.123	0.81
کلراید (Cl)	0.17	0.82	0.204	0.77	0.17	0.82	0.17	0.74
بی کربنات (HCO_3)	0.05	0.95	0.046	0.95	0.05	0.95	0.041	0.93
اسیدیته pH)	0.016	0.98	0.044	0.95	0.016	0.98	0.03	0.94
کل مواد جامد محلول (TDS)	0.05	0.94	0.073	0.92	0.05	0.94	0.07	0.89
نسبت جذب سدیمی SAR)	0.1	0.98	0.063	0.93	0.1	0.98	0.06	0.9
هدایت الکتریکی (EC)	0.05	0.94	0.073	0.92	0.05	0.94	0.07	0.89
پتاسیم (K)	0.08	0.91	0.048	0.95	0.08	0.91	0.05	0.91
سدیم (Na)	0.09	0.98	0.073	0.92	0.09	0.98	0.06	0.90
منیزیم (Mg)	0.07	0.91	0.089	0.9	0.07	0.91	0.117	0.82
کلسیم (Ca)	0.09	0.9	0.083	0.91	0.09	0.9	0.08	0.87
سختی کل (TH)	0.07	0.92	0.101	0.88	0.07	0.92	0.098	0.85

با بررسی شکل ۳ مشاهده می‌شود که رتبه کیفی پیزومتر کوشکن از رتبه ۱ (بسیار عالی) در سال ۸۲ به رتبه ۴ (بد) در سال ۹۵ نزول کرده است. همچنین رتبه کیفی ایستگاه حومه زنجان از رتبه ۱ به رتبه ۳ نزول کرده است. برای بررسی دلیل‌های کاهش کیفیت آب این دو منطقه از تئوری آنتروپی استفاده شد. میزان پایین آنتروپی بیانگر تاثیرگذاری بیشتر این پارامتر نسبت به دیگر پارامترها است (Wu *et al*., 2011). همچنین میزان وزن آنتروپی بیشتر، نشان‌دهنده تغییرات کیفی آب زیرزمینی است (Guey *et al*., 2011). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که یکی از دلیل‌های کاهش کیفیت آب زیرزمینی روستای کوشکن پارامتر Cl است. زیرا دارای پایینترین میزان آنتروپی و بالاترین وزن آنتروپی است. بنابراین عامل ناپایداری و تغییرپذیری‌های کیفی، پارامتر Cl است. در چاه مشاهده‌ای حومه زنجان پارامتر SAR دارای بیشترین مقدار تاثیرگذاری بر کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌باشد. پارامتر SAR با دارا بودن وزن آنتروپی بالا و میزان آنتروپی پایین دارای بیشترین مقدار ناپایداری در طول دوره در چاه مشاهده‌ای حومه زنجان می‌باشد.

یکی از روش‌های گرافیکی مناسب برای طبقه‌بندی کیفی نمونه‌های آبی، دیاگرام پایپر است.(Fetter, 2001) دیاگرام پایپر، آب‌ها را بر اساس کاتیون‌ها به سه رخساره منیزیمی، کلسیمی و سدیمی و براساس آنیون‌ها به سه تیپ بی‌کربناته، سولفاته و کلروره تقسیم‌بندی می‌کند (Fetter, 2001).

براساس این نمودار ایستگاه کوشکن در ناحیه شش (سختی غیرکربناتی) و ایستگاه حومه زنجان در ناحیه ۹ (اختلال متعادل یون‌ها) قرار دارد. دیاگرام استیف بطور گسترده توسط هیدروژئوشیمیست‌ها و ژئوشیمیست‌ها، برای نشان دادن ترکیب‌های یونی اصلی آب مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در این دیاگرام نیز همانند دیاگرام پایپر، سه رخساره سدیمی،کلسیمی و منیزیمی و سه تیپ بی‌کربناته، کلروره و سولفاته برای انواع آب‌ها در نظر گرفته می‌شود. بر اساس نمودارها تیپ آب ایستگاه کوشکن، منیزیم- سولفات و ایستگاه حومه زنجان کلسیم- سولفات می‌باشد. پس از بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان با استفاده از روش تحلیل عاملی و تصدیق نتایج آن با استفاده از روش آنتروپی به رتبه‌بندی ایستگاه‌ها از نظر کیفیت آب آشامیدنی با استفاده از ترکیب دو روش EWQI و تاپسیس

www.SID.ir

Archive of SID

پرداخته شد. نتایج نشان داد که منطقه ینگجه با قرارگیری در محدوده کیفیت عالی در رتبه بهترین و منطقه کوشکن با قرارگیری در محدوده کیفی بد، در رتبه بدترین قرارگرفتند. بنابراین تاپسیس نتایج روش آنتروپی در رتبه‌بندی ایستگاه‌ها را تایید می‌کند. نتایج رتبه بندی در جدول ۷ نشان داده شده‌است.

جدول۷- رتبه بندی ایستگاه‌ها از نظر کیفیت آب با ترکیب دو روش تاپسیس و EWQI
Table 7. Ranking stations based on water quality using Topsis and EWQI

نمونه sample	EWQI مقدار value	EWQI رتبه Rank	TOPSIS مقدار value	TOPSIS رتبه rank	نمونه Sample	EWQI مقدار value	EWQI رتبه rank	TOPSIS مقدار value	TOPSIS رتبه Rank
ینگجه Yenghejeh	15.5	عالی Excellent	0.99	1	اسکند Eskand	36.9	عالی Excellent	0.89	14
خیر آباد Kheirabad	20.9	عالی Excellent	0.96	2	سارمساقلو Saremsa-ghlo	37.9	عالی Excellent	0.87	15
سرخه دیزج Sorkheh dizaj	19.7	عالی Excellent	0.95	3	حسین اباد Hossein Abad	43.5	عالی Excellent	0.86	16
بناب Bonab	28.1	عالی Excellent	0.95	4	والایش Valayesh	42.3	عالی Excellent	0.83	17
دیزج آباد۱ Dizaj abad1	25.7	عالی Excellent	0.94	5	عباس آباد Abbas abad	43.6	عالی Excellent	0.83	18
دوسنگان Dosanghan	23.6	عالی Excellent	0.93	6	الملکی Almaleki	50.2	خوب Good	0.83	19
نظام آباد Nezam abad	31.9	عالی Excellent	0.92	7	قره بلاغ۲ Ghareh Bolagh2	45.9	عالی Excellent	0.82	20
دیزج آباد ۲ Dizaj abad2	29.5	عالی Excellent	0.92	8	کزبر Kazabar	51.2	خوب Good	0.80	21
نیماور۱ Nimavar1	28.5	عالی Excellent	0.92	9	دیزج خرابه Dizaj kharabrh	49.7	عالی Excellent	0.78	22
مروارید Morvarid	34.0	عالی Excellent	0.91	10	سایان Sayan	69.9	خوب Good	0.76	23
نیماور ۲ Nimavar2	37.4	عالی Excellent	0.91	11	قره بلاغ۱ Ghareh Bolagh۱	46.9	عالی Excellent	0.74	24
ویر Viar	36.3	عالی Excellent	0.90	12	حومه زنجان Zanjan Suburb	70.7	خوب Good	0.73	25
سلطانیه Soltanieh	38.3	عالی Excellent	0.89	13	کوشکن Koshkan	191.7	بد Poor	0.73	26

نتایج این مطالعه در بررسی کارایی شاخص EWQI با دیگر مطالعات هماهنگی دارد. به طوری که در مطالعه ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان بر اساس آنتروپی وزن‌دار شاخص کیفیت آب نتایج نشان داد، بر اساس میزان آنتروپی و وزن آنتروپی محاسبه شده برای هر پارامتر، Zn دارای بالاترین نرخ تاثیرگذاری بر کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان می‌باشد. و پس از آن Na، Ca، No_3، pH، K، Mg، DO در رده‌های بعدی قرار دارند(Amiri *et al.*, 2013). کاربرد روش آنتروپی به عنوان یک روش جدید تعیین پارامتر موثر بر کیفیت آب سطحی حوضه لیلان چای توسط(2017) Valipour *et al.* مورد بررسی قرار گرفت و نشان دادند که این شاخص دارای

www.SID.ir

Archive of SID

قابلیت تعیین صحیح کیفیت منطقه‌های مورد بررسی در ۶ ایستگاه حوضه لیلان چای و در دوره آماری ۱۳۹۱-۱۳۸۲ است. براساس میزان آنتروپی و وزن آنتروپی، پارامتر تاثیرگذار بر کیفیت آب‌های سطحی در ایستگاه‌های ساری قشلاق، مغانجیق، کرده ده، قشلاق امیر حوضه صوفی چای به ترتیب پتاسیم، کلراید، کل مواد جامد محلول و اسیدیته می‌باشد (Valipour *et al.*,2015). Zahedi *et al.* (2017) نیز در مطالعه‌ای به منظور ارزیابی و صحت‌سنجی شاخص کیفیت آب زیرزمینی در ساختاری جدید از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری مانند راه حل ایده‌آل (Topsis) و برنامه‌ریزی سازش (CP) استفاده کرد. نتایج به‌دست آمده در پژوهش ایشان تاکید داشت روش TOPSIS، روشی کارآمد برای تجزیه و تحلیل، رتبه بندی ایستگاه‌ها از نظر کیفیت آب‌های زیرزمینی بوده است و یک تجزیه و تحلیل دقیقتر برای کلاس بندی چاه ها ارائه می دهد. (Zahedi *et al.*, 2017).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان از روش‌های EWQI و PCA استفاده شد. بنابراین ابتدا روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت زنجان در دوره آماری ۹۵-۸۲ با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بیانگر آن بود که در این دشت با استفاده از ۱۲ پارامتر بیش از ۸۰ درصد تغییرات کیفی آب زیرزمینی را می‌توان توسط ۳ عامل مورد ارزیابی قرارداد. در این بین، عامل اول با بیش از ۵۷ درصد تغییرات دارای بیشترین نقش بوده و پس از آن عامل دوم با بیش از ۱۲ و عامل سوم با ۹ درصد مهمترین مولفه‌های تاثیرگذار بر کیفیت آب دشت زنجان است و پارامتر سختی کل و کلراید تاثیرگذارترین پارامترها بر کیفیت آب زیرزمینی دشت بوده است. جهت بررسی دقیقتر از روش آنتروپی استفاده شد. براساس نتایج روش آنتروپی، در طول دوره آماری رتبه کیفی دو ایستگاه کوشکن و حومه زنجان از رتبه عالی در سال ۸۲ به رتبه متوسط و بد در سال ۹۵ نزول کرده است که عامل کاهش کیفیت آب زیرزمینی ایستگاه کوشکن پارامتر Cl و ایستگاه حومه زنجان پارامتر SAR تعیین گردید. پارامتر کلراید با مقدار آنتروپی پایین و مقدار وزن آنتروپی بالا بعنوان تاثیرگذارترین پارامتر در دشت شناخته شد. همچنین ایستگاه ینگجه بعنوان بهترین ایستگاه و ایستگاه کوشکن بعنوان بدترین ایستگاه انتخاب شدند.

پی‌نوشت‌ها

[1] National Sanitation Foundation Water quality index
[2] Canadian Council of Ministers of Environment Water quality index
[3] British Columbia water quality index
[4] Oregon water quality index
[5] Water quality index
[6] Groundwater quality index
[7] TOPSIS
[8] Compromise Programming
[9] Principal Components Analysis
[10] The information entropy
[11] Varimax
[12] Quartimax
[13] Equamax
[14] Oblimin Direct
[15] Promax

منابع

Groundwater quality assessment using entropy weighted water quality index (EWQI). Advanced Applied Geologi Journal. 7, 31-39. (In Persian with English abstract).

Amiri, V. Nakhaaei, M. and Sohrabi, N., 2014.

Abbasi S.A., 2002. Water quality indices, state of the art report, National Institute of Hydrology, scientific contribution no. INCOH/SAR-25/2002, Roorkee.

Amiri, V. Nakhaaei, M. and Sohrabi, N., 2013.

www.SID.ir

Archive of SID

Groundwater quality assessment using entropy weighted water quality index (EWQI) in Lenjanat, Iran. Environ Earth Sciences. 72, 3479–3490.

Catell, R.B., 1966. The scree test for number of factors. Multivariate Behavioral Research. 1, 76-245.

Debels, P. Figueroa, R., Urrutia, R., Barra, R. and Niell, X., 2005. Evaluation of water quality in the Chilla'n River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index. Environmental Monitoring and Assessment. 110, 301–322.

Fetter, C.W., 2001. Applied Hydrogeology, Forth Ed. United Kingdom.

Gorgij, A., Kisi, O., Moghaddam, A. and Taghipour, A., 2017. Groundwater quality ranking for drinking purposes, using the entropy method and the spatial autocorrelation index. Environ Earth Sciences. 269, 1-9.

Guey-Shin, S., Bai-You, C., Chi, T.C., Pei, H.Y. and Tsun, K.C., 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 Environmental Resources Public Health. 8, 1084-1109.

Jian-Hua, W., Pei-Yue, L. and Hui, Q., 2011. Groundwater quality in Jungian county a semi-humid area in Northwest China. Europian Journal of Chemistry. 8, 787-793.

Jin, L., 2005. A fuzzy multi-criteria decision analysis for assessing technologies of air pollution abatement at coal-fired power plants. MS.c. Thesis. University of Regina, Canada.

Kannel, P.R., Lee, S., Lee, Y.S., Kanel, S.R. and Khan, S.P., 2007. Application water quality indices and dissolved oxygen as indicators for river water classification and urban impact assessment. Environmental Monitoring and Assessment. 132, 93–110.

Katyal, D. and Bharti, N., 2011. Water quality indices for surface water vulnerability assessment. International Journal of Environmental Sciences. 1, 1-154.

Khan, A.A., Paterson, R. and Khan, H., 2004. Modification and application of the CCME WQI for the communication of drinking water quality data in Newfoundland and Labrador. Water Quality Research Journal. 39, 285-293.

Li, P., Qian, H. and Wu, J.H., 2010. Groundwater quality assessment based on improved water quality index in Pengyang County, Ningxia, North west China. Europian Journal of Chemistry. 7, 209–216.

Mahtabi, M., Najafi, A. and Yunesi, H., 2013. Comparison of Two Methods of AHP and TOPSIS in finding location urban waste Landfill. Journal of Health and Environment. 6, 341-352. (In Persian with English abstract).

Momeni, M., 2003. The selection of the optimal method of delivering water to the sugarcane fields in Khuzestan province.Teacher Magazine. 7, 123-136. (In Persian with English abstract).

Najafi, K., Naseri, H.R., hagigat, R. and Fahmi, H., 2000. Hydrology and Simulation of groundwater resources of Zanjan plain using MODFLOW model. MS.c. Thesis. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Shannon, E., 1948. A mathematical theory of communication. The Bell System Technical Journal. 27, 379–423.

Sharifi, E., Abbasi, M., Gholyan, M. and Dehkordi,

www.SID.ir

Archive of SID

S., 2011. Hydrogeochemical study of Zanjan plain aquifer in Zanjan province. In Proceedings 15th Conference of the Geological Society of Iran, 14th-15th December, Tarbiat Moalem University of Tehran, Tehran, Iran. P. 1.

Simoes, F.S., Moriera, A.B., Bisinoti, M.C., Gimenez, S.M.N. and Yabe, M.J.S., 2008. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. Ecological Indicators. 8, 476–484.

Tabari, M. and Eilbeigy, M., 2017. An approach to investigate the impact of anthropogenic and geogenic sources on heavy metals concentration (Case study: Zanjan plain aquifer). International Journal of Environmental Science and Technology. 4, 197-207.

Valipour, E., Asadi, E. and Ghorbani, M.A., 2015. Determination of the parameter effect on surface water quality of the Lilan basin by entropy method. In Proceedings 1st International Congress on Earth, Space and Clean Energy, 5th November, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. P. 1.

Wu, J., Li, P. and Qian, H., 2011. Groundwater quality in Jingyuan County a semi-humid area in Northwest China. Europian Journal Chemistry. 8, 787–793.

Xu, J., Feng, P. and Yang, P., 2016. Research of development strategy on China's rural drinking water supply based on SWOT–TOPSIS method combined with AHP-Entropy: A case in Hebei province. Environmental Earth Sciences. 75, 1-11.

Zahedi, S., Azarnivand, A. and Chitsaz, N., 2017. Groundwater quality classification derivation using multi-criteria-decision-making techniques. Ecological Indicators. 78, 243–252.

www.SID.ir

Environmental Sciences Vol.17 / No.1 / Spring 2019

41-56

Evaluation of the quality of groundwater resources in Zanjan Plain using EWQI and TOPSIS methods

Esmaeil Asadi and Fatemeh Bayat *[2]

[1] Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 2017.09.24 Accepted: 2019.01.12

Asadi, E. and Bayat, F., 2019. Evaluation of the quality of groundwater resources in Zanjan Plain using EWQI and TOPSIS methods. Environmental Sciences. 17 (1), 41-56.

Introduction: Today, we observe a decline in groundwater quality due to the factors such as population growth, industrial expansion, and agricultural development and so on. Considering that human health is affected by the quality of groundwater, conservation of the quality of groundwater is very important in water resources management. Therefore, many quality indicators such as Water Quality Index (WQI) have been developed all around the world to determine the water quality of a region. The purpose of this study was to determine the parameters affecting on water quality in Zanjan Plain using entropy theory and main components analysis, determining susceptible points of contamination and finally, ranking the areas in terms of quality of drinking water with the combination of Topsis method and EWQI index.

Material and methods: This study was conducted in Zanjan Plain with an average rainfall of 323 mm per year and a maximum temperature of 40 °C and a minimum temperature of -29 °C. The parameters that are studied in order to determine the groundwater quality of Zanjan Plain were sulfate, chloride, bicarbonate, acidity, total dissolved solids, sodium adsorption ratio, electrical conductivity, potassium, sodium, magnesium, calcium, and total hardness. Principal Component Analysis (PCA) was used to determine the main components of the water quality in the area. Then, using the EWQI index, the results of this method were explained. The water quality index is defined as a scoring method for investigating the combined effects of the independent parameters on the total water quality. In order to prevent the expert judgments, the weight of each parameter in calculating the water quality index was determined using the entropy method. Ultimately, the ranking of areas in terms of water quality was applied using the combination of the TOPSIS method and the EWQI. TOPSIS method as a multi-criteria decision-making method is a simple and efficient method for prioritization.

Results and discussion: According to the statistical characteristics of the quality parameters, the electrical conductivity and total hardness were higher than the WHO standards, which can be attributed to the geological

* Corresponding Author. *E-mail Address*: esasadi@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

structure, the presence of calcareous layers, and many evaporate sediments in the plains. The results showed that chloride was the most effective parameter on the groundwater quality in Zanjan Plain. Investigating the groundwater quality changes in Zanjan Plain during 2003-2016 showed that the wells of Koushkan and the suburbs of Zanjan were determined as potentially contaminated points, and the degradation factors of the groundwater quality in these areas were determined chloride (Cl) and sodium adsorption ratio (SAR), respectively. According to the results of the analysis method of the principle components and the diagram of Scree Kettel, total hardness parameter (TH) and Cl were most effective on the water quality of Zanjan Plain, respectively. More than 80 percent of the groundwater quality changes in Zanjan Plain can be evaluated with three factors. The first factor was the most responsible with more than 57 percent of the change. Then the second factor with more than 12 percent of variation and the third factor with 9 percent of the changes were the most important factors affecting the quality of groundwater of Zanjan Plain. In order to prioritize the Zanjan Plain in terms of groundwater quality, the combination of TOPSIS method and EWQI index was used. According to the results of this method, Yengijeh station was selected as the best station with excellent quality and Koushkan station was selected as the worst station with undesirable quality.

Conclusion: Chloride parameter with low entropy and high entropy weight was the most effective parameter in the plain. Also, Yengijeh and Koushkan stations were selected as the best and worst stations, respectively.

Keywords: Entropy, Principal components analysis, Zanjan Plain, Water Quality Index.

www.SID.ir