

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره شش، شهریورماه ۹۸

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های مقدار آنتروپی وزنی مشترک

(EWOV) و تحلیل مجموعه‌های جفت شده (SPA) (مطالعه موردی، دشت سرایان)

محمود محمد رضاپور طبری *

mrtabari@eng.sku.ac.ir

مهدی کبیری سامانی^۲

تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۴

چکیده

زمینه و هدف: با افزایش فعالیت‌های انسانی، شدت فشارهای وارده بر منابع آب زیرزمینی افزایش یافته است. از آنجا سفره‌های زیرزمینی تأمین‌کننده بخش اعظم مصارف آب شرب می‌باشند، ارزیابی صحیح این منابع ضروری توجه است. با توجه به عدم دقت بازه‌های استاندارد کیفی، ارایه روشی که منجر به نتایج قابل اطمینان گردد، می‌تواند با ارزش باشد. لذا در این مطالعه دو رویکرد مقدار آنتروپی وزنی مشترک (EWOV)^۱ و تحلیل مجموعه‌های جفت شده (SPA)^۲ جهت ارزیابی کیفی آبخوان با استفاده از مفاهیم فازی و تئوری آنتروپی پیشنهاد گردید.

روش بررسی: جهت ارزیابی کیفی سفره آب زیرزمینی بر مبنای دو رویکرد پیشنهادی بدین صورت عمل گردید که در روش EWOV بر مبنای بازه‌بندی کیفی قطعی و فاصله اقلیدسی هر پارامتر از مقدار استاندارد خود، رتبه کیفی نمونه‌ها تعیین می‌شود. در روش SPA براساس بازه‌های فازی هر پارامتر، نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. جهت بررسی کارایی این دو رویکرد، از ۲۱ نمونه کیفی مرتبط با دشت سرایان استفاده گردید.

یافته‌ها: با اجرای دو رویکرد پیشنهادی و استخراج نتایج رده‌بندی کیفی نمونه‌ها می‌توان دریافت که در دوره، تر با استفاده از روش EWOV، ۴۲ درصد نمونه در رده متوسط قرار گرفته‌اند. با اعمال عدم قطعیت در رده‌های کیفی، این میزان درصد از نمونه‌های پایش‌شده دارای رده کیفی قابل قبول می‌باشند. بررسی رده کیفی نمونه‌ها با توجه به موقعیت مکانی آن‌ها در سطح دشت حاکی از هماهنگی نتایج روش SPA با شرایط طبیعی حاکم بر آبخوان می‌باشد. نتایج روش SPA نشان می‌دهد که بخش‌های شمال غربی، شمال و میانه دشت از کیفیت خوب و قابل قبولی جهت مصرف شرب برخوردار بوده و ۴۲ و ۷۴ درصد نمونه‌ها به ترتیب در فصول تر و خشک در رده کیفی قابل قبول و قابل قبول تا متوسط جهت مصرف شرب قرار دارند.

۱- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران * (مسئول مکاتبات)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی و منابع آب، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

3- Entropy Weighted Osculating Value

4- Set Pair Analysis

بحث و نتیجه‌گیری: مقایسه نتایج دو روش SPA و EWOV نشان‌دهنده دقت مناسب درجه کیفی ارایه شده توسط روش SPA و منطبق بودن آن با خصوصیات هیدروژنولوژیکی آبخوان (همانند نمونه‌های شماره P۱۵ و P۱۱) بوده و به عنوان روش برتر در ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی کیفی، آب زیرزمینی، آنالیز وزنی، مجموعه‌های جفت شده، دشت سرایان.

Groundwater Quality Assessment Using Entropy Weighted Osculating Value and Set Pair Analysis Methods

(Case study, SARAYAN plain)

Mahmoud Mohammad Rezapour Tabari ^{1*}

mrtabari@eng.sku.ac.ir

Mehdi Kabiri Samani ²

Admission Date: December 7, 2016

Date Received: May 19, 2014

Abstract

Background and Objective: The pressure on groundwater resources greatly increased with increase of human activities. Since the aquifers are majority drinking water supply, the correct evaluations of these resources are necessary. Due to the uncertainty of water quality standard ranges, a method that leads to reliable results can be valuable. So in this study, two approaches as EWOV and SPA was proposed in order to groundwater quality assessment using fuzzy concepts and entropy theory.

Method: For qualitative evaluation of groundwater resources, two proposed approach are considered. In the EWOV method based on Euclidean distance between each parameter and their standard, the quality ratings of each sample is determined using certain quality ranges. In the SPA method, the samples are evaluated based on fuzzy interval of each parameter. To evaluate the effectiveness of the two approaches, the 21 samples of SARAYAN plain were used.

Findings: With implementation of the proposed approachs and extract the results of quality rankings samples can be found that the 42 percentage of the samples in wet period were in the mid-range class using EWOV method. By applying the uncertainty in quality classes, these percentages of monitored samples have acceptable quality level. Samples quality rankings study due to its location in the plains shows the results of SPA are more coordination with natural conditions of the aquifer. The results of the SPA method imply that the parts of the northwest, north and mid-plains are good and have acceptable quality for drinking consumption. Also, 42 and 74 percent of samples are located in quality classification of acceptable and acceptable to moderate in the wet and dry seasons, respectively.

Discussion and Conclusion: Comparison of two methods result are indicative the appropriate precision of quality ranking offered by the SPA method and being consistent with the hydrogeological characteristics of the aquifer (such as P11 and P15). So, SPA as a preferred method in quality assessment of groundwater is recommended.

Keywords: Quality Assessment, Groundwater, Entropy Weighted, Set Pair, SARAYAN Plain

1- Associate Prof., Dep. Of Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran* (Corresponding_Author)

2- M.Sc. Student, Civil Engineering - Hydraulic Structures, Shahrkord University, Shahrekord, Iran

مقدمه

آب زیرزمینی یکی از منابع مهم و محدود و به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌رود. کیفیت این منبع با ارزش وابسته به کیفیت منابع آبی تغذیه کننده آبخوان، بارش اتمسفری، منابع آب سطحی و فرآیندهای ژئوشیمیایی واقع در زیرزمین می‌باشد (۱). در این راستا رشد جمعیت منجر به افزایش تقاضا جهت آب با کیفیت و تخریب منابع زیرزمینی در نتیجه استفاده ناصحیح شده است. لذا استفاده پایدار از این منبع با ارزش منوط به ارزیابی کیفی آن است. ارزیابی کیفی آب زیرزمینی به عنوان بخشی از ارزیابی محیط‌زیستی مطرح بوده و کیفیت آب زیرزمینی به طور مستقیم با سلامت انسان مرتبط است. بررسی سوابق مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که روش‌های زیادی همانند روش ریاضی فازی، روش مدل خاکستری، شاخص کیفیت آب و ... در جهت ارزیابی شاخص مناسب برای ارزیابی جامع کیفی آبخوان‌ها پیشنهاد شده است. یکی از قدیمی‌ترین شاخص کیفیت آب توسط براون و همکاران در سال ۱۹۷۰ ارائه گردید که در سال ۱۹۷۵ توسط دیاینگر در مؤسسه توسعه اسکاتلند مورد اصلاح قرار گرفت (۲). این شاخص به دلیل عدم نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در نمونه‌ها و همچنین لحاظ نمودن اثرات یکسان برای پارامترهایی که دارای اختلافات متفاوت از مقادیر استاندارد می‌باشند، از قابلیت مناسبی برخوردار نمی‌باشد (۳). در این راستا محققین مختلفی سعی نمودند تا با ارائه روشی مناسب بتوانند به طور یکپارچه این پارامترهای کیفی را با هم تلفیق نمایند. در این بخش به اختصار به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود. ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب رودخانه فرات در عراق با استفاده از تحلیل خوشه‌ای در سال ۲۰۱۲ توسط محمد صالح و همکاران صورت گرفت. نتایج این مطالعه حاکی از مؤثر بودن رویکرد مورد بررسی در تفسیر داده‌ها کیفی و تعیین نقاط بهینه پایش رودخانه می‌باشد (۴). شاخص کیفیت آب فازی جهت ارزیابی آب زیرزمینی توسط نصر و همکاران در سال ۲۰۱۳ توسعه یافت. در این مطالعه بر مبنای سیستم استنتاج

فازی، پارامترهای کیفی مرتبط با فلزات سنگین با هم تلفیق شده و وضعیت آلودگی هر یک از نمونه‌های برداشت شده از آبخوان جهت مصارف شرب در قالب یک مقدار عددی مشخص تعیین گردید (۵). توسعه شاخص کیفیت آب فازی مبتنی بر آنتروپی وزندهی شده جهت ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در نواحی صنعتی در شمال غربی چین توسط لی و همکاران در سال ۲۰۱۴ مورد توجه قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که به دلیل تمرکز فعالیت‌های صنعتی در منطقه مورد مطالعه، آب زیرزمینی بسیار آلوده شده و نیترات، منگنز، فلوراید، سختی و سولفات به عنوان پارامترهای غالب در تخریب کیفیت سفره معرفی شده‌اند (۶). وتسیس و همکاران در سال ۲۰۱۵ بر مبنای ۱۰۲ نمونه کیفی برداشت شده و با استفاده از شاخص‌های آماری چندمتغییره اقدام به بررسی وضعیت کیفی آبخوانی ساحلی در ایسلند نمودند. نتایج حاکی از این است که کنترل میزان پمپاژ از آبخوان و تعدیل مقدار کود مصرفی در اراضی کشاورزی جهت حفاظت از این آبخوان ساحلی ضروری است (۷). داس و همکاران در سال ۲۰۱۶ سیستم آبخوان ساحلی ماحاکالاپارا بلاک واقع در هند را جهت بررسی قابل شرب بودن منابع آب زیرزمینی این منطقه در دوره قبل و بعد از بارندگی با استفاده از تحلیل‌های هیدروژئوشیمی و توزیع مکانی پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده، مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که غلظت کلر و میزان قلیابیت خاک منطقه در دوره پس از بارش به دلیل اثرات تشکیلات زمین‌شناسی بر روی آبخوان شدیدتر می‌باشد (۸). مطالعات دیگری نیز توسط محققینی همچون عالمگیر و همکاران (۲۰۱۵) (۹) و ولپاسوا و راکوویتیانو (۲۰۱۶) (۱۰) در این زمینه انجام شده که اهمیت توجه به ارزیابی کیفی سفره‌های آب زیرزمینی بر مبنای پارامترهای کیفی مؤثر را نشان می‌دهد. بررسی سوابق مطالعاتی نشان می‌دهد که توجه زیادی به توسعه شاخص‌های مختلف و یا ارائه روش‌هایی جهت ارزیابی کیفی آب زیرزمینی شده است. با توجه به ماهیت غیرقطعی و وجود نادقیقی‌هایی که در ابزارهای اندازه‌گیری و نمونه‌برداری کیفی از

کیفی مورد بررسی (n) و تعداد بازه‌هایی که برای مقادیر استاندارد هر پارامتر کیفی مورد توجه قرار گرفته (p) برای محدوده مورد مطالعه مشخص گردد. سپس بر مبنای پارامترهای تعیین شده، مراحل زیر مورد توجه قرار می‌گیرد (۱۱ و ۱۲):

مرحله اول) تهیه ماتریس بی‌بعد استاندارد شده: با توجه به نمونه‌های کیفی برداشت شده، ماتریس $C = c_{(ij)}_{(m+p) \times n}$ که بیان‌گر غلظت پارامترهای کیفی و مقادیر استاندارد آن‌ها در بازه‌های مختلف می‌باشد، تهیه می‌گردد. در این ماتریس برای هر پارامتر واقع در هر ستون، دو سری داده که یکی مرتبط با مقادیر اندازه‌گیری شده و دیگری بیان‌گر مقادیر کیفی لحاظ شده بر اساس تقسیم‌بندی استاندارد آن پارامتر کیفی است، در نظر گرفته شد. در این مطالعه با توجه به این که ارزیابی کیفی نمونه‌ها بر مبنای طبقه‌بندی شولر انجام می‌شود، لذا مقادیر استاندارد پارامترهای کیفی به صورت جدول ۱، به ۶ دسته تقسیم شده است.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{(m+p)1} & c_{(m+p)2} & \dots & c_{(m+p)n} \end{bmatrix}_{(m+p) \times n} \quad (1)$$

آبخوان وجود دارد، استفاده از رویکردهای فازی جهت ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی ضروری است. لذا در این مطالعه دو رویکرد قطعی و غیرقطعی بر مبنای تئوری آنتروپی و مفاهیم فازی پیشنهاد گردید که می‌تواند ابزار مناسبی را جهت تدقیق بررسی‌های کیفی آبخوان‌ها در اختیار تصمیم‌گیران قرار دهد. در این رویکرد نمونه‌های برداشت شده از آبخوان بر اساس پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده در هر نمونه، میزان اهمیت آن‌ها، و با توجه به طبقه‌بندی کیفی شرب تحت دو شرایط قطعی و غیرقطعی از نظر میزان آلودگی رتبه‌بندی می‌شوند. لذا در این مطالعه، ارایه یک شاخص مناسب جهت ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی مدنظر قرار گرفته که براساس آن می‌توان با اندازه‌گیری پارامترهای کیفی اقدام به ارایه سیمای مکانی و زمانی کیفیت آبخوان نمود. جهت بررسی عملکرد رویکرد پیشنهادی، دشت سرایان به عنوان مطالعه موردی انتخاب گردید.

مواد و روش‌ها

ساختار روش مقدار آنتروپی وزنی مشترک (EWOV)

روش مقدار آنتروپی وزنی مشترک با استفاده از رتبه‌بندی مقادیر تماسی اختلاف بین غلظت پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده با مقادیر استاندارد پارامترها، اقدام به ارزیابی کیفی نمونه برداشت شده می‌نماید. جهت تعیین مقدار مشترک ابتدا لازم است تعداد نمونه‌های برداشت شده (m)، تعداد پارامترهای

جدول ۱- دسته‌بندی پارامترهای کیفی مطابق دیاگرام شولر

Table 1. Quality parameters classification based on schoeller diagram

HCO _۳	SO _۴	Cl	TH	TDS	Na	Mg	Ca	پارامتر درجه کیفیت
<۲۰۰	<۱۴۵	<۱۷۵	<۲۵۰	<۵۰۰	<۱۱۵	<۶۰	<۱۰۰	خوب
۳۸۰-۲۰۰	۲۸۰-۱۴۵	۳۵۰-۱۷۵	۵۰۰-۲۵۰	۱۰۰۰-۵۰۰	۲۳۰-۱۱۵	۱۲۰-۶۰	۲۰۰-	قابل قبول
۸۰۰-۳۸۰	۵۸۰-۲۸۰	۷۰۰-۳۵۰	۱۰۰۰-۵۰۰	۲۰۰۰-۱۰۰۰	۴۶۰-۲۳۰	۲۴۰-۱۲۰	۴۰۰-	متوسط
۱۵۵۰-۸۰۰	۱۱۵۰-۵۸۰	۱۴۰۰-۷۰۰	۲۰۰۰-۱۰۰۰	۴۰۰۰-۲۰۰۰	۹۲۰-۴۶۰	۵۰۰-۲۴۰	۸۰۰-	نامناسب
۳۰۰۰-۱۵۵۰	۲۲۴۰-۱۱۵۰	۲۸۰۰-۱۴۰۰	۴۰۰۰-۲۰۰۰	۸۰۰۰-۴۰۰۰	۱۸۴۰-۹۲۰	۹۵۰-۵۰۰	۱۸۰۰-	کاملاً نامطبوع
>۳۰۰۰	>۲۲۴۰	>۲۸۰۰	>۴۰۰۰	>۸۰۰۰	>۱۸۴۰	>۹۵۰	>۱۸۰۰	غیرقابل شرب

باشند. بر مبنای ماتریس استاندارد شده، آنتروپی انتقال اطلاعات برای هر پارامتر کیفی قابل محاسبه است:

$$e_j = -\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij}), \quad P_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij} \quad (9)$$

مطابق رابطه ۹، کوچکتر بودن مقدار e_j بیانگر تأثیرگذاری زیاد پارامتر کیفی j است. جهت محاسبه آنتروپی وزنی پارامتر کیفی j از رابطه ۱۰ استفاده می‌شود:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (10)$$

مرحله چهارم محاسبه مقدار مشترک: مقدار مشترک هر نمونه کیفی با استفاده از روابط ۱۱ و ۱۲ تعیین می‌شود:

$$d_{i,G} = \sqrt{w_j \sum_{j=1}^n [r_{ij} - (r_{ij})_G]^2} \quad (11)$$

$$d_{i,B} = \sqrt{w_j \sum_{j=1}^n [r_{ij} - (r_{ij})_B]^2} \quad (12)$$

$$E_i = \frac{d_{i,G}}{\min\{d_{i,G}\}} - \frac{d_{i,B}}{\max\{d_{i,B}\}}$$

در این رابطه، $d_{i,G}$ و $d_{i,B}$ به ترتیب فاصله اقلیدسی بین بهترین و بدترین نمونه کیفی از نمونه کیفی i می‌باشد. همچنین E_i مقدار مشترک نمونه کیفی i است.

مرحله پنجم ارزیابی کیفی نمونه‌ها: بر اساس مقدار مشترک محاسبه شده برای هر یک از نمونه‌ها و بازه‌های استاندارد کیفی، نمونه‌ها به ترتیب صعودی مرتب می‌شوند. با توجه به مقدار مشترک مرتبط با هر بازه استاندارد کیفی، رتبه کیفی هر نمونه بر اساس قرارگیری مقدار مشترک نمونه در آن بازه تعیین می‌گردد. به عنوان مثال اگر مقدار مشترک نمونه کیفی بین مقادیر مشترک مرتبط با درجه کیفیت اول قرار گیرد، نمونه با درجه کیفیت خوب تقسیم‌بندی می‌شود.

ساختار روش تحلیل مجموعه‌های جفت شده (SPA)

تحلیل مجموعه‌های جفت شده اولین بار توسط ژائو در سال ۱۹۸۹ ارائه گردید. این روش قطعیت و عدم قطعیت را به صورت یک سیستم یکپارچه در نظر گرفته و اختلافات و مغایرت‌های مرتبط با دو مجموعه حاوی عدم قطعیت را مورد شناسایی قرار می‌دهد (۱۳). پایه و اساس این روش بر مبنای مجموعه‌های جفت شده و درجه ارتباط بین آن‌ها می‌باشد.

با توجه به تغییرات زیاد ماتریس C از نظر ابعاد، واحد و میزان بزرگی هر یک از پارامترهای کیفی، لازم است با استفاده از رابطه ۲ به صورت بی‌بعد درآید:

$$r_{ij} = \pm c_{ij} / \left(\sum_{i=1}^{m+p} c_{ij}^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

در این رابطه برای پارامترهای کیفی مثبت (پارامترهایی که مقدار بالاتر آن‌ها منجر به بهبود کیفیت می‌شوند) از علامت مثبت و در غیر این صورت از علامت منفی استفاده می‌شود.

مرحله دوم تعیین بهترین و بدترین مجموعه نمونه‌های کیفی با استفاده از رابطه ۳:

$$\begin{cases} r^+ = \max\{r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{(m+p)j}\} \\ r^- = \min\{r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{(m+p)j}\} \end{cases}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

بهترین و بدترین نمونه‌های کیفی عبارتند از:

$$G = \{r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+\} \quad (4)$$

$$W = \{r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-\} \quad (5)$$

مرحله سوم تعیین وزن پارامترهای کیفی با استفاده از تئوری آنتروپی: در تئوری آنتروپی با توجه به تعداد نمونه‌های برداشت شده (m) و تعداد پارامترهای کیفی (n)، ابتدا ماتریس استاندارد شده جهت یکسان‌سازی داده‌ها از نظر ابعاد پارامترها، بزرگی و واحد پارامترها به صورت رابطه ۶ تهیه می‌شود.

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

در این رابطه y_{ij} با توجه به مشخصه هر پارامتر مورد بررسی، در صورتی که از نوع مثبت (زیاد بودن آن مطلوب است) باشد از رابطه ۷ و در صورتی که از نوع منفی (کم بودن آن مطلوب است) باشد از رابطه ۸ بدست می‌آید:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - (x_{ij})_{\min}}{(x_{ij})_{\max} - (x_{ij})_{\min}} \quad (7)$$

$$y_{ij} = \frac{(x_{ij})_{\max} - x_{ij}}{(x_{ij})_{\max} - (x_{ij})_{\min}} \quad (8)$$

در این رابطه، x_{ij} ، $(x_{ij})_{\max}$ و $(x_{ij})_{\min}$ به ترتیب مقدار پارامتر اندازه‌گیری شده، حداکثر و حداقل مقدار پارامتر کیفی می‌-

$$\mu_{j5} = \begin{cases} -1 & , 0 \leq x_{ij} \leq S_{j3} \text{ or } x_{ij} \geq S_{j5} \\ 1 + \frac{2(x_{ij} - S_{j4})}{S_{j4} - S_{j3}} & , S_{j3} < x_{ij} < S_{j4} \\ 1 & , S_{j4} < x_{ij} < S_{j5} \end{cases} \quad (17)$$

$$\mu_{j6} = \begin{cases} -1 & , 0 \leq x_{ij} \leq S_{j4} \\ 1 + \frac{2(x_{ij} - S_{j5})}{S_{j5} - S_{j4}} & , S_{j4} < x_{ij} < S_{j5} \\ -1 & , x_{ij} \geq S_{j5} \end{cases} \quad (18)$$

مرحله دوم) محاسبه متوسط وزنی درجه ارتباط تعیین شده: در این مرحله بر مبنای درجه ارتباط هر یک از پارامترهای کیفی واقع در هر نمونه و با استفاده از وزن آنتروپی هر یک از پارامترهای کیفی، متوسط وزنی درجه ارتباط برای هر نمونه به صورت رابطه ۱۹ تعیین می‌گردد:

$$\bar{\mu}_{ir} = \sum_{j=1}^n w_j \times \mu_{jr} \quad , i=1,2,\dots,m, r=1,2,3,4,5 \quad (19)$$

در این رابطه، w_j و μ_{jr} به ترتیب وزن آنتروپی پارامتر کیفی j ام و درجه ارتباط بین پارامتر کیفی j ام و درجه کیفیت r ام می‌باشد.

مرحله سوم) تعیین رتبه کیفی نمونه برداشت شده: با توجه به این که هر چه درجه ارتباط بین پارامتر کیفی و درجه کیفیت مشخص شده بیش تر باشد، بیان گر شباهت بیش تر نمونه کیفی با آن درجه کیفی است، لذا در این مرحله حداکثر مقدار درجه ارتباط هر یک از نمونه‌ها به صورت رابطه ۲۰ مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

$$R_i = \max(\bar{\mu}_{i1}, \bar{\mu}_{i2}, \bar{\mu}_{i3}, \bar{\mu}_{i4}, \bar{\mu}_{i5}, \bar{\mu}_{i6}) \quad , i=1,2,\dots,m \quad (20)$$

مطالعه موردی

مشخصات آبخوان دشت سرایان

آبخوان دشت سرایان با وسعت ۲۶۱۵ کیلومترمربع یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبریز کویر لوت می‌باشد. در محدوده مطالعاتی سرایان یک سفره آزاد در رسوبات آبرفتی شناخته شده که پراکندگی آن در قسمت‌های شمالی و شمال شرقی با دانه‌بندی درشت و در قسمت‌های جنوبی و غربی ریزدانه می‌باشد و مساحت آن ۷۱۹/۲۵ کیلومترمربع است. در این محدوده میانگین ضخامت لایه‌های آبرفتی آن حدود ۱۶۱/۶۱ متر گزارش شده است. براساس اطلاعات پیژومتری واقع در آبخوان آبرفتی این محدوده، جهت جریان آب زیرزمینی

جهت ارزیابی کیفی سفره‌های زیرزمینی با استفاده از روش SPA که بر مبنای شباهت بین نمونه‌های اندازه‌گیری شده با مقادیر استاندارد کیفی هر پارامتر عمل می‌نماید، لازم است ابتدا مجموعه‌های جفت شده در قالب مقدار غلظت پارامترهای مورد نظر و مقادیر استاندارد متناسب با آن جمع‌آوری گردد. سپس درجه ارتباط بین هر یک از پارامترهای کیفی و مقادیر استاندارد مورد محاسبه قرار می‌گیرد. در نهایت بر مبنای متوسط درجه ارتباط محاسبه شده، رتبه‌بندی کیفی صورت می‌پذیرد. باتوجه به توضیحات ارایه شده، مراحل اجرای این روش عبارتند از:

مرحله اول) محاسبه درجه ارتباط بین هر یک از پارامترهای کیفی و مقادیر استاندارد واقع در هر طبقه کیفی: درجه ارتباط بین پارامتر کیفی j و مقدار استاندارد کیفی واقع در درجات کیفی مشخص شده در جدول ۱ به صورت روابط ۱۳ تا ۱۸ محاسبه می‌شود. در این روابط متغیرهای μ_{j1} تا μ_{j6} به ترتیب درجه ارتباط بین پارامتر کیفی j ام و درجه کیفیت ۱ تا ۶ می‌باشد. همچنین S_{j1} تا S_{j5} مرتبط با بازه کیفی واقع در درجه کیفیت ۱ تا ۶ است. پارامتر x_{ij} نیز مقدار پارامتر کیفی j ام اندازه‌گیری شده در نمونه i ام می‌باشد.

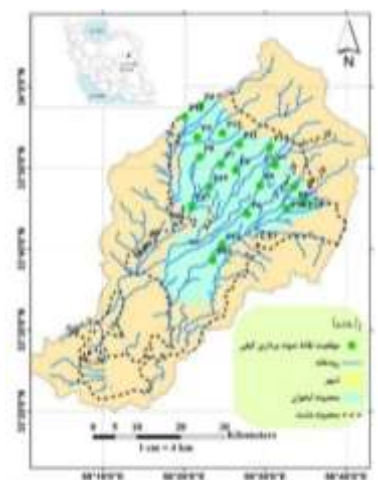
$$\mu_{j1} = \begin{cases} 1 & , 0 \leq x_{ij} \leq S_{j1} \\ 1 + \frac{2(x_{ij} - S_{j1})}{S_{j1} - S_{j2}} & , S_{j1} < x_{ij} < S_{j2} \\ -1 & , x_{ij} \geq S_{j2} \end{cases} \quad (13)$$

$$\mu_{j2} = \begin{cases} 1 + \frac{2(x_{ij} - S_{j1})}{S_{j1}} & , 0 \leq x_{ij} \leq S_{j1} \\ 1 & , S_{j1} < x_{ij} < S_{j2} \\ 1 + \frac{2(x_{ij} - S_{j2})}{S_{j2} - S_{j3}} & , S_{j2} < x_{ij} < S_{j3} \\ -1 & , x_{ij} \geq S_{j3} \end{cases} \quad (14)$$

$$\mu_{j3} = \begin{cases} 1 + \frac{2(x_{ij} - S_{j2})}{S_{j2} - S_{j1}} & , S_{j1} \leq x_{ij} \leq S_{j2} \\ 1 & , S_{j2} < x_{ij} < S_{j3} \\ 1 + \frac{2(x_{ij} - S_{j3})}{S_{j3} - S_{j4}} & , S_{j3} < x_{ij} < S_{j4} \\ -1 & , x_{ij} \geq S_{j4} \text{ or } 0 \leq x_{ij} \leq S_{j1} \end{cases} \quad (15)$$

$$\mu_{j4} = \begin{cases} 1 + \frac{2(x_{ij} - S_{j3})}{S_{j3} - S_{j2}} & , S_{j2} \leq x_{ij} \leq S_{j3} \\ 1 & , S_{j3} < x_{ij} < S_{j4} \\ 1 + \frac{2(x_{ij} - S_{j4})}{S_{j4} - S_{j5}} & , S_{j4} < x_{ij} < S_{j5} \\ -1 & , x_{ij} \geq S_{j5} \text{ or } 0 \leq x_{ij} \leq S_{j2} \end{cases} \quad (16)$$

بررسی کیفیت آب زیرزمینی در این دوره ناچیز می‌باشد. همچنین در فصل خشک، با توجه به مقادیر بالای آنتروپی وزنی پارامترهای Ca و TDS، می‌توان به نقش بالای این دو پارامتر در تغییر کیفیت آبخوان پی برد. در این فصل سایر پارامترها بجز منیزیم دارای اثر یکسانی بر روی کیفیت آب زیرزمینی می‌باشند. بر مبنای پارامترهای ارائه شده در جدول ۴ و رابطه ۱۲، مقدار مشترک نمونه‌های کیفی برای هر موقعیت نمونه‌برداری شده در دودوره تر و خشک جهت مشخص نمودن درجه کیفیت آن در قالب جدول ۵ تعیین گردید.



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری کیفی دشت سرایان

Figure 1. Location of quality sampling in Sarayan plain

از شرق، شمال‌غرب و جنوب‌غرب به سمت مرکز و از مرکز به سمت غرب می‌باشد.

شبکه سنجش کیفی آبخوان

جهت بررسی وضعیت کیفی آبخوان سرایان، از اطلاعات ۸ پارامتر کیفی نمونه‌برداری شده از ۲۱ نقطه در سال ۱۳۹۲ استفاده گردید (شکل ۱). از آن‌جا که شرایط کمی آبخوان در دوره‌های تر و خشک متفاوت می‌باشد لذا داده‌های جمع‌آوری شده به دو دسته داده‌های تر (ماه اردیبهشت) و خشک (ماه آبان) تقسیم گردید (جدول ۲ و ۳).

یافته‌ها

جهت دستیابی به درجه کیفیت هر یک از نمونه‌های کیفی، مراحل دو روش ارزیابی کیفی پیشنهادی در محیط MATLAB مورد کدنویسی قرار گرفت. با توجه به ۸ پارامتر کیفی که از ۱۹ نمونه کیفی پایش شده در دو دوره تر و خشک بدست آمده است، مقدار آنتروپی انتقال اطلاعات و آنتروپی وزنی هر پارامتر کیفی به صورت جدول ۴ تعیین گردید. بر اساس این جدول می‌توان دریافت که پارامترهای Na، Mg، TDS و SO₄ نقش مهمی را در کیفیت آب زیرزمینی در دوره تر ایفا می‌نمایند. همچنین پارامترهای Cl، HCO₃ و TH اثر یکسانی بر روی کیفیت آبخوان داشته و نقش پارامتر کلیسم در

جدول ۲- نمونه‌های کیفی برداشت شده در فصل تر (میلی‌گرم در لیتر)

Table 2. Measured quality samples in wet season (Mg/L)

شماره نمونه	Utmx	Utmy	Hco3	So4	Cl	Th	Tds	Na	Mg	Ca
P1	۶۴۰۶۵۹	۳۷۴۵۳۷۰	۳۹۶/۵	۲۵۴/۴	۲۱۳	۳۰۵	۱۱۳۵	۲۶۹/۱	۱۹/۲	۹۰
P2	۶۴۴۴۰۲	۳۷۴۰۵۱۲	۳۳۵/۵	۲۴۴/۸	۱۱۸۹/۲۵	۸۱۰	۲۸۳۲	۶۴۴	۱۲۰	۱۲۴
P3	۶۲۶۲۸۰	۳۷۵۸۷۲۶	۲۷۴/۵	۵۲/۸	۱۷۳/۹۵	۲۵۰	۶۵۰	۱۲۶/۵	۲۸/۸	۵۲
P4	۶۳۳۲۰۳	۳۷۴۴۰۸۴	۴۲۷	۹۱/۲	۲۶۹/۸	۲۴۵	۱۰۵۲	۲۶۶/۸	۳۴/۸	۴۰
P5	۶۲۵۸۰۴	۳۷۵۱۴۸۲	۲۱۳/۵	۹۱/۲	۲۳۴/۳	۲۱۵	۷۶۰	۱۷۷/۱	۳۳/۶	۳۰
P6	۶۳۵۵۷	۳۷۳۴۱۵۶	۳۳۵/۵	۴۱۲/۸	۹۱۵/۹	۷۷۵	۲۵۵۰	۵۵۸/۹	۱۱۴	۱۲۰
P7	۶۳۰۳۷۶	۳۷۴۵۴۳۶	۴۱۴/۸	۲۷۸/۴	۷۲۰/۶۵	۲۶۵	۲۱۰۰	۴۹۴/۵	۸۱/۶	۹۰
P8	۶۲۶۳۳۷	۳۷۴۷۰۱۱	۴۱۴/۸	۱۴/۴	۲۳۰/۷۵	۲۲۵	۸۶۴/۵	۲۰۹/۳	۱۸	۶۰
P9	۶۳۷۹۰۱	۳۷۴۰۶۸۴	۴۱۴/۸	۴۳۶/۸	۷۹۵/۲	۸۳۰	۲۴۵۰	۴۹۶/۸	۹۸/۴	۱۶۸
P10	۶۲۹۱۴۰	۳۷۲۳۵۲۵	۴۹۴/۱	۲۹۷/۶	۴۲۷۷/۷۵	۳۰۰۵	۸۶۶۵	۱۷۲۵	۴۰۹/۲	۵۲۰
P11	۶۳۳۷۹۴	۳۷۵۰۰۱۴	۳۱۷/۲	۱۱۰/۴	۲۰۲/۳۵	۲۲۵	۸۴۰	۲۰۰/۱	۹/۶	۷۴
P12	۶۲۳۳۲۲	۳۷۵۶۱۳۸	۴۲۰/۹	۶۷/۲	۲۵۵/۶	۴۱۵	۹۹۰	۱۶۳/۳	۶۰	۶۶
P13	۶۳۹۵۸۹	۳۷۴۹۴۴۸	۴۱۴/۸	۲۵۹/۲	۴۱۵/۳۵	۴۶۵	۱۵۲۵	۳۳۳/۵	۶۸/۴	۷۲
P14	۶۳۰۷۸۸	۳۷۲۶۸۹۸	۳۰۵	۲۶۴	۵۰۸۳/۶	۳۶۷۵	۹۸۶۱	۱۸۴۰	۴۲۶	۷۶۰

۱۱۰	۶۰	۳۲۸/۹	۱۵۸۳/۵	۵۲۵	۴۶۱/۵	۴۴۶/۴	۱۵۲/۵	۳۷۵۲۴۷۴	۶۳۰۵۹۲	P15
۱۲۰	۹۶	۷۶۵/۹	۳۰۲۰	۷۰۰	۱۱۰۰/۵	۱۵۸/۴	۷۹۳	۳۷۳۶۹۸۳	۶۴۶۱۸۴	P16
۳۶۰	۳۴۸	۱۸۴۰	۸۱۸۳	۲۳۵۰	۳۵۳۲/۲۵	۶۱۹/۲	۹۱۵	۳۷۳۵۷۶۵	۶۲۴۹۲۶	P17
۱۰۰	۴۶/۸	۶۷۱/۶	۲۴۴۰	۴۴۵	۹۰/۱۷	۱۹۲	۵۳۰/۷	۳۷۳۶۷۱۷	۶۴۶۲۷۵	P18
۱۶۲	۳۸/۴	۵۰۶	۲۱۳۰	۵۶۵	۷۸۱	۲۰/۱۶	۴۳۳/۱	۳۷۴۰۱۴۹	۶۲۸۱۵۴	P19

جدول ۳- نمونه‌های کیفی برداشت شده در فصل خشک (میلی‌گرم در لیتر)

Table 3. Measured quality samples in dry season (Mg/L)

Ca	Mg	Na	Tds	Th	Cl	So4	Hco3	Utmy	Utmx	شماره نمونه
۴۰	۱۰۸	۳۳۵/۸	۱۶۳۵	۵۵۰	۷۴۱/۹۵	۸۱/۶	۱۸۳	۳۷۵۲۴۷۴	۶۳۰۵۹۲	P15
۱۲۰	۱۰۳/۲	۷۰۶/۱	۲۸۹۰	۷۳۰	۱۲۴۲/۵	۲۳۵/۲	۳۳۵/۵	۳۷۴۰۵۱۲	۶۴۴۴۰۲	P2
۳۲	۲۱/۶	۱۸۱/۷	۷۲۰	۱۷۰	۱۴۲	۱۹/۲	۴۱۴/۸	۳۷۵۸۷۲۶	۶۲۶۲۸۰	P3
۴۶	۴۶/۸	۳۰۸/۲	۱۲۵۰	۳۱۰	۴۷۲/۱۵	۷۶/۸	۲۷۴/۵	۳۷۴۴۰۸۴	۶۳۳۲۰۳	P4
۵۲	۳۶	۲۳۴/۶	۱۰۱۵	۲۸۰	۲۳۴/۳	۱۳۴/۴	۳۹۰/۴	۳۷۵۱۴۸۲	۶۲۵۸۰۴	P5
۱۱۶	۱۲۷/۲	۶۳۲/۵	۲۸۱۵	۸۲۰	۹۷۹/۸	۵۲۸	۳۲۹/۴	۳۷۳۴۱۵۶	۶۳۵۵۷	P6
۳۸	۹۶	۵۲۴/۴	۲۰۹۰	۴۹۵	۸۸۷/۵	۵۷/۶	۳۹۰/۴	۳۷۴۵۴۳۶	۶۳۰۳۷۶	P7
۴۶	۱۶/۸	۲۴۸/۴	۹۲۵	۱۸۵	۲۰۵/۹	۹۱/۲	۴۰۸/۷	۳۷۴۷۰۱۱	۶۲۶۳۳۷	P8
۱۰۰	۱۵۶	۵۰۸/۳	۲۵۶۵	۹۰۰	۸۶۶/۲	۴۸۰	۳۴۷/۴	۳۷۴۰۶۸۴	۶۳۷۹۰۱	P9
۴۶۴	۴۲۲/۴	۱۸۲۸/۵	۸۹۲۰	۲۹۲۰	۳۷۶۳	۸۷۳/۶	۹۲۷/۲	۳۷۲۳۵۲۵	۶۲۹۱۴۰	P10
۴۲	۲۴	۲۲۵/۴	۸۸۵	۲۰۵	۲۷۶/۹	۱۰۰/۸	۲۳۱/۸	۳۷۵۰۰۱۴	۶۳۳۷۹۴	P11
۷۸	۴۶/۸	۲۴۶/۱	۱۱۷۵	۳۹۰	۴۳۳/۱	۹۵	۲۵۶/۲	۳۷۵۶۱۳۸	۶۲۳۳۲۲	P12
۷۰	۶۶	۳۸۴/۱	۱۶۴۰	۴۵۰	۴۴۳/۷۵	۲۳۰/۴	۵۰۶/۳	۳۷۴۹۴۴۸	۶۳۹۵۸۹	P13
۴۸۸	۲۷۱/۲	۲۳۳۴/۵	۹۶۰۰	۲۳۵۰	۴۴۱۹/۷۵	۷۶۸	۵۷۹/۵	۳۷۲۶۸۹۸	۶۳۰۷۸۸	P14
۳۶۴	۸۱/۶	۱۰۷۱/۸	۴۵۸۵	۱۲۵۰	۱۹۸۸	۱۴۴	۷۷۴/۷	۳۷۳۵۴۵۸	۶۴۳۰۴۱	P20
۱۲۰	۱۱۵/۲	۷۱۹/۹	۳۰۰۰	۷۸۰	۱۰۴۷/۲۵	۲۶۴	۷۳۲	۳۷۳۶۹۸۳	۶۴۶۱۸۴	P16
۵۲۸	۱۹۸	۱۸۹۲/۹	۸۰۹۵	۲۱۴۵	۳۲۶۶	۱۱۹۵/۲	۵۸۵/۶	۳۷۳۵۷۶۵	۶۲۴۹۲۶	P17
۵۲	۶۷/۲	۶۸۵/۴	۲۴۳۰	۴۱۰	۷۱۰	۶۱۴/۴	۳۱۷/۲	۳۷۴۰۱۴۹	۶۲۸۱۵۴	P19
۱۱۴	۵۲/۸	۶۹۰	۲۵۶۱	۵۰۵	۸۵۲	۴۶۵/۶	۳۸۴/۳	۳۷۳۶۷۱۷	۶۴۶۳۶۰	P21

جدول ۴- پارامترهای محاسبه شده در روش EWOV

Table 4. Calculated parameters in EWOV method

HCO ₃	SO ₄	Cl	TH	TDS	Na	Mg	Ca	دوره	پارامتر کیفی
۰/۹۶۸۴	۰/۹۶۳۴	۰/۹۶۵۴	۰/۹۶۸	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۵۵۴	۰/۹۷۴۴	تر	e_j
۰/۱۰۵۱	۰/۱۲۱۹	۰/۱۱۵۱	۰/۱۰۶۴	۰/۱۳۲۹	۰/۱۸۵۱	۰/۱۴۸۳	۰/۱۰۸۵۳		w_j
۰/۹۶۲۶	۰/۹۶۶۱	۰/۹۶۳	۰/۹۶۵۳	۰/۹۵۵۸	۰/۹۶۳۷	۰/۹۷۴۴	۰/۹۵۰۶	خشک	e_j
۰/۱۲۵۲	۰/۱۱۳۷	۰/۱۲۴	۰/۱۱۶۱	۰/۱۴۸۱	۰/۱۲۱۷	۰/۱۰۸۵۶	۰/۱۶۵۶		w_j

جدول ۵- مقدار مشترک نمونه‌های کیفی در روش EWOV (در دوره‌های تر و خشک)

Table 6- The quality samples osculating value in EWOV method (dry and wet season)

دوره خشک		شماره نمونه	دوره تر		شماره نمونه
درجه کیفیت	E_i		درجه کیفیت	E_i	
خوب	۰/۰۰۳۵	P۱۱	خوب	۰	P۳
	۰/۳۱۹۶	حد خوب	خوب	۰/۱۷	P۵
قابل قبول	۰/۳۳۰۶	P۳	خوب	۰/۶۷	P۱۱
قابل قبول	۰/۵۷۳۹	P۸		۰/۸۳۴۵	حد خوب
قابل قبول	۰/۷۰۴۲	P۵	قابل قبول	۰/۹۲	P۸
قابل قبول	۰/۷۵۹۶	P۱۲	قابل قبول	۱/۳۹	P۱۲
قابل قبول	۰/۸۲۰۵	P۴	قابل قبول	۱/۴۶	P۴
قابل قبول	۲/۰۲۶۶	P۱۵	قابل قبول	۲/۲۳	P۱
قابل قبول	۲/۳۰۸۸	P۱۳	قابل قبول	۳/۰۹	P۱۳
	۲/۵۱۴۲	حد قابل قبول		۳/۴۹۵۶	حد قابل قبول
متوسط	۲/۹۵۲۹	P۷	متوسط	۴/۱	P۱۵
متوسط	۴/۴۶۷۸	P۲۱	متوسط	۴/۳۹	P۱۹
متوسط	۴/۶۷۳۸	P۱۹	متوسط	۴/۵۶	P۷
متوسط	۴/۸۴۹۶	P۹	متوسط	۵/۶	P۱۸
متوسط	۴/۸۶۹	P۲	متوسط	۶/۱۳	P۹
متوسط	۵/۲۶۵۸	P۶	متوسط	۶/۲۸	P۶
متوسط	۵/۵۵۹	P۱۶	متوسط	۶/۵۷	P۲
	۷/۳۸۷۵	حد متوسط	متوسط	۷/۶۶	P۱۶
حد نامناسب	۹/۵۷۰۱	P۲۰		۹/۴۶۹۵	حد متوسط
	۱۷/۰۴۰۵	حد نامناسب		۲۱/۳۸۷۲	حد نامناسب
کاملاً نامطبوع	۱۸/۴۷۰۷	P۱۷	کاملاً نامطبوع	۲۳/۶۷	P۱۷
کاملاً نامطبوع	۲۰/۵۰۲۸	P۱۰	کاملاً نامطبوع	۲۵/۱	P۱۰
کاملاً نامطبوع	۲۱/۲۶۴۰	P۱۴	کاملاً نامطبوع	۲۸/۹۸	P۱۴
	۴۴/۷۹۸۱	حد کاملاً نامطبوع		۴۴/۷۹۸۱	حد کاملاً نامطبوع
	بیش از ۴۴/۷۹۸۱	حد غیرقابل شرب		بیش از ۴۴/۷۹۸۱	حد غیرقابل شرب

براساس این جدول در هر دو دوره، نمونه‌های کیفی از نظر درجه کیفیت در ۵ کلاس قرار داشته و هیچ‌یک از نمونه‌ها در حد غیرقابل شرب نمی‌باشند. همچنین بر مبنای جدول ۵ می‌توان نمونه‌هایی که در یک کلاس قرار دارند را نیز مورد مقایسه قرار داد. به عنوان مثال در کلاس اول دوره تر که سه نمونه کیفی P۳، P۵ و P۱۱ قرار دارند، از آن‌جا که مقدار مشترک این نمونه‌ها دارای مقادیر متفاوتی می‌باشند لذا نمونه P۳ بهتر از P۵ و نمونه کیفی P۵ بهتر از P۱۱ می‌باشد. این

براساس این جدول در هر دو دوره، نمونه‌های کیفی از نظر درجه کیفیت در ۵ کلاس قرار داشته و هیچ‌یک از نمونه‌ها در حد غیرقابل شرب نمی‌باشند. همچنین بر مبنای جدول ۵ می‌توان نمونه‌هایی که در یک کلاس قرار دارند را نیز مورد مقایسه قرار داد. به عنوان مثال در کلاس اول دوره تر که سه نمونه کیفی P۳، P۵ و P۱۱ قرار دارند، از آن‌جا که مقدار مشترک این نمونه‌ها دارای مقادیر متفاوتی می‌باشند لذا نمونه P۳ بهتر از P۵ و نمونه کیفی P۵ بهتر از P۱۱ می‌باشد. این

حاکمی از دقت پایین روش EWOV در ارزیابی کیفی نمونه‌ها دارد. همچنین در روش EWOV عمدتاً درجه کیفیت ارایه شده برای هر نمونه مبتنی بر وزن آنژیومی پارامترهای کیفی آن نمونه می‌باشد. بدین صورت که اگر پارامترهای دارای وزن بیش‌تری در یک درجه کیفیت مشخص قرار گیرد، اثر سایر پارامترها نادیده گرفته شده و درجه کیفیت نمونه، معادل با درجه کیفیت پارامترهای با وزن بیش‌تر معرفی می‌شود (مانند نمونه P10 در دوره تر). در صورتی که در روش SPA بر اساس میزان شباهت هر یک از پارامترهای کیفی واقع در یک نمونه با درجه کیفیت کلاس‌های مشخص شده، عمل می‌نماید و شبیه-ترین درجه کیفیت را به نمونه اختصاص می‌دهد. بررسی رده کیفی نمونه‌ها با توجه به موقعیت مکانی آن‌ها در سطح دشت نشان می‌دهد که نتایج روش SPA با شرایط طبیعی حاکم بر آبخوان از هماهنگی بیش‌تری برخوردار است. مصداق این امر را می‌توان در نمونه‌های شماره P15 و P11 مشاهده نمود که به دلیل قرارگیری در ابتدای دشت از رده کیفی قابل قبولی برخوردار بوده و در یک درجه کیفیت قرار دارند. در صورتی که در روش EWOV (در دوره تر)، نمونه P11 را در رده کیفی خوب و P15 را در رده کیفی متوسط قرار داده که با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی این نحوه رده‌بندی صحیح نمی‌باشد. این موضوع در خصوص رده‌های کیفی ارایه شده توسط روش EWOV در دوره خشک نیز تکرار شده است. بررسی کمی نحوه قرارگیری هر یک از نمونه‌های کیفی برداشت شده در کلاس‌های کیفی تعریف شده نشان می‌دهد که در روش SPA، ۱۱ درصد نمونه‌ها در کلاس غیرقابل شرب قرار گرفته‌اند. در صورتی که در رده‌بندی کیفی بر مبنای روش EWOV، هیچ نمونه‌ای در این کلاس واقع نشده‌اند. این امر بیان‌گر حساسیت کیفی مناسب روش SPA نسبت به روش EWOV می‌باشد. بر مبنای نتایج رده‌بندی کیفی با استفاده از روش SPA می‌توان دریافت که ۴۲ و ۷۴ درصد نمونه‌ها به ترتیب در فصول تر و خشک در رده کیفی قابل قبول و قابل قبول تا متوسط جهت مصرف شرب قرار دارند. به عبارت دیگر با کاهش جریانات زیرزمینی ورودی به آبخوان و همچنین افزایش میزان مصرف در

روند برای سایر کلاس‌های دو دوره صادق است. جهت ارزیابی کیفی نمونه‌ها با روش SPA، لازم است ابتدا درجه ارتباط بین هر یک از پارامترهای کیفی و مقادیر استاندارد واقع در هر طبقه کیفی تعیین گردد. با توجه به دیاگرام شولر و حدود مرتبط با هر درجه کیفیت برای هر پارامتر، لازم است تابع عضویت ۸ پارامتر کیفی مشخص گردد. سپس باتوجه به درجه ارتباط کیفی و وزن‌های آنژیومی هر یک از پارامترها (جدول ۴)، به عنوان نمونه، متوسط وزنی درجه ارتباط هر نمونه برداشت شده در دوره تر به صورت جدول ۷ تعیین می‌گردد. به عنوان مثال، درجه ارتباط کیفی محاسبه شده مرتبط با نمونه P1 در دوره تر در قالب جدول ۶ ارایه می‌گردد. جهت تعیین درجه کیفی هر نمونه، براساس حداکثر مقدار درجه ارتباط هر یک از نمونه‌ها عمل می‌گردد. به عنوان نمونه، مطابق جدول ۷ حداکثر مقدار متوسط وزنی درجه ارتباط مرتبط با ۶ کلاس کیفی در نمونه P9 برابر با ۰/۷۲ می‌باشد. لذا از آن‌جا که این عدد در کلاس کیفی متوسط قرار دارد، درجه کیفی این نمونه متوسط می‌باشد. به همین ترتیب درجه کیفی کلیه نمونه‌ها در دو دوره مشخص می‌گردد. جهت مقایسه نتایج ارزیابی کیفی دو رویکرد پیشنهادی، درجه کیفیت داده‌های کیفی پایش شده مطابق دیاگرام شولر برای دو دوره تر و خشک به صورت جداول ۸ و ۹ تعیین گردید. مقایسه دسته‌بندی کیفی صورت گرفته در دوره تر توسط دو روش پیشنهادی (جدول ۸) نشان می‌دهد که با استفاده از روش EWOV، ۴۲ درصد نمونه در رده متوسط قرار گرفته‌اند. در صورتی که با اعمال عدم قطعیت در رده‌های کیفی بر اساس روش SPA، این میزان درصد از نمونه‌های پایش شده دارای رده کیفی قابل قبول می‌باشند. بررسی مقادیر پارامترهای کیفی برداشت شده در این دوره با رده‌های کیفی دیاگرام شولر نشان می‌دهد که روش SPA در ارایه رده کیفی از تطابق بیش‌تری برخوردار می‌باشد. به عنوان نمونه، در روش EWOV نمونه‌های P5 و P11 در رده کیفی خوب قرار گرفته‌اند در صورتی که ۵۰ درصد پارامترهای مرتبط با این نمونه‌ها (مانند Na، TDS، Cl و HCO₃) مقادیر حدی رده کیفی خوب را رعایت نمی‌کنند و از آن تخطی دارند. این مسأله

با شرایط واقعی حاکم بر آبخوان برخوردار است. لذا این روش را می‌توان برای ارزیابی صحیح کیفی هر تعداد نمونه پایش شده که حاوی پارامترهای کیفی مختلفی باشد، مورد استفاده قرار داد و بر پایه آن مناطق بحرانی از نظر کیفیت را تعیین نمود.

فصل خشک، افت تراز سطح آب زیرزمینی شدت گرفته و در نتیجه کیفیت آب تخریب می‌گردد. از آنجا که روش SPA، عدم قطعیت‌های موجود در بازه‌های کیفی دیاگرام شولر را در ارایه رده کیفی نمونه‌ها لحاظ می‌نماید، لذا نتایج ارزیابی این روش منطقی بوده و از اطمینان‌پذیری بیشتری از نظر انطباق

جدول ۶- درجه ارتباط کیفی مرتبط با نمونه P1 در دوره تر

Table 6. The quality connection degree related to P1 sample in wet season

HCO _۳	SO _۴	Cl	TH	TDS	Na	Mg	Ca	پارامتر کیفی درجه کیفیت
-۱	-۰/۶۲۰۷	۰/۵۶۵۷	۰/۵۶	-۱	-۱	۱	۱	خوب
۰/۹۲۱۴	۱	۱	۱	۰/۷۳	۰/۶۶	-۰/۳۶	۰/۸	قابل قبول
۱	۰/۶۲۰۷	-۰/۵۶۵۷	-۰/۵۶	۱	۱	-۱	-۱	متوسط
-۰/۹۲۱۴	-۱	-۱	-۱	-۰/۷۳	-۰/۶۶	-۱	-۱	نامناسب
-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	کاملاً نامطبوع
-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	غیر قابل شرب

جدول ۷- متوسط وزنی درجه ارتباط نمونه‌های کیفی برداشت شده در دوره تر

Table 7. The connection degree weighted average of measured quality samples in wet season

درجه کیفیت	خوب	قابل قبول	متوسط	نامناسب	کاملاً نامطبوع	غیر قابل شرب	شماره نمونه
قابل قبول	-۰/۱۴	۰/۶۷	۰/۱۴	-۰/۸۹	-۱	-۱	P1
متوسط	-۰/۷۵	۰/۰۰۲	۰/۳۴	-۰/۰۰۲	-۰/۵۸	-۱	P2
خوب	۰/۸	۰/۶۱	-۰/۸	-۱	-۱	-۱	P3
قابل قبول	۰/۰۳	۰/۵۸	-۰/۰۳	-۰/۹	-۱	-۱	P4
قابل قبول	۰/۵۷	۰/۶۳	-۰/۵۷	-۱	-۱	-۱	P5
متوسط	-۰/۷۸	-۰/۰۹	۰/۵۶	۰/۰۹	-۰/۷۸	-۱	P6
متوسط	-۰/۶۴	۰/۰۷	۰/۵۹	-۰/۰۹	-۰/۹۵	-۱	P7
قابل قبول	۰/۲۲	۰/۴۷	-۰/۲۲	-۰/۹۸	-۱	-۱	P8
متوسط	-۰/۸۴	-۰/۱۵	۰/۷۲	۰/۱۵	-۰/۸۸	-۱	P9
غیر قابل شرب	-۱	-۰/۶۲	-۰/۳۲	-۰/۳۱	-۰/۱۷	-۰/۰۷	P10
قابل قبول	۰/۳۷	۰/۶۳	-۰/۳۷	-۱	-۱	-۱	P11
قابل قبول	۰/۱۳	۰/۷۹	-۰/۱۳	-۰/۹۸	-۱	-۱	P12
قابل قبول	-۰/۵۱	۰/۵۹	۰/۵۱	-۰/۶۳	-۱	-۱	P13
غیر قابل شرب	-۰/۸۸	-۰/۵۵	-۰/۵۶	-۰/۵	-۰/۰۵	۰/۰۴	P14
قابل قبول	-۰/۳۴	۰/۴۲	۰/۳۴	-۰/۴۷	-۱	-۱	P15

نامناسب	-۰/۵۳	-۰/۱۶	۰/۰۱	۰/۱۶	-۰/۴۹	-۱	P۱۶
نامناسب	-۱	-۰/۹۷	-۰/۲۵	۰/۰۶	-۰/۱۸	-۰/۱	P۱۷
متوسط	-۰/۳۳	-۰/۰۱	۰/۰۳	-۰/۰۶	-۰/۷	-۱	P۱۸
متوسط	-۰/۵	-۰/۰۳	۰/۴۲	-۰/۰۸	-۰/۹۲	-۱	P۱۹

جدول ۸- دسته‌بندی نقاط نمونه‌برداری شده کیفی بر مبنای دو روش EWOV و SPA در فصل تر

Table 8. Quality sampling point classification using EWOV and SPA method in wet season

روش SPA	روش EWOV	شماره نمونه کیفی / درجه کیفیت
P۳	P۱۱ و P۵, P۳	خوب
P۱۵ و P۱۳, P۱۲, P۱۱, P۸, P۵, P۴, P۱	P۱۳ و P۱۲, P۸, P۴, P۱	قابل قبول
P۱۹ و P۱۸, P۹, P۷, P۶, P۲	P۱۹ و P۱۸, P۱۶, P۱۵, P۹, P۷, P۶, P۲	متوسط
P۱۷ و P۱۶	-	نامناسب
-	P۱۷ و P۱۴, P۱۰	کاملاً نامطبوع
P۱۴ و P۱۰	-	غیرقابل شرب

جدول ۹- دسته‌بندی نقاط نمونه‌برداری کیفی بر مبنای دو روش EWOV و SPA در فصل خشک

Table 9. Quality sampling point classification using EWOV and SPA method in dry season

روش SPA	روش EWOV	شماره نمونه کیفی / درجه کیفیت
P۳	P۱۱	خوب
P۱۳ و P۱۲, P۱۱, P۸, P۵, P۴, P۲	P۱۵ و P۱۳, P۱۲, P۸, P۵, P۴, P۳	قابل قبول
P۲۱ و P۱۹, P۱۶, P۱۵, P۹, P۷, P۶	P۲۱ و P۱۹, P۱۶, P۹, P۷, P۶, P۲	متوسط
P۲۰ و P۱۷, P۱۴, P۱۰	P۲۰	نامناسب
-	P۱۷ و P۱۴, P۱۰	کاملاً نامطبوع
-	-	غیرقابل شرب

جمع‌بندی

روش SPA از دقت بالاتری نسبت به روش EWOV در ارزیابی درجه کیفی نمونه‌ها به دلیل انطباق با شرایط واقعی حاکم بر سفره‌زیرزمینی و تطابق رده کیفی با بازه تعریف شده برای آن دارا می‌باشد. همچنین روش EWOV، درجه کیفیت نمونه‌هایی که در موقعیت‌های مکانی تقریباً یکسان در آبخوان واقع شده‌اند را به صورت متفاوت و در کلاس‌های کیفی مختلف ارزیابی می‌نماید که این امر از میزان اعتبار این روش می‌کاهد و منجر به ارزیابی مناسب کیفی از آبخوان نخواهد شد. نتایج ارزیابی

در این تحقیق دو رویکرد قطعی و غیرقطعی با استفاده از مفاهیم فازی و تئوری آنتروپی جهت ارزیابی جامع کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب مورد بررسی قرار گرفت. بر مبنای تئوری حاکم بر این روش و محدوده‌های کیفی تعیین شده برای پارامترهای واقع در دیاگرام شولر، درجه کیفیت نمونه‌های برداشت از سطح آبخوان دشت سرایان به‌شش رده کیفی در دو دوره تر و خشک تقسیم گردید. نتایج بدست آمده از دسته‌بندی‌های کیفی صورت گرفته توسط دو روش نشان می‌دهد که

7. Voutsis, N., Kelepertzis, E., Tziritis, E., Kelepertzis, A., 2015. Assessing the hydrogeochemistry of groundwaters in ophiolite areas of Euboea Island, Greece, using multivariate statistical methods, *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 159, pp. 79–92
8. Das, P.P., Sahoo, H.K., Mohapatra, P.P., 2016. An integrative geospatial and hydrogeochemical analysis for the assessment of groundwater quality in Mahakalapara Block, Odisha, India, *Environ Earth Science*, Vol. 75, 158 (DOI 10.1007/s12665-015-5012-4)
9. Alamgir, A., Ali Khan, M., Schilling, J., Shahid Shaukat, S., Shahab, S., 2015. Assessment of groundwater quality in the coastal area of Sindh province, Pakistan, *Environ Monit Assess*, Vol. 188, 78, DOI 10.1007/s10661-015-5061-x
10. Vulpasua, E., Racoviteanu, G., 2016. Evaluation of the Groundwater Quality in Constanta County, Seaside Area, *Energy Procedia*, Vol. 85, pp. 612 – 619
11. Wu J.H., Li P.Y. and Lu H.J., 2010. Application of osculating value method based on entropy weight in water quality assessment of Dongsheng coalfield investigation area in Inner Mongolia, *Environmental Science and Management*, Vol. 35, pp. 178181
12. Hanjing, Z., Hao, W., Yufei, C., 2013. Application of Osculating Value Method Based on Entropy Weight in the Groundwater Quality Evaluation, *International Journal of Environmental Engineering Research*, Vol. 2, pp. 45-49
13. Wang, W.S., Jin, J.L., Ding, J., Li, Y.Q., 2009. A new approach to water resources system assessment — set pair analysis method, *Science in China Series E: Technological Sci.*, Vol. 52, pp. 3017-3023

کیفی آبخوان سرایان نشان می‌دهد که بخش‌های شمال غربی، شمال و میانه دشت از کیفیت خوب و قابل قبولی جهت مصرف شرب برخوردار می‌باشند که این امر در فصول تر و خشک تا حدودی متغییر است. بر مبنای رویکرد ارزیابی شده در این مطالعه، روش SPA با توجه به دقت مناسب و لحاظ نمودن عدم دقت بازه‌های کیفی مورد بررسی می‌تواند در شناخت رفتار کیفی آبخوان‌ها بسیار مفید و کارا باشد.

Reference

1. Sadat-Noori, S.M., Ebrahimi, K., Liaghat, A.M., 2014. Groundwater quality assessment using the Water Quality Index and GIS in Saveh-Nobaran aquifer, Iran. *Environ Earth Science*, Vol. 71, pp. 3827–3843
2. Scottish Development Department, 1975. Towards cleaner water. Edinburgh: HMSO, Report of a River Pollution Survey of Scotland.
3. Gharibi, H., Mahvi, A.H., Nabizadeh, R., Arabalibeik, H., Yunesian, M., Sowlat, M.H., 2012. A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic, *Journal of Environmental Management*, Vol. 112, pp. 87-95
4. Mohammad Salah, E.A., Turki, A.M., Al-Othman, E.M., 2012. Assessment of Water Quality of Euphrates River Using Cluster Analysis, *Journal of Environmental Protection*, Vol. 3, pp. 1629-1633
5. Saberi, Nasr, A., Rezaei, M., Dashti Barmaki, M., (2013). Groundwater contamination analysis using Fuzzy Water Quality index (FWQI): Yazd province, Iran, *J Geope*, Vol. 3, pp. 47-55
6. Li, P., Wu, J., Qian, H., Lyu, X., Liu, H., 2014. Origin and assessment of groundwater pollution and associated health risk: a case study in an industrial park, northwest China" *Environ Geochem Health*, Vol. 36, pp. 693-712