

تحلیل آلودگی آب زیرزمینی با استفاده از رویکرد رتبه‌بندی شبیه به حل ایده‌آل فازی

(مطالعه موردی: دشت زنجان)

محمود محمد رضاپور طبری^{*۱}

mrtabari@umz.ac.ir

پویا صالحی دوپلاتی^۲

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۴/۲۰

چکیده

زمینه و هدف: ارزیابی کیفیت آب در دسترس به خصوص جهت تأمین نیازهای شرب از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. لذا تهیه و تدوین رویکردی که بتواند با دقت بالاتر و با در نظر گرفتن عدم دقت‌های ناشی از خطاهای ابزاری و اندازه‌گیری، ارزیابی مناسب‌تری را ارائه دهد مهم و قابل توجه است. هدف از این مطالعه ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان بر پایه روش شبیه به حل ایده‌آل فازی است. **روش بررسی:** جهت دستیابی به این هدف، از اطلاعات ۵۷ و ۵۹ نمونه از آبخوان به ترتیب در دو فصل خشک و تر که در هر نمونه ۲۸ پارامتر کیفی مورد آنالیز قرار گرفته است، استفاده گردید. با تعیین وزن هر یک از پارامترهای کیفی در محیط فازی بر اساس نظرات افرادخبره در این زمینه و تعیین ماتریس تصمیم فازی بر مبنای استانداردهای کیفی شرب، ضریب نزدیکی نسبی هر یک از نمونه‌ها تعیین و بر اساس آن رتبه آلودگی هر نمونه مورد محاسبه قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که نقاط آلوده‌تر عمدتاً در مرکز و شمال غربی دشت متمرکز بوده و این امر با موقعیت مراکز صنعتی (مانند مجتمع‌های سرب و روی) و خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان هماهنگی کامل دارد. جهت ارزیابی میزان دقت رتبه‌بندی انجام شده، نتایج روش پیشنهادی با حالت قطعی روش شبیه به حل ایده‌آل مورد مقایسه قرار گرفت. بررسی پارامترهای کیفی مرتبط به رتبه ۱ (کم‌ترین میزان آلودگی)، نشان‌دهنده این است که اغلب پارامترها در این رتبه که می‌بایست بیان‌گر کم‌ترین میزان آلودگی باشند، در روش قطعی نسبت به روش فازی دارای مقادیر بالایی می‌باشند (به عنوان نمونه مقدار پارامتر آرسنیک واقع در رتبه ۱ روش قطعی و فازی به ترتیب برابر با ۰/۴ و ۰ میکروگرم در لیتر می‌باشد) و این امر در خصوص رتبه ۵۹ (بیش‌ترین میزان آلودگی) نیز به صورت عکس تکرار شده است که حاکی از مطمئن بودن نتایج رتبه‌ها و دقت بالای روش پیشنهادی می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج بیان‌گر تمرکز رتبه‌های بالای آلودگی در مرکز دشت و تا حدودی در نواحی شمال و شمال غربی دشت به دلیل وجود صنایع آلاینده قابل توجه و دپوی انبارهای سموم و کودهای کشاورزی در این مناطق می‌باشد. بر مبنای رویکرد این مطالعه می‌توان

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

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

بیان نمود که این روش به سادگی قابلیت اجرا در هر دشت را تنها با اندازه‌گیری پارامترهای کیفی داشته و می‌تواند با دقت بالایی رتبه آلودگی نمونه‌های کیفی را به خصوص در مواردی که ارزیابی کیفیت آب برای مصارف شرب مدنظر باشد، مورد محاسبه قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: شبیه به حل ایده‌آل فازی، آب زیرزمینی، رتبه‌بندی، آلودگی، دشت زنجان

Groundwater Contamination Analysis Using Fuzzy-Topsis, Case Study: ZANJAN Plain

Mahmoud Mohammad Rezapour Tabari^{1*}

mrtabari@umz.ac.ir

Pouya Salehi Dopolani²

Accepted: 2017.06.07

Received: 2016.07.10

Abstract

Introduction: Assessing the quality of available water is especially important to meet drinking needs. Therefore, it is important to prepare and formulate an approach that can provide a more appropriate evaluation with higher accuracy and taking into account the inaccuracies caused by instrumental errors and measurements. The aim of this study was to evaluate the groundwater quality of Zanjan plain based on a method similar to fuzzy ideal solution.

Material and Methods: To achieve this goal, 57 and 59 groundwater quality samples in dry and wet seasons were used and the 28 quality parameters were analyzed in each sample. The relative closeness coefficient of each samples were determined based on fuzzy weight specified by the opinions of experts in this field for each quality parameters and the fuzzy decision matrix based on drinkable water quality standards. By calculating the relative closeness coefficient of each samples, the contamination ranking for each sample was determined.

Results and Discussion: The results show that the more polluted areas are mainly concentrated in the center and northwest of the plain and this is in complete harmony with the location of industrial centers (such as lead and zinc complexes) and the hydrogeological characteristics of the aquifer. In order to evaluate the accuracy of the ranking, the results of the proposed method were compared with the definite case of the method similar to the ideal solution. Examination of the qualitative parameters related to rank 1 (lowest pollution rate) shows that most of the parameters in this rank, which should represent the lowest pollution rate, have high values in the definite method compared to the fuzzy method (for example, the amount of the arsenic parameter located in rank 1 of the definite and fuzzy methods is equal to 0.4 and 0 micrograms per liter, respectively) and this has been repeated in reverse regarding the 59th rank (maximum pollution rate), which indicates the reliability of the rankings and the high accuracy of the proposed method.

Conclusion: The results showed that the pollution is concentrated in the central plains and partly in the North and Northwest plain due to the significant polluting industries, pesticides, and manure storage depot in these areas. Based on proposed approach can be calculated the rank pollution of groundwater quality samples with high accuracy, especially in cases where the assessment of water quality for drinking purposes must be considered.

Keywords: Similarity to Ideal Fuzzy Solution, Groundwater, Ranking, Pollution, ZANJAN Plain

1 -Associate Prof., Department of Engineering, University of Mazandaran, Mazandaran, Iran* (Corresponding Author)

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

مقدمه

با توجه به افزایش روزافزون فعالیت‌های شهری، کشاورزی و صنعتی، علوم مرتبط با بررسی جنبه‌های زیست‌محیطی به ویژه در خصوص آلودگی آب گسترش قابل توجهی یافته است (۱). در این راستا منابع آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین نیازهای شرب در بسیاری از نقاط دنیا به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود که استفاده پایدار و بهینه از این منبع با ارزش منوط به ارزیابی کیفی آن است. بر این اساس تلاش‌های زیادی در جهت ارزیابی شاخص و رویکرد مناسب برای ارزیابی جامع آبخوان‌ها صورت گرفته است. یکی از قدیمی‌ترین شاخص کیفیت آب توسط براون و همکاران در سال ۱۹۷۰ (۲) ارزیابی گردید که در سال ۱۹۷۵ توسط دیاینگر درمؤسسه توسعه اسکاتلند مورد اصلاح قرار گرفت (۳). با توجه به این‌که در نمونه‌های کیفی برداشتی از منابع آب زیرزمینی و سطحی، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی قابل توجهی دخیل می‌باشند، لذا لازم است جهت ارزیابی جامع از آن‌ها و ارزیابی یک مقدار عددی برای هر نمونه رویکرد مناسبی اتخاذ شود. در این راستا محققین مختلفی سعی نمودند تا با ارزیابی 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. در سال ۱۳۹۲، ناصری و همکاران بر پایه شاخص کیفی فازی اقدام به پهنه‌بندی کیفی آبخوان دشت قزوین نمودند. با توجه به عدم قطعیت لحاظ شده در این مطالعه، نتایج حاکی از کارایی مناسب روش پیشنهادی در پهنه‌بندی کیفی آبخوان دارد (۴). آوون‌ناور و شیرهای (۲۰۰۸) شاخص کیفی آب را با استفاده از ۶ پارامتر کیفی جهت ارزیابی کیفیت آب سطحی رودخانه‌ای در جنوب هند برای مصارف شرب توسعه دادند (۵). صفوی و همکاران در سال ۹۲ با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل طبقه‌بندی فازی اقدام به بازبندی کیفی رودخانه زاینده‌رود نمودند. نتایج بیان‌گر مطلوب بودن کیفیت آب در بازه‌های واقع در بالادست رودخانه می‌باشد (۶). شاخص کیفیت آب فازی جهت ارزیابی آب زیرزمینی توسط صابری‌نصر و همکاران (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 (۷). سادات‌نوری و همکاران (۲۰۱۴) نیز بر پایه تلفیق شاخص کیفیت آب (WQI)^۱ و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۲ اقدام به دسته‌بندی کیفی نمونه‌های کیفی از آبخوان دشت ساوه-نوبران نمودند. نتایج نشان می‌دهد که رویکرد ارزیابی شده می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد جهت پایش و ارزیابی کیفی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد (۸). توسعه شاخص کیفیت آب فازی مبتنی بر آنترپوی وزن‌دهی شده جهت ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در نواحی صنعتی در شمال غربی چین توسط لی و همکاران (۲۰۱۴) مورد توجه قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که به دلیل تمرکز فعالیت‌های صنعتی، آب زیرزمینی بسیار آلوده شده و نیترات، منگنز، فلوراید، سختی و سولفات به عنوان پارامترهای غالب در تخریب کیفیت سفره معرفی شده‌اند (۹). محبی و همکاران (۲۰۱۳) از شاخص کیفیت آب شرب (DWQI)^۳ اصلاح شده جهت ارزیابی منابع برداشت از آب زیرزمینی برای استفاده در بخش شرب بهره جستند. نتایج حاکی از مناسب بودن کیفیت ۹۵ درصد از آب برداشتی از آبخوان، ۲ درصد از آب استحصالی در وضعیت نسبتاً مناسب و تنها ۳ درصد در شرایط بحرانی قرار دارند (۱۰). مطالعات دیگری نیز توسط محققینی همچون نوری و همکاران (۲۰۱۰) (۱۱)، نیکو و همکاران (۲۰۱۱) (۱۲)، محمدصالح و همکاران (۲۰۱۲) (۱۳) و ماوک‌کندی و همکاران (۲۰۱۴) (۱۴) در این زمینه انجام شده که اهمیت توجه به ارزیابی کیفی سفره‌های آب زیرزمینی بر مبنای تجمیع پارامترهای کیفی مؤثر را نشان می‌دهد. بررسی سوابق مطالعاتی نشان می‌دهد که توجه زیادی به توسعه شاخص‌های مختلف و یا ارزیابی روش‌هایی جهت ارزیابی کیفی آب زیرزمینی شده است. با توجه به ماهیت

1- Water Quality Index

2- Geographic Information System

3- Drinking Water Quality Index

معیارهای مشخص شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. وزن معیارها می‌تواند بر اساس اهمیت نسبی مشخص شده توسط تصمیم‌گیران تعیین شود (۱۵). این روش بر اساس میزان فاصله از بهترین و بدترین حالت ممکن، گزینه‌ها را مورد رتبه‌بندی قرار می‌دهد. در این مطالعه از رویکرد تاپسیس فازی، که اولین بار توسط چن و هوانگ در سال ۱۹۹۲ ارائه گردید، جهت تعیین رتبه هر یک از نمونه‌های برداشت شده از سطح آبخوان بر اساس ماتریس تصمیم تجمیع شده و بردارهای وزن هر یک از معیارها (که در این مطالعه پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده می‌باشند) استفاده گردید. مراحل این روش عبارتند از (۱۶):

مرحله اول) تعیین ماتریس تصمیم‌گیری فازی: در این مطالعه بر پایه اطلاعات اندازه‌گیری شده کیفی از نقاط مختلف آبخوان، این ماتریس شامل کلیه پارامترهای کیفی آماربرداری شده در هر نقطه می‌باشد.

مرحله دوم) انتخاب عبارت‌های کلامی به همراه توابع عضویت متناسب با آن جهت تعیین میزان اهمیت هر یک از پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده (معیارها) بر مبنای نظرات افراد خبره. برای این منظور جدول ۱ در نظر گرفته شده است. در این مرحله نظرات افراد خبره در خصوص اهمیت هر یک از پارامترهای کیفی در قالب عبارت‌های کلامی جدول ۱ جمع‌آوری شده و وزن فازی هر پارامتر با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{K} [\tilde{w}_j^1 (+) \tilde{w}_j^2 (+) \dots (+) \tilde{w}_j^K] \quad (1)$$

در این رابطه K ، تعداد افراد خبره و \tilde{w}_j^K ، اهمیت تعیین شده برای پارامتر کیفی j ام توسط خبره K ام و $(+)$ ، جمع فازی توابع عضویت می‌باشد.

غیرقطعی و وجود خطاهایی که در ابزارهای اندازه‌گیری و نمونه‌برداری کیفی از آبخوان وجود دارد، استفاده از رویکردهای فازی جهت ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی ضروری است. همچنین اعمال نظرات افراد خبره در این ارزیابی‌ها می‌تواند منجر به افزایش اعتمادپذیری نتایج ارزیابی کیفی شود. بر این اساس در این مطالعه رویکردی بر مبنای مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از دیدگاه فازی پیشنهاد گردید که بررسی سوابق قبلی مطالعاتی حاکی از عدم استفاده از این مدل‌ها در ارزیابی کیفی آبخوان را نشان می‌دهد. در این رویکرد نمونه‌های برداشت شده از آبخوان بر اساس پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده در هر نمونه، میزان اهمیت آن‌ها و با توجه به استانداردهای کیفی شرب در یک محیط فازی از نظر میزان آلودگی رتبه‌بندی می‌شوند. لذا در مطالعه حاضر، توسعه یک شاخص فازی مبتنی بر رتبه‌بندی شبیه به حل ایده‌آل برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی مدنظر قرار گرفته که بر اساس آن می‌توان تنها با اندازه‌گیری پارامترهای کیفی اقدام به ارائه سیمای مکانی و زمانی کیفیت آبخوان نمود. جهت بررسی عملکرد رویکرد پیشنهادی، دشت زنجان با توجه به تمرکز قابل توجه مراکز آلاینده به عنوان مطالعه موردی انتخاب و در دو نوبت، نمونه‌برداری کیفی از آن به عمل آمد.

مواد و روش‌ها

ساختار روش رتبه‌بندی شبیه به حل ایده‌آل فازی (Fuzzy TOPSIS)

روش شبیه به حل ایده‌آل (تاپسیس) یکی از رویکردهای کارا در تصمیم‌گیری چندمعیاره است که جهت رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف بر مبنای ارزیابی عددی تصمیم‌گیرندگان با توجه به

جدول ۱- عبارت‌های کلامی جهت بررسی اهمیت نسبی هر یک از پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده (معیارها) (۱۹)

Table 1- The linguistic statements to evaluate the relative importance of each of the measured quality parameters (criteria) (19)

عبارت کلامی	بسیار کم (VL)	کم (L)	متوسط کم (ML)	متوسط (M)	متوسط زیاد (MH)	زیاد (H)	خیلی زیاد (VH)
تابع عضویت	(۰، ۰، ۰/۱)	(۰، ۰/۱، ۰/۳)	(۰/۱، ۰/۳، ۰/۵)	(۰/۳، ۰/۵، ۰/۷)	(۰/۵، ۰/۷، ۰/۹)	(۰/۷، ۰/۹، ۱)	(۰/۹، ۱، ۱)

جدول ۲- عبارتهای کلامی و توابع عضویت فازی هر یک از پارامترها کیفی

Table 2- The linguistic and fuzzy membership functions for each of the quality parameters

خیلی زیاد			زیاد			متوسط			کم			بسیار کم			واحد	پارامتر
g	f	e	f	e	d	e	D	c	d	c	b	c	b	a		
۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱۲	۰/۱	۰/۰۶۷	۰/۱	۰/۰۶۷	۰/۰۳۳	۰/۰۶۷	۰/۰۳۳	۰/۰۱۷	۰/۰۳۳	۰/۰۱۷	۰	Mg/L	Ag
۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۳۳	۰/۰۵	۰/۰۳۳	۰/۰۱۲	۰/۰۳۳	۰/۰۱۲	۰/۰۰۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۸	۰		Cr
۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱	۰/۰۱۲	۰/۰۱	۰/۰۰۶۷	۰/۰۱	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱۷	۰		Se
۴/۲	۳/۶	۳	۳/۶	۳	۲	۳	۲	۱	۲	۱	۰/۵	۱	۰/۵	۰		Zn
۰/۴۲	۰/۳۶	۰/۳	۰/۳۶	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۵	۰		Fe
۰/۵۶	۰/۴۸	۰/۴	۰/۴۸	۰/۴	۰/۲۷	۰/۴	۰/۲۷	۰/۱۳	۰/۲۷	۰/۱۳	۰/۰۶۷	۰/۱۳	۰/۰۶۷	۰		Mn
۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱	۰/۰۱۲	۰/۰۱	۰/۰۰۶۷	۰/۰۱	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۱۷	۰		As
۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱	۰/۰۱۲	۰/۰۱	۰/۰۰۶۷	۰/۰۱	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۱۷	۰		Pb
۰/۰۹۸	۰/۰۸۴	۰/۰۷	۰/۰۸۴	۰/۰۷	۰/۰۴۶۷	۰/۰۷	۰/۰۴۶۷	۰/۰۲۳	۰/۰۴۶۷	۰/۰۲۳	۰/۰۱۲	۰/۰۲۳	۰/۰۱۲	۰		Ni
۲/۸	۲/۴	۲	۲/۴	۲	۱/۳۳	۲	۱/۳۳	۰/۶۷	۱/۳۳	۰/۶۷	۰/۳۳	۰/۶۷	۰/۳۳	۰		Cu
۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۰		Cd
۰/۰۲۸	۰/۰۲۴	۰/۰۲	۰/۰۲۴	۰/۰۲	۰/۰۱۳	۰/۰۲	۰/۰۱۳	۰/۰۰۶۷	۰/۰۱۳	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۳۳	۰		Sb
۰/۹۸	۰/۸۴	۰/۷	۰/۸۴	۰/۷	۰/۴۶۷	۰/۷	۰/۴۶۷	۰/۲۳۳	۰/۴۶۷	۰/۲۳۳	۰/۱۲	۰/۲۳۳	۰/۱۲	۰		Ba
۲۱۰۰	۱۸۰۰	۱۵۰۰	۱۸۰۰	۱۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۵۰۰	۲۵۰	۰		TDS
۴۲	۳۶	۳۰	۳۶	۳۰	۲۰	۳۰	۲۰	۱۰	۲۰	۱۰	۵	۱۰	۵	۰	°C	T
۱۳/۳	۱۱/۴	۹/۵	۱۱/۴	۹/۵	۶/۳۳	۹/۵	۶/۳۳	۳/۱۶۷	۶/۳۳	۳/۱۶۷	۱/۵۸	۳/۱۶۷	۱/۵۸	۰	-	pH
۷	۶	۵	۶	۵	۳/۳۳	۵	۳/۳۳	۱/۶۷	۳/۳۳	۱/۶۷	۰/۸۳	۱/۶۷	۰/۸۳	۰	Mg/L	DO
۷	۶	۵	۶	۵	۳/۳۳	۵	۳/۳۳	۱/۶۷	۳/۳۳	۱/۶۷	۰/۸۳	۱/۶۷	۰/۸۳	۰		BOD
۴۲۰	۳۶۰	۳۰۰	۳۶۰	۳۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰۰	۵۰	۰		Ca
۴۲	۳۶	۳۰	۳۶	۳۰	۲۰	۳۰	۲۰	۱۰	۲۰	۱۰	۵	۱۰	۵	۰		Mg
۱۶/۸	۱۴/۴	۱۲	۱۴/۴	۱۲	۸	۱۲	۸	۴	۸	۴	۲	۴	۲	۰		K
۲۸۰	۲۴۰	۲۰۰	۲۴۰	۲۰۰	۱۳۳/۳۳	۲۰۰	۱۳۳/۳۳	۶۶/۶۷	۱۳۳/۳۳	۶۶/۶۷	۳۳/۳۳	۶۶/۶۷	۳۳/۳۳	۰		Na
۵۶۰	۴۸۰	۴۰۰	۴۸۰	۴۰۰	۲۶۶/۶۷	۴۰۰	۲۶۶/۶۷	۱۳۳/۳۳	۲۶۶/۶۷	۱۳۳/۳۳	۶۶/۶۷	۱۳۳/۳۳	۶۶/۶۷	۰		Cl
۱/۲	۱/۸	۱/۵	۱/۸	۱/۵	۱	۱/۵	۱	۰/۵	۱	۰/۵	۰/۲۵	۰/۵	۰/۲۵	۰		F
۵۶۰	۴۸۰	۴۰۰	۴۸۰	۴۰۰	۲۶۶/۶۷	۴۰۰	۲۶۶/۶۷	۱۳۳/۳۳	۲۶۶/۶۷	۱۳۳/۳۳	۶۶/۶۷	۱۳۳/۳۳	۶۶/۶۷	۰		So4
۱۶۸	۱۴۴	۱۲۰	۱۴۴	۱۲۰	۸۰	۱۲۰	۸۰	۴۰	۸۰	۴۰	۲۰	۴۰	۲۰	۰		Hco3
۷۰	۶۰	۵۰	۶۰	۵۰	۳۳/۳۳	۵۰	۳۳/۳۳	۱۶/۶۷	۳۳/۳۳	۱۶/۶۷	۸/۳۳	۱۶/۶۷	۸/۳۳	۰		No3
۰/۱۲۸	۰/۱۲۴	۰/۱۲	۰/۱۲۴	۰/۱۲	۰/۱۱۳	۰/۱۲	۰/۱۱۳	۰/۰۶۷	۰/۱۱۳	۰/۰۶۷	۰/۰۳۳	۰/۰۶۷	۰/۰۳۳	۰		Po4

توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده هر پارامتر کیفی و توابع عضویت تعریف شده در جدول ۲، عبارت کلامی مرتبط با هر پارامتر واقع در نمونه اندازه‌گیری شده تعیین شده و در قالب ماتریسی ارائه می‌شود. به عنوان مثال اگر ۵ نمونه از یک آبخوان برداشت شده باشد و در هر نمونه ۱۰ پارامتر کیفی اندازه‌گیری شود، ماتریس تصمیم فازی دارای بعدی معادل ۵ ردیف و ۳۰ ستون (در صورت استفاده از تابع عضویت مثلثی برای هر پارامتر کیفی) خواهد شد.

مرحله پنجم) نرمال نمودن ماتریس تصمیم فازی: با توجه به این‌که بازه تغییرات هر پارامتر کیفی متغیر می‌باشد لذا جهت ارزیابی مناسب هر یک از نمونه‌ها لازم است بر اساس رابطه ۳، ماتریس تصمیم فازی تهیه شده در مرحله چهارم به صورت نرمال درآید.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{n \times m}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m,$$

مقادیر ایده‌ال مثبت فازی و ایده‌ال منفی فازی ارائه شده توسط چن (۲۰۰۰) استفاده شده است (۲۰). این مقادیر عبارتند از:

$$A^+ = (1, 1, 1), A^- = (0, 0, 0) \quad (5)$$

مرحله هشتم) محاسبه مجموع فواصل هر یک از پارامترهای کیفی از ایده‌ال‌های مثبت و منفی فازی: در این مرحله بر مبنای ماتریس تصمیم فازی نرمال وزن‌دهی شده و مقادیر ایده‌ال مثبت و منفی فازی می‌توان ضریب نزدیکی^۳ را با استفاده از رابطه ۶ بدست آورد:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^m d(\tilde{v}_{ij}, A^+), d_i^- = \sum_{j=1}^m d(\tilde{v}_{ij}, A^-) \quad (6)$$

در این رابطه (d) فاصله فازی بین دو عدد فازی مثلثی است. اگر $\tilde{v}_{ij} = (a'_{ij}, b'_{ij}, c'_{ij})$ باشد، ضریب نزدیکی مرتبط با مقادیر ایده‌ال مثبت و منفی فازی به صورت رابطه ۷ و ۸ محاسبه می‌گردد:

مرحله سوم) تعیین تابع عضویت هر یک از پارامترهای کیفی با توجه به بازه استاندارد کیفی تعریف شده برای هر یک از آن‌ها: در این مرحله با توجه به استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۱۷) و مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۸) و بازه تغییرات مجاز تعیین شده برای هر پارامتر کیفی، پنج تابع عضویت مثلثی برای هر پارامتر تعریف گردید. در جدول ۲، بازه تغییرات هر یک از توابع عضویت تعریف شده برای هر پارامتر ارائه شده است. روابط حاکم بر هر تابع عضویت را می‌توان در قالب رابطه ۲ بیان نمود:

$$f(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & , x < a \\ (x-a)/(b-a) & , a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b) & , b \leq x \leq c \\ 0 & , x > c \end{cases} \quad (2)$$

مرحله چهارم) ایجاد ماتریس تصمیم فازی: در این مرحله با

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), c_j^* = \max_i(c_{ij}) \quad (3)$$

در این رابطه، a_{ij} ، b_{ij} و c_{ij} به ترتیب المان‌های چپ، میانی و راست تابع عضویت مثلثی مرتبط با پارامتر کیفی j ام اندازه‌گیری شده در نمونه i ام می‌باشد. m و n به ترتیب تعداد پارامترهای کیفی مورد بررسی و تعداد کل نمونه‌های کیفی برداشت شده از آبخوان است.

مرحله ششم) ساخت ماتریس تصمیم فازی نرمال وزن‌دهی شده: در این مرحله بر اساس ماتریس تصمیم فازی نرمال (\tilde{R}) و وزن فازی هر پارامتر کیفی (\tilde{w}_j)، ماتریس تصمیم فازی نرمال وزن‌دهی شده به صورت رابطه ۴ تعیین می‌شود:

$$\tilde{V}_{ij} = [\tilde{v}_{ij}]_{n \times m}, \tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes \tilde{w}_j \quad (4)$$

در رابطه ۴، منظور از \otimes ، ضرب جبری دو عددی فازی است. **مرحله هفتم)** تعیین جواب‌های ایده‌ال مثبت فازی (FPIS)^۱ و جواب‌های ایده‌ال منفی فازی (FNIS)^۲: در این تحقیق از

1- Fuzzy Positive Ideal Solution

2- Fuzzy Negative Ideal Solution

مطالعه موردی

از آنجا که بررسی وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی در نواحی صنعتی و مناطق با تمرکز بالایی بهره‌برداری از این ذخایر ارزش مند زیرزمینی، از اهمیت بالایی جهت برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت و بلندمدت برخوردار می‌باشد، لذا در این مطالعه نیز با توجه به افزایش آلاینده‌های مصنوعی ناشی از تمرکز صنایع مختلف در دشت زنجان و عدم توجه به آن در جهت بهبود و احیاء آبخوان این دشت، محدوده دشت زنجان به عنوان مطالعه موردی انتخاب گردید. این محدوده با مساحت ۴۶۷۰ کیلومتر مربع در حوزه آبریز سفیدرود قرار دارد و ۵۴ درصد آن را ارتفاعات و ۴۶ درصد آن را دشت تشکیل داده است (شکل ۱).

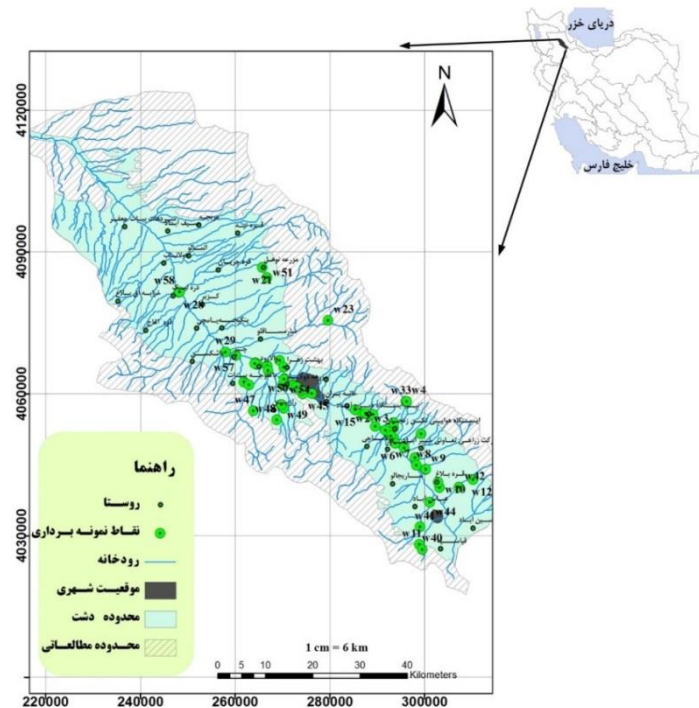
$$d(\check{v}_{ij}, A^+) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a'_{ij}-1)^2 + (b'_{ij}-1)^2 + (c'_{ij}-1)^2]} \quad (7)$$

$$d(\check{v}_{ij}, A^-) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a'_{ij}-0)^2 + (b'_{ij}-0)^2 + (c'_{ij}-0)^2]} \quad (8)$$

بر مبنای ضریب نزدیکی تعیین شده برای هر نقطه نمونه برداری شده، لازم است جهت تعیین اهمیت کیفی هر نمونه رتبه هر نمونه براساس ضریب نزدیکی نسبی^۱ و به صورت رابطه ۹ مورد محاسبه قرار گیرد:

$$RCC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

مرحله نهم) بر مبنای ضریب نزدیکی نسبی محاسبه شده از مرحله هشتم، تمامی نمونه‌های کیفی برداشت شده از سطح دشت به ترتیب نزولی مرتب می‌شوند. بر این اساس نمونه با رتبه بالاتر از آلودگی بیش‌تری برخوردار می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری کیفی

Figure 1- Location of quality sampling in Zanjan plain

نتایج

جهت اجرای رویکرد پیشنهادی با استفاده از روش رتبه بندی شبیه به حل ایده آل فازی، با توجه به بررسی های زمین شناسی، هیدروژئولوژی و همچنین بازدیدها و بررسی های صحرایی از منابع آلاینده و آمارهای دریافت شده از سازمان محیط زیست و سایر ارگان ها، نمونه برداری از منابع آب زیرزمینی در دو دوره تر (نیمه اول اردیبهشت ۸۸) و خشک (نیمه دوم مهر ۸۸) به منظور رفتارسنجی کیفی آب زیرزمینی انجام گردید. بعد از انجام آنالیز نمونه های آب های برداشتی از دشت زنجان، مواردی که مشکوک به نظر می رسید، مجدداً توسط ۲ آزمایشگاه کنترل و در نهایت نتایج تأیید شده پارامترها جهت بررسی وضعیت کیفی آبخوان استفاده گردید. لازم به ذکر است روش نمونه برداری صورت گرفته مطابق با استاندارد شماره ۲۷۴ ارایه شده توسط سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور می باشد (۲۱). در نهایت شبکه نمونه برداری کیفی دشت با توجه به پارامترهایی هم چون: موقعیت نقاط احتمالی آلاینده، جهت جریان آب زیرزمینی، عمق سطح ایستابی، توزیع نوع منبع

متوسط ارتفاع محدوده مطالعاتی ۱۷۲۵ متر از سطح آب های آزاد می باشد. آبخوان دشت زنجان نامحسوس و از نظر بهره برداری ممنوعه اعلام شده است. متوسط افت سالانه ۰/۴۴ متر و متوسط کسری مخزن سالانه ۲۱ میلیون مترمکعب می باشد. متوسط ضریب قابلیت انتقال این آبخوان ۲۵۰ مترمربع در روز و متوسط ضریب ذخیره این آبخوان ۴ درصد می باشد. حجم برداشت و تخلیه آب زیرزمینی در سال آبی ۸۸-۸۷ برابر با ۳۶۶ میلیون مترمکعب می باشد. از این میزان ۷۷/۶ درصد در کشاورزی، ۲۱ درصد شرب و مابقی در صنعت مصرف می شود. جهت جریان آب زیرزمینی در این آبخوان از جنوب و جنوب شرق به سمت شمال غرب و غرب می باشد. دشت زنجان، دره گسترده و مرتفعی است که بصورت نواری کشیده بین کوه های طارم و سلطانیه قرار گرفته است. رسوبات تبخیری دوران چهارم از جنس مارن و رس سیلتی گچ دار توأم با لایه های ماسه ای که در جنوب شرق زنجان قرار دارد. این رسوبات در بسیاری از نقاط سنگ کف نفوذناپذیر دشت و یا مستقیماً در مناطق تپه ماهوری انتهای دشت رخنمون دارند.

میزان اهمیت هر یک از پارامترهای کیفی از نظر شرب، توسط چهار نفر از افراد خبره در این زمینه و در قالب عبارتهای کلامی ارزیابی شده در جدول ۱، تعیین و به صورت جدول ۳ میزان وزن هر پارامتر کیفی (با استفاده از رابطه ۱) مشخص گردید.

نمونه برداری، توزیع نوع مصارف منبع نمونه برداری، نفوذ پذیری آبخوان در محل نمونه برداری به لحاظ پخش مواد آلاینده، کیفیت شیمیایی آب، ارتباط با آبهای سطحی، ضخامت آبخوان و موقعیت در ابتدا یا انتهای دشت و شیب هیدرولیکی انتخاب گردید. بر مبنای پارامترهای کیفی نمونه برداری شده،

جدول ۳- ارزیابی کلامی از پارامترهای کیفی جهت تعیین وزن پارامترها

Table 3- Linguistic assessment of quality to determine the parameter weight

وزن فازی تجمیع شده			D4	D3	D2	D1	پارامتر
a	b	c					
۰/۳	۰/۵	۰/۷	M	MH	M	ML	Ag
۰/۵	۰/۷	۰/۸۷۵	MH	H	MH	M	Cr
۰/۴۵	۰/۶۵	۰/۸	H	H	M	ML	Se
۰/۲۲۵	۰/۴	۰/۶	ML	MH	M	L	Zn
۰/۰۲۵	۰/۱۲۵	۰/۳	L	L	ML	VL	Fe
۰/۱۷۵	۰/۳۵	۰/۵۵	M	M	L	ML	Mn
۰/۶۵	۰/۸۲۵	۰/۹۵	VH	H	MH	MH	As
۰/۸	۰/۹۵	۱	H	VH	H	VH	Pb
۰/۷۵	۰/۹۲۵	۱	VH	H	H	H	Ni
۰/۶	۰/۷۷۵	۰/۹	VH	M	H	MH	Cu
۰/۸۵	۰/۹۷۵	۱	H	VH	VH	VH	Cd
۰/۷۵	۰/۹۲۵	۱	VH	H	H	H	Sb
۰/۷	۰/۸۷۵	۰/۹۷۵	H	MH	H	VH	Ba
۰/۲۲۵	۰/۴	۰/۶	L	MH	M	ML	TDS
۰	۰/۰۲۵	۰/۱۵	VL	VL	VL	L	T
۰/۰۲۵	۰/۱۵	۰/۳۵	L	ML	L	L	pH
۰/۱	۰/۲۵	۰/۴۵	M	ML	L	L	DO
۰/۱۵	۰/۳۵	۰/۵۵	ML	ML	M	ML	BOD
۰	۰/۰۵	۰/۲	VL	L	L	VL	Ca
۰	۰/۰۲۵	۰/۱۵	L	VL	VL	VL	Mg
۰	۰/۰۵	۰/۲	L	VL	VL	L	K
۰	۰/۰۲۵	۰/۱۵	L	VL	VL	VL	Na
۰/۰۲۵	۰/۱۲۵	۰/۳	ML	VL	L	L	Cl
۰	۰	۰/۱	VL	VL	VL	VL	F
۰/۱	۰/۲۵	۰/۴۵	L	L	ML	M	So4
۰	۰/۰۲۵	۰/۱۵	L	VL	VL	VL	Hco3
۰/۸۵	۰/۹۷۵	۱	VH	VH	VH	H	No3
۰/۵	۰/۷	۰/۸۷۵	MH	M	MH	H	Po4

برداشت شده، رتبه هر نمونه کیفی در دو فصل به صورت جدول ۵ و ۶ تعیین گردید. بر اساس این جداول، هر چه رتبه کیفی نمونه‌ها بیش‌تر باشد، نمونه از نظر ۲۸ پارامتر کیفی اندازه‌گیری شده آلوده‌تر بوده و لازم است جهت استفاده در بخش شرب تدابیر لازم اندیشیده شود. جهت مقایسه بهتر نمونه‌های کیفی، از نرخ تأثیر که در واقع بیان‌گر شدت آلودگی هر نمونه نسبت به حداکثر شدت آلودگی رخ داده شده در بین نمونه‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد، استفاده گردید.

بررسی رتبه آلودگی نمونه‌های برداشت شده حاکی از آلودگی قابل توجه مرکز و شمال غربی دشت به دلیل تمرکز صنایع آلاینده و اراضی کشاورزی می‌باشد. همچنین با پایین افتادن تراز سطح آب زیرزمینی در فصل خشک، شدت این آلودگی‌ها به سمت نواحی غربی دشت بیش‌تر شده که با جهت جریان غالب آبخوان نیز هماهنگی دارد.

بر مبنای مقادیر اندازه‌گیری شده در دو دوره تر و خشک و جدول ۲، تابع عضویت هر پارامتر در هر نمونه تعیین می‌شود. با توجه به این‌که در دوره تر از ۵۹ موقعیت و در دوره خشک از ۵۷ موقعیت، نمونه‌برداری کیفی به عمل آمده است لذا ماتریس تصمیم فازی تولید شده برای دو دوره تر و خشک به ترتیب دارای ابعاد ۵۹×۸۴ و ۵۷×۸۴ می‌باشند که به دلیل قابل توجه بودن ماتریس تولیدی امکان ارایه آن در این بخش نمی‌باشد. با نرمال نمودن ماتریس تصمیم فازی و ضرب آن در وزن‌های فازی هر پارامتر کیفی، ضریب نزدیکی و نزدیکی نسبی هر یک از نمونه‌های برداشت شده مورد محاسبه قرار می‌گیرد. در این بخش به عنوان نمونه ماتریس تصمیم فازی برای نمونه کیفی برداشت شده در فصل تر و در موقعیتی با نام شرکت نفت به صورت جدول ۴ ارایه شده است. با محاسبه ضریب نزدیکی و ضریب نزدیکی نسبی هر یک از نمونه‌های

جدول ۴- ماتریس تصمیم فازی برای نمونه کیفی برداشت شده در موقعیتی با نام شرکت نفت

Table 4- The fuzzy decision matrix for measured quality samples at a location with the name of the oil company

پارامتر	غلظت	عبارت کلامی	تابع عضویت	پارامتر	غلظت	عبارت کلامی	تابع عضویت
Ag	۰/۰۰۶	VL	(۰, ۰/۰۱۷, ۰/۰۳۳)	T	۲۷/۲	H	(۰, ۰/۰۳۰, ۰/۰۳۶)
Cr	۰/۰۰۰۱۲	VL	(۰, ۰/۰۰۰۸, ۰/۰۱۲)	pH	۷/۱۹	M	(۰/۱۶۷, ۰/۰۳۳, ۰/۰۹۵)
Se	۰	VL	(۰, ۰/۰۰۱۷, ۰/۰۰۳)	DO	۴/۹	H	(۰/۰۳۳, ۰/۰۰۵, ۰/۰۰۶)
Zn	۰/۰۰۳۲	VL	(۰, ۰/۰/۵, ۰/۱)	BOD	۲	L	(۰/۰۸۳, ۰/۰۱۶۷, ۰/۰۳۳)
Fe	۰/۰۱۲۳	VL	(۰, ۰/۰/۰۵, ۰/۱)	Ca	۵۲/۷۴	VL	(۰, ۰/۰۵۰, ۰/۱۰۰)
Mn	۰/۰۰۲۱	VL	(۰, ۰/۰۰۶۷, ۰/۰۱۳)	Mg	۷/۸۶	L	(۰, ۰/۰۱۰, ۰/۰۲۰)
As	۰	VL	(۰, ۰/۰۰۱۷, ۰/۰۰۳۳)	K	۲/۸۱	VL	(۰, ۰/۰۲, ۰/۰۴)
Pb	۰/۰۰۰۶۱	VL	(۰, ۰/۰۰۱۷, ۰/۰۰۳۳)	Na	۱۸/۸۳	VL	(۰, ۰/۰۳۳/۰۳۳, ۰/۰۶۶/۰۶۷)
Ni	۰/۰۰۰۴۳	VL	(۰, ۰/۰/۰۱۲, ۰/۰/۰۲۳)	Cl	۴۶/۴۱	VL	(۰, ۰/۰۶۶/۰۶۷, ۰/۰۳۳/۰۳۳)
Cu	۰/۰۰۰۳	VL	(۰, ۰/۰/۰۳۳, ۰/۰/۰۶۷)	F	۰/۰۰۶	VL	(۰, ۰/۰/۰۲۵, ۰/۰/۰۵)
Cd	۰/۰۰۰۰۷	VL	(۰, ۰/۰/۰۰۰۵, ۰/۰/۰۰۱)	So4	۹۳/۹	VL	(۰, ۰/۰۶۶/۰۶۷, ۰/۰۳۳/۰۳۳)
Sb	۰/۰۲۳	VH	(۰/۰/۰۲, ۰/۰/۰۲۴, ۰/۰/۰۲۸)	Hco3	۲۲۰/۱	VH	(۰/۱۲۰, ۰/۰۱۴۴, ۰/۰۱۶۸)
Ba	۱۰/۴۸	VH	(۰/۰/۰۷, ۰/۰/۰۸۴, ۰/۰/۰۹۸)	No3	۵۲	H	(۰/۰/۰۳۳, ۰/۰/۰۵۰, ۰/۰/۰۶۰)
TDS	۳۷۶/۲	L	(۰/۰/۰۲۵, ۰/۰/۰۵۰, ۰/۰/۰۱۰۰)	Po4	۰/۰۲۱	H	(۰/۰/۰۱۳, ۰/۰/۰۲, ۰/۰/۰۲۴)

جدول ۵- ضریب نزدیکی نسبی و رتبه هر یک از موقعیت‌های نمونه‌برداری شده (فصل تر)

Table 5- The relative closeness coefficient and rank of measured locations (wet season)

نام موقعیت	X	Y	d_i^+	d_i^-	RCC_i	رتبه	نرخ تأثیر (درصد)
شرکت نفت	۲۸۶۹۰۷	۴۰۵۵۷۱۲	۲۲/۴۶	۷/۷	۰/۲۵۵	۳۲	۸۲/۴۶۹
روغن نباتی جهان	۲۹۳۴۷۱	۴۰۵۲۶۷۷	۲۳/۲	۶/۹	۰/۲۲۹	۳	۷۴/۰۶۵
سامان شیمی	۲۹۳۶۱۳	۴۰۵۰۳۸۹	۲۲/۲۱	۷/۹۸	۰/۲۶۴	۴۲	۸۵/۳۷۹
مرغداری به پرور	۲۹۳۸۳۰	۴۰۴۹۴۷۰	۲۲/۲۸	۷/۹۴	۰/۲۶۳	۴۱	۸۴/۸۹۴
.
جایگاه بنزین ۲۲ بهمن جاده تبریز	۲۶۰۲۱۸	۴۰۶۸۱۲۳	۲۳/۱۴۷	۷/۰۳	۰/۲۳۳	۷	۷۵/۲۵۱
زنجانرود ایستگاه نیک‌پی	۲۴۸۳۰۲	۴۰۸۱۵۴۱	۲۲/۳۰۱	۸/۰۱۵	۰/۲۶۴	۴۴	۸۵/۳۹۹
مجتمع تفریحی دهکده سبز	۲۶۷۰۱۳	۴۰۶۴۸۸۸	۲۱/۸۵۹	۸/۴۷۴	۰/۲۷۹	۵۴	۹۰/۲۴

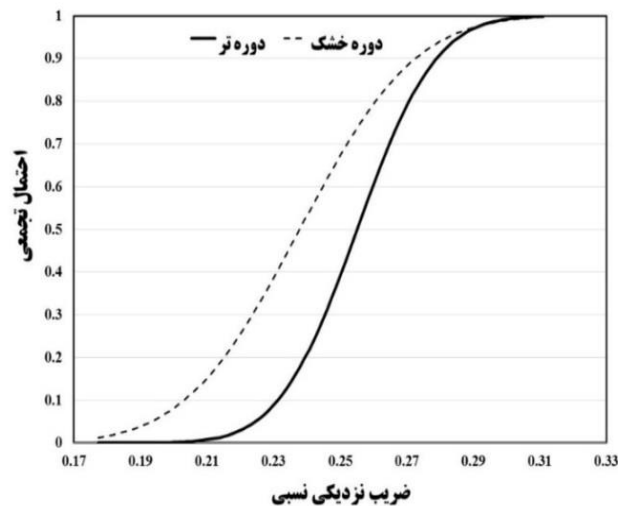
اهمیت رویکرد پیشنهادی در آرایه رتبه کیفی نمونه‌ها در این است که به طور مشخص علاوه بر در نظر گرفتن عدم دقت و خطاهایی که در ثبت و اندازه‌گیری پارامترهای کیفی وجود دارد، وضعیت کیفی آبخوان را تعیین نموده و می‌تواند در تدوین سیاست‌های بهره‌برداری از آبخوان و نحوه استخراج و تخصیص از آن راهگشا باشد. در صورتی که از روش قطعی برای تعیین رتبه کیفی نمونه‌ها استفاده شود، در هر نمونه تعدادی از پارامترهای کیفی در حد مطلوب، تعدادی نیز از نظر استاندارد کیفی قابل قبول و بخشی از پارامترها نیز از حدود کیفی تعریف شده فراتر می‌روند. بر اساس نمی‌توان تصمیم مشخصی را جهت آرایه وضعیت کیفی نمونه برداشت شده اتخاذ نمود. با توجه به این‌که تعداد نمونه‌ها در دو فصل مورد بررسی تغییر کرده و بعضاً موقعیت برداشت نمونه نیز به دلیل قابل توجه نبودن

مقادیر پارامترهای کیفی جایجا شده است لذا جهت تحلیل رتبه‌بندی کیفی صورت گرفته بر روی نمونه‌های برداشتی اقدام به ترسیم توزیع احتمال جمع‌ی ضریب نزدیکی نسبی در دو دوره (مطابق شکل ۲) گردید. بر اساس این شکل می‌توان دریافت که احتمال رخداد یک ضریب نزدیکی نسبی مشخص برای نمونه‌های کیفی در فصل خشک بیش‌تر از فصل تر می‌باشد. علت این امر را می‌توان در کاهش حجم آب ورودی به آبخوان و افزایش غلظت پارامترهای کیفی در فصل خشک جستجو نمود. همچنین برای مقادیر حدی (ضریب نزدیکی نسبی بسیار زیاد و بسیار کم) به دلیل این‌که غلظت اغلب پارامترهای کیفی بیش‌تر و یا کم‌تر از مقادیر استاندارد تعریف شده می‌باشند، تفاوت قابل توجهی در احتمال رخداد رتبه آلودگی مشاهده نمی‌شود.

جدول ۶- ضریب نزدیکی نسبی و رتبه هر یک از موقعیت‌های نمونه‌برداری شده (فصل خشک)

Table 6- The relative closeness coefficient and rank of measured locations (dry season)

نام موقعیت	X	Y	d_i^+	d_i^-	RCC_i	رتبه	نرخ تأثیر (درصد)
روستای بوئین_کشتارگاه مرغ آندیا	۳۱۰۲۵۴	۴۰۴۱۸۲۱	۲۴/۰۲	۵/۷۸	۰/۱۹۴	۲	۶۴/۱۷۸
کارخانه شن و ماسه بوئین رود	۳۰۷۲۸۴	۴۰۴۰۱۷۶	۲۲/۸۱	۷/۱۲	۰/۲۳۸	۳۴	۷۸/۷۳۴
روغن نباتی جهان	۲۹۳۴۷۱	۴۰۵۲۶۷۷	۲۳/۳	۶/۵۸	۰/۲۲	۱۷	۷۲/۸۸۱
چشمه شاه‌بلاغی - بالاتر از سلطانیه	۲۹۹۵۱۵	۴۰۲۷۰۴۸	۲۳/۶۱	۶/۲۳	۰/۲۰۹	۵	۶۹/۰۸۳
.
چاه شرب شهرسلطانیه	۳۰۰۱۸۸	۴۰۳۱۷۱۸	۲۳/۴۲۵	۶/۴۲۸	۰/۲۱۵	۱۲	۷۱/۲۴۱
خروجی سد تهم	۲۷۴۶۶۹	۴۰۷۴۳۴۷	۲۳/۳۲۴	۶/۶۰۴	۰/۲۲۱	۱۸	۷۳/۰۰۵
چاه شرب گلشهر زنجان (چاه شماره ۲۹)	۲۸۰۱۴۷	۴۰۶۱۰۲۵	۲۲،۵۰۹	۷/۵۱۴	۰/۲۵	۴۰	۸۲/۸۰۴



شکل ۲- تابع توزیع احتمال تجمعی مقادیر ضریب نزدیکی نسبی در فصول خشک و تر

Figure 2- Cumulative probability distribution function for relative closeness coefficient in wet and dry season

ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی

جهت ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی و میزان دقت رتبه‌های آلودگی بدست آمده در هر موقعیت نمونه‌برداری شده، در این بخش اقدام به مقایسه نتایج روش تاپسیس فازی با حالت قطعی آن گردید. برای این منظور رتبه آلودگی هر یک از نمونه‌ها در دو فصل تر و خشک بر مبنای دو روش تعیین گردید. بررسی پارامترهای کیفی مرتبط به رتبه ۱ و ۵۹، که به

ترتیب بیان‌گر نمونه با کم‌ترین و بیش‌ترین میزان آلودگی می‌باشد، نشان می‌دهد که روش قطعی از دقت کافی برخوردار نبوده و در شناسایی و رتبه‌بندی موقعیت‌های آلوده از توانایی پایینی برخوردار است. جدول‌های ۷ و ۸ به ترتیب مقایسه بین پارامترهای کیفی دو روش فازی و قطعی را به عنوان نمونه برای برخی از پارامترهای کیفی که اختلاف قابل توجهی را نشان می‌دهند و مرتبط با فصل تر می‌باشد، ارائه می‌نماید.

جدول ۷- مقایسه بین نتایج رتبه‌بندی آلودگی روش پیشنهادی با روش Crisp-TOPSIS برای کمترین میزان آلودگی - فصل تر

Table 7- A comparison between the result of pollution ranking of proposed method and Crisp-TOPSIS for lowest pollution rate- wet season

Microg/L							Mg/L					واحد
Zn	Pb	As	Fe	Cr	Cd	Cu	TDS	Na	Cl	So4	K	پارامتر کیفی روش
۱/۷۷	۰/۶۶	۰/۴	۳۱/۷۳	۱۲۴	۱	۰/۸۸	۴۲۶	۱۵۴	۱۶۳/۸	۸۶۱/۶	۸/۶۱	Crisp-TOPSIS
۱/۲۹	۰/۶	۰	۹/۶۸	۰/۱۷	۰/۷	۰/۴۳	۳۴۸	۰/۸۷	۳۸/۲۲	۲۸/۰۷	۰/۹۱	Fuzzy-TOPSIS

خصوص رتبه ۵۹ نیز به صورت عکس تکرار شده است (جدول ۸). بر این اساس می‌توان به دقت بالای روش شبیه به حل ایده‌آل فازی در ارزیابی کیفی آبخوان پی برد.

مطابق جدول ۷ ارائه شده، اغلب پارامترها در رتبه اول که می‌بایست بیانگر کمترین میزان آلودگی باشند، در روش قطعی نسبت به رتبه اول روش فازی دارای مقادیر بالایی از غلظت پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده می‌باشند و این امر در

جدول ۸- مقایسه بین نتایج رتبه‌بندی آلودگی روش پیشنهادی با روش Crisp-TOPSIS برای بیشترین میزان آلودگی - فصل تر

Table 8- A comparison between the result of pollution ranking of proposed method and Crisp-TOPSIS for highest pollution rate - wet season

Microg /L							Mg/L				واحد	
Zn	Pb	As	Fe	Cr	Cd	Cu	TDS	Na	Cl	So4	K	پارامتر کیفی روش
۱/۱۳	۰/۶۰۶	۰	۲۹/۰۶	۰/۱۳	۱	۰/۲۸	۳۸۵/۹	۲۱/۴	۶۲/۷۹	۲۷/۵۴	۰/۷۵	Crisp-TOPSIS
۴/۱۱	۳/۳۱	۰/۸	۳۳/۸	۰/۲۲۹	۲/۵	۴/۰۷	۱۳۰۸	۸۴/۸۶	۱۲۷/۴	۲۶۲۸	۳۱/۹	Fuzzy-TOPSIS

جمع‌بندی

قطعی و فازی به ترتیب برابر با ۰/۴ و صفر میکروگرم در لیتر می‌باشد) و این امر در خصوص رتبه ۵۹ (بیشترین میزان آلودگی) نیز به صورت عکس تکرار شده است که حاکی از دقت بالای روش پیشنهادی می‌باشد. بر مبنای رویکرد این مطالعه می‌توان بیان نمود که این روش تنها با اندازه‌گیری پارامترهای کیفی، بسادگی قابلیت اجرا در هر دشت را داشته و می‌تواند با دقت بالایی رتبه آلودگی نمونه‌های کیفی را به خصوص در مواردی که ارزیابی کیفیت آب برای مصارف شرب مدنظر باشد، مورد محاسبه قرار دهد.

Reference

- Gharibi, H., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Arabalibeik, H., Yunesian, M., and Sowlat, M. H., 2012. A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic. *Journal of Environmental Management*, Vol. 112, pp. 87- 95.
- Brown, R.M., McClelland, N.I., Deininger, R.A., and Tozer, R.G., 1970. A water quality index: do we dare?. *Water Sewage Works*, Vol. 117, pp. :339-343.
- Scottish Development Department (S.D.D.), 1975. Towards cleaner water. Edinburgh: HMSO. Report of a River Pollution Survey of Scotland.
- Nasseri, M., Tajrishy, M., Nikoo, M., Zaherpour, J., 2013. Recognition and Spatial Mapping of Multivariate Groundwater Quality Index using Combined Fuzzy Method. *Journal of water*

در این تحقیق رویکردی بر مبنای روش رتبه‌بندی شبیه به حل ایده‌آل فازی برای ارزیابی کیفی آب زیرزمینی از نظر شرب در مقایسه با روش‌های قطعی پیشنهاد گردید. در روش‌های قطعی، کیفیت هر پارامتر اندازه‌گیری شده بر مبنای استانداردهای موجود به سه دسته مطلوب، قابل قبول و غیرمجاز تقسیم می‌گردد که با توجه به تعداد قابل توجه پارامترهای کیفی قابل اندازه‌گیری در هر نمونه، امکان ارائه یک تصمیم مشخص در خصوص اینکه این نمونه از نظر کیفی در چه رتبه و درجه‌ای نسبت به سایر نمونه‌ها قرار دارد، وجود ندارد.

در رویکرد پیشنهادی، علاوه بر اینکه عدم دقت‌های ناشی از نمونه‌برداری و اندازه‌گیری با لحاظ نمودن محیط فازی در رتبه‌بندی کیفی نمونه‌ها دیده شده است، اهمیت هر یک از پارامترهای کیفی نیز در تخریب کیفیت آبخوان از نظر افراد خبره لحاظ گردید. در این مطالعه بر مبنای ۵۷ و ۵۹ نمونه کیفی برداشت شده از سطح آبخوان دشت زنجان به ترتیب در دو دوره تر و خشک، میزان رتبه آلودگی هر یک از نمونه‌ها تعیین و پراکنش مکانی آن‌ها مشخص گردید. بر این اساس به ترتیب در فصل تر و خشک، نمونه‌های مرتبط با خروجی فاضلاب شهری و رودخانه زنجان رود زیر پل آمادگاه با ضریب نزدیکی نسبی ۰/۳۰۹ و ۰/۳۰۲ آلوده‌ترین نقاط دشت معرفی می‌شوند. بررسی پارامترهای کیفی مرتبط به رتبه ۱ (کم‌ترین میزان آلودگی)، نشان‌دهنده این است که اغلب پارامترها در این رتبه که می‌بایست بیان‌گر کم‌ترین میزان آلودگی باشند، در روش قطعی نسبت به روش فازی دارای مقادیر بالایی می‌باشند (به عنوان نمونه مقدار پارامتر آرسنیک واقع در رتبه ۱ روش

- variations in the data set. *Desalination* Vol. 260, pp. 129–136.
12. Nikoo, M.R., Kerachian, R., Malakpour-Estalaki, S., Bashi-Azghadi, S.N., Azimi-Ghadikolaee, M.M., 2011. A probabilistic water quality index for river water quality assessment: a case study. *Environmental Monitoring Assess*, Vol. 181, pp. 465–478.
 13. Mohammad Salah, E.A., Turki, A.M., and Al-Othman, E.M., 2012. Assessment of Water Quality of Euphrates River Using Cluster Analysis. *Journal of Environmental Protection*, Vol. 3, pp. 1629-1633.
 14. Mavukkandy, M.O., Karmakar, S., and Harikumar, P.S., 2014. Assessment and rationalization of water quality monitoring network: a multivariate statistical approach to the Kabbini River (India). *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 21 (17), pp. 10045-10066.
 15. Kahraman, C.; Engin, O.; Kabak, O.; Kaya, İ., 2009. Information systems outsourcing decisions using a group decision-making approach, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 22(6), pp. 832–841.
 16. Taylan, O., Bafail, A.O., Abdulaal, R.M.S., and Kabli, M.R., 2014. Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. *Applied Soft Computing*, Vol. 17, pp. 105–116.
 17. World Health Organization, (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality*. Fourth edition, ISBN 978 92 4 154815 1.
 18. Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI), (2009), “Characteristics of drinking water”, Standard No.1053, Fifth revision.
 19. Kaya, I., Kahraman, C., 2014. comparison of fuzzy multicriteria decision making and wastewater, Vol. 24(1), pp. 82-93. (In Persian)
 5. Avvannavar, S.M., Shrihari, S., 2008. Evaluation of water quality index for drinking purposes for river Netravathi, Mangalore, South India. *Environ Monit Assess*, Vol. 143, pp. 279–290.
 6. Safavi. H.R., Ahmadi, A., Rahmatnia, M., 2015. River Water Quality Zoning Using Combination of Principal Component Analysis (PCA) and Fuzzy Clustering Analysis. *Journal of water and wastewater*, Vol. 25(5), pp. 21-31. (In Persian)
 7. Saberi Nasr, A., Rezaei, M., Dashti Barmaki, M., 2013. Groundwater contamination analysis using Fuzzy Water Quality index (FWQI): Yazd province, Iran. *JGeope*, Vol. 3 (1), pp. 47-55.
 8. 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.
 9. 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(4), pp. 693-712.
 10. Mohebbia, M.R., Saeedi, R., Montazeri, A., Vaghefi, K.A., Labbafi, S., Oktaie, S., Abtahi, M., Mohagheghian, A., 2013. Assessment of water quality in groundwater resources of Iran using a modified drinking water quality index (DWQI). *Ecological Indicators*, Vol. 30, pp. 28–34.
 11. Noori, R., Sabahi, M.S., Karbassi, A.R., Baghvand, A., Taati Zadeh, H., 2010. Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and

- fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 114(1), pp. 1–9.
21. Management and planning Organization, 2004. Water Sampling Instruction, Bureau of technical criteria, No. 274. (In Persian)
- methods for intelligent building assessment. *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol. 20(1), pp. 59–69.
20. Chen, T.C., 2000. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under