مقاله پژوهشی

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۶۰، بهار ۱۴۰۱ صص ۱۸۳-۱۹۷

ارزیابی کیفیت آبخوان دشت جیرفت جهت مصارف شرب با استفاده از شاخص کیفیت آب زیرزمینی

محمد فاریابی[1*]

Faryabi753@yahoo.com

روح الله شجاع حیدری[2]

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۱۲ **تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۱۹**

چکیده

زمینه و هدف: آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع تامین آب در مناطق خشک و نیمه خشک است. به همین دلیل حفاظت کمی و کیفی آن نقش مهمی در توسعه این مناطق دارد. هدف این تحقیق این است که از پارامترهای کیفی آب زیرزمینی جهت ارائه شاخص کیفیت آب زیرزمینی استفاده نماید.

روش بررسی: در این مقاله کیفیت آب زیرزمینی دشت جیرفت با استفاده از شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GWQI) بررسی شده است. ابتدا نحوه محاسبه شاخص بحث شده و سپس کیفیت آب زیرزمینی توسط آن مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه علاوه بر کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب زیرزمینی از پارامترهایی مانند نیترات و فسفات و آرسنیک نیز استفاده شده است.

یافته ها: الگوی پراکندگی مکانی یون‌های اصلی تحت تاثیر زمین‌شناسی منطقه و جهت جریان آب زیرزمینی قرار دارد. غلظت یون‌های اصلی و فرعی در اغلب نقاط دشت پایین تر از حد استاندارد است.

نتیجه گیری: آب زیرزمینی در بخش وسیعی از دشت جیرفت دارای کیفیت مناسبی برای شرب است.تغذیه آب زیرزمینی توسط مخروط افکنه‌های حاشیه دشت مهمترین عامل ایجاد کیفیت مناسب آب زیرزمینی است. مقایسه نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب زیرزمینی و کلاس‌بندی نمونه‌های آب توسط روش شولر نشان‌دهنده مفید بودن شاخص کیفیت آب زیرزمینی جهت ارزیابی کیفیت آبخوان است.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، پارمترهای شیمیایی، شاخص کیفیت آب، دشت جیرفت.

۱-استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت (نویسنده مسئول)

۲-کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، شرکت سهامی آب منطقه ای استان کرمان

Human and Environment, No. 60, Spring 2022, pp.183-197

Assessment of Groundwater Quality of Jiroft Plain for Drinking Water Using Groundwater Quality Index

Mohammad Faryabi[1]*

Faryabi753@yahoo.com

Rouhollah Shojaheidari[2]

Received: November 3, 2018 **Accepted: July 10, 2019**

Abstract

Aim and scope: Groundwater is the most important source of water supply in arid and semi-arid regions. For this reason, its quantitative and qualitative protection plays an important role in the development of these areas. This study aimed to use groundwater quality parameters to develop a groundwater quality index.

Methodology: The groundwater quality of Jiroft plain was studied using the groundwater quality index (GWQI). First, the calculation process of mentioned index was discussed and then the quality of groundwater was investigated by it. In this study, parameters such as nitrate, phosphate and arsenic were also assessed in addition to the main cations and anions of groundwater.

Finding: The spatial distribution pattern of the main ions is influenced by the geological units and the direction of groundwater flow. The concentration of major and minor ions is lower than permissible limits in most parts of the plain.

Conclusion: According to the results, the groundwater has good quality for drinking water in the most parts of the Jiroft plain. Groundwater recharge by surrounding alluvial fans is the main cause of the good quality of groundwater. Comparison of the map of groundwater quality index zonation with classification of groundwater samples using Schuller method shows the usefulness of groundwater quality index for evaluating the quality of groundwater.

Key Words: Groundwater, Chemical parameters, Water quality index, Jiroft plain.

1- Assistant Professor, College of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran
2- MSc in Hydrogeology, Kerman Regional Water Authority

زمینه و هدف

آب زیرزمینی تقریباً در تمام مناطق در زیر زمین وجود دارد، اما نه در یک آبخوان وسیع و نامحدود بلکه در هزاران سیستم آبخوان با شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی متفاوت (۱). کیفیت منابع آب زیرزمینی بستگی به کیفیت آب تغذیه‌ای، بارش‌های جوی، آب‌های سطحی و فرآیندهای ژئوشیمیایی زیرسطحی دارد (۲). تغییرات زمانی در منشاء و کیفیت آب تغذیه‌ای، فاکتورهای بشری و هیدرولوژیکی ممکن است باعث تغییرات دوره‌ای در کیفیت آب زیرزمینی شوند. حوضه‌های آبرفتی بدلیل جذب و انتقال فاضلاب‌های خانگی، صنعتی و کشاورزی، نسبت به آلودگی بسیار آسیب‌پذیرند. بنابراین کنترل آلودگی آب و پایش کیفیت آنها از اهمیت زیادی برخوردار است (۳).

آب زیرزمینی مهمترین منبع تامین آب شرب در دشت جیرفت است. در سال‌های اخیر رشد جمعیت و به تبع آن رشد فزآینده فعالیت‌های کشاورزی در این منطقه باعث تهدید کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی شده است. دوره‌های خشکسالی طولانی نیز باعث تشدید این اثرات مخرب شده‌اند. بنابراین ارزیابی کیفیت آب در دشت جیرفت اهمیت زیادی دارد.

روش‌های سنتی ارزیابی کیفیت آب شامل مقایسه جداگانه پارامترهای کیفی آب با محدوده استاندارد خود هستند. هر چند که این روش‌ها ساده‌اند اما یک ارزیابی صحیح از وضعیت کیفی آب بیان نمی‌کنند (۴). بعلاوه روش‌های سنتی شامل محدوه وسیعی از پارامترهای کیفی هستند که امکان اندازه‌گیری آنها به دلیل محدودیت‌های زمانی و اقتصادی به سادگی امکان‌پذیر نیست. برای حل این مسئله شاخص کیفی آب را می‌توان استفاده کرد (۴). در سال‌های اخیر شاخص‌های مختلفی جهت ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی توسعه یافته است مانند WQI[1]، NSFWQI[2]، GQI[3] و.... در زمینه بررسی کیفیت آب با استفاده از روش شاخص کیفیت آب مطالعات زیادی در داخل و خارج از کشور انجام شده که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

عزیزی و محمدزاده (۵) با استفاده از شاخص کیفیت آب به بررسی کیفیت آب دشت امامزاده جعفر گچساران پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که آب زیرزمینی در بیشتر نقاط دشت دارای کیفیتی عالی تا خوب و فقط در بخش شمال غربی آن، به دلیل عبور آب از لایه‌های تبخیری سازند گچساران، دارای کیفیت بد تا خیلی بد است. دشتی برمکی و همکاران (۶) کیفیت آب زیرزمینی دشت لنجانات اصفهان را با استفاده از شاخص کیفیت آب بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که کیفیت آب‌زیرزمینی در این منطقه متوسط و نسبتاً خوب است. اصغری مقدم و همکاران (۷) از روش شاخص کیفیت آب در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت مهربان، بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO[4]) و استاندارد تحقیقات صنعتی ایران استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که آب زیرزمینی دشت مهربان از نظر کیفیت، بین رده‌های کاملاً نامطلوب تا مناسب قرار می‌گیرند. نوری و همکاران (۴) به بررسی پارامترهای مورد استفاده در محاسبه شاخص NSFWQI توسط محققان مختلف پرداختند. ایشان بیان کردند که استفاده از پارامترهای کیفی دیگر بجای پارامترهای اصلی شاخص NSFWQI باعث ایجاد خطا در تعیین وضعیت کیفی آبهای سطحی می‌شود. خیری و خادمی (۸) کیفیت آب زیرزمینی آبخوان نوشهر- نور در استان مازندران را با استفاده از شاخص GQI بررسی کردند. بر این اساس کیفیت آب منطقه برای مصارف شرب مناسب گزارش شده است. بابیکر و همکاران (۹) شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی توسعه دادند. این محققان بیان کردند که این

1- Water Quality Index
2-National Sanitation Foundation Water Quality Index
3- Groundwater Quality Index

4- World Health Organization

شاخص می‌تواند نشان‌دهنده تاثیر منابع مختلف آلاینده بر آب زیرزمینی باشد. واسانتهاویگر و همکاران (۲) کیفیت آب زیرزمینی در یکی از حوضه‌های آبریز هندوستان را با استفاده از شاخص کیفیت آب مطالعه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که پارامترهای مانند هدایت الکتریکی و کلراید تاثیر زیادی بر شاخص کیفیت آب دارند. گبروهیوات و همکاران (۱۰) با استفاده از شاخص WQI کیفیت آب زیرزمینی در شمال اتیوپی را بررسی کردند. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، تمام نمونه‌های آب زیرزمینی در رده خوب قرار گرفته و برای اهداف شرب مناسب هستند. پکیالاکشمی و همکاران (۱۱) کیفیت آب زیرزمینی منطقه تامیل نادو هندوستان را با استفاده شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) مورد مطالعه قرار دادند. این محققان بیان کردند که کیفیت آب زیرزمینی در بخش وسیعی از منطقه برای مصرف شرب نامطلوب است. نصرآبادی و پویان عباسی (۱۲) شاخص کیفی آب زیرزمینی شهر تهران را در ۷۱ حلقه چاه در شهر تهران بررسی کردند. با توجه به نتایج، عدد شاخص کیفیت آب زیرزمینی با روش سازمان بهداشت جهانی تعیین شد. مقایسه شاخص کیفیت آب در دو سال متوالی نشان داد که میزان کیفیت آب در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۹۰ کاهش یافته است. همچنین مشخص گردید بخش‌های شرقی و جنوبی تر شهر تهران دارای کیفیت پایین تر آب جهت مصرف شرب هستند. حشمتی و بیگی هرچگانی (۱۳) کیفیت شرب آب زیرزمینی شهرکرد براساس شاخص کیفیت آب زیرزمینی ارزیابی کردند. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق کیفیت آبخوان در شمال غربی خوب است و به طرف جنوب کیفیت آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. تحلیل حساسیت به روش حذف تک نقشه نشان داد شاخص کیفیت آب زیرزمینی در سفره شهرکرد نسبت به کل جامدات محلول و تا اندازه‌ای یون سدیم حساس است. خسروی و همکاران (۱۴) برای بررسی وضعیت تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت یزد- اردکان از شاخص کیفیت آب (GQI) استفاده کردند .نتایج نشان داد که آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان در کلاس های متوسط و قابل قبول قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج به دست آمده سه پارامتر کل مواد جامد محلول، سدیم و کلراید بیشترین تأثیر در مقدار شاخص کیفیت آب زیرزمینی را دارند. بندقرایی و همکاران (۱۵) جهت ارزیابی و تهیه نقشه پهنه بندی کیفیت آب زیر زمینی منطقه غرب کوهسرخ از شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) در محیط GIS استفاده کردند. نتایج این مطالعات نشان داد که مقدار شاخص GQI بین ۸۲/۹ تا ۹۴/۸ متغیر است و آب زیرزمینی منطقه از نظر استاندارد های آب آشامیدنی در رده کیفیت مناسب تا قابل قبول قرار می‌گیرد. همچنین مقدار شاخص GQI از طرفین به سمت مرکز منطقه کاهش یافته است که می‌تواند متأثر از عوامل زمین شناسی از قبیل لیتولوژی و جهت جریان و همچنین سیستم هیدروترمال فعال در منطقه باشد.

در اغلب تحقیقاتی که در ایران انجام شده از پارامترهایی مانند کل جامدات محلول، هدایت الکتریکی و غلظت یون‌های کلسیم، سدیم، منیزیوم، پتاسیم، بی‌کربنات، سولفات و کلراید برای محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی استفاده شده و پارامترهایی که شاخص‌های آلودگی آب زیرزمینی هستند، کمتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اکثر تحقیقات انجام شده نیز معمولاً به ارائه مقدار کمی این شاخص بسنده کرده و کمتر به پهنه بندی این شاخص پرداختند. علاوه بر این موارد، در مطالعات قبلی مقایسه شاخص کیفیت آب زیرزمینی با روش‌های سنتی تعیین کیفیت آب مانند روش شولر (۱۶) انجام نشده است. در این تحقیق سعی شده است تا از پارامترهای معمول کیفی آب زیرزمینی همراه با پارامترهایی مانند نیترات، فسفات و آرسنیک جهت محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GWQI[1]) استفاده شود. همچنین از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) جهت پهنه‌بندی این شاخص و عوامل موثر بر وضعیت کیفی آب زیرزمینی استفاده شده است.

1- Groundwater Quality Index

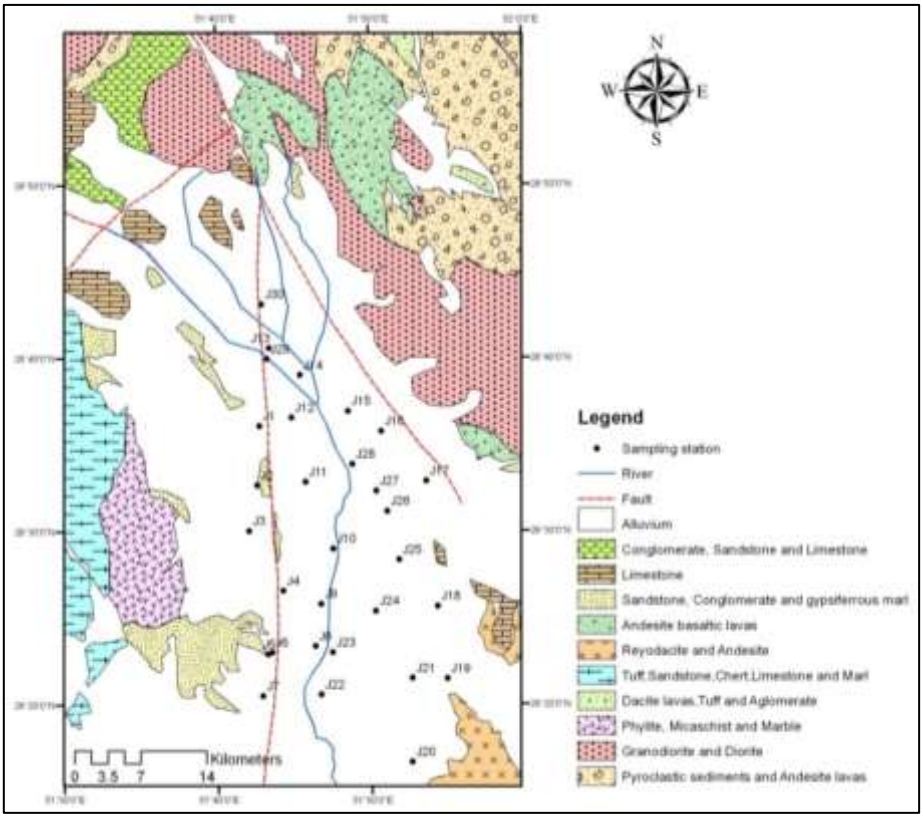
روش بررسی

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز دشت جیرفت بخشی از حوضه غربی جازموریان است که بین طول‌های جغرافیایی ´۳۰ °۵۷ و °۵۸ شرقی و عرض‌های جغرافیای ´۱۵ °۲۸ و ´۴۵ °۲۹ شمالی، در جنوب شرقی ایران قرار گرفته است. وسعت دشت جیرفت ۱۴۰۵ کیلومتر مربع است و ارتفاع آن از سطح دریا بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ متر متغیر می‌باشد. شیب کلی این حوضه ازسمت شمال به سمت جنوب و متوسط بارندگی سالانه آن ۱۷۰ میلی‌متر است. در دشت جیرفت چندین رودخانه دائمی و فصلی جریان دارند که مهمترین آنها رودخانه هلیل‌رود است. منطقه مورد مطالعه بخشی از حوزه رسوبی ساختاری ایران مرکزی است. تاثیر نیروهای تکتونیکی بصورت نیروهای کششی و فشارشی، شکستگی‌ها و گسل‌های فراوانی را در این منطقه ایجاد کرده است. این گسل‌ها سبب شده‌اند که حوزه آبریز دشت جیرفت بصورت یک دره فروافتاده درآید. رسوبات آبرفتی این دره پس از فرسایش کوه‌های اطراف، توسط رودخانه‌های هلیل‌رود و شور از طریق مسیل‌هایی به داخل دشت هدایت و رسوبگذاری شده‌اند (۱۷). حاشیه شمال و شرق دشت جیرفت توسط سنگ‌های آذرین (گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت)، رسوبات آبرفتی و مخروط‌افکنه‌های کواترنری مشخص می‌شود. در حاشیه غربی، مخروط افکنه‌های جوان دوره کواترنر و سنگ‌هایی از قبیل ماسه‌سنگ و کنگلومرای نئوژن مشاهده می‌شود. حاشیه جنوبی دشت نیز توسط رسوبات ماسه‌ای و کنگلومرای سست نئوژن مشخص می‌گردد (شکل۱). قدیمی‌ترین واحدهای سنگ‌شناسی منطقه را شیست‌های سرسیتی همراه با تناوبی از فیلیت و آمفیبولیت به سن احتمالی پرمین تشکیل می‌دهند. دشت جیرفت از رسوبات کواترنری تشکیل شده است و شامل دو آبخوان آزاد و تحت‌فشار است، البته آبخوان تحت فشار به سمت حواشی دشت محدود شده و به آبخوان آزاد تبدیل می‌شود. هر چه از قسمت شمالی به طرف مرکز دشت نزدیک می‌شویم، آبرفت‌ها ریزدانه‌تر شده و از قطعات سنگی بزرگ، قلوه‌سنگ و شن به ماسه، رس و سیلت تبدیل می‌شوند (۱۷). جهت کلی جریان آب زیرزمینی از شمال شرقی به سمت جنوب و جنوب غرب دشت است.

روش تحقیق

جهت بررسی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت جیرفت ۳۰ نمونه آب از چاه‌های کشاورزی منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری شد. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ ارائه شده است. نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی، آرسنیک، نیترات و فسفات به آزمایشگاه منتقل شدند.



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه همراه با موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Figure 1- Geological map of the study area and location of sampling station

در این تحقیق از پارامترهای هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی جهت محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GWQI) استفاده شده است. امتیاز بندی شاخص کیفیت آب زیرزمینی جهت کمی‌کردن کیفیت کلی آب انجام شده است. شاخص کیفیت آب به عنوان یک تکنیک امتیازدهی[1] است که تاثیر ترکیبی[2] هر کدام از پارامترهای کیفی بر کیفیت کلی آب را مشخص می‌کند (۱۸). از مزایای این روش مقایسه کیفیت آب آبخوان‌های مختلف با محاسبه میانگین این شاخص برای هر آبخوان است. در ضمن با استفاده از تغییرات زمانی این شاخص می‌توان تغییرات کیفیت آب زیرزمینی را نسبت به زمان نشان داد که می‌تواند جایگزین بسیار خوبی برای کموگراف آبخوان باشد.

جهت محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی چهار مرحله وجود دارد (۲):

مرحله اول: وزن دهی به پارامترها

پارامترهای کیفی آب بر اساس اهمیت نسبی هر کدام در کیفیت کلی آب جهت مصارف شرب وزن‌دهی می‌شوند. بیشترین وزن به پارامترهایی مانند نیترات، مجموع مواد جامد محلول، کلراید، آرسنیک و سولفات داده می‌شود، زیرا این پارامترها در ارزیابی کیفی آب مهم‌ترند (۱۴). به پارامترهای دیگر نیز با توجه به اهمیت‌شان وزنی بین ۱ تا ۵ تعلق می‌گیرد.

مرحله دوم: محاسبه وزن نسبی پارامترها

وزن نسبی هر پارامتر با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود (۲):

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \qquad (1)$$

1- Rating technique
2- Composite influence

که در این رابطه W_i وزن نسبی، w_i وزن هر پارامتر و n تعداد پارامترها است.

مرحله سوم: محاسبه امتیاز کیفی

در این مرحله امتیاز کیفی برای هر پارامتر با توجه به فرمول زیر محاسبه می‌شود (۲):

$$q_i = (C_i / S_i) \times 100 \qquad (۲)$$

که در این رابطه q_i مقیاس امتیاز کیفی، C_i غلظت هر پارامتر در نمونه‌های آب بر حسب میلی‌گرم در لیتر و S_i استاندارد سازمان بهداشت جهانی برای همان پارامتر است.

مرحله چهارم: محاسبه شاخص کیفی آب زیرزمینی

در نهایت برای محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی از فرمول زیر استفاده می‌شود (۲):

$$GWQI = \sum_{i=1}^{n} W_i . q_i \qquad (۳)$$

پس از محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی، کیفیت آب جهت مصرف شرب بر اساس جدول ۱ رتبه‌بندی می‌گردد.

جدول۱ -رتبه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی بر اساس شاخص کیفیت آب (۱۰)

Table 1- Classification of groundwater quality based on water quality index (10)

شاخص کیفیت آب زیرزمینی	کیفیت آب
کمتر از ۴۵	عالی
۴۵-۱۰۰	خوب
۱۰۰-۲۰۰	نامناسب
۲۰۰-۳۰۰	خیلی بد
بیشتر از ۳۰۰	غیر قابل استفاده

یافته‌ها

نمایه‌های آماری پارامترهای کیفی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به این جدول یون‌های سدیم، سولفات و کلراید بیشترین تغییرات را در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند.

در این مطالعه استانداردهای کیفی آب شرب سازمان بهداشت جهانی (۱۹) برای محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (جدول ۳). وزن و وزن نسبی پارامترهای کیفی آب نیز در جدول ۳ ارائه شده است. این وزن‌ها بر اساس اهمیت پارامترهای مختلف در تعیین کیفیت آب و با مراجعه به تحقیقات قبلی در مورد شاخص کیفیت آب تعیین شده‌اند. امتیاز کیفی (q_i) برخی از پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی نیز در شکل ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود پارامترهای اصلی آب زیرزمینی مانند کل جامدات محلول، یون سولفات، یون سدیم و یون کلراید بیشترین امتیاز کیفی را در بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند و در واقع بدترین آب از لحاظ این یون‌ها در بخش جنوبی منطقه، که خروجی آب زیرزمینی از دشت جیرفت است، مشاهده می‌شود. یون‌های نیترات و آرسنیک الگوی متفاوتی از امتیاز کیفی را در مقایسه با یون‌های اصلی آب زیرزمینی نشان می‌دهند. این الگوی متفاوت نشان‌دهنده منشاء متفاوت این آلاینده‌ها است. الگوی پراکندگی مکانی یون‌های اصلی عمدتا تحت تاثیر زمین‌شناسی منطقه و جهت جریان آب زیرزمینی قرار دارد (۱۷). به عبارت دیگر منشاء یون‌های اصلی زمین‌زاد است. در صورتی‌که غلظت یون‌های آرسنیک و نیترات تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار

گرفته و این یون‌ها دارای منشاء انسان‌زاد می‌باشند. الگوی پراکندگی مکانی یون‌های آرسنیک و نیترات از جهت جریان آب زیرزمینی پیروی نمی‌کند و منشاء آنها نیز عمدتاً مربوط به فعالیت‌های کشاورزی است (۲۰).

با توجه به موارد بالا فرمول محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$GWQI= (0.00013\times TDS) + (0.00052\times Cl^{-}) + (0.00052\times SO_4^{2-}) + (0.0043\times PO_4^{3-}) + (0.0029\times NO_3^{-}) + (13\times As) + (0.0011\times Ca^{2+}) + (0.0027\times Mg^{2+}) + (0.00055\times Na^{+}) + (0.0042\times K^{-}) \quad (۴)$$

جدول ۲- نمایه‌های آماری پارامترهای شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی (میلی‌گرم در لیتر)

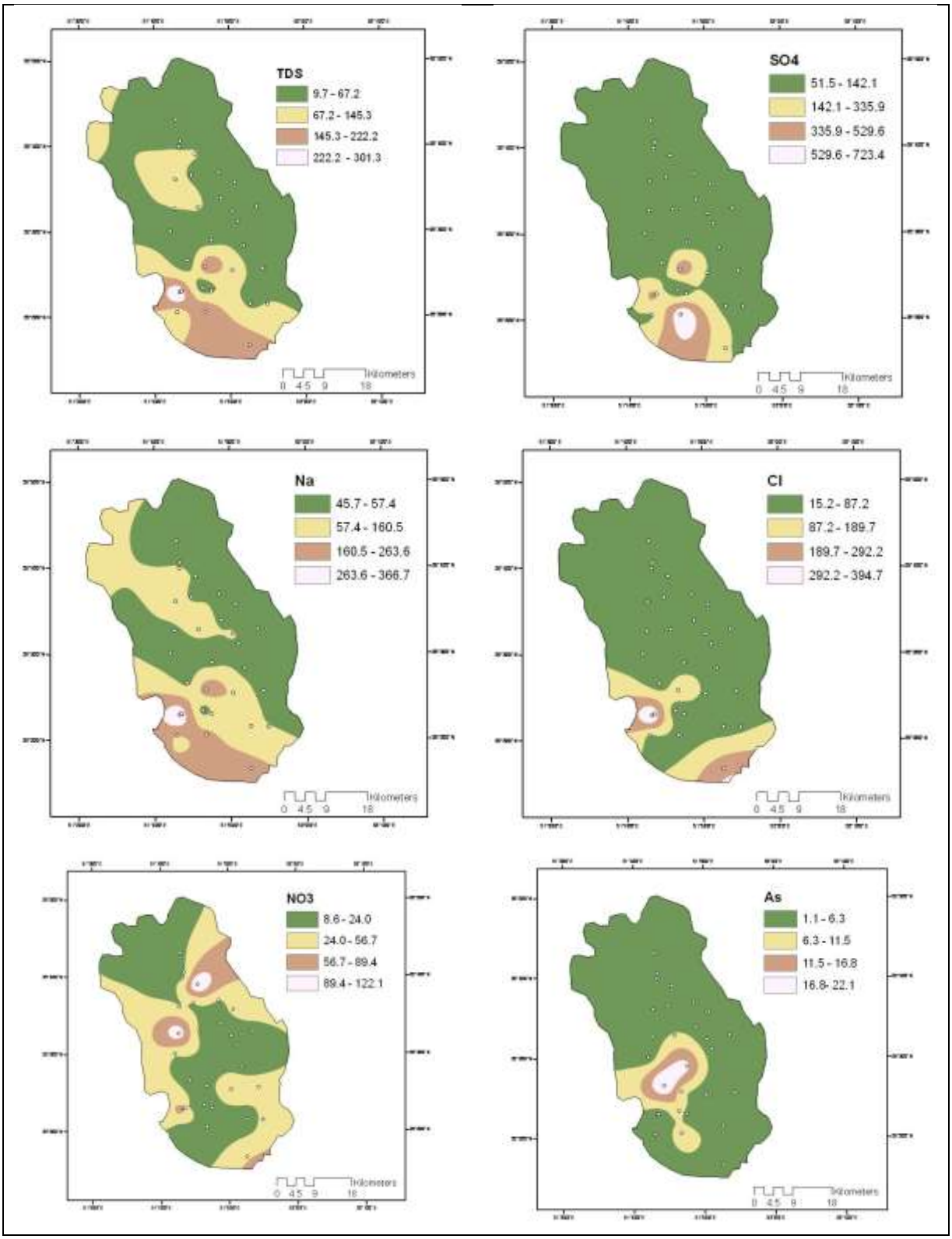
Table 2- Statistical parameters of chemical properties of groundwater samples (mg/l)

پارامتر	کل جامدات محلول	کلراید	سولفات	نیترات	آرسنیک	کلسیم	منیزیوم	سدیم	پتاسیم
میانگین	۸۰۹/۰۳	۱۶۳/۹	۲۹۱/۶۸	۱۲/۴۲	۰/۰۳۹	۸۳	۲۷/۶۴	۷۳/۹	۳/۲۸
انحراف معیار	۶۹۹/۵	۲۳۶/۸	۳۷۸/۰۳	۱۲/۶۸	۰/۰۳۵	۹۰/۱۱	۲۶/۹۴	۱۷۱/۹	۲/۶۹
حداکثر	۳۱۰۱	۱۰۰۸	۱۷۹۵/۲	۵۴/۷۱	۰/۱۶	۴۳۶	۱۰۳/۲	۷۵۲/۱	۱۴/۰۴
حداقل	۲۲۸	۱۴/۲	۲۸/۸	۱/۷۳	۰/۰۲	۱۰	۳/۶	۱۸/۴	۱/۱۷
دامنه تغییرات	۲۸۷۳	۹۹۴	۱۷۶۶/۴	۵۲/۹۸	۰/۱۵۸	۴۲۶	۹۹/۶	۷۳۳/۷	۱۲/۸۷

جدول ۳- وزن نسبی پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی

Table 3- Relative weight of chemical properties of groundwater

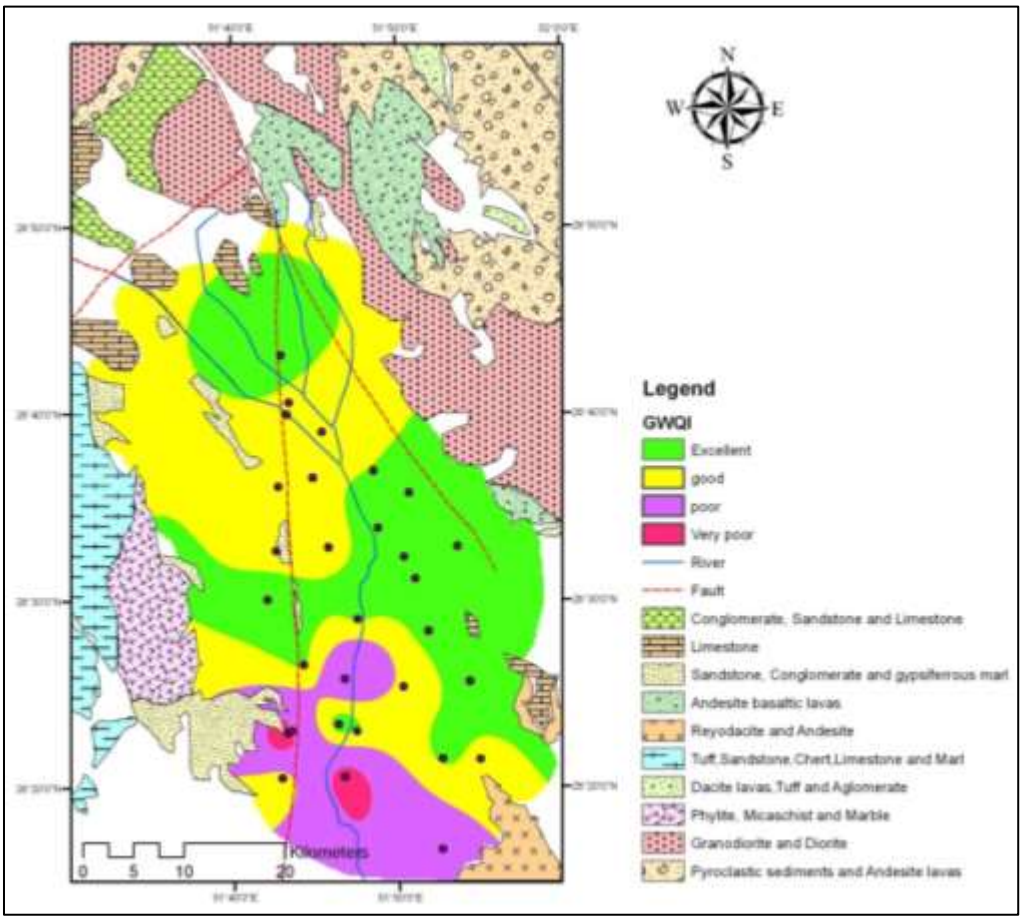
پارامتر شیمیایی	استاندارد WHO (میلی گرم در لیتر)	وزن (w_i)	وزن نسبی (W_i)
کل جامدات محلول (TDS)	۱۰۰۰	۵	۰/۱۳
کلراید (Cl^{-})	۲۵۰	۵	۰/۱۳
سولفات (SO_4^{2-})	۲۵۰	۵	۰/۱۳
فسفات (PO_4^{3-})	۷	۱	۰/۰۳
نیترات (NO_3^{-})	۴۵	۵	۰/۱۳
آرسنیک (As)	۰/۰۱	۵	۰/۱۳
کلسیم (Ca^{2+})	۷۵	۳	۰/۰۸
منیزیوم (Mg^{2+})	۳۰	۳	۰/۰۸
سدیم (Na^{+})	۲۰۰	۴	۰/۱۱
پتاسیم (K^{-})	۱۲	۲	۰/۰۵



شکل ۲- پراکندگی مکانی امتیاز کیفی برخی از پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

Figure 2- Spatial distribution of qualitative rating of some of groundwater quality parameters

نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب زیرزمینی دشت جیرفت در شکل ۳ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه جهت مصارف شرب از محدوده عالی تا بد و خیلی بد متغیر است. بخش وسیعی از دشت جیرفت دارای کیفیت عالی و بسیار خوب به ویژه در بخش‌های شمالی و مرکزی دشت است. مخروط‌افکنه‌های وسیع موجود در منطقه تغذیه آبخوان در حاشیه شرقی و غربی دشت جیرفت (شکل ۴) نقش بسیار مهمی در ایجاد کیفیت مناسب آب زیرزمینی در این مناطق دارند. حضور رسوبات تبخیری به ویژه مارن‌های گچ‌دار در بخش‌های جنوبی دشت نقش زیادی در تخریب کیفیت آب دارد. به طوری که آب زیرزمینی در این مناطق کیفیت بد و بسیار بد را نشان می‌دهد. خروجی آب زیرزمینی از دشت جیرفت هم بخش جنوبی آن است که روند طبیعی افزایش املاح در این بخش مشاهده می‌شود.

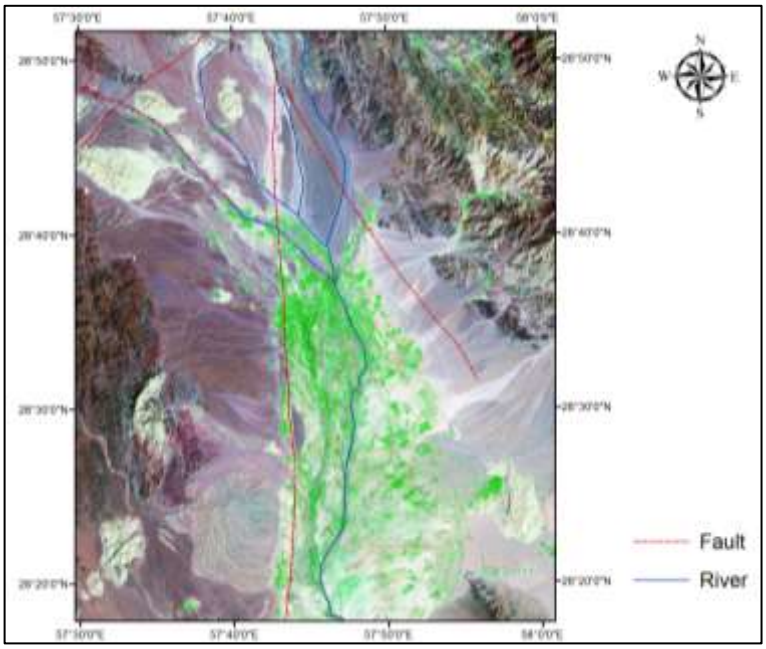


شکل ۳- پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت جیرفت بر اساس شاخص کیفیت آب زیرزمینی

Figure 3- Zoning of groundwater quality of Jiroft plain based on groundwater quality index

در جدول ۴ ضرایب همبستگی بین پارامترهای مختلف و شاخص کیفیت آب زیرزمینی ارائه شده است. همه پارامترها بجز آرسنیک و نیترات همبستگی بالایی با شاخص کیفیت آب زیرزمینی دارند، دلیل این موضوع این است که مقدار آرسنیک و نیترات آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در اغلب نمونه‌ها کمتر از محدوده مجاز آن در آب آشامیدنی است، بطوری‌که حتی اگر این لایه‌ها در

محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی بکار گرفته نشوند نیز تغییر چندانی در مقدار این شاخص بوجود نخواهد آمد. دلیل دیگر آن منشاء متفاوت این یون‌ها در آب زیرزمنیی است. یون‌های نیترات و آرسنیک دارای منشاء انسانزاد هستند در حالی که سایر پارامترهای کیفی مورد استفاده در این تحقیق دارای منشاء زمین‌زاد می‌باشند.



شکل۴- تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه (ماهواره لندست)

Figure 4- Satellite image of the study area (Landsat satellite)

جدول ۴- ضریب همبستگی لایه‌های مختلف و شاخص کیفیت آب زیرزمینی

Table 4- Correlation coefficient of different layers and groundwater quality index

پارامتر	TDS	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO_4	As	NO_3
ضریب همبستگی با GWQI	۰/۹۸	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۸۳	۰/۸۰	۰/۹۲	-۰/۰۲۵	۰/۲۲

معیارهای کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف شرب بر اساس تقسیم‌بندی شولر در جدول ۵ ارائه شده است. شولر کیفیت آب شرب را بر اساس پارامترهایی مانند یون‌های سدیم، کلر، سولفات و پارامترهای مانند سختی کل و کل جامدات محلول به شش درجه تقسیم‌بندی کرده است. در این مطالعه علاوه بر کل جامدات محلول و همه یون‌های اصلی محلول در آب، از یون‌های آرسنیک، نیترات و فسفات هم برای محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی استفاده شده است.

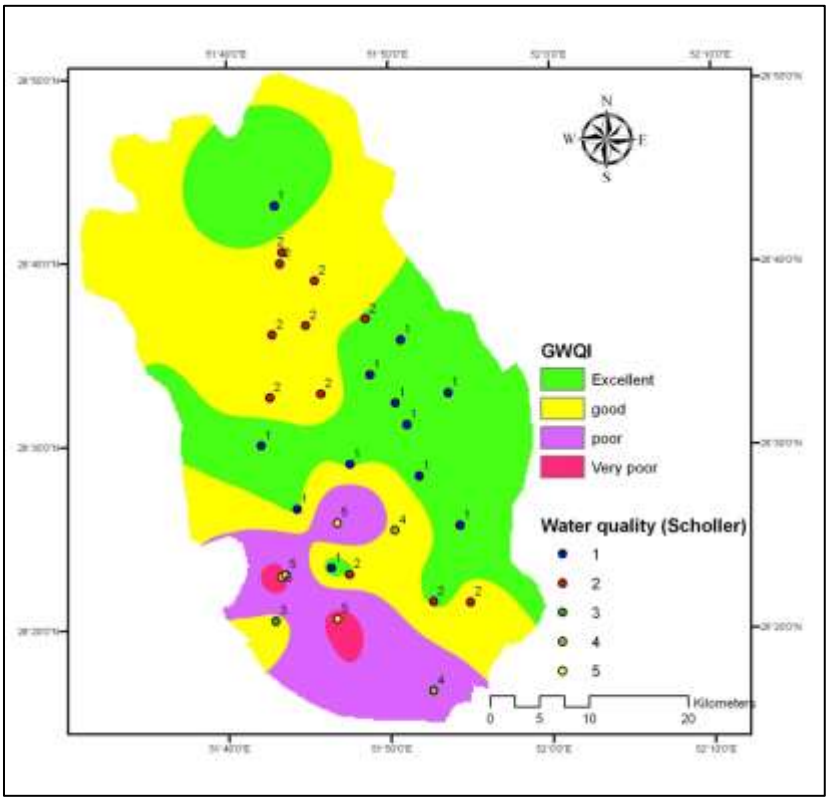
در شکل ۵ نتایج حاصل از شاخص کیفیت آب زیرزمینی با روش تقسیم‌بندی شولر مقایسه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود نتایج حاصل از این دو روش همخوانی خوبی با هم دارد. دلیل این امر را می‌توان کم بودن غلظت یون‌های آرسنیک، نیترات و فسفات در اغلب نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه دانست که باعث شده تا نتایج این دو روش تفاوت چندانی با هم نداشته باشند. البته یکی از مزیت‌های شاخص کیفیت آب نسبت به روش شولر قابلیت پهنه‌بندی مکانی

آن است. در روش شولر کیفیت نمونه‌های آب به صورت مجزا ارائه می‌شود و امکان پهنه‌بندی مکانی کیفیت آب زیرزمینی وجود ندارد.

جدول۵- معیارهای کیفی آب شرب طبق تقسیم‌بندی شولر (۱۶)

Table 5- Qualitative criteria of drinking water based on Scholler classification (16)

کیفیت آب	سدیم	کلر	سولفات	سختی‌کل	کل جامدات محلول	درجه
خوب	<۱۱۵	<۱۷۷/۵	<۱۱۴	<۲۵۰	<۵۰۰	۱
قابل قبول	۱۱۵-۲۳۰	۱۱۷/۵-۳۵۰	۱۴۴-۲۸۸	۲۵۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۲
نامناسب	۲۳۰-۴۶۰	۳۵۰-۷۱۰	۲۸۸-۵۷۶	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۳
بد	۴۶۰-۹۲۰	۷۱۰-۱۴۲۰	۵۷۶-۱۱۵۲	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۴
موقتاً قابل شرب	۹۲۰-۱۸۴۰	-۲۸۴۰	۱۱۵۲-۲۳۰۴	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۴۰۰۰-۸۰۰۰	۵
غیر قابل شرب	>۱۸۴۰	>۲۸۴۰	>۲۳۰۴	>۴۰۰۰	>۸۰۰۰	۶



شکل ۵ - مقایسه بین شاخص کیفیت آب زیرزمینی و تقسیم بندی شولر

Figure 5- Comparison of groundwater quality index and Scholler classification

نتیجه گیری

در این تحقیق از شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GWQI) جهت ارزیابی وضعیت کیفی آب زیرزمینی آبخوان دشت جیرفت استفاده شده است. برای این‌کار از پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی مانند کاتیون‌های و آنیون‌های اصلی، کل جامدات محلول و یون‌های نیترات، آرسنیک و فسفات استفاده شده است. بر اساس مقادیر شاخص کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، نقشه پهنه بندی کیفیت آب زیرزمینی تهیه شده است. بر اساس این نقشه محدوده وسیعی از دشت جیرفت دارای کیفیت مناسبی برای شرب است. البته بخش‌های جنوبی دشت کیفیت بد و خیلی بد را هم نشان می‌دهند. بررسی ضرایب همبستگی پارامترهای مختلف شیمیایی آب زیرزمینی و شاخص کیفیت آبخوان نشان داد که همه پارامترها بجز آرسنیک و نیترات، همبستگی بالایی با شاخص کیفیت آب زیرزمینی دارند، دلیل این موضوع این است که مقدار آرسنیک و نیترات آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در اغلب نمونه‌ها کمتر از محدوده مجاز آن در آب آشامیدنی است، بطوریکه حتی اگر لایه‌های نیترات و آرسنیک در محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی بکار گرفته نشوند، نیز تغییر چندانی در مقدار این شاخص بوجود نخواهد آمد.

مقایسه نقشه شاخص کیفیت آب زیرزمینی و کلاس‌بندی آب توسط روش شولر نشان‌دهنده مفید بودن شاخص کیفیت آب زیرزمینی جهت ارزیابی و مقایسه کمی کیفیت آبخوان‌ها است. نتایج حاصل از این دو روش همخوانی خوبی با هم دارد. دلیل این موضوع اهمیت پارامترهای مشترک در این دو روش در تعیین کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه است. یون‌هایی مانند سولفات، کلراید و سدیم از مهمترین پارامترهای تاثیرگذار بر وضعیت کیفی آب زیرزمینی دشت جیرفت هستند که هم در تقسیم بندی شولر و هم در روش شاخص کیفیت آب برای تعیین کیفیت آب شرب مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته یکی از مزیت‌های شاخص کیفیت آب نسبت به روش شولر قابلیت پهنه‌بندی مکانی آن است. در روش شولر کیفیت نمونه‌های آب به صورت مجزا ارائه می‌شود و امکان پهنه‌بندی مکانی کیفیت آب زیرزمینی وجود ندارد. در حالیکه در روش شاخص کیفیت آب به خوبی می‌توان کیفیت آب زیرزمینی را پهنه‌بندی کرد. پیشنهاد می‌شود که شاخص کیفیت آب به عنوان جایگزینی برای هدایت الکتریکی آب در کموگراف آبخوان‌های کشور استفاده شود و از تغییرات زمانی آن برای بررسی تغییرات کیفی آب در طول زمان استفاده شود.

منابع

1- Chitsazan, M., Faryabi, M., Zarasvandi, A.R., 2015. Evaluation of river-aquifer interaction in the north part of Dezful-Andimeshk district, SW of Iran. Arabian Journal of Geoscience, Vol. 8, No. 9, pp. 7177–7189.

2- Vasanthavigar, M., Srinivasamoorthy K., Vijayaragavan, K., Rajiv Ganthi, R., Chidambaram, S., Anandhan, P., Manivannan R., Vasudevan, S., 2010. Application of water quality index for groundwater quality assessment: Thirumanimuttar sub-basin, Tamilnadu, India. Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 1, pp. 595-601.

3- Simeonov, V., Stratis, J. A., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsa, D., Anthemidis, A., 2003, Assessment of the surface water quality in Northern Greece. Water Research, Vol. 37, pp. 4119–4124.

4- Noori, R., Berndstoon, R., Hosseinizadeh, M., Adamowski, J.F., Rabiee Abyaneh, M., 2019. A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water

Quality Index. Environmental Pollution, Vol. 244, pp. 575-587.

5- Azizi, F., Mohannadzade, H., 2012. Aquifer vulnerability and evaluation of groundwater quality spatial variations in Gachsaran Emamzadeh Jaafar plain using DRASTIC model and GWQI index. Water Resource Management, Vol. 5, pp. 1-16. (In Persian)

6- Dashti Barmaki, M., Rezaei, M., Saberi Nasr, A., 2014. Assessment of groundwater quality index (GQI) for Lenjanat aquifer using GIS. Engineering Geology, Vol. 8, No. 2, pp. 212-328. (In Persian)

7- Asghari Moghaddam, A., Javanmard, Z., Vadeati, M., Allaf Najib, M., 2015. Evaluating the quality of Mehraban plain groundwater resources using GQI and FGQI methods. Hydrogeomorphology, No. 2, pp 79-98. (In Persian).

8- Kheri, H., Khademi, S., 2015. Application of groundwater quality index to assess the drinking water quality of Nour-Noushahr aquifer. 7th seminar of Economic Geology, Shiraz, Iran. (In Persian)

9- Babiker, S., Mohamed, M. A., Hiyama, T., 2007. Assessing groundwater quality using GIS. Water Recourse Management, Vol. 21, pp. 699-715.

10- Gebrehiwot, A. B., Tadesse, N., Jigar, E., 2011. Aplication of water quality index to assess suitablity of groundwater quality for drinking purposes in Hantebet watershed, Tigray, Northern Ethiopia. Food and Agriculture Science, Vol. 1, No.1, pp. 22-30.

11- Packialakshmi, S., Deb, M., Chakraborty H., 2015. Assessment of groundwater quality index in and around Sholinganallur area, Tamil Nadu. Indian Journal of Science and Technology, Vol. 8, No. 36, pp. 1-7.

12- Nasrabadi, T., Abasi Maedeh, P., 2013. Evaluation of Tehran city groundwater quality by WHO water quality index. Human and Environment, Vol. 12, No. 3, pp. 1-12. (In Persian)

13- Heshmati, S. S., Beigi Harchegani, H., 2014. A GIS-based assessment of drinking quality of Shahrekord groundwater using an Index. Water and Soil Science, Vol. 69, No. 18, pp.179-190. (In Persian)

14- Khosravi, H., Haydari Alamdarloo, E., Nasabpour, S., 2017. Investigation of spatial-temporal changes of groundwater quality of Yazd-Ardakan plain using GQI. Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), Vol. 26, No. 104, pp. 24-39. (In Persian)

15- Soleymani, S., Mahmudy Gharaie, M.H., Ghasemzadeh, F., Sayyareh, A., 2014. Investigation on water resources quality by application of GQI index and GIS in west of Kooh-Sorkh. Geosciences, Vol. 23, No. 89, pp. 175-182. (In Persian)

16- Almodaresi, S.A., Derakhshan, Z., Faramarzian, Miri, M., Shokouhi, M.R., 2015. The zoning of groundwater quality for drinking purpose using Schuller model and

geographic information system (GIS). Journal of Community Health Research, Vol. 4, No. 2, pp. 138-147.

17- Faryabi, M., Kalantari, N., Negarestani, A., 2010. Evaluation of the factors influencing groundwater quality of Jiroft plain using hydrochemical and statistical methods. Geosciences, Vol. 20, No. 77, pp. 115-120. (In Persian)

18- Mitra, B. K., 1998. Spatial and temporal variation of ground water quality in sand dune area of Aomori prefecture in Japan, ASABE meeting.

19- World Health Organization (WHO), 2008. Guidelines for drinking water quality. Recommendations, World health Organization. Geneva.

20- Shojaheidari, R., 2008. Effect of agriculture on the groundwater quantity and quality of Jiroft plain aquifer. Shahid Beheshti University of Tehran, Department of Earth science, MSc thesis. (In Persian)