ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر بر پایه شاخص کیفی آب زیرزمینی (GQI) و سامانه اطلاعات جغرافیایی

زهرا عباسی[۱*]، حمیدرضا عظیم‌زاده[۱]، علی طالبی[۲] و احد ستوده[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۵)

چکیده

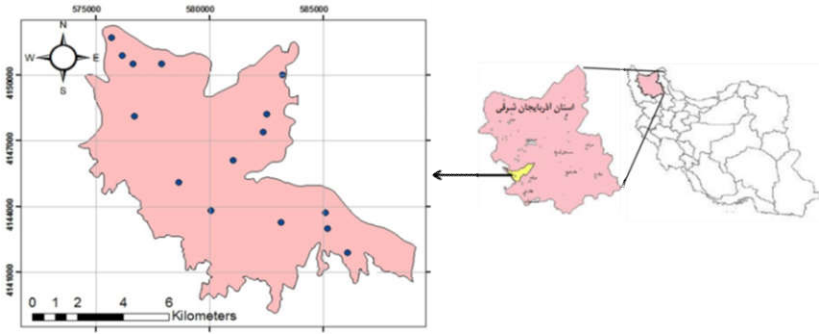
ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی از نظر تأمین آب شرب، اهمیت شایانی دارد. منابع آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر واقع در حاشیه دریاچه ارومیه به‌دلیل برداشت بی‌رویه با افت سطح آب و نفوذ آب شور به سفره آب شیرین مواجه شده است. هدف این مطالعه، پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت با استفاده از شاخص کیفی آب زیرزمینی و سامانه اطلاعات جغرافیایی است. در این مطالعه، از نتایج آنالیز ۱۰ پارامتر شیمیایی کلسیم، سدیم، منیزیم، پتاسیم، سولفات، بی‌کربنات، کلراید، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول و سختی کل در ۱۵ حلقه چاه استفاده شد. ابتدا نقشه غلظت مؤلفه‌ها به‌روش کریجینگ ترسیم شد. سپس بر اساس استاندارد شرب سازمان بهداشت جهانی، نقشه نرمال و رتبه تهیه و با استخراج وزن هر مؤلفه از نقشه رتبه، نقشه شاخص کیفی تهیه شد. نتایج نشان داد که مقدار شاخص کیفی بین ۶۱ تا ۸۱ در رده‌های متوسط تا قابل قبول است. تحلیل حساسیت مدل به روش حذف تک‌نقشه نشان داد که شاخص کیفی نسبت به پتاسیم حساس‌تر است. به‌طورکلی، شاخص کیفیت آب در شمال شرقی به جنوب غربی دشت و سایر مناطق آن به‌ترتیب در رده قابل قبول و رده متوسط قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان عجب‌شیر، آنالیز حساسیت، سامانه اطلاعات جغرافیایی، شاخص کیفی آب زیرزمینی

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد
۲. گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Abbasi_za@yahoo.com

مقدمه

یک‌سوم جمعیت جهان از آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب استفاده می‌کنند. از این‌رو، ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی به منظور دستیابی به توسعه پایدار امری ضروری است (۱۲). در نواحی خشک و نیمه‌خشک، اهمیت منابع آب زیرزمینی بیشتر است (۱۳). در ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی، استفاده از ابزارها و تکنیک‌های مناسب برای پردازش داده‌های کیفی بسیار کارآمد است. یکی از روش‌های مفید برای ارزیابی کیفیت آب، شاخص‌های کیفی آب (WQI) هستند که به روش‌های مختلفی محاسبه می‌شوند (۳). در همه روش‌ها، برآیند اثر مؤلفه‌های مختلف کیفی آب در قالب یک عدد کلی که بیانگر کیفیت آب است، ارائه می‌شود و مقدار عددی شاخص هم در بازه‌های مختلف توصیفی قرار می‌گیرد. از آنجا که در کیفیت آب آشامیدنی همه یون‌های اصلی سهیم هستند، به‌دست آوردن معیاری که در آن اثر همه این یون‌ها به‌صورت تلفیقی درنظر گرفته شود، دارای اهمیت است (۳). به این منظور بابیکر و همکاران (۸) شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) را معرفی کرده و در یکی از آبخوان‌های کشور ژاپن به‌کار گرفتند. آنها از نتایج آنالیز کیفی مؤلفه‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کل جامدات محلول، کلر و سولفات در ۵۰ حلقه چاه استفاده کردند و نقشه‌های غلظت مؤلفه‌ها، نرمال و رتبه را تهیه و سپس نقشه شاخص کیفیت آب زیرزمینی آماده کردند. در این راستا، استاندارد شرب سازمان بهداشت جهانی (WHO) مورد استفاده قرار گرفته است. این مطالعه نشان داد که شاخص کیفیت آب زیرزمینی در منطقه عموماً بالاست (بیشتر از ۹۰). تحلیل حساسیت مدل نشان داد که تغییر در شاخص کیفی آب زیرزمینی پس از حذف منیزیم بیشتر از سایر عوامل بود که نشان‌دهنده حساسیت بیشتر مدل به این مؤلفه بود (۸). در سال‌های بعد محققان دیگری نیز از شاخص GQI برای ارزیابی کیفیت آب استفاده کردند. به‌طور مثال، گبرهیوات و همکاران (۱۰) به مطالعه کیفیت آب زیرزمینی آبخوان هانت‌بت با استفاده از شاخص کیفیت آب زیرزمینی پرداختند. در این مطالعه، از ۱۰ پارامتر کیفی شامل آنیون‌ها و کاتیون‌های پایه، نیترات و کل جامدات محلول استفاده شد. بر پایه نتایج به‌دست آمده، شاخص محاسباتی منطقه بین ۵۴ تا ۸۶ بوده و در رده مناسب تا قابل قبول قرار گرفتند (۱۰). ماچیوال و همکاران (۱۱) کیفیت آب زیرزمینی راجستان واقع در غرب هند را با محاسبه این شاخص در سامانه اطلاعات جغرافیایی ارزیابی کردند. آنها از نتایج هشت فاکتور کیفی استفاده و نقشه‌های مربوطه را تهیه کردند. نتایج نشان داد کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه به‌طورکلی برای آشامیدن و آبیاری (با متوسط شاخص ۷۴) مناسب است. همچنین نقشه‌های حاصل حاکی از کیفیت بالاتر در شمال غرب و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه بود (۱۱). بدرددوزا و همکاران (۹) خواص کیفی آب‌های زیرزمینی را با استفاده از شاخص ارزیابی کیفیت آب در منطقه‌ای از بنگلادش مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه مقادیر هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، کلسیم، آهن و آرسنیک کل با استانداردهای بین المللی مقایسه شد و بر اساس شاخص کیفیت آب زیرزمینی حدود ۴۷ درصد از نمونه‌ها با کیفیت خوب به‌منظور شرب است (۹). در رابطه با ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با این روش در ایران نیز مطالعاتی انجام شده است. برای مثال، اصغری مقدم و همکاران (۱) به ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت مهربان با استفاده از روش‌های شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) و فازی شاخص کیفیت آب زیرزمینی (FGQI) پرداختند. بدین‌منظور از ۱۰ پارامتر شیمیایی استفاده و نقشه شاخص کیفی آب زیرزمینی تهیه شد. نتایج مطالعه نشان داد که بر اساس شاخص کیفی، کیفیت آب زیرزمینی دشت مهربان بین رده‌های متوسط تا قابل قبول قرار می‌گیرند (۱). حشمتی و بیگی هرچگانی (۳) کیفیت آب زیرزمینی شرب شهرکرد را بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از GQI مورد ارزیابی قرار دادند. پارامترهای استفاده شده عبارت بودند از آنیون‌ها و کاتیون‌های پایه، pH، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول و جامدات معلق. نقشه‌های تهیه شده شاخص کیفی حاکی از کیفیت خوب آب در شمال غربی آبخوان با مقدار شاخص بیش



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی آبخوان دشت عجب‌شیر و چاه‌های نمونه‌برداری شده

از ۹۰ و کاهش تدریجی کیفی به طرف جنوب آبخوان با مقدار عددی کمتر از ۱۰ بود (۳). جغتای و همکاران (۲) شاخص کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت جغتای واقع در شمال شرق ایران را بررسی کردند. بدین‌منظور غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی آب مورد بررسی قرار گرفته و با استانداردهای WHO مقایسه و شاخص کیفی آب زیرزمینی محاسبه شد. مقدار این شاخص در منطقه بین ۸۱ تا ۸۸ بوده و در رده قابل قبول محسوب می‌شود (۲). دشتی برمکی و همکاران (۴) کیفیت آب زیرزمینی آبخوان لنجانات را با شاخص کیفی آب زیرزمینی ارزیابی کردند. آنها نتایج پنج فاکتور شیمیایی آب را با استاندارد شرب WHO مقایسه کرده و نقشه‌های مربوطه را تهیه کردند. نتایج نشان داد حداقل و حداکثر شاخص GQI در دشت به‌ترتیب ۵۵ تا ۹۳ و در رده‌های متوسط تا مناسب است که کمترین کیفیت مربوط به محدوده شالیزارهای اطراف زاینده‌رود گزارش شد (۴). برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی در سال‌های اخیر و افت سطح آب زیرزمینی در دشت عجب‌شیر، منجر به پیشروی آب شور دریاچه در مناطق مجاور شده است (۵). بنابراین در مطالعه حاضر سعی شد با بررسی خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی، نقشه پهنه‌بندی کیفی مؤلفه‌ها و درنهایت نقشه شاخص کیفیت آب زیرزمینی بر پایه سامانه اطلاعات جغرافیایی و با به‌کارگیری استاندارد شرب WHO ترسیم شود و با تحلیل حساسیت مدل اثر مؤلفه‌های مختلف بر افزایش یا کاهش مقدار نهایی شاخص کیفی آب زیرزمینی ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

آبخوان عجب‌شیر با وسعتی حدود ۸۹ کیلومتر مربع در حاشیه دریاچه ارومیه و غرب استان آذربایجان شرقی در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ″۱۳ و ′۵۱ و °۴۵ تا ″۲۰ و ′۵۶ و °۴۵ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″۲۸ و ″۲۳ و °۳۷ تا ″۵۴ و ′۳۰ و °۳۷ شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع بلندترین و پست‌ترین نقاط دشت به‌ترتیب ۱۴۱۱ و ۱۲۷۰ متر از سطح دریا است. اقلیم محدوده مطالعاتی عجب‌شیر در سیستم طبقه‌بندی دومارتن نیمه‌خشک است (۶). آب‌های زیرزمینی منبع مهم تأمین آب مصارف کشاورزی و شرب دشت عجب‌شیر است (۷).

اطلاعات مورد نیاز

برای انجام این مطالعه از نتایج آنالیز کیفی ۱۰ پارامتر شیمیایی کلسیم، سدیم، منیزیم، پتاسیم، سولفات، بی‌کربنات، کلراید، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول و سختی کل در نمونه‌های آب ۱۵ چاه واقع در آبخوان عجب‌شیر در تابستان سال ۱۳۹۳ که از شرکت آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی اخذ شده است، استفاده شد.

محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی

برای محاسبه این شاخص گام اول تهیه نقشه‌های رستری غلظت هر یک از پارامترهای مورد بررسی با استفاده از روش درونیابی کریجینگ، در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی است. در گام

دوم برای این که داده‌های متفاوت دارای مقیاس و معیار مشترک شوند، غلظت‌های هر پیکسل از نقشه‌های رستری مرحله قبل، با مقدار استاندارد مربوطه آن پارامتر با استفاده از فرمول زیر ارتباط برقرار کرده و نقشه‌های نرمال تهیه می‌شود (۸).

$$K = \frac{k - k_{who}}{k + k_{who}} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، K مقدار هر پیکسل در نقشه نرمال برای هر مؤلفه، k مقدار هر پیکسل در نقشه اولیه هر مؤلفه و kwho بیشترین حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۱۱ برای هر مؤلفه است. در نقشه‌های حاصل، مقدار هر پیکسل بین ۱- و ۱+ قرار می‌گیرد.

گام سوم، تهیه نقشه‌های رتبه از نقشه‌های نرمال شده با استفاده از معادله چندجمله‌ای زیر است (۸):

$$R = ۰/۵ * k^۲ + ۴/۵ * k + ۵ \qquad (۲)$$

هر پیکسل در نقشه رتبه مقداری بین ۱ تا ۱۰ دارد. کمترین مقدار هر پیکسل در نقشه نرمال که ۱- است معادل ۱ در نقشه رتبه و بیشترین مقدار هر پیکسل در نقشه نرمال که ۱+ است، معادل ۱۰ در نقشه رتبه است. سپس، میانگین هر مؤلفه از نقشه رتبه آن استخراج و به‌عنوان وزن آن مؤلفه در گام بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

گام چهارم، محاسبه شاخص کیفی و تهیه نقشه نهایی با استفاده از معادله زیر است:

$$GQI = ۱۰۰ - \left[(W_۱R_۱ + W_۲R_۲ + \ldots + W_nR_n)/n \right] \qquad (۳)$$

در رابطه (۳)، Wn وزن نسبی هر مؤلفه، Rn رتبه هر مؤلفه و n تعداد مؤلفه‌های کیفی به‌کار رفته است. مقدار عددی پیکسل‌های نقشه نهایی شاخص کیفی بین صفر تا ۹۹ قرار می‌گیرد. هرچه ارزش عددی پیکسل‌ها به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، کیفیت بهتر و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، کیفیت بدتر است (۸).

تحلیل حساسیت مدل

در این تحلیل، نقشه شاخص ۱۰ مرتبه، هر بار با حذف یکی از نقشه‌های رتبه مربوط به یک مؤلفه، تهیه و اثر حذف هر مؤلفه با نقشه شاخص کلی از رابطه زیر بررسی می‌شود.

$$V_{wi} = ۱۰۰ * \left[(GQI - GQI_{wi})/GQI \right] \qquad (۴)$$

که در آن Vwi شاخص تغییر بدون نقشه i ام، GQIwi نقشه شاخص کیفیت آب بدون نقشه i ام و GQI شاخص کیفیت آب با حضور همه مؤلفه‌های کیفی است (۸).

نتایج و بحث

پهنه‌بندی مؤلفه‌های کیفی

خلاصه ویژگی‌های آماری پارامترهای مورد بررسی هر یک از نقشه‌های غلظت در جدول (۱) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در شرایط حداقل، کیفیت آب برای مصارف شرب در حد مطلوب است؛ لیکن در بعضی نواحی از آبخوان با غلظت پارامتر حداکثر یا متوسط، کیفیت آب بیش از حد WHO است. البته غلظت مؤلفه‌های سدیم، پتاسیم و سولفات در شرایط متوسط نیز کمتر از حد WHO است. در شکل (۲)، نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی هر یک از مؤلفه‌ها آمده است. طبق این نقشه‌ها، غلظت پارامترها عموماً در نواحی واقع در شمال شرقی و محل ورود رودخانه قلعه‌چای به دشت بهتر از سایر بخش‌های آبخوان است. کاهش کیفیت آب در نواحی شمال غربی، غرب و جنوب دشت با توجه به واقع شدن این نوار در حاشیه ساحلی دریاچه ارومیه و شوره‌زارهای آن قابل انتظار است. تغییرات کیفی آبخوان دشت عجب‌شیر نه از محل تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بلکه متأثر از پیشروی آب شور دریاچه و ازدیاد برداشت و جایگزینی با آب شور است. حداقل میزان کلیه املاح و شوری در مسیر ورودی رودخانه قلعه‌چای دیده می‌شود که با مطالعات سازمان محیط زیست نیز مطابقت دارد (۵).

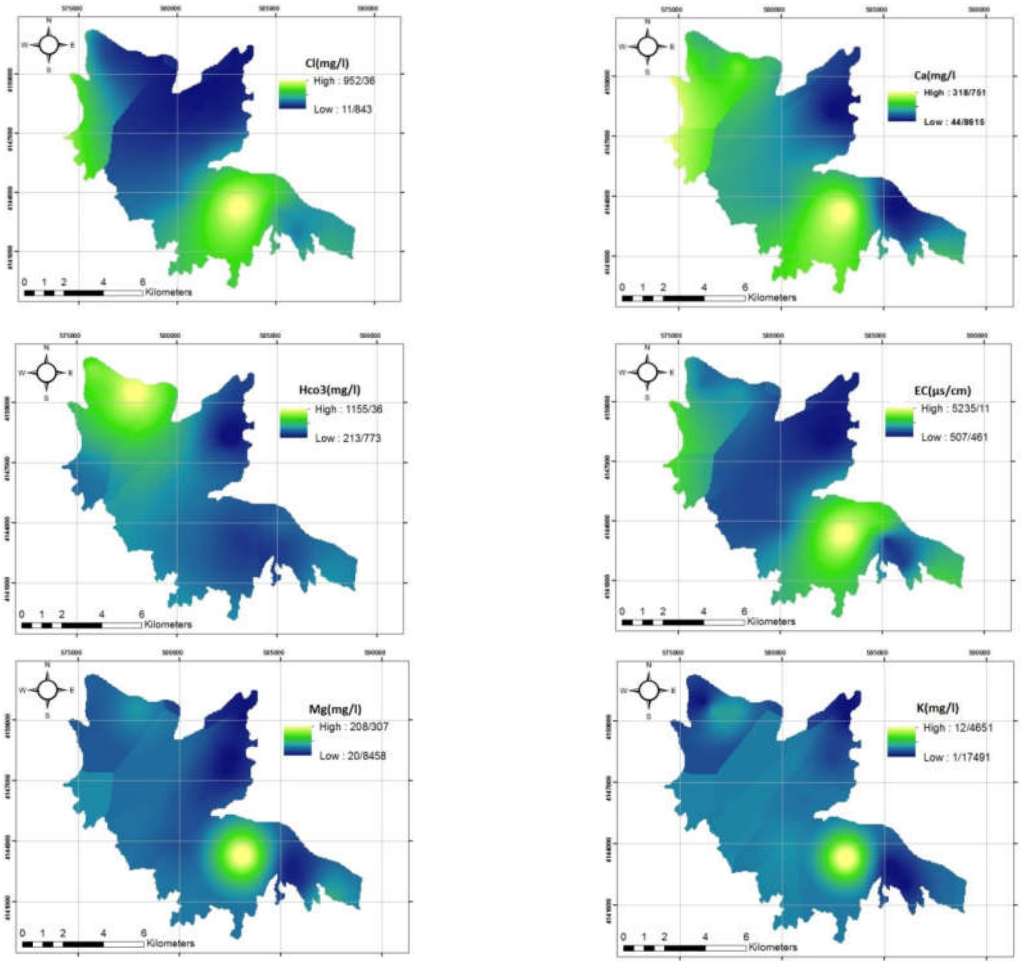
تعیین وزن مؤلفه‌های کیفی

برای تعیین وزن مؤلفه‌ها لازم است متوسط ارزش پیکسل‌های نقشه رتبه هر مؤلفه محاسبه شود. خلاصه آماری نقشه‌های رتبه مربوط به ۱۰ مؤلفه در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به این جدول بیشترین وزن مربوط به مؤلفه های کلسیم، منیزیم، هدایت

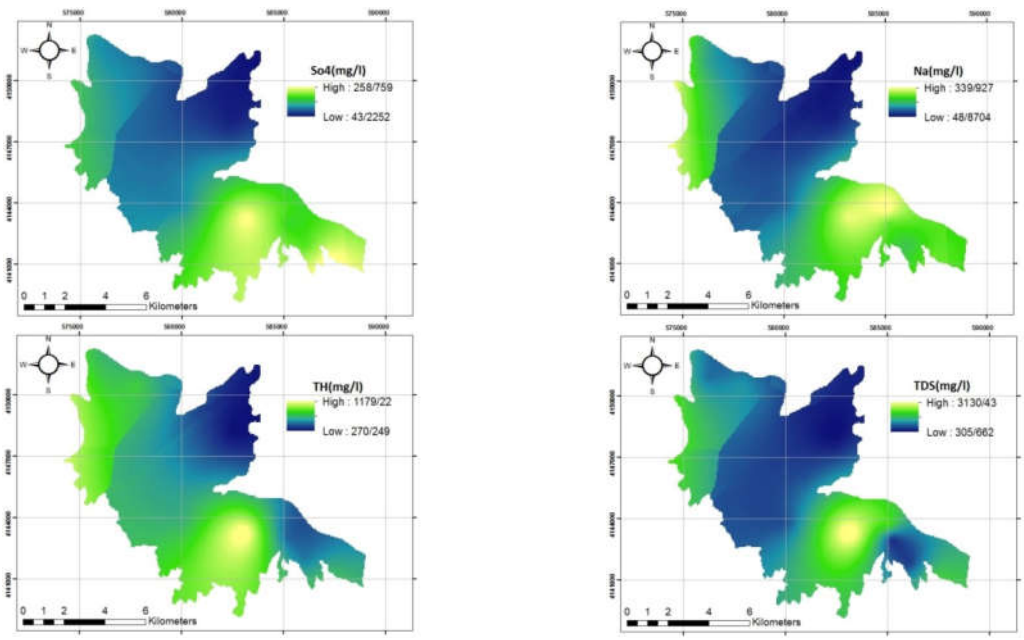
جدول ۱. ویژگی‌های آماری پارامترهای کیفی

پارامتر	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	WHO (۲۰۱۱)
K^{+}	mg/l	۱/۱۷	۱۲/۴*	۳/۷۷*	۱۲
Na^{+}	mg/l	۴۸/۸	۳۴۰*	۱۶۳*	۲۰۰
Mg^{++}	mg/l	۲۰/۸	۲۰۸*	۶۳/۸*	۳۰
Ca^{++}	mg/l	۴۴/۸	۳۱۸*	۱۶۷*	۷۵
SO_4^{--}	mg/l	۴۳/۲	۲۵۹*	۱۳۶*	۲۰۰
Cl^{-}	mg/l	۱۱/۸	۹۵۲*	۳۰۵*	۲۰۰
HCO_3^{-}	mg/l	۲۱۳	۱۱۵۵*	۵۳۹*	۳۰۰
TDS	mg/l	۳۰۵	۳۱۳۰*	۱۲۰۴*	۵۰۰
EC	µs/cm	۵۰۷	۵۲۳۵*	۲۰۰۸*	۷۵۰
TH	mg/l	۲۷۰	۱۱۷۹*	۶۷۳*	۵۰۰

اعداد ستاره‌دار، فراتر از حد WHO هستند.



شکل ۲. نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی مؤلفه‌ها در آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر



ادامه شکل ۲.

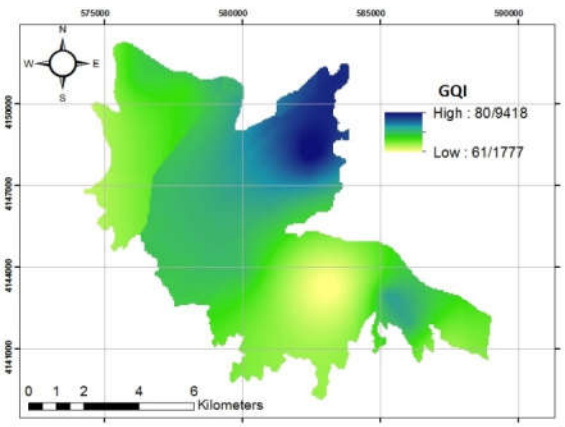
جدول ۲. ویژگی‌های آماری نقشه‌های رتبه مؤلفه‌های کیفی آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر

رتبه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
K^+	۱/۳	۵	۲/۶	۳/۹
Na^+	۲/۲	۶/۱	۴/۳	۱
Mg^{2+}	۴/۱	۸/۳	۶/۴	۰/۶
Ca^{2+}	۳/۸	۷/۷	۶/۵	۰/۸
SO_4^{--}	۲/۱	۵/۵	۴	۰/۸
Cl^-	۱	۷/۹	۵/۱	۱/۸
HCO_3^-	۴/۲	۷/۶	۶/۱	۰/۵
TDS	۳/۹	۸/۲	۶/۵	۰/۹
EC	۴/۱	۸/۳	۶/۷	۰/۸
TH	۳/۶	۶/۸	۵/۵	۰/۷

الکتریکی و کل جامدات محلول است که احتمالاً نقش بیشتری در کاهش کیفیت آب دارند. البته تفاوت چشمگیری بین وزن اغلب مؤلفه ها وجود ندارد. با این حال، میانگین رتبه مؤلفه‌های سدیم، پتاسیم و سولفات نیز کمتر از سایر مؤلفه‌ها بود و همان‌طور که در جدول ۱ مشخص است، غلظت این فاکتورها در مقادیر متوسط آماری در حد استاندارد بوده است. در حوضه ناسانو ژاپن، مؤلفه‌های سولفات و کل جامدات محلول بیشترین میانگین رتبه و مؤلفه منیزیم کمترین میانگین رتبه را به خود اختصاص داده‌اند (۸). در آبخوان شهرکرد نیز مؤلفه‌های کلسیم، منیزیم، کل جامدات معلق و اسیدیته بیشترین میانگین رتبه را دارا بوده‌اند (۳).

پهنه‌بندی شاخص کیفی

با استفاده از رابطه (۳)، نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفی تهیه و ترسیم شد (شکل ۳). بابیکر (۲۰۰۷) توصیف کیفی شاخص عددی را در پنج کلاس کاملاً نامطلوب (۲۵-۰)، نامناسب (۵۰-۲۵)، متوسط (۷۰-۵۰)، قابل قبول (۹۰-۷۰) و مناسب



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفی آب زیرزمینی آبخوان دشت عجب‌شیر

(۱۰۰-۹۰) طبقه‌بندی می‌کند (۸). بر این اساس، کیفیت آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر با شاخص کیفی ۶۱ تا ۸۱ در رده متوسط تا قابل قبول قرار دارد. میانگین شاخص کیفی مورد نظر ۶۹ و انحراف معیار آن ۳/۹ است. حدود ۴۰ درصد از وسعت آبخوان دارای کیفیتی قابل قبول و ۶۰ درصد وسعت نیز دارای کیفیت متوسط برای شرب هستند. همان‌طور که در شکل (۳) ملاحظه می‌شود مقدار شاخص در شمال شرقی تا قسمتی از نواحی مرکزی و شرق دشت در رده قابل قبول بود و سایر نواحی در رده متوسط قرار می‌گیرند. به‌طورکلی، آب زیرزمینی بعضی نواحی آبخوان واقع در حاشیه ساحلی دریاچه ارومیه دارای املاح بیشتری بود که این امر با توجه به شوری آب دریاچه و پیشروی آن در آب زیرزمینی امری قابل انتظار به نظر می‌رسد. بهترین کیفیت آب زیرزمینی، آبخوان عجب‌شیر در شمال شرقی دشت و محل ورود و عبور رودخانه قلعه‌چای واقع شده است که این روند تغییر در شاخص با تغییرات مؤلفه‌های کیفی نیز همخوانی دارد. نتایج مطالعات در دشت مهربان در استان آذربایجان شرقی نیز نشان داد مقدار شاخص کیفی آب زیرزمینی بین ۵۳ تا ۷۸ و در دو رده متوسط و قابل قبول قرار گرفته است. به‌طوری که حدود ۴۵ درصد وسعت دشت در نواحی شرقی در رده قابل قبول و ۵۵ درصد دشت واقع در نواحی غربی در رده متوسط است (۱). کیفیت آبخوان شهرکرد نیز بر اساس مطالعات انجام شده از جنوب آبخوان به طرف شمال بهبود پیدا می‌کند که این روند تغییر تدریجی بوده و کل طبقات کلاس‌بندی شده شاخص کیفی را در برمی‌گیرد. لیکن بیشترین وسعت آبخوان شهرکرد نیز (معادل ۵۵ درصد وسعت) در کلاس کیفی متوسط قرار گرفته است (۳). در آبخوان لنجانات واقع در استان اصفهان نیز حداقل و حداکثر ارزش محاسبه شاخص به‌ترتیب ۵۵ و ۹۳ و در رده متوسط تا مناسب است (۴). مطالعات انجام شده در آبخوان ناسانوی ژاپن نشان داد که شاخص کیفت منابع آب زیرزمینی عموماً بیشتر از ۹۰ و در رده بالا است (۸).

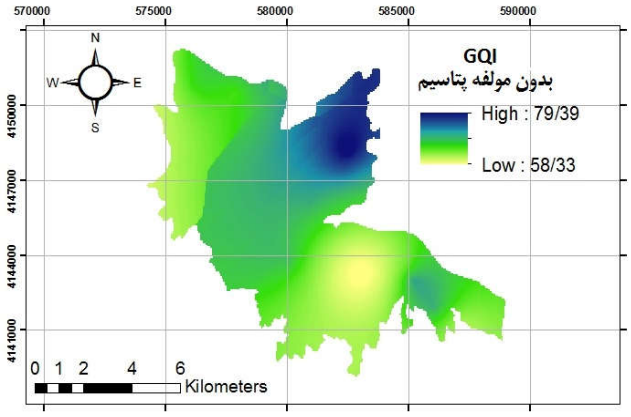
تحلیل حساسیت نسبت به مؤلفه‌های کیفی

آنالیز حساسیت در واقع به معنی مشخص کردن حساسیت مدل نسبت به پارامترهای مختلف آن است (۷). برای تشخیص حساسیت مدل به مؤلفه‌ها در شاخص کیفی، تحلیل حساسیت به روش حذف تک‌نقشه مطابق رابطه (۴) انجام شد. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل به روش حذف تک‌نقشه در جدول (۳) آمده است. لازم به ذکر است لزوماً دارا بودن وزن بالاتر مؤلفه‌ها حاکی از حساسیت بیشتر مدل به آن مؤلفه نیست (۳). در آبخوان ناسانوی ژاپن، با اینکه مؤلفه‌های سولفات و جامدات محلول میانگین وزنی بالاتری داشتند، ولی حساسیت بیشتر مدل مربوط به منیزیم بوده است (۸). در آبخوان شهرکرد نیز بیشترین وزن رتبه مربوط به کلسیم و منیزیم بوده، ولی حساسیت بیشتر مربوط به جامدات معلق و سدیم بوده است (۳).

در آب زیرزمینی عجب‌شیر بزرگ‌ترین متوسط شاخص تغییر مربوط به مؤلفه پتاسیم بوده است و نشان می‌دهد شاخص کیفی مورد بررسی نسبت به حذف این فاکتور بیشترین تغییر را داشته است. به‌طوری که مقدار شاخص کیفی با حذف پتاسیم ۳/۹ درصد کاهش پیدا کرد. بنابراین لازم است این فاکتور با دقت بیشتری مورد پایش قرار گیرد. کمترین میزان تغییر شاخص نیز

جدول ۳. ویژگی‌های آماری شاخص تغییر با روش حذف تک‌نقشه (درصد)

مؤلفه حذف شده	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
K^+	۱/۹	۵/۳	۳/۹	۰/۷
Na^+	۰/۵	۲/۴	۱/۹	۰/۳
Mg^{++}	−۲/۷	−۰/۶	−۱/۷	۰/۳
Ca^{++}	−۲/۵	۰/۵	−۱/۸	۰/۵
SO_4^{--}	۱/۲	۳	۲/۴	۰/۳
Cl^-	−۰/۷	۳/۳	۰/۶	۰/۹
HCO_3^-	−۲/۵	۱/۱	−۱	۰/۷
TDS	−۲/۹	−۰/۹	−۱/۹	۰/۴
EC	−۳/۳	−۱/۲	−۲/۳	۰/۴
TH	−۰/۲	۰/۹	۰/۱	۰/۲



شکل ۴. پهنه‌بندی شاخص کیفی بدون مؤلفه پتاسیم

مربوط به سختی کل بود و مقدار آن کمتر از ۰/۱ درصد است. به نظر می‌رسد که اگر وزن مؤلفه‌ای فاصله فاحشی با مؤلفه‌های بعدی داشته باشد، در تحلیل حساسیت نیز ممکن است حساس‌ترین مؤلفه ظاهر شود (۳) که در این راستا با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود وزن پتاسیم اختلاف قابل‌توجهی با وزن سایر مؤلفه‌ها دارد و تأیید کننده این است. همچنین در آبخوان شهرکرد نیز بزرگ‌ترین میانگین شاخص تغییر مربوط به کل جامدات معلق بوده است که وزن این مؤلفه نیز با اختلاف چشمگیری نسبت به بقیه مؤلفه‌ها است (۳). لازم به ذکر است میزان حساسیت GQI به مؤلفه‌هایش از آبخوانی به آبخوان دیگر متفاوت است. به‌عنوان مثال بیشترین حساسیت در آبخوان ناسانوی ژاپن حدود ۰/۵ درصد و مربوط به منیزیم (۸)، در آبخوان شهرکرد ۳/۵ درصد و مربوط به جامدات معلق (۳) و در آبخوان عجب‌شیر حدود ۳/۹ درصد بوده است. در جدول (۳) علامت منفی نشان‌دهنده این است که با حذف نقشه مربوط به آن مؤلفه، شاخص کیفی افزایش یافته و علامت مثبت نشان از کاهش شاخص کیفی با حذف مؤلفه مربوطه است. شکل (۴) نقشه شاخص کیفی مورد بررسی با حذف مؤلفه پتاسیم را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود میزان شاخص کیفی با حذف این مؤلفه از دامنه ۶۱ تا ۸۱ (با حضور تمام مؤلفه‌های مورد بررسی) به ۵۸ تا ۷۹ کاهش پیدا کرده است.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که غلظت اغلب مؤلفه‌های مورد بررسی در قسمتی از نواحی شمال شرقی به سمت جنوب غربی دشت عجب‌شیر که مسیر رودخانه قلعه‌چای است، در حدود معین شده شرب WHO بوده و در سایر نواحی فراتر از حد رفته است. بر اساس نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفی آب زیرزمینی نیز کیفیت آب آبخوان عجب‌شیر در این نواحی در رده قابل قبول برای شرب واقع شده و سایر نواحی در کلاس متوسط قرار گرفته‌اند. به‌طوری که ۴۰ درصد وسعت آبخوان در کلاس قابل قبول و ۶۰ درصد آن در کلاس متوسط قرار گرفته است. پیشنهاد می‌شود ترجیحاً برداشت آب شرب از چاه‌ها در منطقه در نواحی که میزان GQI در رده قابل قبول است، انجام شود. همچنین با توجه به حساسیت مدل نسبت به فاکتور پتاسیم، لازم است این مؤلفه کیفی با دقت بیشتری پایش شود.

منابع مورد استفاده

۱. اصغری مقدم، ا.، ز. جوانمرد، م. ودیعتی و م. نجیب. ۱۳۹۴. ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت مهربان با استفاده از روش‌های GQI و FGQI. *مجله هیدروژئومورفولوژی* ۱(۲): ۹۸-۷۹

۲. جغتایی، ح.، ر. دبیری، م. مسلم‌پور، م. اطاری و ر. شریفیان عطار. ۱۳۹۴. بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از شاخص کیفیت آب های زیر زمینی (GQI و GIS) در دشت جغتای، شمال شرق ایران. *فصلنامه انسان و محیط زیست* ۱۳(۴): ۲۵-۱۷.

۳. حشمتی، س و ح. بیگی هرچگانی. ۱۳۹۳. ارزیابی کیفیت شرب آب زیرزمینی شهرکرد بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی بر پایه یک شاخص، *مجله علوم آب و خاک* ۱۸(۶۹): ۱۹۰-۱۷۹.

۴. دشتی برمکی، م.، م. رضایی و ا. صابری نصر. ۱۳۹۳. ارزیابی شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) در آبخوان لنجانات با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، *مجله زمین‌شناسی مهندسی* ۸(۲): ۲۱۳۸-۲۱۲۱

۵. فتحی، ف.، س. نگهبان و ز. یگانه‌کیا. ۱۳۹۰. گزارش نهایی مطالعات پایه گذاری سیستم مدیریت ریسک خشکسالی در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه، طرح حفاظت از تالاب‌های ایران. سازمان حفاظت محیط زیست. تهران

۶. مهندسین مشاور یکم. ۱۳۸۶. گزارش نهایی مطالعات تفصیلی آب‌های زیرزمینی دشت‌های استان آذربایجان شرقی در محیط GIS. شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی.

۷. میر عباسی نجف آبادی، ر.، م. ستاری و و. برقی ولینجق. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی و مدیریت بهره‌برداری از آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر. *مجله هیدروژئولوژی* ۱(۱): ۷۵-۵۷

8. Babiker, I., A. Mohamed and T. Hiyama. 2007. Assessing groundwater quality using GIS. *Journal of Water Resources Management* 21: 699-715.
9. Bodrud-Doza, M. D., A. M. Towfiqul Islam, F. Ahmed, S. Das, N. Saha and M. Safiur Rahman. 2016. Characterization of groundwater quality using water evaluationindices, multivariate statistics and geostatistics in central Bangladesh. *Journal of Water Science* 30: 19-40.
10. Gebrehiwot, A. B., N. Tadesse, E. Jigar. 2011. Aplication of water quality index to assess suitablity of groundwater quality for drinking purposes in Hantebet watershed. *Journal of Food and Agriculture Science* 1(1): 22-30.
11. Machiwal, D., K. J. Madan and C. M. Bimal. 2011. GIS-based assessment and characterization of groundwater quality in a hard-rock hilly terrain of Western India. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment* 174: 645–663.
12. Mosaferi, M., M., Pourakbar, M. Shakerkhatibi, E. Fatehifar and M. Belvasi. 2014. Quality modeling of drinking groundwater using GIS in rural communities, northwest of Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 12(1): 1-14.
13. Shanmugam, P. and N. Ambujam. 2012. A hydrochemical and geological investigation on the Mambakkam mini watershed, Kancheepuram District, Tamil Nadu. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment* 184(5): 3293-3306.
14. World Health Organization (WHO). 2011. Guidelines for drinking water quality. Vol. 1: Recommendations 3rd ed., WHO, Geneva.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 22, No. 4, Winter 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Evaluating Quality of Ajabshir Groundwater Resources Based on Groundwater Quality Indicator (GQI) and Geographical Information System

Z. Abbasi[1]*, H. R. Azimzadeh[1], A. Talebi[2] and A. Sotoudeh[1]

(Received: February 26-2017 ; Accepted: December 26-2017)

Abstract

Groundwater quality evaluation is very necessary to provide drinking water. Groundwater excessive consumption can cause subsidence and penetration of saline groundwater into freshwater aquifers in Ajabshir Plain, on the Urmia lake margin. The main goal of the current project was to evaluate the groundwater quality by employing the qualitative indices of groundwater and GIS. Ten parameters of 15 wells including EC, TDS, total hardness as well as the concentration of Ca^{++}, Na^{+}, Mg^{++}, K^{+}, SO_4^{--}, HCO_3^{-} and Cl^{-} were analyzed. At first, the maps of parameters concentration were prepared by the kiriging method. Then based on WHO drinking water standards, the maps were standardized and ranked for drawing the maps of quality indices. The results showed that quality index changes were in the range of moderate (61) to acceptable (81). Removing the single map method of sensitivity analysis detected the quality index was more sensitive to the K^{+} parameter. Finally, the quality index from the eastern north to the western south of Ajabshir Plain and the other areas was ranked in the acceptable and moderate classes, respectively.

Keywords: Ajabshir aquifer; Sensitivity analysis, GIS; Groundwater quality index

1. Department of Environmental Science, College of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.
2. Department of Watershed, College of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.
*: Corresponding Author, Email: Abbasi_za@yahoo.com