

ارزیابی و تحلیل پارامترهای شیمیایی در شاخص کیفیت آب زیرزمینی (WQI) مطالعه موردی: جلگه ساحلی شهرستان نور، استان مازندران

رضا اسماعیلی*

دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه مازندران، ایران

محمد مهدی حسین زاده

دانشیار دانشکده علوم زمین (گروه جغرافیای طبیعی)، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱۷

چکیده

آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع آبی در بسیاری از کشورها است. کیفیت آب زیرزمینی یک عامل ضروری برای مطلوبیت آب در مصارف متعدد است. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، قسمت جلگه‌ای شهرستان نور است که در استان مازندران واقع شده است. منطقه عمدتاً تحت کاربری کشاورزی (برنج‌کاری) قرار دارد. در این پژوهش، از ۵۰ چاه نمونه‌برداری شد. نقشه‌های توزیع فضایی پارامترهای مهم کیفیت آب با استفاده از تکنیک‌های زمین آماری در نرم‌افزار ARC GIS تهیه گردید. شاخص کیفیت آب زیرزمینی (WQI) با توجه به پارامترهای کیفیت آب شامل کل مواد جامد محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)، PH، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر، سولفات، بی‌کربنات، نیترات، نیتريت و آمونیوم برای مصرف شرب مورد بررسی قرار گرفتند. با وزن دهی به هریک از پارامترها و محاسبه نسبت هر پارامتر به مقدار استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۲۰۱۱)، شاخص کیفیت نمونه‌های آب زیرزمینی به دست آمد. سپس نقشه شاخص کیفیت آب زیرزمینی در نرم‌افزار ARC GIS تهیه گردید. شاخص کیفیت آب زیرزمینی منطقه در سه گروه بسیار خوب، خوب و ضعیف طبقه‌بندی شدند که ۹۸ درصد نمونه‌ها در گروه‌های بسیار خوب و خوب قرار گرفتند. تحلیل آماری با استفاده از رگرسیون چندگانه نشان می‌دهد که پارامتر EC، TDS و آمونیوم (NH₃) سه پارامتر غالب برای پایش کیفیت آب منطقه هستند. در منطقه مورد مطالعه ۱۶ درصد نمونه‌های آب زیرزمینی مقدار آمونیاک بیش از ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر داشتند که نشان‌دهنده آلودگی انسانی است. دی‌اکسید گوگرد، غلبه فرایند هوازدگی سنگ را در کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی منطقه نشان می‌دهد. شاخص اشیاع کانی‌ها، نشان می‌دهد که همه‌ی نمونه‌ها نسبت به آهک، دولومیت و آراگونیت در حالت اشیاع هستند از این رو ۹۸ درصد نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه سختی بسیار زیاد دارند.

واژگان کلیدی: شاخص کیفیت آب (WQI)، مازندران، شهرستان نور، GIS.

مقدمه

آب زیرزمینی یکی از ارزشمندترین منابع طبیعی است که سلامتی انسان، توسعه اقتصادی- اجتماعی و عملکرد اکوسیستم‌ها را تضمین می‌کند (ماچیوال^۱ و همکاران ۲۰۱۱: ۶۴۶). کیفیت آب زیرزمینی خصوصاً آگاهی از شیمی آب

برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی و استفاده آن برای شرب، کشاورزی و صنعت مهم است. از این رو بررسی و شناخت ترکیبات شیمیایی موجود در آبهای زیرزمینی که خود متأثر از شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی منطقه است حائز اهمیت می‌باشد.

اگر کیفیت آب به‌طور مناسبی مدیریت نشود، می‌تواند به‌صورت یک عامل محدود کننده برای توسعه اقتصادی آینده و سرمایه عمومی و محیطی به شمار آید و هزینه‌های بلندمدت زیادی را به جامعه تحمیل نماید (پیوس^۲ و همکاران، ۲۰۱۱). تکنیک‌های سنتی ارزیابی کیفیت آب مانند نمودار پایپر که به‌طور گسترده‌ای برای بررسی کیفیت آب مورد بررسی قرار می‌گیرند، با توجه به ویژگی‌هایی که دارند پارامترهای خاصی را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. اما روش شاخص کیفیت آب^۳ (WQI) که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است، به‌صورت یکپارچه اثر غلظت عناصر شیمیایی مختلف را در کیفیت آب زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌دهد. از این رو تعداد بیشتری از پارامترها می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. از مزایای دیگر این روش تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی هر منطقه است. به‌علاوه با به‌کارگیری تکنیک‌های GIS و روش‌های زمین‌آمار می‌توان نقشه کیفیت آب زیرزمینی را در پهنه‌های مختلف نشان داد. سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) ابزار مؤثری برای تهیه نقشه‌های کیفیت آب می‌باشند و برای پایش، مدل‌سازی و کشف تغییرات محیطی ضروری هستند (اسکیدمور^۴ و همکاران، ۱۹۹۷: ۳۰۲). استفاده از نقشه در علوم زمین کار رایجی است. از این رو با گسترش تکنیک‌های مختلف آماری در GIS، پیش‌بینی الگوی فضایی پدیده‌ها به‌طور دقیق‌تر و مناسب‌تری امکان‌پذیر خواهد بود. با توجه به پارامترهای متعدد کیفیت آب از نظر فیزیکی، شیمیایی و زیستی و اهداف استفاده از آن‌ها، تاکنون کارهای مختلفی توسط محققین صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به پژوهش‌های بکمن^۵ و همکاران (۱۹۹۸)، استیگتر^۶ و همکاران (۲۰۰۶)، سانچز^۷ و همکاران (۲۰۰۷)، رامش^۸ و همکاران (۲۰۱۰)، میرزایی و همکاران (۱۳۸۴)، شمسایی و همکاران (۱۳۸۴) و عباسی و سعیدی (۱۳۹۰) اشاره کرد. ویگنولو^۹ و همکاران (۲۰۰۶)، با استفاده از باندهای طیف مرئی تصاویر ماهواره لندست ۷ با سنجنده ETM⁺ شاخص کیفیت آب سطحی را در متروپلیتن بوئنوس آیرس آرژانتین بررسی کرده و اعتبار آن را با استفاده از نمونه‌گیری‌های فیزیکی و شیمیایی مورد تأیید قرار دادند. برخی دیگر از محققین پارامترهای شاخص کیفیت آب را در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد بررسی قرار داده و بر اساس آن حساس‌ترین پارامترها را جهت پایش منظم و دقیق مشخص

1- Machiwal

2 - Pius

3 - Water quality index

4 - Skidmore

5 - Backman

6- Stigter

7- Sanchez

8 - Ramesh

9 - Vignolo

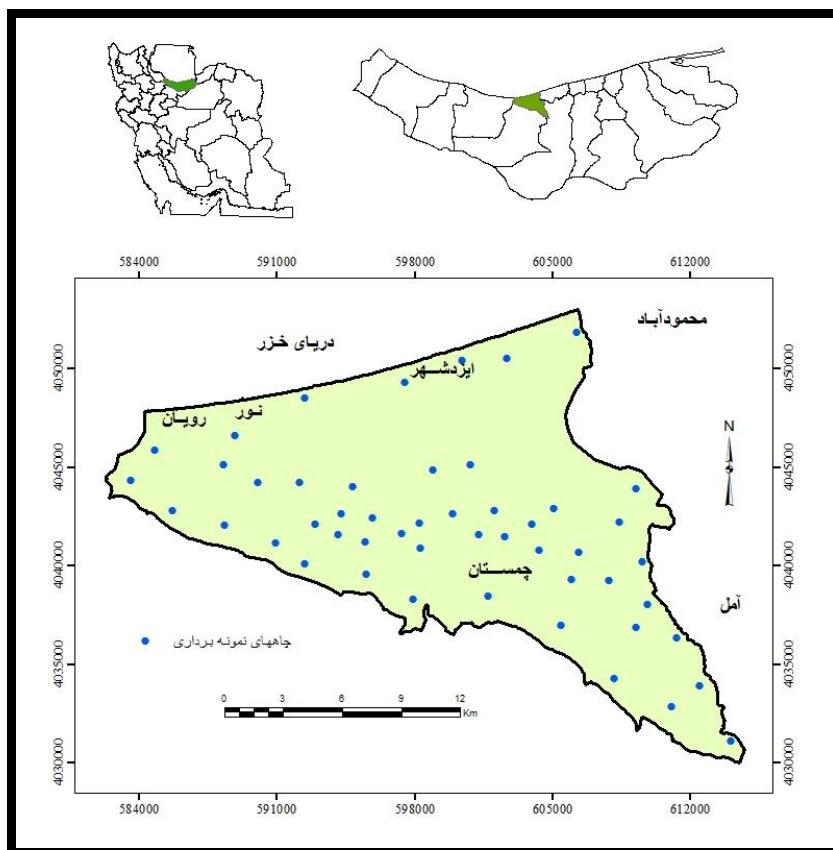
کردند (بابیکر^۱ و همکاران ۲۰۰۷؛ ماچیوال و همکاران ۲۰۱۱؛ پیوس و همکاران ۲۰۱۱؛ کومار و همکاران ۲۰۱۴ و وارول و دارواز ۲۰۱۴).

در مناطق شمالی کشور با وجود منابع آبی فراوان به علت ساحلی بودن منطقه و بالا بودن سطح آب زیرزمینی، تراکم زیاد جمعیت و کشاورزی گسترده کیفیت آب زیرزمینی برای مصرف شرب با مشکلاتی مواجه است. در منطقه مورد مطالعه (استان مازندران، شهرستان نور) تقریباً تمام آب شرب شهری و روستایی از آب‌های زیرزمینی تأمین شده و با گسترش گردشگری تأمین منابع آب بیشتر بسیار مهم است. لذا بررسی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی منطقه ضرورت پیدا می‌کند. همچنین استفاده از انواع کودها و سموم شیمیایی در باغات و مزارع شالیزاری که امکان نفوذ به داخل بافت خاک را داشته و می‌تواند موجب آلودگی شیمیایی آب زیرزمینی گردد. در این پژوهش پارامترهای شیمیایی غیررسمی مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب (WQI) مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفتند.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش قسمت جلگه‌ای شهرستان نور است. این شهرستان در استان مازندران واقع شده و از دو قسمت جلگه‌ای و کوهستانی تشکیل شده است. قسمت ساحلی آن به طول ۲۳ کیلومتر در جنوبی‌ترین قسمت دریای خزر قرار گرفته است (شکل ۱).

این قسمت در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی "۳۰° ۳۶' ۳۶" و "۳۶° ۳۶' ۳۶" شمالی و همچنین طول‌های جغرافیایی "۱۰° ۵۱' ۵۵" و "۴۸° ۵۲' ۵۶" شرقی قرار گرفته و وسعت آن حدود ۳۱۹ کیلومتر مربع می‌باشد. تمامی سازندهای موجود در منطقه مورد مطالعه مربوط به دوران کواترنر بوده و شامل نهشته‌های ماسه‌ای ساحلی، رسوب‌های دریایی و رسوب‌های آبرفتی می‌شوند. از نظر ناهمواری، حداکثر ارتفاع در قسمت جنوبی یعنی در مرز بین کوهستان و جلگه با ارتفاع ۱۷۰ متر و حداقل ارتفاع آن در قسمت شمالی با ارتفاع ۲۵- متر پایین‌تر از سطح دریاهای آزاد و در حاشیه دریای خزر قرار دارد. میانگین بارش سالیانه منطقه حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد است که از نظر آب و هوایی شرایط معتدل و مرطوب دارد. تقریباً ۹۷ درصد کاربری‌های موجود در منطقه مورد مطالعه شامل اراضی کشاورزی، جنگل و مناطق مسکونی می‌باشد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و چاههای نمونه برداری شده

داده‌ها و روش‌ها

جهت بررسی شاخص کیفیت آب زیرزمینی برای مصرف آشامیدنی، از ۵۰ حلقه چاه در قسمت جلگه‌ای شهرستان نور نمونه‌گیری شد (شکل ۱). موقعیت این چاه‌ها با GPS ثبت گردید و نمونه‌های آب بعد از ۳۰ دقیقه پمپاژ در بطری‌های پلی‌اتیلن ذخیره شده و به آزمایشگاه منتقل گردیدند. پارامترهای شیمیایی کیفیت آب شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر، سولفات، بی‌کربنات، نترات، نیتريت، آمونیاک، هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول (TDS) و سختی کل در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. بعد از آنالیز پارامترهای شیمیایی آب، نقشه توزیع فضایی غلظت هر پارامتر در نرم‌افزار ARC GIS و با استفاده روش‌های مختلف میانبایی مقادیر عناصر با این روش انجام شد. محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی (WQI) در سه مرحله زیر انجام گردید (وارول و داوراز ۲۰۱۴؛ کومار و همکاران ۲۰۱۴):

در مرحله اول، پارامترهای مختلف اندازه‌گیری شده بر اساس اهمیت نسبی‌شان در مجموع کیفیت آب، در نظر گرفته شدند. وزن بیشتر مربوط به پارامترهایی است که اثرات بیشتری در سلامتی دارند و وجود مقادیر بالاتر از استاندارد می‌تواند استفاده از آب را محدود نماید. از این‌رو وزن پارامترها از ۱ تا ۵ در نظر گرفته شد (واسانتاویگر، ۲۰۱۰) که در جدول ۱ نشان داده شده است. وزن هر پارامتر بر مجموع وزن همه پارامترها تقسیم گردید (رابطه ۱ و جدول ۱).

$$W_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

که W_i : وزن نسبی، w_i : وزن هر پارامتر، n : تعداد هر پارامتر است.

در مرحله دوم، با تقسیم کردن مقدار هر پارامتر از هر نمونه آب بر مقدار استاندارد آن نرخ کیفیت محاسبه شد (رابطه ۲).

$$q_i = (C_i/S_i) \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

که q_i : نرخ کیفیت، C_i : غلظت هر پارامتر شیمیایی در هر نمونه آب برحسب میلی گرم در لیتر، S_i : مقدار استاندارد هر پارامتر برای مصرف شرب برحسب میلی گرم در لیتر است. در این مقاله، مقادیر استاندارد آب شرب بر اساس مقادیر پیشنهادی سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۱۱ و استاندارد ۱۰۵۳ ایران (۱۳۸۸) در نظر گرفته شده است (جدول ۱). در مرحله سوم برای محاسبه مقدار WQI از روابط ۳ و ۴ استفاده شد.

$$SI_i = W_i q_i \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$WQI = \sum SI_i \quad \text{رابطه (۴)}$$

که SI_i : زیر شاخص پارامتر i ام، q_i : نرخ کیفیت بر اساس غلظت پارامتر i ام و W_i : وزن نسبی است. مجموع مقادیر SI_i به عنوان شاخص کیفیت آب زیرزمینی هستند که بر اساس جدول ۲ در پنج طبقه عالی، خوب، ضعیف، بسیار ضعیف و نامناسب برای شرب تفکیک شدند. بعد از محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی (WQI)، نقشه پراکنندگی فضایی شاخص کیفیت آب زیرزمینی (مقادیر WQI) در نرم افزار ARC GIS با روش IDW درون یابی و تهیه ارائه شد.

جدول ۱: مقادیر استاندارد و وزن واحد پارامترهای شاخص کیفی آب

وزن نسبی	وزن واحد	استاندارد ایران ۱۳۸۸	مقدار استاندارد S_i ۲۰۱۱	پارامتر
۰/۱	۵	۱۰۰۰	۵۰۰	TDS کل مواد محلول جامد
۰/۰۸	۴	-	۱۵۰۰	EC هدایت الکتریکی
۰/۰۶	۳	۳۰۰	۷۵	Ca ²⁺ کلسیم
۰/۰۶	۳	۳۰	۵۰	Mg ²⁺ منیزیم
۰/۰۸	۴	۲۰۰	۲۰۰	Na ⁺ سدیم
۰/۰۴	۲	-	۱۲	K ⁺ پتاسیم
۰/۰۶	۳	۲۵۰	۲۵۰	Cl ⁻ کلر
۰/۰۸	۴	۲۵۰	۲۵۰	So ₄ ²⁻ سولفات
۰/۱	۵	۵۰	۵۰	No ₃ ⁻ نیترات
۰/۱	۵	۳	۳	No ₂ ⁻ نیتريت
۰/۱	۵	۱/۵	-	NH ₃ آمونیاک
۰/۰۸	۴	۶/۵ - ۸/۵	۶/۵ - ۸/۵	PH PH
۰/۰۶	۳	-	۵۰۰	Hco ₃ ⁻ بی کربنات
۱	۵۰	-	-	مجموع

مأخذ: نگارندگان

جدول ۲: طبقه‌بندی نوع آب بر اساس روش WQI

نوع آب	مقادیر WQI
بسیار خوب	<۵۰
خوب	۵۰ - ۱۰۰
ضعیف	۱۰۰ - ۲۰۰
بسیار ضعیف	۲۰۰ - ۳۰۰
نامناسب برای شرب	>۳۰۰

مأخذ: (کومار و همکاران، ۲۰۱۴)

جهت تعیین فرایندهای غالب در کیفیت آب زیرزمینی از دیاگرام گیبس^۱ استفاده شد و وضعیت اشباع یا عدم اشباع کانی‌های انحلال‌پذیر در نرم‌افزار PHREEQC محاسبه شد. در نهایت، با استفاده از رگرسیون چند متغیره، پارامترهای کیفیت آب در نرم‌افزار SPSS تحلیل گردید و بر اساس اهمیت نقش هر متغیر در کیفیت آب زیرزمینی، رتبه‌بندی صورت گرفت.

نتایج

پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی

خلاصه آماری (حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار داده‌ها) سیزده پارامتر کیفیت آب شامل کل مواد جامد محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر، بی‌کربنات، سولفات، نترات، نیتريت، آمونیوم و PH از نمونه‌های آب برداشت‌شده در جدول ۳ نشان داده شده است.

مقدار مجاز کل مواد جامد محلول (TDS) برای آب شرب $500 - 1500 \text{ mg/L}$ است. مقدار TDS آب زیرزمینی منطقه بین 347 تا 2070 میلی‌گرم در لیتر با میانگین 540 mg/L بوده و ۲ درصد نمونه‌ها مقدار بیش از حد مجاز داشته‌اند (شکل ۲ الف). مقادیر EC میزان شوری آب را نشان می‌دهد و به طبقات کمتر از 1500 ، $3000 - 1500$ و بیش از 3000 میکروزیمنس بر سانتی‌متر ($\mu\text{s/cm}$) تقسیم می‌شوند. بالاترین مقدار EC برای آب شرب $1500 \mu\text{s/cm}$ است. در منطقه مورد مطالعه مقادیر EC نمونه‌های اندازه‌گیری شده از 542 تا $3090 \mu\text{s/cm}$ با میانگین $833 \mu\text{s/cm}$ بوده است و فقط ۲ درصد نمونه‌ها مقدار بیش از حد مجاز داشته‌اند.

کلسیم و منیزیم در آب‌ها با سختی آب ارتباط دارند و حداکثر مجاز آن‌ها به ترتیب 300 و 30 میلی‌گرم در لیتر است. غلظت کلسیم در نمونه‌ها بین 80 تا 294 میلی‌گرم در لیتر بوده است. میانگین مقدار منیزیم در نمونه‌ها $15/8 \text{ mg/L}$ بوده و فقط در یک نمونه غلظت منیزیم از حد مجاز بیشتر بوده است. توزیع فضایی منیزیم و کلسیم آب زیرزمینی منطقه تقریباً مشابه بوده و مقادیر کمتر آن‌ها در قسمت‌های جنوبی منطقه مشاهده می‌شوند (شکل ۲ ج و د). مقدار سدیم در آب‌های زیرزمینی منطقه بین $6/9$ تا 301 میلی‌گرم در لیتر متغیر بوده و میانگین آن $26/8$ میلی‌گرم در لیتر است. با توجه

¹ - Gibb's diagram

به مقدار مجاز سدیم در آب که 200 mg/L است فقط ۲ درصد نمونه‌ها مقدار بیش از این حد داشته‌اند. پراکندگی سدیم در قسمت جنوبی منطقه کمتر و در قسمت‌های شمالی و غربی منطقه بیشتر بوده است (شکل ۲ ه). حداکثر مقدار پتاسیم در نمونه‌های گرفته شده 5 mg/L بوده و همه نمونه‌ها مقدار کمتر از حداکثر مجاز (12 mg/L) داشته‌اند. یون کلراید رایج‌ترین شکل طبیعی کلر است و در آب بسیار پایدار است. دامنه تغییرات کلراید در آب‌های زیرزمینی منطقه بین $17/8$ و $617/7$ میلی‌گرم بر لیتر با میانگین $44/2 \text{ mg/L}$ بوده است. به‌غیر از یک نمونه، سایر نمونه‌ها مقدار کمتر از حداکثر مجاز داشته‌اند.

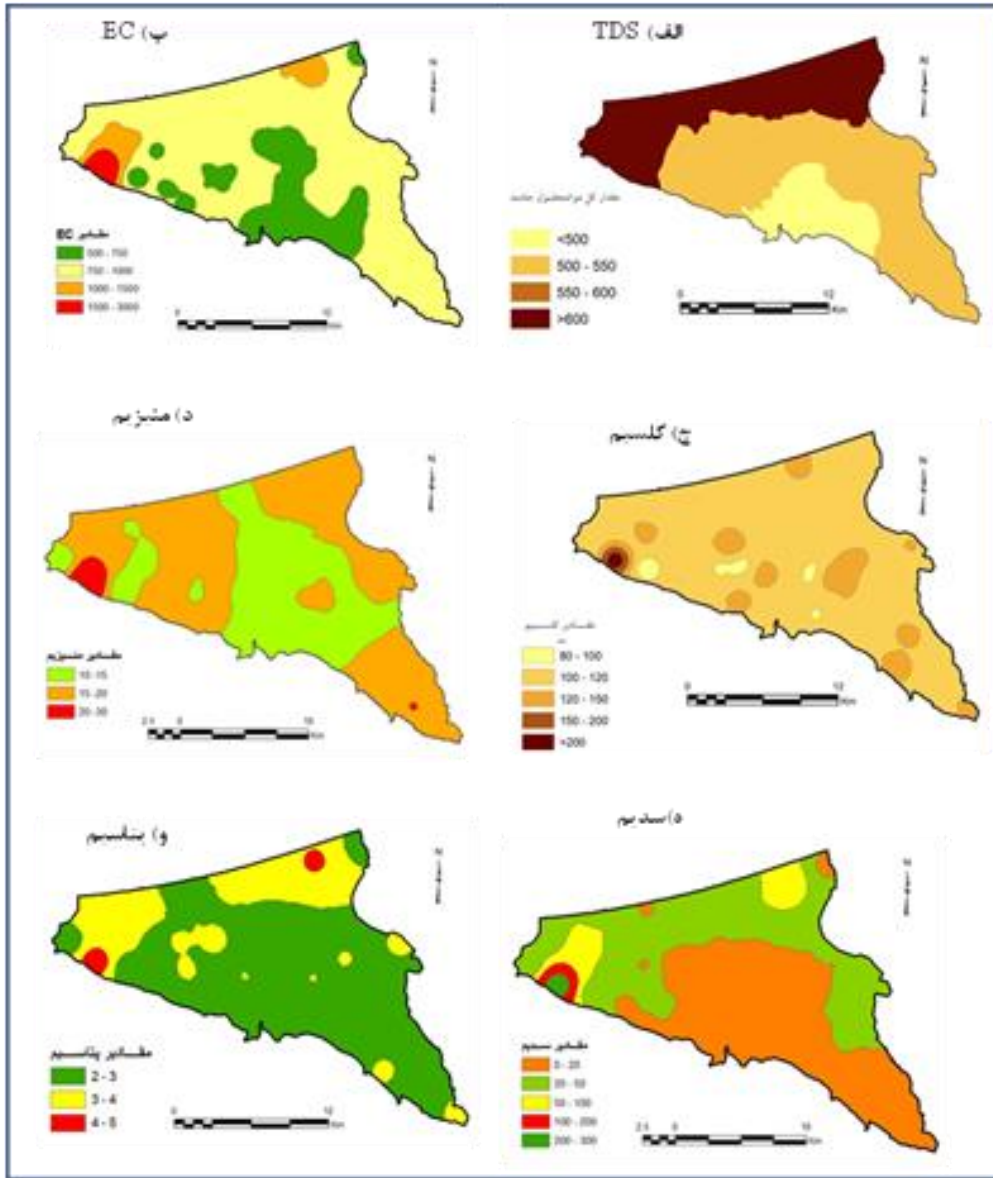
پراکنش کلر در قسمت‌های شمالی و غربی منطقه بیشتر از سایر نقاط بوده است (شکل ۲ ز). غلظت سولفات در آب‌های زیرزمینی منطقه بین $4/6$ تا $81/6$ میلی‌گرم در لیتر متغیر بوده و در مجموع هیچ نمونه‌ای مقدار بیش از حد مجاز نداشته است. نقشه پراکنش سولفات یک روند افزایشی از شرق به غرب را نشان می‌دهد (شکل ۲ س). غلظت بی‌کربنات در آب‌های طبیعی تابع کربن دی‌اکسید محلول، دما، PH، کاتیون‌ها و سایر نمک‌های محلول است. غلظت بی‌کربنات در چاه‌های مورد مطالعه $262/3$ تا $707/6$ میلی‌گرم در لیتر متغیر بوده و ۱۰ درصد نمونه‌ها مقدار بیش از 500 mg/L داشته‌اند. به‌طور کلی مقدار بی‌کربنات در آب‌های زیرزمینی منطقه بالا است (شکل ۲ ع).

جدول ۳: مقادیر آماری پارامترهای اندازه‌گیری شده آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

پارامتر*	حداقل	میانگین	حداکثر	انحراف معیار
کل مواد محلول جامد TDS	۳۴۷	۵۴۰	۲۰۷۰	۲۳۴
هدایت الکتریکی EC	۵۴۲	۸۳۳	۳۰۹۰	۳۴۶/۳
کلسیم Ca^{2+}	۸۰	۱۱۵	۲۹۴	۳۰
منیزیم Mg^{2+}	۹/۶	۱۵/۸	۳۴/۸	۴
سدیم Na^+	۶/۹	۲۶/۸	۳۰۱	۴۳/۶
پتاسیم K^+	۲	۲/۹	۵/۱	۰/۶
کلر Cl^-	۱۷/۸	۴۴/۲	۶۱۷/۷	۸۴/۵
سولفات SO_4^{2-}	۴/۸	۱۲/۴	۸۱/۶	۱۱/۸
نیترات NO_3^-	۱/۳	۵	۱۶/۷	۳/۳
نیتريت NO_2^-	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۲
آمونیاک NH_3	۰/۰۰۲	۰/۳۳	۲/۹۸	۰/۷
PH	۷	۷/۵	۸	۰/۳
بی‌کربنات HCO_3^-	۲۶۲/۳	۴۰۰/۳	۷۰۷/۶	۷۴/۱
سختی کل TH	۲۸۴	۳۵۲	۸۷۷	۸۸/۴

مأخذ: نگارندگان

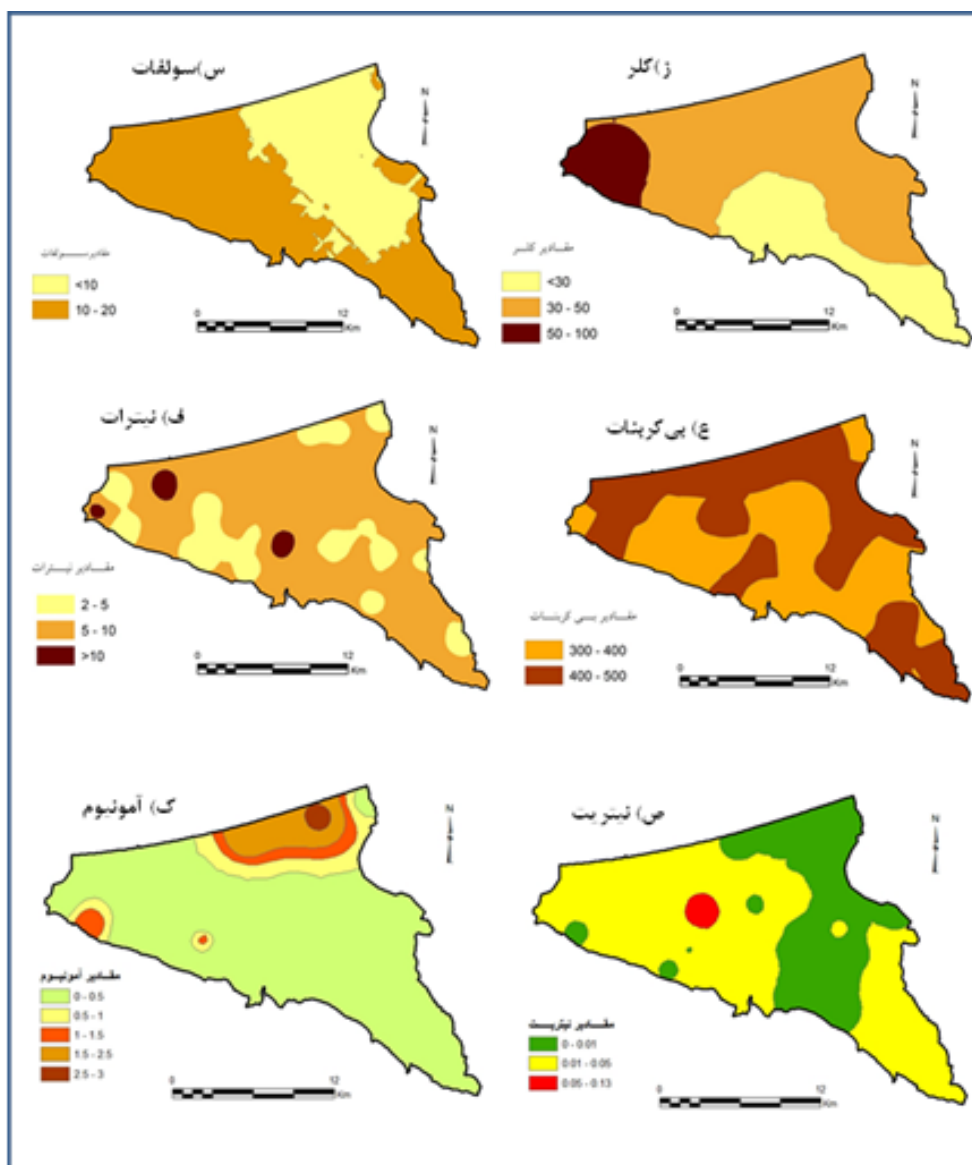
* واحد اندازه‌گیری همه پارامترها به‌جز EC و PH میلی‌گرم در لیتر و واحد اندازه‌گیری EC میکرو زیمنس بر سانتی‌متر است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: نقشه‌های پراکنش غلظت پارامترهای شاخص کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه (واحد مقادیر، برحسب میلی گرم در لیتر است)

ادامه شکل ۲:



طبق استاندارد سازمان جهانی بهداشت (WMO) حداکثر مجاز مقادیر نیترات، نیتریت و آمونیوم برای آب شرب به ترتیب ۵۰ و ۳ و ۰ میلی گرم در لیتر است و اولویت به عدم وجود آن‌ها در آب است. مقادیر بالای نیتریت و نیترات و آمونیاک بیانگر آلودگی آب به فاضلاب می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه هیچ‌یک از نمونه‌ها از نظر نیترات و نیتریت، مقدار بیش از حد مجاز نداشته‌اند (جدول ۳ و شکل ۲، ف، ص). میزان آمونیاک آزاد موجود در آب برحسب میزان ازت محاسبه می‌شود و ممکن است به صورت نمک‌های آمونیم، آمونیاک آزاد و کمپلکس‌های آمونیاکی وجود داشته باشد. همچنین احیاء نیتریت و نیترات در آب چاه‌های عمیق نیز می‌تواند آمونیاک تولید کند. حداکثر مقدار مجاز آمونیاک برای آب‌های شرب برحسب استاندارد ایران ۱/۵ میلی گرم در لیتر است. بر اساس این آستانه ۱۶ درصد نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه، مقدار بیش از حد مجاز داشته‌اند. این آلودگی در قسمت‌های شمال شرقی منطقه که تراکم سکونتگاهی بالایی وجود دارد

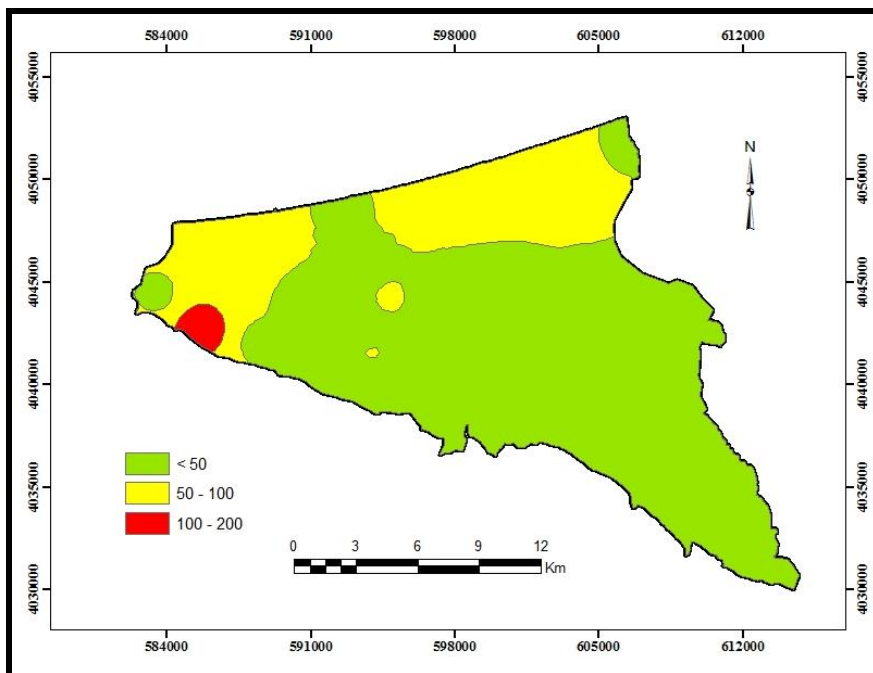
بیشتر است. در منطقه مورد مطالعه، مقدار میانگین سختی آب ۳۵۲ بوده و همه نمونه‌ها آب سختی زیاد و بسیار زیاد داشته‌اند.

نتایج شاخص کیفیت آب (WQI) در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس این جدول، ۷۸ درصد نمونه‌ها در گروه بسیار خوب، ۲۰ درصد در گروه خوب و ۲ درصد نمونه‌ها در گروه ضعیف قرار گرفته‌اند. شکل ۳ نقشه شاخص کیفیت آب زیرزمینی منطقه را نشان می‌دهد. طبق این نقشه، کیفیت آب زیرزمینی منطقه از نظر پارامترهای شیمیایی غیر سمی در قسمت‌های جنوبی بسیار خوب و در قسمت‌های شمالی منطقه خوب بوده است.

جدول ۴: مقادیر شاخص کیفیت آب (WQI) در منطقه مورد مطالعه

شماره نمونه	WQI	کیفیت آب	شماره نمونه	WQI	کیفیت آب
۱	۴۲/۸	بسیار خوب	۲۶	۴۰/۸	بسیار خوب
۲	۷۹/۷	خوب	۲۷	۴۳/۶	بسیار خوب
۳	۷۰	خوب	۲۸	۴۲/۱	بسیار خوب
۴	۷۰/۷	خوب	۲۹	۴۳/۴	بسیار خوب
۵	۴۶/۲	بسیار خوب	۳۰	۳۸/۸	بسیار خوب
۶	۵۲/۶	خوب	۳۱	۴۰/۶	بسیار خوب
۷	۴۹/۹	بسیار خوب	۳۲	۴۰/۶	بسیار خوب
۸	۳۸/۶	بسیار خوب	۳۳	۴۲/۴	بسیار خوب
۹	۱۶۴/۳	ضعیف	۳۴	۵۰/۷	خوب
۱۰	۳۹/۱	بسیار خوب	۳۵	۴۸/۴	بسیار خوب
۱۱	۳۴/۵	بسیار خوب	۳۶	۴۵/۷	بسیار خوب
۱۲	۶۱/۱	خوب	۳۷	۴۷/۵	بسیار خوب
۱۳	۵۴/۴	خوب	۳۸	۴۰/۴	بسیار خوب
۱۴	۳۹/۲	بسیار خوب	۳۹	۳۸/۵	بسیار خوب
۱۵	۴۰	بسیار خوب	۴۰	۵۰/۳	خوب
۱۶	۴۲/۵	بسیار خوب	۴۱	۴۸/۳	بسیار خوب
۱۷	۴۷/۱	بسیار خوب	۴۲	۴۳/۴	بسیار خوب
۱۸	۵۱/۹	خوب	۴۳	۴۴/۵	بسیار خوب
۱۹	۵۴/۲	خوب	۴۴	۴۷	بسیار خوب
۲۰	۴۱/۹	بسیار خوب	۴۵	۴۳	بسیار خوب
۲۱	۴۰/۶	بسیار خوب	۴۶	۴۵/۳	بسیار خوب
۲۲	۴۶/۵	بسیار خوب	۴۷	۴۳/۶	بسیار خوب
۲۳	۴۷/۷	بسیار خوب	۴۸	۴۶/۹	بسیار خوب
۲۴	۴۴/۸	بسیار خوب	۴۹	۴۹	بسیار خوب
۲۵	۴۵/۵	بسیار خوب	۵۰	۴۶	بسیار خوب

مأخذ: نگارندگان



مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: نقشه شاخص کیفیت آب زیرزمینی (WQI) برای شرب در منطقه مورد مطالعه

تحلیل آماری

برای تعیین فاکتورهای مشارکت کننده در شاخص کیفیت آب از رگرسیون چندگانه استفاده گردید. در رگرسیون چندگانه، شاخص کیفیت آب (WQI) به عنوان متغیر وابسته و هر یک از پارامترهای کل مواد جامد محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)، PH، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر، سولفات، بی کربنات، نیترات، نیتريت و آمونیاک به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. نتایج این رگرسیون در جدول ۵ نشان داده شده است. در این جدول ضریب B نشان دهنده ضریب مدل در پیش بینی کیفیت آب است.

خطای استاندارد (SE) نشان دهنده خطای استاندارد ضریب بتا است که وزن بتا هر متغیر مستقل را استاندارد می نماید و تأثیر زیادی در پیش بینی کننده های کیفیت آب دارد به جای اینکه در پیش بینی کیفیت آب نقش داشته باشد. بر اساس وزن استاندارد شده بتا، ده پارامتر از سیزده پارامتر اندازه گیری شده، در شاخص کیفیت آب زیرزمینی منطقه مشارکت داشته اند. مقادیر بزرگ تر پارامترهای EC، آمونیاک و TDS، سدیم و منیزیم به ترتیب نشان دهنده بیشترین اثر در مدل پیش بینی شاخص کیفیت آب زیرزمینی منطقه است.

جدول ۵: تحلیل رگرسیون چندگانه برای تعیین پارامترهای مشارکت‌کننده در شاخص کیفیت آب

پارامترهای شیمیایی	ضریب B	خطای استاندارد SE	ضریب استاندارد شده Beta	Sig	رتبه
TDS	۰/۰۱۹	۰/۰۰۸	۰/۲۳۹	۰/۰۱	۳
EC	۰/۰۲۵	۰/۰۰۵	۰/۴۵۹	۰/۰۰	۱
NO ₃	۰/۲۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۳۵	۰/۰۰	۶
NO ₂	۴/۰۲	۱/۱۴۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۱۰
NH ₃	۶/۶۷	۰/۰۴۴	۰/۲۴۹	۰/۰۰	۲
Ca	۰/۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۳۳	۰/۰۰	۷
Mg	۰/۱۹۶	۰/۰۱۲	۰/۰۴۲	۰/۰۰	۵
SO ₄	۰/۰۲۱	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰	۹
Na	۰/۰۴۳	۰/۰۰۵	۰/۱	۰/۰۰	۴
PH	۱/۰۵	۰/۱۰۹	۰/۰۱۵	۰/۰۰	۸

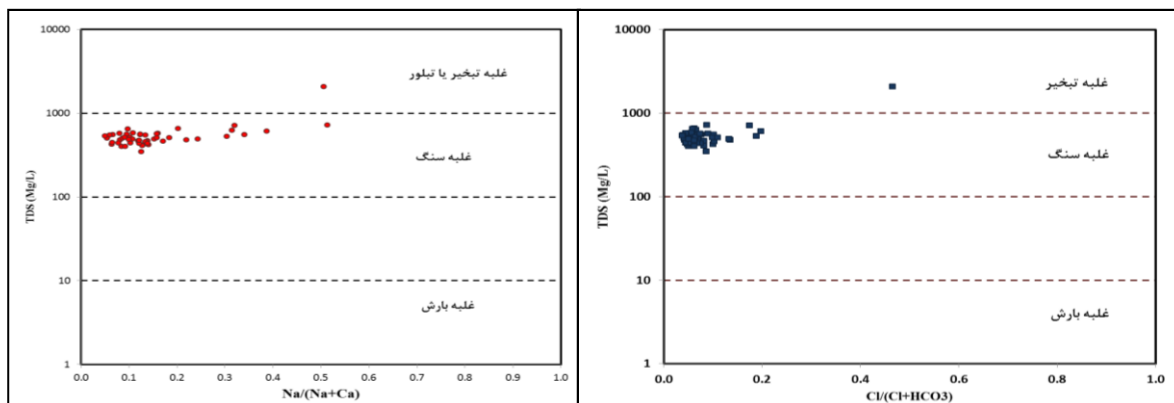
مأخذ: نگارندگان

جهت بررسی معنی‌دار بودن شاخص کیفیت آب با انواع کاربری اراضی منطقه از آزمون کروسکال-والیس استفاده شد. مقدار محاسبه‌شده کروسکال - والیس در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ نشان‌دهنده هیچ نوع تفاوت معنی‌دار بین کاربری اراضی و شاخص کیفیت آب نبوده است. بدین ترتیب نقش کاربری اراضی در کیفیت آب محسوس نیست.

فرایندهای کنترل‌کننده پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی

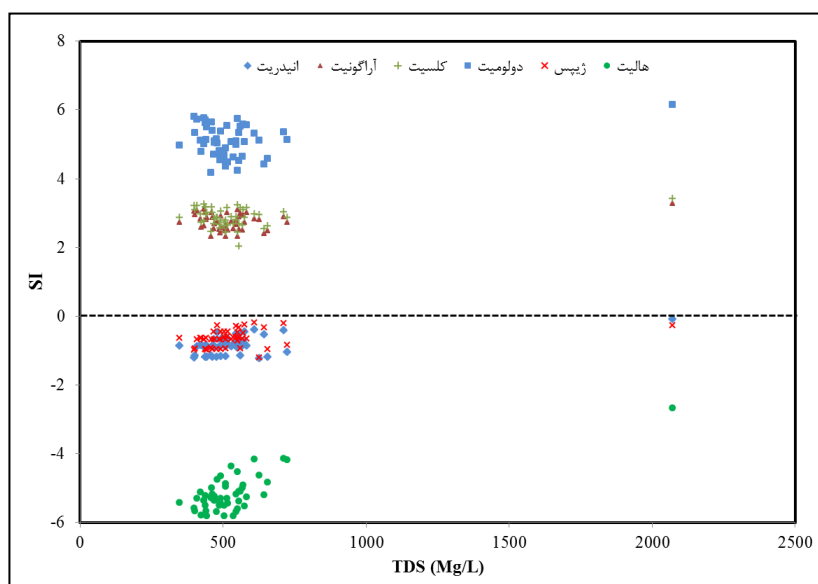
واکنش بین آب زیرزمینی و کانی‌های آبخوان نقش مهمی در کیفیت آب زیرزمینی دارد و برای درک منشأ آب زیرزمینی مفید است (پراسانا و همکاران ۲۰۱۰). برای بررسی این واکنش، دیگرام گیبس مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس دیگرام گیبس، TDS در مقابل Na/Na+Ca برای کاتیون‌ها و TDS در مقابل Cl/Cl+HCO₃ برای آنیون‌ها جهت شناسایی فرایندهای هیدرو شیمیایی آب زیرزمینی مانند بارش، هوازگی سنگ و تبخیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. طبق این دیگرام ۹۸ درصد نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه در گروه هوازگی سنگ قرار گرفته‌اند (شکل ۴).

بنابراین جهت تعیین انحلال کانی‌ها در آب زیرزمینی، شاخص اشباع (SI) نمونه‌های آب زیرزمینی برای کانی‌های تبخیری (ژپس، انیدریت و هالیت) و کربناتی (آهک، دولومیت و آراگونیت) با نرم‌افزار PHREEQC محاسبه گردید. به راین اساس نمونه‌های آب زیرزمینی در سه گروه فوق اشباع (SI > ۱)، اشباع (SI = ۰) و تحت اشباع (SI < ۰) قرار گرفته‌اند. شکل ۵ شرایط هر یک از انواع کانی‌های انحلالی را نشان می‌دهد. طبق این شکل میزان دولومیت، آهک و آراگونیت در شرایط فوق اشباع بوده و کانی‌های تبخیری ژپس، انیدریت و هالیت در شرایط تحت اشباع قرار دارند که غلبه سازندهای آهکی منطقه و تأثیر آن‌ها را در کیفیت آب زیرزمینی نشان می‌دهد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: دیاگرام گیبس آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: نمودار شاخص اشباع آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

در این پژوهش شاخص کیفیت آب در یک منطقه کشاورزی و مسکونی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر اندازه‌گیری شده در بیشتر پارامترها از حداکثر مجاز کمتر بوده و کیفیت لازم را از نظر ترکیب‌های شیمیایی غیر سمی دارا هستند. تغییرات فضایی پارامترهای کیفیت آب با استفاده از تکنیک‌های GIS مورد تحلیل قرار گرفتند و نقشه شاخص کیفیت آب (WQI) تهیه گردید. در مجموع شاخص کیفیت آب جهت مصرف شرب پایین‌تر از ۱۰۰ بوده و جهت این نوع مصرف مطلوب هستند. نتایج تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد که پارامترهای EC، آمونیاک و TDS نقش مهمی در الگوی فضایی نقشه WQI منطقه دارند. پارامترهای مذکور نسبت به سایر پارامترها نقش حساس‌تری دارند و نیاز به پایش منظم‌تر و دقیق‌تری دارند.

تحلیل‌های ژئوشیمی نشان می‌دهد که عامل هوازادگی و انحلال سنگ‌های آهکی و دولومیتی نقش مهمی در ترکیب آب زیرزمینی و سختی آب منطقه داشته که آثار آن در زندگی روزمره ساکنین به چشم می‌خورد. جهت استفاده از آب‌های زیرزمین منطقه علاوه بر ترکیب‌های شیمیایی غیررسمی، بررسی سایر عناصر و سموم هم ضرورت دارد، از این‌رو بررسی دقیق‌تر و بیشتر سایر عناصر و آلاینده‌ها هم ضروری به نظر می‌رسد که با استفاده از شاخص کیفیت آب امکان‌پذیر خواهد بود.

منابع

- ۱- شمسایی، ابوالفضل، صادق اورعی زارع و امین سارنگ، (۱۳۸۴): بررسی تطبیقی شاخص‌های کیفی و پهنه‌بندی کیفی رودخانه کارون و دز، مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۵، صص ۳۹-۴۸.
- ۲- عباسی، عزیز و محسن سعیدی، (۱۳۹۰): توسعه شاخص کیفی آب‌های زیرزمینی در سطح استان قزوین، فصل‌نامه علوم محیطی، شماره ۳۱، صص ۱۱۷-۱۲۸.
- ۳- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۸۸): آب آشامیدنی - ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، استاندارد ملی ایران، ۱۰۵۳، تجدید نظر پنجم.
- ۴- میرزایی، محمد، علی‌رضا نظری و علی یاری، (۱۳۸۴): پهنه‌بندی کیفی رودخانه جاجرود، محیط‌شناسی، شماره ۳۷، صص ۱۷-۲۶.

- 5- Babiker, I. S., Mohamed, M. M. A., & Hiyama, T., (2007): Assessing Ground Water Quality Using GIS. *Water Resources Management*, 21, 699–715.
- 6- Backman, B., Bodiš, D., Lahermo, P., Rapant, S., & Tarvainen, T., (1998): Application of a Groundwater Contamination Index in Finland and Slovakia. *Environmental Geology*, 36(1–2), 55–64.
- 7- Machiwal, D., Jha, M.K. & Mal, B. C., 2011, GIS-Based Assessment and Characterization of Groundwater Quality In A Hard-Rock Hilly Terrain of Western India, *Environ Monit Assess*, 174: 645–663 DOI 10.1007/s10661-010-1485-5
- 8- Pius, A., Jerome, C. & Sharma, N., (2011): Evaluation of Groundwater Quality In and Around Penna Industrial Area of Bangalore, South India Using GIS Techniques, *Environ Monit Assess*, DOI 10.1007/s10661-011-2244-y.
- 9- Kumar, S.K., Logeshkumaran, A., Magesh, N.S., Godson, P.S. and Chandrasekhar, N., (2014): Hydro- Geochemistry and Application of Water Quality Index (WQI) For Groundwater Quality Assessment, Anna Nagar, Part of Chennai City, Tamil Nadu, India, *Appl Water Sci*, DOI 10.1007/s13201-014-0196-4
- 10- Prasanna MV, Chidambaram S, Senthil Kumar G, Ramanathan AL, Nainwal HC (2010): Hydro Geochemical Assessment of Groundwater Iin Naively Basin, Cuddalore District, South India. *Arab J Geosci*. Doi: 10.1007/s12517-010-0191-5.
- 11- Ramesh, S., Sukumaran, N., Murugesan, A. G., & Rajan, M. P. (2010): An innovative Approach of Drinking Water Quality Index—A Case Study From Southern Tamil Nadu, India. *Ecological Indicators*, 10, 857–868.

- 12- Selvam, S., Mani Maran, G., Siva Subramanian, P., Balasubramanian, N., and Seshunarayana, T., (2013): GIS-Based Evaluation of Water Quality Index of Groundwater Resources Around Tuticorin Coastal City, South India, *Environ Earth Sci*, DOI 10.1007/s12665-013-2662-y
- 13- Skidmore, A. K., Bijer, W., Schmidt, K., & Kumar, L., (1997): Use of Remote Sensing and GIS For Sustainable Land Management. *ITC Journal*, 3(4), 302–315.
- 14- Stigter, T. Y., Ribeiro, L., & Carballo Dill, A. M. M., (2006): Application of A Groundwater Quality Index As An Assessment and Communication Tool Iain Agro Environmental Policies: Two Portuguese Case Studies. *Journal of Hydrology*, 327, 578–591.
- 15- Varol, V., and Davraz, A., (2014): Evaluation of The Groundwater Quality With WQI (Water Quality Index) and Multivariate Analysis: A Case Study of The Tefenni Plain (Burdur/Turkey), *Environ Earth Sci*, DOI 10.1007/s12665-014-3531-z.
- 16- Vasanthavigar M, Srinivasamoorthy K, Vijayaragavan K, Rajiv Ganthi R, Chidambaram S, Anandhan P, Manivannan R, Vasudevan S (2010): Application of Water Quality for Groundwater Quality Assessment: Thirumanimuttar Sub basin, Tamil Nadu, India. *Environ Monit Assess* 171(1–4):595–609.
- 17- Vignolo, A., Pochettino, A., & Cicerone, D., (2006): Water Quality Assessment Using Remote Sensing Techniques: Medrano Creek, Argentina. *Journal of Environmental Management*, 81, 429–433.
- 18- WHO (2011): WHO Guidelines For Drinking-Water Quality, Fourth ed. World Health Organization.