چهل و دومین گردهمایی (همایش) ملی
علـوم زمیـــن
The 42nd National
Geosciences Congress
www.geoconf.ir

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی مورد استفاده برای شرب در آبخوان دشت مرند با استفاده از شاخص GQI

زهرا آذری اسکوئی[۱]، ناصر جبرائیلی اندریان [۲]، عطاالله ندیری[۳]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه علوم زمین، دانشگاه شیراز، شیراز Zahraazari2023n@gmail.com

[۲] دانشجوی دکتری، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز، تبریز nasserjabraili@gmail.com

[۳] استاد، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز، تبریز nadiri.ata@gmail.com

چکیده

باتوجه به اهمیت آب شرب در زندگی انسان‌ها که بستر اصلی منشا حیات است، آبخوان‌ها به عنوان اصلی ترین منابع آب شرب به حساب می‌آیند. ازطرفی کیفیت آب‌های زیرزمینی همچون آب سطحی دائماً در حال تغییر است و آلودگی آب مشکلی است که در سرتاسر جهان وجود دارد. از این‌رو خصوصیات کیفی مربوط به دشت‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. پژوهش حاضر به منظور بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی استفاده‌شده برای شرب در دشت مرند با شاخص GQI با استفاده از نرم افزار ArcGIS است. محدوده مطالعاتی دشت مرند یکی از آبخوان‌های استان آذربایجان شرقی است که در شمال غرب شهرستان تبریز واقع شده است و بر اساس تقسیم بندی نبوی در زون البرز غربی و آذربایجان قرار گرفته است. در این پژوهش، شاخص کیفیت آب شرب بر اساس مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تعیین شده‌است. مقدار شاخص کیفی بر اساس استاندارد آب شرب ایران نیز محاسبه گردیدکه نتایج گویای این واقعیت است که مقدار شاخص کیفی در محدوده مورد مطالعه بر اساس GQI و استاندارد آب شرب ایران بین ۷۸/۹ تا ۸۷ متغیر بوده و در رده کیفیت مناسب تا قابل قبول قرار دارد که تقریبا می‌توان گفت در ابتدای دشت کیفیت آب مناسب بوده و در انتهای دشت کیفیت آب افت کرده و به سطح قابل قبول می‌رسد.

واژه‌های کلیدی

شاخص GQI، آبخوان دشت مرند، عناصر کمیاب، آب زیرزمینی.

۱. مقدمه

وجود انسان بر روی کره زمین توسط سه منبع اصلی هوا، آب و خاک ممکن است که در این میان، آب بستر اصلی منشا حیات است[۱]. سازمان جهانی بهداشت (WHO) آب را به عنوان «ابزار اصلی برای بهبود سلامت عمومی» معرفی کرده است، زیرا در دسترس بودن آن از بسیاری از بیماری‌ها جلوگیری می‌کند و بهداشت را تا حد زیادی بهبود می‌بخشد [۲]. جوامع بشری برای بقا و توسعه به آب وابسته هستند و تقاضای جهانی در طول زمان به دلیل رشد جمعیت، گسترش زمین های قابل کشت آبی، توسعه اقتصادی و تغییر رژیم غذایی در حال افزایش است [۳]. سازمان ملل متحد گزارش می کند که با افزایش جمعیت، دسترسی به آب سالم در حال کاهش است. منابع آب زیرزمینی در بسیاری از کشورها جزو مهمترین منابع مورد استفاده در کشاورزی، شرب و... محسوب می‌شود. از طرفی کیفیت آب¬های زیرزمینی همچون آب سطحی دائماً در حال تغییر است و آلودگی آب مشکلی است که گریبانگیر مردم در سراسر جهان شده است[۴]. آب همواره مقادیری املاح، مواد معلق و گازهای محلول همراه خود دارد. وجود برخی از املاح در آب برای سلامتی انسان ضروری است ولی مقدار بیش از مجاز آن ها سلامتی انسان را به خطر می‌اندازد [۵]؛ بنابراین ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی برای اطمینان از استفاده ایمن از آب بسیار مهم است. GQI به عنوان یک تکنیک رتبه‌بندی تعریف می‌شود که تأثیرات ترکیبی پارامتر کیفیت آب را بر کیفیت کلی آب ارائه می‌کند. در این روش برای کاهش تعداد پارامترها برای سنجش کیفیت آب از یک مقدار عددی استفاده می شود[۶]. کیفیت آب و مناسب بودن آن برای مصارف شرب را می توان با GQI بررسی کرد. . براون و همکاران (۱۹۷۰) شاخص کیفی آب (WQI) را بیان کردند[۷]. باکمن و همکاران (۱۹۹۸)، شاخصی برای ارزیابی و نقشه¬برداری درجه آلودگی آب زیرزمینی و آزمایش کاربرد آن در جنوب غرب فنالند و مرکز اسلواکی ارائه کردند[۸]. ستیگر و همکاران (۲۰۰۶) کاربرد شاخص کیفیت آب زیرزمینی به¬عنوان ابزار ارزیابی در سیاست‌های کشاورزی_محیطی را بررسی کردند. ایشان با هدف مدیریت تأثیر توأم کشاورزی روی پارامترهای کلیدی شیمی و قابلیت شرب آب زیرزمینی با روش تحلیل عاملی به بررسی کیفیت آب زیرزمینی در پرتغال پرداختند[۹]. جودوی (۱۳۸۸) کیفیت آب زیرزمینی را از نظر شرب در آبخوان دشت فیض آباد در جنوب غرب مشهد از طریق برآورد شاخص GQI بررسی نمود[۱۰]. نیک پیمان(۲۰۱۳) در پژوهش خود با موضوع ارزیابی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت مشهد با استفاده از شاخص GQI پرداخت. ایشان به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب زیرزمینی در بخش های انتهایی دشت نامناسب و در بخش های ابتدایی و میانی کیفیتی مناسب و متوسط را داراست[۱۱]. چابوک و همکاران (۲۰۲۰) به تجزیه و تحلیل کیفیت آب رودخانه دجله در کشور عراق با استفاده از شاخص کیفیت آب و نرم افزارGIS پرداختند. آن ها از ۱۴ ایستگاه در امتداد رودخانه نمونه برداری انجام دادند. نتایج بررسی ۱۴ پارامتر نشان داد که وضعیت آب رودخانه دجله در پایین دست به شدت کاهش پیدا کرده است[۱۲]. ندیری و همکاران در سال ۱۴۰۰ با انجام پژوهشی، شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) را با الگوریتم ژنتیک، منطق فازی و فازی گاما ترکیب کرده و با استفاده از ۴ روش GQI، GQI-GA، GQI-FL-GA و GQI-FG کیفیت آب شرب در آبخوان شمال شرقی بیجار را تعیین کردند. بر اساس صحت‌سنجی روش GQI-FL-Ga با ضریب همبستگی ۰/۸۹ و مجذور مربعات خطای ۰/۰۱ بهترین روش جهت تعیین شاخص کیفی آب زیرزمینی منطقه انتخاب گردید[۱۳]. میهاله (۲۰۲۲) در بررسی آب دو رودخانه در تانزانیا با استفاده از شاخص WQIبه این نتیجه رسیدند که که کیفیت آب در رودخانه پانگانی در محدوده خوب و در رودخانه زیگی در محدوده آلوده قرار دارد[۱۴]. جبرائیلی اندریان و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای با عنوان "تعیین شاخص کیفیت آب زیرزمینی و مقایسه آن با نتایج ریسک سرطان زایی و غیرسرطانزایی" ارتباط کیفیت آب شرب با بیماری‌های سرطانی و غیر سرطانی بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که در مناطقی که کیفیت آب شرب پایین است شیوع انواع بیماری‌های مرتبط با آب نیز بیشتر است[۱۵]. هدف از این مطالعه بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای مصرف شرب با استفاده از شاخص GQI آبخوان دشت مرند است. به دلیل اهمیت مسائل بهداشتی مرتبط با سلامت انسان و با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ای جامعی در رابطه با عناصر اصلی و کمیاب موجود در آب شرب محدوده مورد مطالعه انجام نگرفته است لذا در این پژوهش غلظت این عناصر در آب آشامیدنی آبخوان دشت مرند با استاندارد ملی ۱۰۵۳ ایران مقایسه شده و براین اساس کیفیت آب شرب منطقه مطالعاتی تعیین شده است.

۲. روش پژوهش

۱،۲. نمونه‌برداری و تجزیه هیدروژئوشیمیایی

به طور کلی در این پژوهش، در شهریور ماه ۱۴۰۰ اقدام به نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی دشت‌مرند با پراکندگی و توزیع مناسب شد(حدود ۱۵ نمونه). پارامترهایEC و pH به‌منظور ارزیابی سریع و کنترل اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، علاوه بر آزمایشگاه در محل نمونه‌برداری نیز با استفاده از دستگاه‌های قابل‌حمل با دقت اندازه‌گیری شده است.

روش نمونه‌برداری و نگهداری نمونه‌ها طبق توصیه‌های ASTM صورت گرفت که بر طبق آن از هر منبع نمونه‌برداری یکی از آن‌ها با اسید نیتریک ۶۵ ٪ پایدار شده است. نمونه‌ها پس از ثبت مشخصات ایستگاه‌ها در مجاورت یخ به آزمایشگاه منتقل‌شده و در کوتاه‌ترین زمان ممکن نمونه‌های اختصاصی برای عناصر کمیاب با روش اسپکتروفتومتری جذب اتمی مدل (NOvaAA400) در آزمایشگاه دانشکده شیمی دانشگاه تبریز آنالیز شده است. همچنین نمونه دوم از هر منبع بدون افزودن اسید جهت اندازه‌گیری نیترات در آزمایشگاه آب‌شناسی دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز آنالیز شده است. در ادامه برای بررسی دقت و صحت آنالیزها در آزمایشگاه‌های موردنظر، چندین نمونه اسپایکت و تکراری به آزمایشگاه‌ها ارسال شد که این دقت به‌طور میانگین بین ۹۰ تا ۹۵ درصد بود. داده‌های مربوط به عناصر اصلی نقاط نمونه‌برداری نیز از اداره آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی اخذ گردید.

۲،۲. آنالیز عناصر

بررسی خصوصیات شیمیایی یک نمونه آب، مستلزم تجزیه شیمیایی آن است. پارامترهای که به‌طورمعمول در تجزیه شیمیایی آب‌های زیرزمینی اندازه‌گیری می‌شوند شامل آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، دما، هدایت الکتریکی و مواد جامد محلول نمونه می‌باشد. تجزیه شیمیایی آب علی‌رغم pH موجود در آب، سرعت عمل و هزینه کم، اطلاعات باارزشی از منشأ، کیفیت و جهت آب زیرزمینی ارائه می‌دهد. بدون آنالیز شیمیایی ممکن نیست بتوان منشأ یک نمونه آب زیرزمینی را مشخص نمود. دادهای کیفی یک‌ساله عناصر اصلی آب از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی جمع‌آوری شد، به‌دلیل جدید بودن داده‌های سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ از این داده‌ها برای مطالعات هیدروشیمی استفاده گردید. داده‌های کیفی جمع‌آوری از سازمان آب منطقه‌ای شامل پارامترها EC، pH،TDS ، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، سولفات، کلر و بیکربنات به همراه UTM نقاط نمونه‌برداری شده است. از بین عناصر فرعی، نیترات به‌دلیل اهمیت بیشتر انتخاب گردید و پس از نمونه‌برداری اقدام به آنالیز در آزمایشگاه آب دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز گردید. از بین عناصر کمیاب، کروم ،کادمیوم، نیکل،سرب و آرسنیک انتخاب گردید و پس از نمونه‌برداری از آبخوان دشت مرند اقدام به آنالیز در آزمایشگاه دانشکده شیمی دانشگاه تبریز شده است. مقدار حد تشخیص دستگاهی برای عناصر کمیاب ۱ میکروگرم بر لیتر است که غلظت‌های کمتر از این مقدار برای دستگاه قابل تشخیص نمی‌باشد و با ND نشان داده می شود.

۳،۲. شاخص GQI

آب قابل¬شرب سالم بایستی دارای شاخص‌های کیفی متعددی مانند خواص فیزیکی و شیمیایی باشد. یکی از این شاخص‌ها، مقدار غلظت یون‌های اصلی، عناصر کمیاب و جزئی در آب می‌باشد. حد مجاز غلظت این مواد در آب آشامیدنی توسط سازمان‌های مختلفی ازجمله US-EPA، WHOو موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران در قالب جداول استاندارد مشخص گردیده است. از روش‌های متداول ارزیابی کیفی آب برای مصارف شرب مقایسه نمونه‌های آب هر منطقه با معیارهای فوق‌الذکر می‌باشد. مقایسه با جداول استاندارد و نمودار شولر امکان بررسی کیفیت آب را در یک نقطه خاص از منطقه موردنظر ارائه می‌دهند حال‌آنکه در صورت وجود روشی که کیفیت آب از لحاظ شرب را به‌صورت مکانی و با در نظر گرفتن غلظت همه یون‌های اصلی و همچنین عناصر کمیاب و فرعی در کل منطقه نشان دهد نتایج و استنباط بهتری را به همراه خواهد داشت. در این خصوص تلاش‌های متعددی طی سال‌های گذشته صورت گرفته و شاخص‌های متعدی توسط محققین ارائه شده که ازجمله می‌توان به شاخص NFSWQI، WQI،IAWQI و GQI اشاره نمود. شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) که اولین بار در آبخوان Nasuno توسط Babiker و همکاران در کشور ژاپن به‌کار گرفته‌شده است که شاخصی بر پایه نرم‌افزار GIS است و خروجی آن نقشه واحدی است از تلفیق چندین پارامتر مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی که تغییرات مکانی کیفیت آب را در کل منطقه نشان می‌دهد. در کشور ایران نیز کارهای متعددی با استفاده از این روش انجام‌گرفته است. با

استفاده از شاخص GQI مقادیر عددی این پارامترها را می‌توان با استانداردهای ایران یاWHO موجود ارتباط داد که به‌منظور محاسبه شاخص GQI مطابق متدولوژی ارائه شده است[۱۶]. مراحل زیر جهت تهیه نقشه نهایی انجام پذیرفته است.

۱،۳،۲. روش کار

مرحله اول: تهیه نقشه‌های رستری هریک از پارامترهای اثرگذار در ارزیابی

در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار GIS مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای داده‌های مذکور که در اکثر موارد روش کریجینگ و در بعضی موارد روش عکس مجذور فاصله (IDW) تشخیص داده شد، جهت تهیه نقشه‌های رستری مود استفاده قرار گرفت. سپس با استفاده از الحاقیه Geostatistical Analyst در نرم‌افزار ArcGIS نقشه‌های مربوط به هشت پارامتر شیمیایی از داده‌های مورد استفاده با تکنیک Kriging و IDW درون‌یابی گردیده و نقشه رستری مربوط به غلظت هر پارامتر تهیه گردید.

مرحله دوم: تهیه نقشه‌های هم مقیاس

در این مرحله جهت هم‌مقیاس شدن و هم‌معیار شدن داده‌های متفاوت هریک از پارامترها، با استفاده از رابطه ۱ غلظت هر پیکسل (X')از نقشه‌های رستری مرحله قبل با مقدار استاندارد WHO برای هر پارامتر (X) ارتباط برقرار گردید.

$$C = \frac{X' - X}{X' + X} \qquad (۱)$$

نتیجه این یکسان‌سازی مقیاس‌ها تولید ۸ نقشه جدید می‌باشد که ارزش پیکسل‌های آن‌ها بین (-۱) و (۱) تغییر می¬کنند.

مرحله سوم: تهیه نقشه‌های رتبه‌بندی

در این مرحله غلظت‌ها در نقشه‌های فوق بین (۱) و (۱۰) درجه‌بندی می‌شوند تا نقشه رتبه‌بندی مرحله شده (RankMap) هر پارامتر به دست آید. به‌این‌ترتیب مقدار (۱-) در نقشه تولیدشده در مرحله قبل به (۱) و مقدار (۰) به (۵) و مقدار) (۱) به (۱۰) در نقشه رتبه‌بندی شده تغییر می‌یابند. در این نقشه‌ها رتبه (۱) نشانگر کیفیت خوب آب زیرزمینی و رتبه (۱۰) بیانگر کیفیت بسیار بد آب زیرزمینی می‌باشد. جهت تبدیل واحد هر پیکسل نقشه قبلی (C) به مقدار جدید (r) از رابطه ۲ که یک تابع چندجمله‌ای می‌باشد، استفاده می‌شود.

$$r = (0.5 \times C2) + (4.5 \times C) + 5 \qquad (۲)$$

مرحله چهارم: تهیه نقشهGQI

نقشه‌های رتبه‌بندی شده، وضعیت آبخوان را نسبت به هریک از این پارامترها نشان می‌دهند لذا به‌منظور ایجاد یک نقشه که نمایانگر تمام ۸ پارامتر شیمیایی باشد وضعیت کلی کیفیت آب را در مقایسه با استاندارد آب شرب ایران ارائه نماید از شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI)استفاده‌شده و لایه‌های مربوط به پارامترها توسط رابطه۳ با یکدیگرتلفیق گردیده‌اند.

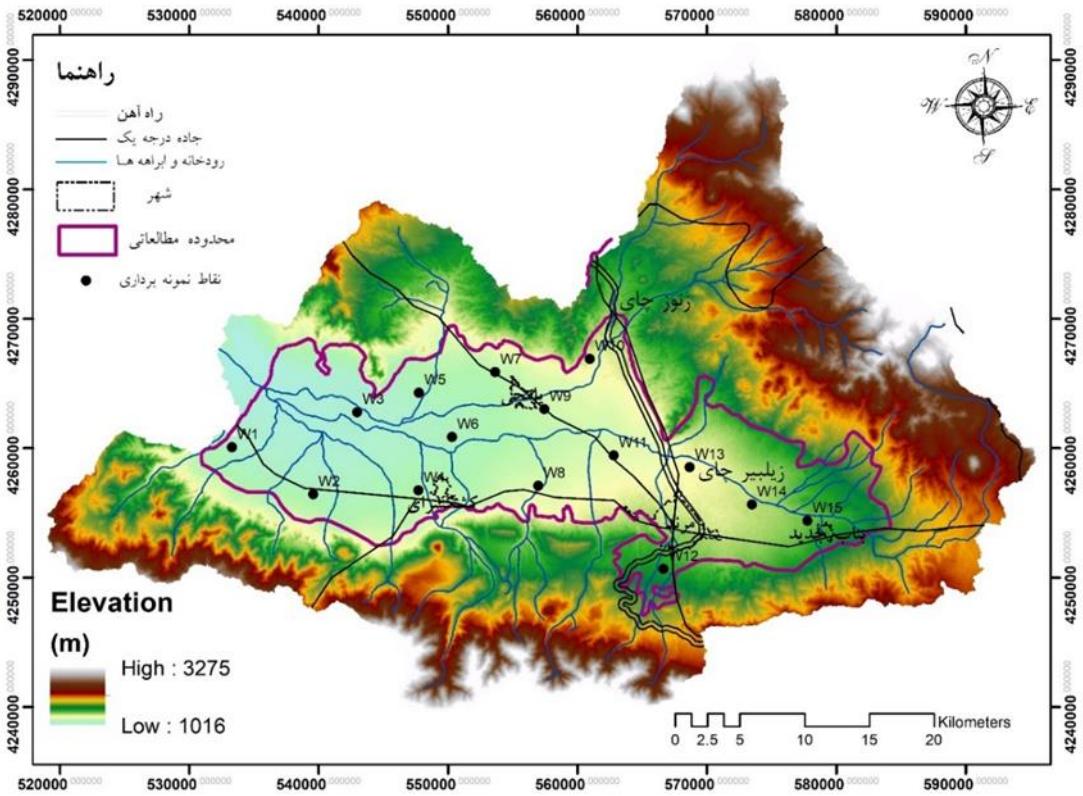
$$"GQI=100-" \ "r1w1+r2w2+\cdots+rnwn" /"n" \qquad (۳)$$

در این رابطه، rرتبه هر پیکسل از نقشه‌های رتبه‌بندی شده و w وزن نسبی هر یک از پارامترها می‌باشد که برابر با مقدارمیانگین کل پیکسل‌های نقشه رتبه‌بندی شده مربوطه می‌باشد. برای محاسبه GQI در واقع از پارامترهای مختلف میانگین وزنی گرفته می‌شود که پارامترها با مقدار بیشتر)تفاوت بیشتر با مقدار استاندارد(دارای وزن نسبی و درنتیجه تأثیرگذاری بیشتری می‌باشند. به این دلیل که مقدار سمی بودن عناصر مختلف برای انسان متفاوت است، ذکر این نکته مهم است که در شرایطی استفاده از میانگین برای همه پارامترها صحیح می‌باشد که مقدار سمی و خطرناک بودن آن‌ها برای انسان تقریباً به یک اندازه باشد و اگر یک یا چند عنصر، سمی‌تر از دیگر عناصر باشند، فرمول بایستی کالیبره شده و ضرایب تغییر کنند. نقشه نهایی GQI بر اساس استاندارد آب شرب ایران برای تمامی دشت‌ها به‌صورت جداگانه آورده شده است. مقادیر بالای شاخص کیفی نشان‌دهنده کیفیت خوب آب و مقادیر پایین، نشان‌دهنده کیفیت بد آب می‌باشد.

۳. قلمرو جغرافیایی پژوهش

۱،۳. موقعیت جغرافیایی

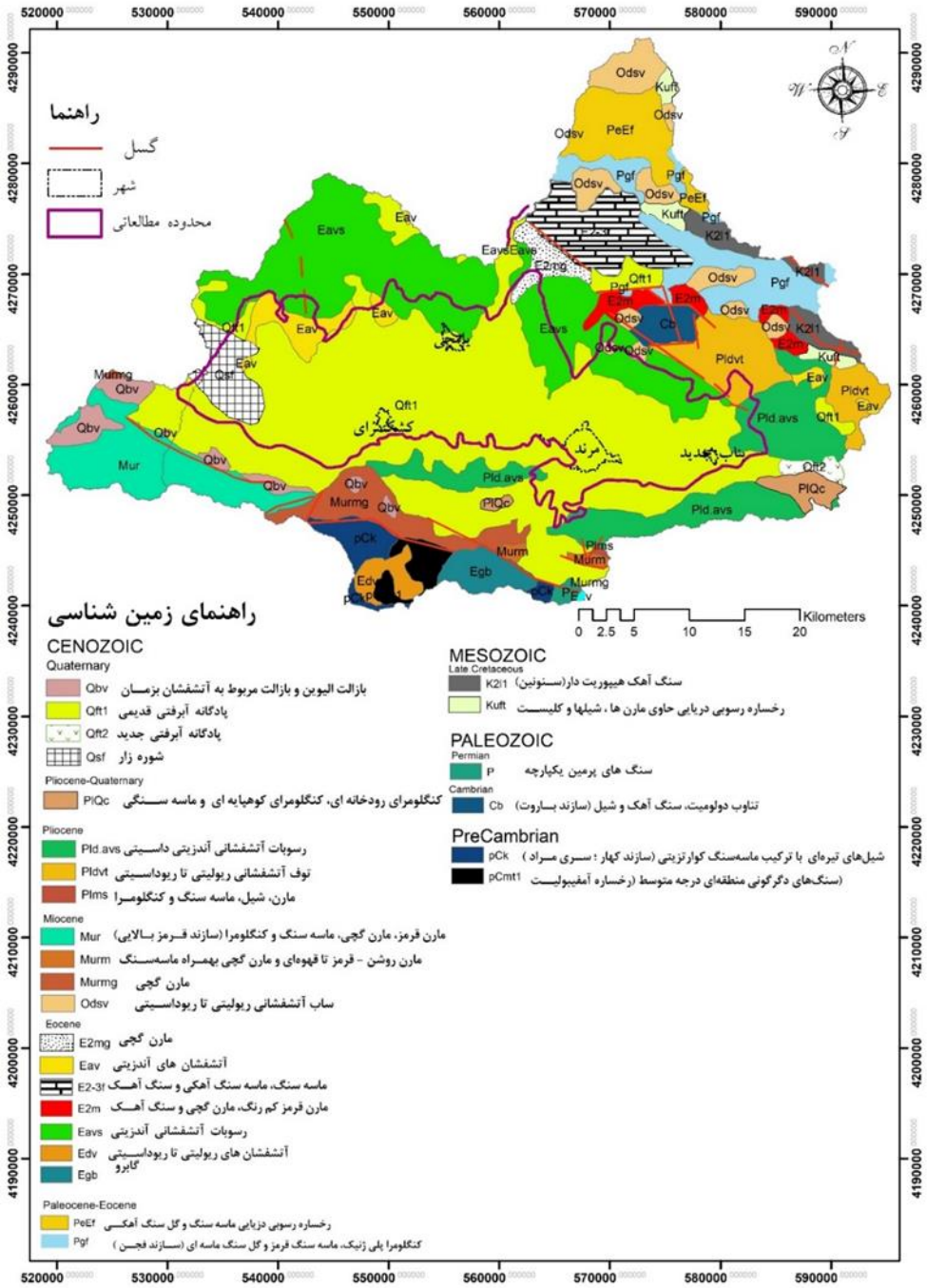
محدوده مطالعاتی مرند در شمال غرب استان آذربایجان شرقی و حد فاصل مختصات UTM ۵۲۱۵۰۰ تا ۵۹۱۵۰۰ طول شرقی و ۴۲۴۰۰۰۰ تا ۴۲۹۰۰۰۰ عرض شمالی واقع گردیده است. وسعت کلی محدوده مطالعاتی مرند ۱۸۷۱ کیلومترمربع است و ۵۸۹ کیلومترمربع آن را پهنه‌های آبرفتی تشکیل می‌دهد. مهمترین شهر مستقر در آن بنام شهرستان مرند در ۶۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان تبریز واقع شده است. ارتفاع بلندترین و پست‌ترین نقطه منطقه نسبت به تراز متوسط دریا به‌ترتیب برابر ۳۱۵۵ و ۱۰۵۰ متر است. مهمترین رودخانه منطقه زیلبرچای و زنوزچای می‌باشند که رودخانه زیلبیرچای آب‌های سطحی ارتفاعات جنوب و جنوب شرقی و رودخانه زنوزچای ارتفاعات شمال و شمال شرقی منطقه را زهکشی می‌کند. این دو رودخانه پس از پیوستن به یکدیگر در نهایت به رودخانه قطورچای متصل می‌گردند. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل۱. نقشه پایه حوضه آبریز محدوده مطالعاتی مرند و نقاط نمونه‌برداری

۲،۳. زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه بر اساس تقسیم بندی نبوی در زون سوم واحد زمین‌ساختی البرز غربی و آذربایجان قرار گرفته است [۱۷]. شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل۲. نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز آبخوان مرند

۳،۳. هیدروژئولوژی

در این منطقه بر اساس مطالعات ژئوفیزیک علاوه بر آبخوان آزاد که ادامه آبخوان آزاد حواشی دشت می‌باشد، دو لایه آبدار تحت‌فشار و نیمه‌محصور نیز به‌وجود آمده است. از حوالی مرند به سمت شمال مقدار ضخامت آبرفت بین ۱۴۰ تا کمتر از ۶۰ متر قرار می‌گیرد. این در

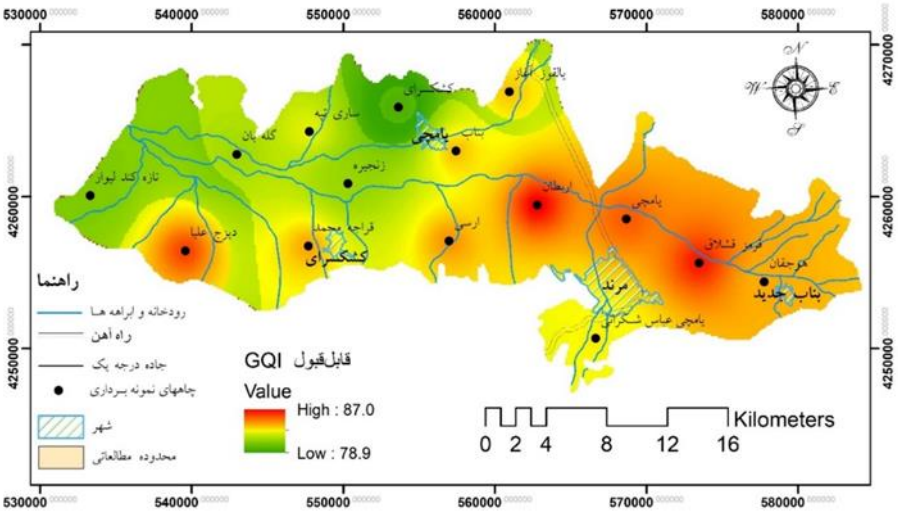
حالی است که به سمت غرب با تسلط تدریجی لایه‌های دانه‌ریز از ضخامت آبرفت کاسته شده است و به حداقل مقدار خود در مرکز دشت آبرفتی به میزان کمتر از ۴۰ متر می‌رسد.

۴. یافته‌ها و بحث

۱،۴. شاخص کیفی آب‌های زیرزمینی(GQI)

در این پژوهش از نتایج آنالیز شیمیایی ۱۵ نمونه آب زیرزمینی مربوط به پاییز ۱۴۰۰ به‌منظور بررسی مکانی و پهنه‌بندی کیفیت آب شرب در منطقه مطالعاتی از شاخص GQI استفاده گردید.

در این راستا ۱۳پارامتر شیمیایی (Ca^{2+},K^{+}, Mg^{2+}, Na^{+}, HCO^{-}_{3},Cl, SO_4^2, TDS,pH) و نیترات و همین عناصر سنگین سرب و نیکل و آرسنیک که فراوانی زیادی در آب زیرزمینی منطقه داشته و ازنظر تأثیرگذاری بر سلامت انسان دارای اهمیت می‌باشند در نظر گرفته شدند. با استفاده از شاخص GQI مقادیر عددی این پارامترها را می‌توان با استانداردهای مربوطه موجود ارتباط داد که در این تحقیق بر اساس معیارهای استاندارد آب منطقه‌ای این ارزیابی انجام گرفت. نقشه نهایی GQI بر اساس استاندارد آب منطقه‌ای در شکل ۳ ارائه شده است. مقادیر بالای شاخص کیفی نشان‌دهنده کیفیت خوب آب و مقادیر پایین، نشان‌دهنده کیفیت بد آب می‌باشد.



شکل۳. نقشه شاخص کیفی آب زیرزمینی GQI آبخوان مرند بر اساس استاندارد آب شرب ایران

با توجه به جدول ۱ کیفیت آب، تقسیم‌بندی می‌شود که بر اساس آن و با توجه به محاسبات انجام‌شده مقدار شاخص کیفی در منطقه موردمطالعه بر اساس استاندارد آب منطقه‌ای بین ۷۸/۹ تا ۸۷ متغیر بوده و بیانگر این است که درمجموع آب‌های زیرزمینی منطقه موردمطالعه ازنظر استانداردهای آب آشامیدنی در رده ی کیفیت مناسب تا قابل قبول قرار می‌گیرد که تقریبا می توان گفت در ابتدای دشت کیفیت آب مناسب بوده و در انتهای دشت کیفیت آب افت کرده و به سطح قابل قبول می رسد.

از نقشه نهایی GQI می‌توان برای بررسی چگونگی و دلایل تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی استفاده کرد. برای این کار می‌توان اطلاعات این نقشه را با اطلاعات زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی، کاربری اراضی، عمق سطح آب، شبکه زهکشی و غیره ارتباط داده تا عوامل کنترل‌کننده تغییرات کیفی آب زیرزمینی مشخص گردد.

جدول ۱. درصد مساحت برای هر کیفیت آب زیرزمینی (GQI) در آبخوان مرند

تقسیم‌بندی کیفی آب بر پایه (GQI)[۱۶]		درصد GQI
پارامتر طبقه‌بندی آب	GQIمیزان	WHO
مناسب	۹۰-۱۰۰	۹۹/۱

قابل‌قبول	۷۰-۹۰	۰/۹
متوسط	۵۰-۷۰	-
نامناسب	۲۵-۵۰	-
کاملاً نامطلوب	۰-۲۵	-

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی بر آن شد که با استفاده از نتایج آنالیز برای عناصر اصلی، فرعی و کمیاب به همراه برخی پارامترهای شیمیایی ، با استفاده از شاخص GQI ، به ارزیابی کیفیت آب شرب محدوده آبخوان مرند پرداخته شد. نتایج گویای این واقعیت است که مقدار شاخص کیفی در محدوده مورد مطالعه بر اساس GQI و استاندارد آب شرب ایران بین ۷۸/۹ تا ۸۷ متغیر بوده و در رده کیفیت مناسب تا قابل قبول قرار دارد که تقریبا می توان گفت در ابتدای دشت کیفیت آب مناسب بوده و در انتهای دشت کیفیت آب افت کرده و به سطح قابل قبول می رسد.

منابع

[5]. دیندارلو، کاووس.، علیپور، ولی. و فرشیدفر، غلامرضا. (۱۳۸۸). کیفیت شیمیایی آب شرب بندرعباس، مجله بهداشت هرمزگان، ۵۷- ۶۲.

[10] . جودوی، عطاالله. (۱۳۸۸). معرفی شاخص GQI به منظور ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی جهت اهداف آب شرب، مجموعه مقالات بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین و سیزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.

[11]. نیک پیمان، وحید ،. محمدزاده، حسین. (۱۳۹۲). ارزیابی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت مشهد با استفاده از شاخصGQI . در *اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی*.

[13]. ندیری، عطاالله.، طاهری زنگی، صالح.، جبرئیلی اندریان، ناصر. (۱۴۰۰). پهنه بندی مکانی شاخص کیفی آبخوان شمال شرقی دشت بیجار و مقایسه ی کیفیت آب با روش های مختلف. نشریه اکوهیدرولوژی، دوره ۸ ، شماره۱.

[15] . جبراییلی اندریان، ناصر.، ندیری، عطاالله.، طاهری زنگی، صالح.، صدقی، زهرا. (۱۴۰۲). تعیین شاخص کیفیت آب زیرزمینی و مقایسه آن با نتایج ریسک سرطان زایی و غیرسرطانزایی، مجله مدیریت آب و آبیاری، ۱۳(۲)، ۳۶۹-۳۸۴.

[17]. نبـوی، محمدحسن. (۱۳۵۵). دیباچـهای بـر زمـین شناسـی ایـران .انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، تهران.

[1]. Dwivedi, A. K. (2017). Researches in water pollution: A review. *International Research Journal of Natural and Applied Sciences*, *4*(1), 118-142 .

[2]. Qamar, K., Nchasi, G., Mirha, H. T., Siddiqui, J. A., Jahangir, K., Shaeen, S. K., . . . Essar, M. Y. (2022). Water sanitation problem in Pakistan: A review on disease prevalence, strategies for treatment and prevention. *Annals of Medicine and Surgery*, 104709 .

[3]. Ma, T., Sun, S., Fu, G., Hall, J. W., Ni, Y., He, L., . . . Pei, T. (2020). Pollution exacerbates China's water scarcity and its regional inequality. *Nature communications*, *11*(1), 650 .

[4]. Ashfaq, M., Ahmad, S., Sagheer, M., Hanif, M., Abbas, S., & Yasir, M. (2012). Bioaccumulation of chromium (III) in silkworm (Bombyx mori L.) in relation to mulberry, soil and wastewater metal concentrations. *J. Anim. Plant Sci*, *22*(3), 627-634 .

[6]. Mahmood, A. A., Eassa, A. M., Muayad, H. M., & Israa, Y. S. (2013). Assessment of ground water quality at Basrah, Iraq by water quality index (WQI). Journal of University of Babylon, 21(7), 2531-2543.

[7]. Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). A water quality index-do we dare. *Water and sewage works*, *117*(10 .(

[8]. 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), 55-64 .

[9]. Stigter, T., Ribeiro, L., & Dill, A. C. (2006). Application of a groundwater quality index as an assessment and communication tool in agro-environmental policies–Two Portuguese case studies. *Journal of hydrology*, *327*(3-4), 578-591 .

[12]. Chabuk, A., Al-Madhlom, Q., Al-Maliki, A., Al-Ansari, N ,.Hussain, H. M., & Laue, J. (2020). Water quality assessment along Tigris River (Iraq) using water quality index (WQI) and GIS software. *Arabian Journal of Geosciences*, *13*, 1-23 .

[14]. Mihale, M. J. (2022). Water quality evaluation in selected coastal rivers of Tanzania using Water Quality Index. *Open Science Journal*, *7*(1).

[16]. Babiker, I .S., Mohamed, M. A., & Hiyama, T. (2007). Assessing groundwater quality using GIS. *Water Resources Management*, *21*, 699-715 .