

ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت مهربان با استفاده از روش‌های FGQI و GQI

اصغر اصغری مقدم^۱

زهرا جوانمرد^۲

میثم ودیعتی^۳

مرتضی نجیب^۴

چکیده

دشت مهربان در شرق استان آذربایجان شرقی واقع شده است. در این دشت، آب زیرزمینی تنها منبع تأمین کننده آب شرب ساکنان است. در این منطقه سنگ کف آبخوان و بلندی‌های اطراف آن عمدتاً از رسوبات مربوط به دوره نئوژن شامل مارن‌های گچ‌دار و نمک‌دار، ماسه، سیلت-مارن، کنگلومرا و آهک تشکیل یافته است. این دشت در مقایسه با دیگر دشت‌های استان آذربایجان شرقی از نظر کمیت و کیفیت منابع آب از بحرانی‌ترین مناطق به حساب می‌آید. به طوری که چندین روستای پر جمعیت این دشت آب شرب خود را از آب شیرین کن نصب شده در روستای اربطان، دریافت می‌دارند، لذا پایش و ارزیابی کیفیت آن بسیار با اهمیت است. روش‌های متداول بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب، مانند دیاگرام شولر، امکان ارزیابی آب‌ها با در نظر گرفتن پارامترهای شیمیایی به صورت منفرد و در یک نقطه آبخوان را فراهم می‌کنند. از شاخص‌های مهم دیگر برای ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی، روش‌های شاخص کیفی آب زیرزمینی (GQI) و فازی-شاخص کیفی آب زیرزمینی (FGQI) است. هدف از این مطالعه، به کار بردن روش‌های FGQI, GQI در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت مهربان، بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO) و استاندارد تحقیقات صنعتی ایران (ISIRI) است. بدین منظور از ده پارامتر شیمیایی مؤثر (K^+ , HCO_3^- , F^- , NO_3^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , TDS) که فراوانی زیادی در آب زیرزمینی دارند، استفاده و با استانداردهای WHO, ISIRI مقایسه شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که بر اساس شاخص‌های GQI و FGQI آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از نظر کیفیت، بین رده‌های کاملاً نامطلوب تا مناسب قرار می‌گیرند.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، شاخص کیفی آب، شاخص‌های GQI و FGQI، دشت مهربان.

E-mail: moghaddam@tabrizu.ac.ir

۱- استاد، دانشگاه تبریز، گروه علوم زمین (نویسنده مسئول)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، گروه علوم زمین

۳- دانشجوی دکتری، دانشگاه تبریز، گروه علوم زمین

۴- کارشناس آبهای زیرزمینی سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی

مقدمه

منابع آب زیرزمینی در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر که آب و هوایی مشابه دارند، مهم‌ترین منابع آب مورد استفاده در کشاورزی و شرب به‌شمار می‌آیند. از سوی دیگر خطر آلودگی کمتر این منابع نسبت به دیگر روش‌های فراوری آب باعث شده که حتی در مناطقی که کمبودی از لحاظ آب سطحی احساس نمی‌شود نیز استفاده از این منابع رونق داشته باشد (مهدوی، ۱۳۸۴: ۱۲). آب آشامیدنی سالم بایستی دارای شاخص‌های کیفی مناسبی (مانند خواص فیزیکی و شیمیایی) باشد. یکی از این شاخص‌ها، مقدار غلظت یون‌های اصلی در آب است. سازمان‌هایی نظیر سازمان بهداشت جهانی، وزارت نیرو و مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استانداردهایی برای املاح محلول و آلاینده‌های مختلف در آب شرب ارائه کرده‌اند (ISIRI^۱, 1388; WHO^۲, 2008). این استانداردها به دلیل عواملی چون تغییرات و نوسانات بارش و همچنین مقدار برداشت در فصل‌های مختلف سال، دارای محدودیت‌هایی هستند. از سوی دیگر، استانداردهای تعیین شده توسط سازمان‌های مرتبط نیز از قطعیت لازم برخوردار نیستند.

یکی از راه‌های بررسی کیفیت آب از نظر شرب استفاده از نمودار شولر^۳ است. بررسی مکانی کیفیت آب با استفاده از این نمودار امکان‌پذیر نیست. در حالی که در اغلب موارد به بررسی مکانی کیفیت آب از لحاظ شرب و با در نظر گرفتن غلظت همه یون‌های اصلی در کل سطح منطقه نیاز است. از آنجا که در کیفیت آب آشامیدنی همه یون‌های اصلی سهمیم هستند، به‌دست آوردن معیاری که در آن اثر همه این یون‌ها به‌صورت تلفیقی در نظر گرفته شود، دارای اهمیت می‌باشد. به این منظور بابیکر و همکاران (۲۰۰۷: ۶۹۹)، شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI)^۴ را معرفی کرده و در یکی از آبخوان‌های کشور ژاپن به‌کار گرفت. محققان بسیاری اندازه‌گیری شاخص کیفی آب سطحی و زیرزمینی را مطرح کرده‌اند. در شاخص GQI بر پایه نرم‌افزار GIS، چندین پارامتر مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی با یکدیگر تلفیق می‌شوند. استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) به‌عنوان رهنمود مورد اعتماد برای تمامی کشورهای جهان، در تمامی مطالعاتی که تاکنون بر اساس شاخص کیفی آب (GQI) انجام شده، مورد استفاده قرار گرفته است. شور شدن آب زیر زمینی در حال تبدیل شدن به یک مشکل بسیار جدی در سرتاسر جهان است، به گونه‌ای که مسأله شوری به‌عنوان رایج‌ترین نوع آلودگی آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود (گلین و پلامر، ۲۰۰۵: ۲۶۸).

1- Institute of Standards and Industrial Research of Iran

2- World Health Organization

3- Schoeller Diagram

4- Groundwater Quality Index

سازمان بهداشت جهانی به عنوان بالاترین نهاد بین‌المللی در کنترل کیفیت آب رهنمودهایی برای آلاینده‌های مختلف آب آشامیدنی ارائه کرده است. مقدار رهنمودی، غلظتی را برای یک جزء پیشنهاد می‌کند که در طول یک دوره مصرف، خطر جدی را متوجه سلامتی مصرف‌کننده نمی‌نماید (WHO, 2008: 42). استاندارد ملی آب شرب ایران (استاندارد ۱۰۵۳) توسط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (IRISI) در سال ۱۳۸۸ و بر مبنای رهنمودهای WHO تدوین شده است. هر یک از املاح محلول در آب اثری خاص بر بدن انسان دارد. برای مثال، غلظت سولفات (SO_4^{2-}) در صورتی که بیش از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد، مزه تلخی ایجاد می‌کند (کاندن و همکاران، ۱۹۹۳: ۳۸) و در غلظت‌های بالاتر از ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در بدن سستی ایجاد می‌کند. سولفات در ارزیابی کیفیت آب جهت مصارف شرب بسیار با اهمیت تلقی می‌شود. کلراید (Cl) در غلظت‌های زیاد، طعم نامطبوعی به آب بخشیده و موجب نارضایتی مصرف‌کنندگان می‌شود (وزارت نیرو، ۱۳۶۷: ۷). میزان غلظت سدیم (Na^+) در آب‌های زیرزمینی بستگی به عمق چاه داشته و به‌طور معمول غلظت سدیم در آب‌های زیرزمینی بیشتر از آب‌های سطحی است. پزشکان به افرادی که فشار خون بالا دارند، خانم‌های باردار و کسانی که بیماری قلبی دارند، توصیه می‌کنند مصرف سدیم خود را محدود کنند (وزارت نیرو، ۱۳۶۷: ۹). غلظت زیاد کل مواد جامد محلول (TDS) در آب به‌علت اثرات سوء فیزیولوژیکی و ایجاد طعم در آب، ناخوشایند است. غلظت بالای TDS ممکن است باعث اسهال شود. میزان TDS از آن جهت اهمیت پیدا می‌کند که با افزایش میزان TDS، احتمال وجود مقادیر زیاد از موادی که باعث کاهش کیفیت آب می‌شوند بیشتر است (طباطبایی، ۱۳۸۵: ۸۰). از این‌رو TDS نیز به‌عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت آب شرب بررسی شده است. منیزیم (Mg^{+2}) یکی از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز بدن است. کمبود منیزیم منجر به برهم خوردن تعادل الکترولیتیکی کلسیم و منیزیم و افزایش آن علاوه بر ایجاد سختی آب، منجر به ایجاد حالات مسهلی در انسان می‌گردد. کلسیم (Ca^{+2}) عنصری کلیدی در ساختمان بدن به شمار می‌رود. همان‌طور که جذب ناکافی کلسیم باعث افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های سرطان راست روده و پوکی استخوان می‌شود، مقادیر زیاد آن باعث سختی آب می‌شود (EPA^۱, 2005: 33). یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت آب برای مصارف شرب، نیتрат (NO_3^{-2}) است. خطر اولیه نیترات در آب‌های آشامیدنی زمانی اتفاق می‌افتد که در دستگاه گوارش نیترات به نیتريت تبدیل شود. نیتريت باعث اکسید شدن آهن موجود در هموگلوبین گلبول‌های قرمز شده و نهایتاً هموگلوبین نمی‌تواند اکسیژن را با خود حمل کند. مصرف آب چاه‌هایی که دارای بیش از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات بوده‌اند، مسمومیت‌های شدید و حتی کشنده‌ای در نوزادان به‌وجود آورده است (کمپلای، ۱۹۴۵: ۱۱۳). توصیه می‌شود که غلظت نیترات در منابع آب شرب از

۱۰ میلی‌گرم بر لیتر تجاوز نکند. حضور فلوراید (F^-) نیز در آب بسیار مهم است. فلوراید به میزان ۱ تا ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر در آب‌های آشامیدنی برای سالم نگه‌داشتن لثه و مینای دندان ضروری است. فلوراید با غلظت بالای ۱/۷ میلی‌گرم در لیتر اثر مسموم‌کنندگی دارد. مقدار ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر برای فلوراید به‌عنوان غلظت مجاز توسط سازمان بهداشت جهانی پیشنهاد شده است (منزوی، ۱۳۷۷: ۵۴).

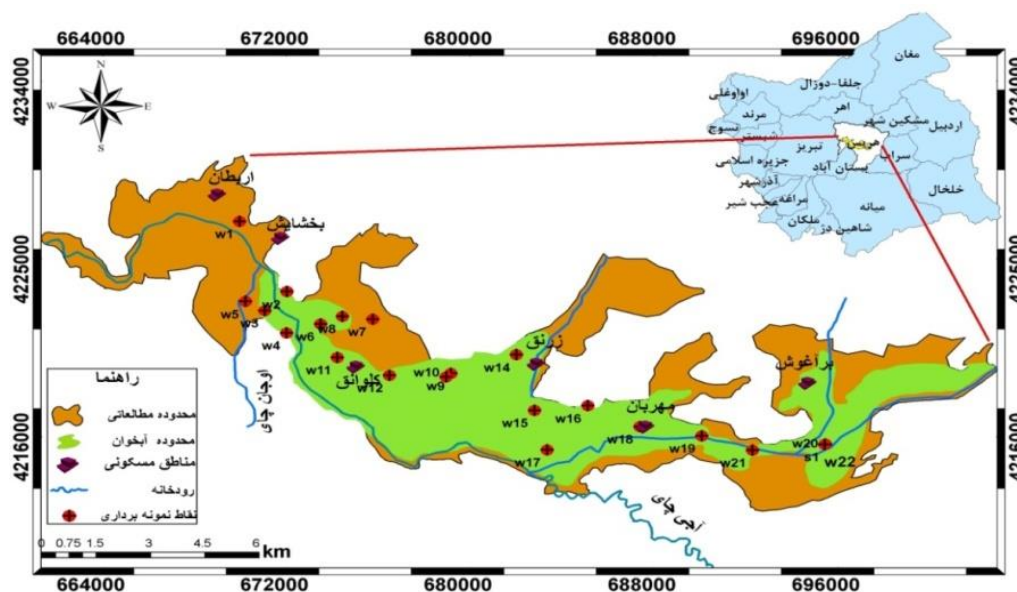
در رابطه با کیفیت آب زیرزمینی در ایران مطالعات با ارزشی انجام شده است. برای مثال، عزیزی و محمدزاده (۱۳۹۱: ۱)، با استفاده از شاخص $WGQI^1$ به بررسی کیفیت آب دشت امامزاده جعفر گچساران پرداختند. هدف از این تحقیق بکار بردن روش $WGQI$ در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت مشهد و مقایسه آن با روش‌های دیگر مانند نمودار شولر است. نتایج نشان داد که حدود ۱/۶، ۸۳/۴ و ۱۲/۱ درصد از آب‌های زیرزمینی دشت امامزاده جعفر به ترتیب دارای کیفیتی عالی، خوب و بد می‌باشند و به‌طور کلی، آب زیرزمینی در بیشتر نقاط دشت دارای کیفیتی عالی تا خوب و فقط در بخش‌های شمال غربی آن، به‌دلیل عبور آب از لایه‌های تبخیری سازند گچساران، دارای کیفیت بد تا خیلی بد است. نیک پیمان و محمدزاده (۱۳۹۲: ۱)، کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب در آبخوان دشت مشهد از طریق برآورد شاخص GQI بررسی کردند، نتایج مقادیر بین ۳۲ تا ۷۹ درصد را برای این شاخص نشان داد و بیانگر این مسأله است که در مجموع آب زیرزمینی دشت از نظر شش یون اصلی مورد بررسی، کیفیتی نامناسب در بخش‌های انتهایی و کیفیتی متوسط در ابتدا و میانه دشت دارا می‌باشد و روند تغییرات به گونه‌ای است که از سمت شمال غرب به سمت جنوب شرق دشت کیفیت آب کاهش می‌یابد. در کشورهای دیگر نیز مطالعات مشابهی انجام شده است. برای مثال، الحیددی (۲۰۱۲: ۴۰۱)، با استفاده از WQI به بررسی کیفیت آب حوضه Ratmao-Pathri در کشور هندوستان پرداخت. نتایج WQI نشان داد، ۴۸ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی در رده عالی، ۴۸ درصد در رده خوب و ۴ درصد در رده خیلی بد از نظر آشامیدن قرار دارند. همچنین مقادیر بالای WQI عمدتاً به علت بالا بودن مقادیر یون‌های Ca^{2+} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} و TDS می‌باشد. گبروهیوات و همکاران (۲۰۱۴: ۲۹)، نیز با استفاده از روش WQI به مطالعه کیفیت آب زیرزمینی آبخوان Hantebet در شمال Ethiopia جهت بررسی آب شرب پرداختند. در این مطالعه با استفاده از ۱۰ پارامتر Ca^{2+} , K^+ , Cl^- , Mg^{2+} , Na^+ , TDS , pH , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} به بررسی کیفی آب منطقه پرداختند. بر پایه نتایج به‌دست آمده، تغییرات WQI برای نمونه‌های آب زیرزمینی، بین ۵۴/۴۱ درصد تا ۸۶/۲۴ درصد بوده و تمام نمونه‌های آب زیرزمینی در رده خوب قرار گرفته و برای اهداف شرب مناسب هستند.

در آبخوان دشت مهربان که در شرق تبریز واقع شده است نیز علاوه بر تأثیرگذاری سنگ‌شناختی سازندهای اطراف آبخوان، تبخیر از آب زیرزمینی به دلیل بالا بودن سطح ایستابی در بخش قابل توجهی از آبخوان و اختلاط آب زیرزمینی با آب نفوذی از آبراهه‌های شور نقش مهمی در شوری منابع آب زیرزمینی این دشت ایفا می‌کنند. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه، در مهرماه سال ۱۳۹۲ مقادیر هدایت الکتریکی (EC) بین ۱۲۰۰ تا ۱۰۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر را نشان می‌دهد. این مقدار EC وجود آب زیرزمینی قابل شرب در منطقه را به کلی با مشکل مواجه می‌کند. طوری که آب شرب اهالی روستای اربطان و دیگر روستاهای همجوار به وسیله آب شیرین کن موجود در منطقه تأمین می‌شود. با توجه به این که، منابع آب زیرزمینی دشت مهربان، تنها منابع تأمین‌کننده آب مورد نیاز شرب و کشاورزی می‌باشد، تعیین مناطقی با کیفیت مناسب برای شرب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این تحقیق نتایج حاصل از استانداردهای سازمان بهداشت جهانی و سازمان تحقیقات صنعتی ایران مورد مقایسه قرار گرفته است. هم‌چنین، در این مطالعه سعی بر آن شده تا عدم قطعیت‌های ذاتی ناشی از نمونه برداری، اندازه‌گیری، آنالیز و تفسیر را که در روش‌های دیگر شاخص‌های کیفی در نظر گرفته نشده، با استفاده از روش جدید $FGQI^1$ مد نظر قرار گرفته و نتایج با روش‌های گرافیکی و GQI مورد ارزیابی قرار گرفته است.

محدوده مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه دشت مهربان، با مساحت ۲۱۹ کیلومتر مربع، در ۶۰ کیلومتری شرق تبریز و در مرکز استان آذربایجان شرقی واقع شده است. این دشت بخشی از محدوده مطالعاتی بیلوردی- دوزدوزان به شمار می‌رود که از نظر تقسیمات هیدروژئوژیکی، قسمتی از حوضه آبریز دریاچه ارومیه و زیرحوضه رودخانه آجی چای محسوب می‌شود. مرتفع‌ترین نقطه منطقه مورد مطالعه دارای ارتفاع ۱۸۲۰ متر از سطح دریا، در قسمت‌های شرقی دشت یعنی اطراف روستای براغوش و پست‌ترین نقطه ۱۵۲۰ متر در بخش غربی و محل خروج رودخانه آجی‌چای از دشت می‌باشد. این منطقه از نظر اقلیمی بر اساس اقلیم نمای آمبرژه نیمه‌خشک سرد است به طوری که متوسط درجه حرارت سالانه در سال آبی ۹۲-۹۱، ۸/۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه برابر ۳۲۴ میلی‌متر است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

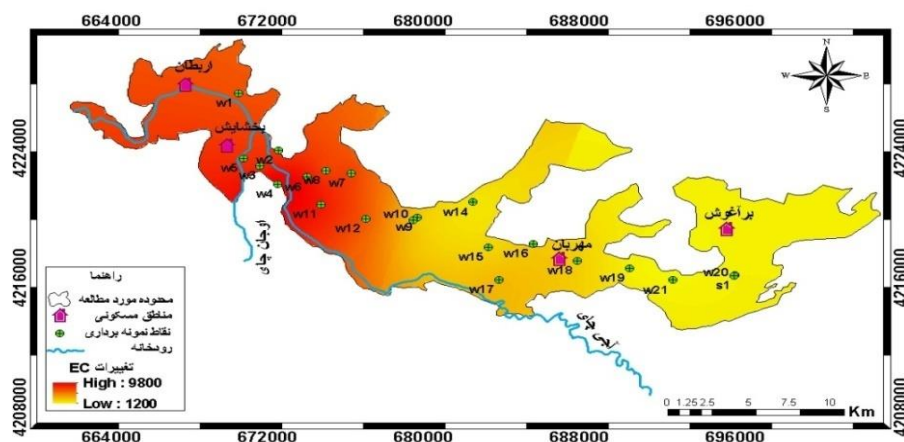
1- Fuzzy Groundwater Quality Index



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی و نقاط نمونه‌برداری محدوده مورد مطالعه دشت مهربان در مهرماه ۱۳۹۲

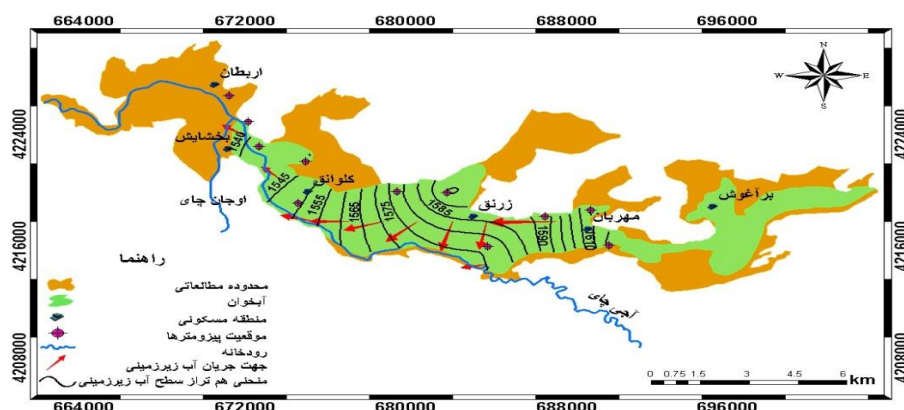
زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

دشت مهربان، براساس منطقه‌بندی ساختمانی سازندهای ایران جزو منطقه البرز- آذربایجان قرار می‌گیرد (آقانباتی، ۱۳۸۳: ۷۵). در حوضه آبریز بیلوردی- دوزدوزان، رسوباتی از دوره‌های کرتاسه، پالئوژن، نئوژن تا عهد حاضر دیده می‌شود ولی اصلی‌ترین سازندهای اطراف محدوده مورد مطالعه دشت مهربان رسوبات مربوط به دوره نئوژن شامل مارن‌های گچ دار و نمک‌دار، ماسه، سیلت- مارن، کنگلومرا و آهک می‌باشد که در نقشه زمین‌شناسی با علامت اختصاری M_4^{mg} و M_5^{ms} نشان داده شده‌اند (شکل ۲). در قسمت جنوبی مهربان، این نهشته‌ها را به‌صورت ناودیس بسیار بزرگی با محور شمال غربی- جنوب شرقی می‌توان مشاهده نمود. هسته این ناودیس دارای تناوبی از مارن‌های سبز خاکستری و قرمز گچ‌دار و نمک‌دار و قسمت‌های بیرونی ناودیس دارای تناوبی از شیل، ماسه سنگ مارن با کنگلومرا می‌باشد. برون‌زد اصلی این واحد در کنار رودخانه آجی چای می‌باشد. در این واحد، لایه‌های درخور ملاحظه‌ای از گچ و نمک وجود دارد. وجود نمک در این واحد سبب شوری آب رودخانه آجی‌چای می‌شود و در مارن‌ها آثار نمک طعام به‌صورت سفیدک و به‌مقدار زیاد دیده می‌شود. منطقه مورد مطالعه در مقایسه با دیگر دشت‌های استان آذربایجان شرقی از نظر کمیت و کیفیت منابع آب از بحرانی‌ترین مناطق به‌حساب می‌آید؛ و همانطوری که شکل (۳) نشان می‌دهد، قسمت‌های انتهایی دشت به‌دلیل تأثیر سازندهای گچی و نمکی و ورود رودخانه شور آجی چای، از نظر شوری به وضع بحرانی رسیده است. به‌طوری که چندین روستای پرجمعیت این دشت آب شرب خود را از آب شیرین کن نصب شده در یکی از روستاها (روستای اربطان) به‌طور جیره‌بندی شده دریافت می‌دارند. با توجه به اطلاعات حاصل از مطالعات ژئوفیزیک، گمانه‌های حفاری شده و اطلاعات زمین‌شناسی، آبخوان اصلی از نوع آزاد می‌باشد. سفره



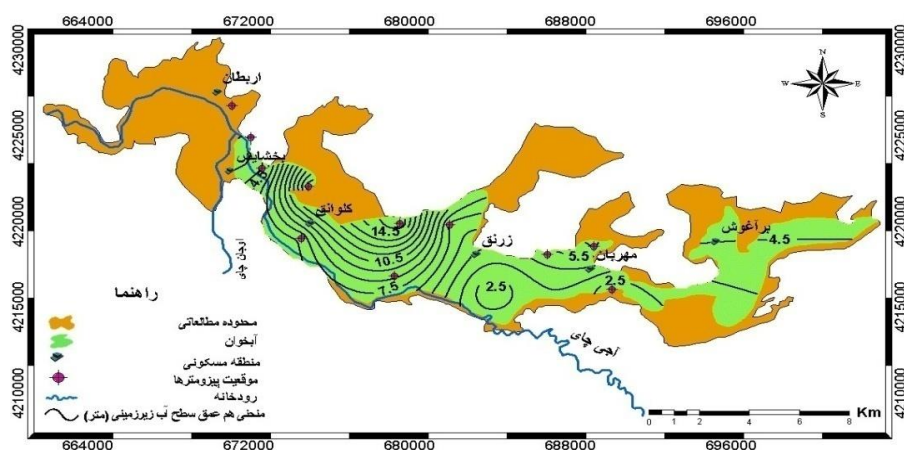
شکل (۳) تغییرات هدایت الکتریکی دشت مهربان در مهرماه ۱۳۹۲

بر اساس داده‌های آماری سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ در حال حاضر کل مصارف آب این دشت در بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب و صنعت از مجموع ۸۵ حلقه چاه عمیق، ۱۹۲ حلقه چاه نیمه عمیق، ۱۶ رشته قنات و ۳ دهنه چشمه تأمین می‌شود. آب زیرزمینی در بخش قابل توجهی از آبخوان این دشت در عمق کمتر از ۵ متری سطح زمین واقع شده است و بنابراین انتظار می‌رود بخش قابل توجهی از آب زیرزمینی این آبخوان از طریق تبخیر به هدر رود. حداکثر تراز آب زیرزمینی ۱۶۲۲/۱ متر منطبق بر یکی از جبهه‌های ورودی دشت و حداقل آن ۱۵۳۵ متر می‌باشد. مقدار ضریب قابلیت انتقال محاسبه شده به‌روش دانه‌بندی رسوبات برابر ۳۵ تا ۶۱۳ مترمربع در روز برآورد گردید و میزان ضریب ذخیره محاسبه شده به‌روش بیلان جزء به جزء برابر ۲/۸ درصد می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۷: ۷۵). جهت جریان آب زیرزمینی از حاشیه شمالی، شرقی به‌طرف بخش مرکزی و جنوب غربی و رودخانه آجی‌چای است (شکل ۴).



شکل (۴) جهت جریان آب زیرزمینی دشت مهربان در شهریور ۱۳۹۲

بر اساس منحنی‌های هم‌عمق، بیشترین عمق سطح آب زیرزمینی در حواشی شمالی آبخوان و کمترین عمق سطح آب زیرزمینی در بخش جنوبی و در اطراف رودخانه آجی‌چای دیده می‌شود. شکل (۵) نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی در شهریور ۱۳۹۲ را نشان می‌دهد.



شکل (۵) نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی دشت مهربان در شهریور ۱۳۹۲

مواد و روش‌ها

پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی یک دشت از مهم‌ترین مراحل در مدیریت کیفیت منابع آب زیرزمینی به شمار می‌آید. با نشان دادن روند و چگونگی تغییرات کیفی آب نسبت به زمان و مکان و با توجه به وضعیت کیفی آب می‌توان جنبه مصرفی آن را از لحاظ شرب کشاورزی مشخص نمود (بابامیر و همکاران، ۱۳۹۱: ۱). اطلاعات نمونه‌های آب ۲۲ چاه واقع در سطح دشت مربوط به مهر ماه سال ۱۳۹۲ و تجزیه و تحلیل هیدروشیمیایی آنها در آزمایشگاه آب‌شناسی دانشگاه تبریز، استفاده شده است. همانطور که قبلاً اشاره شد از روش‌های معمول ارزیابی آب از نظر شرب، نمودار شولر است. نمودار شولر، نموداری نیمه لگاریتمی است که غلظت یون‌های اصلی را برحسب میلی‌گرم در لیتر، نشان می‌دهد. در این نمودار بر اساس پنج پارامتر شیمیایی سدیم، کلسیم، سولفات، باقیمانده خشک (TDS) و سختی، آبها از نظر مصرف آشامیدنی، طبقه‌بندی می‌شوند. در این تقسیم‌بندی، کیفیت آب‌های مورد بررسی به شش گروه شامل خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامطبوع و غیرقابل شرب تقسیم می‌شوند. معایب این روش این است که پارامترهای شیمیایی به‌صورت منفرد در نظر گرفته می‌شود و احتمال دارد در یک نمونه، پارامترهای مختلف در محدوده‌های کیفیتی متفاوتی قرار گیرند که باعث می‌شود تعبیر و تفسیر نمودار برای کاربر مشکل باشد. همچنین علاوه بر این که این نمودار امکان بررسی کیفی را فقط در یک نقطه آبخوان فراهم می‌کند، از آن نمی‌توان برای مقایسه عناصر اصلی آب با استانداردهای مختلف استفاده کرد. یکی از روش‌های بسیار ساده و دور از پیچیدگی‌های

ریاضی و آماری که می‌تواند شرایط کیفی آب را بازگو کند، استفاده از شاخص‌های کیفی آب است به گونه‌ای که در مدیریت کیفی آب نیز می‌توان از آن به عنوان یک ابزار مدیریتی قوی برای تصمیم‌گیری‌های مربوطه استفاده کرد. از این رو، از FGQI, GOI برای پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت مهربان استفاده شد. روش FGQI راه حلی برای خلاصه کردن چندین پارامتر مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی در یک شاخص و مطالعه تغییرات مکانی در سراسر آبخوان را فراهم می‌کند.

جهت ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت مهربان از نظر استانداردهای آشامیدنی با روش‌های بیان شده، از نتایج آنالیز شیمیایی آب ۲۲ حلقه چاه مربوط به مهرماه ۱۳۹۲ استفاده گردید. به این منظور مقادیر ده پارامتر شیمیایی (K^+ , HCO_3^- , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{+2} , NO_3^- , F^- , TDS) که فراوانی زیادی در آب زیرزمینی دارند و از نظر تأثیرگذاری بر سلامت انسان نیز دارای اهمیت می‌باشند با مقادیر استانداردهای ISIRI و WHO مقایسه شده است. شاخص‌های آماری این پارامترها و حد بیشینه آنها بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008: 213) و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۸۸: ۹) برای مصارف آشامیدنی در جدول (۱) آورده شده است. در این جدول پارامترهایی که بیشتر از حد استاندارد هستند به صورت ایتالیک نشان داده شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود به جز منیزیم، فلوراید و نیتрат، سایر پارامترها بیش از حد استاندارد می‌باشند.

جدول (۱) شاخص‌های آماری پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی دشت مهربان و حد بیشینه آنها بر اساس استانداردهای WHO, ISIRI (کلیه واحدها برحسب میلی‌گرم بر لیتر)

پارامتر	حداقل	حداکثر	میانگین	استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO)	استاندارد تحقیقات صنعتی ایران (ISIRI)
<i>Ca</i>	۱۵۳	۱۴۴۳	۴۰۸/۲۱	۳۰۰	۳۰۰
<i>Mg</i>	۰/۰۰۱	۲۴۳	۱۱۱/۲۲	۳۰۰	۲۰۰
<i>Na</i>	۵۸	۱۰۹۷	۴۱۸/۶۷	۲۰۰	۲۰۰
<i>Cl</i>	۶۳/۹۸	۲۲۶۶	۷۰۶/۳۴	۲۰۰	۴۰۰
<i>SO₄</i>	۳۴۵	۲۰۲۸	۱۱۱۹/۲۸	۲۵۰	۴۰۰
<i>NO₃</i>	۴/۷۲	۱۴۳/۳	۲۸/۰۳	۵۰	۵۰
<i>HCO₃</i>	۱۵۸/۶	۵۲۴/۶	۳۳۵/۲۷	۱۵۰	۱۵۰
<i>F</i>	۰/۴۶	۴/۶۳	۱/۰۶۸	۱/۷	۱/۵
<i>K</i>	۲/۹۲	۱۴۶/۴	۱۵/۱۳	۱۲	۱۲
<i>TDS</i>	۶۱۵	۴۹۰۰	۱۹۷۷/۷۲	۶۰۰	۱۵۰۰

محاسبه شاخص GQI

جهت محاسبه شاخص GOI، در ابتدا در محیط ArcGIS10.2 با درون‌یابی کریجینگ^۱ داده‌های نقطه‌ای، برای هر یک از ده پارامتر شیمیایی، نقشه رستری^۲ غلظت تهیه گردید. در مرحله بعدی برای این که داده‌های متفاوت دارای یک مقیاس و معیار مشترک شوند، با استفاده از فرمول زیر غلظت‌های هر پیکسل (K) از نقشه‌های رستری که در مرحله قبل ایجاد شده بودند، با مقدار استاندارد ISIRI و WHO آن پارامتر (K_{WHO})، ارتباط برقرار می‌کند (بابیکر و همکاران، ۲۰۰۷: ۷۰۵).

$$k = \frac{k - k_{WHO}}{k + k_{WHO}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه بالا، K مقدار اندازه‌گیری شده هر پارامتر و K_{WHO} مقدار همان پارامتر بر اساس استاندارد WHO و مقادیر آنها برحسب میلی‌گرم بر لیتر، می‌باشد. نتیجه این یکسان‌سازی مقیاس‌ها تولید ده نقشه جدید می‌باشد که ارزش پیکسل‌های آنها بین (-۱) و (۱) تغییر می‌کند. حال غلظت‌ها در این نقشه‌ها بین (۱) و (۱۰) درجه‌بندی می‌شوند تا نقشه رتبه‌بندی شده^۳ هر پارامتر به دست آید. در این نقشه‌ها رتبه (۱) نشانگر کیفیت خوب آب زیرزمینی و رتبه (۱۰) بیانگر تخریب کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد. در واقع در این تبدیل واحد بایستی مقدار (-۱) در نقشه تولید شده در مرحله قبل به (۱) و (۰) به (۵) و (۱) به (۱۰) در نقشه رتبه‌بندی شده تغییر کند. بدین منظور از رابطه زیر که یک تابع چند جمله‌ای می‌باشد، برای تبدیل واحد هر پیکسل نقشه قبلی (C) به مقدار جدید (r) استفاده می‌شود (بابیکر و همکاران، ۲۰۰۷: ۷۰۵).

$$r = 0.5 \times C^2 + 4.5 \times C + 5 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در مرحله نهایی نیز برای ایجاد یک نقشه که نماینده تمام ده پارامتر شیمیایی باشد و وضعیت کلی کیفیت شیمیایی آب دشت را در مقایسه با استانداردهای ISIRI و WHO نشان دهد با استفاده از شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) لایه‌های مربوط به پارامترها تلفیق می‌شوند (بابیکر و همکاران، ۲۰۰۷: ۷۰۵).

$$GQI = 100 - [(r_1 w_1 + r_2 w_2 + \dots + r_n w_n)/n] \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این فرمول r ، رتبه هر پیکسل از نقشه‌های رتبه‌بندی شده، w ، وزن نسبی هر یک از پارامترها و n تعداد پارامترها می‌باشد که برابر با مقدار میانگین کل پیکسل‌های نقشه رتبه‌بندی شده مربوطه می‌باشد. برای محاسبه GQI در واقع از پارامترهای مختلف میانگین وزنی گرفته می‌شود که پارامترهای با مقدار بیشتر

1- Kriging

2- Raster Map

3- Rank Map

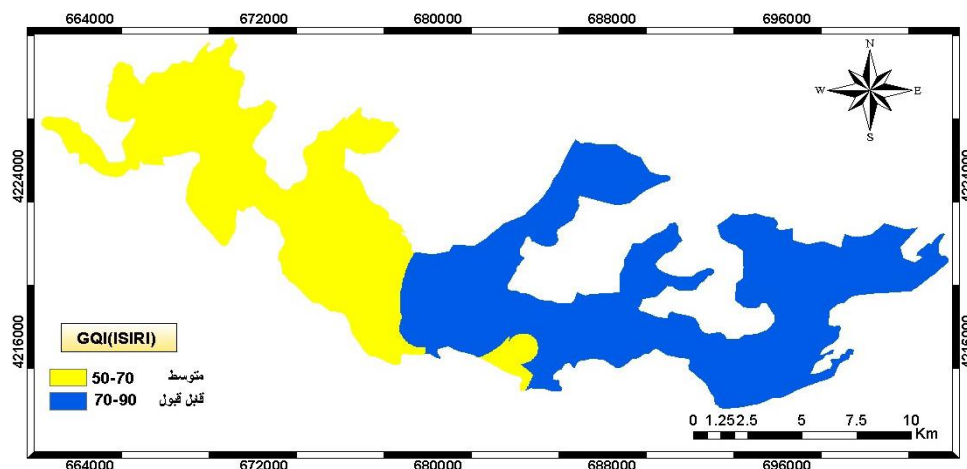
(تفاوت بیشتر با مقدار استاندارد) دارای وزن نسبی و در نتیجه تأثیرگذاری بیشتری می‌باشند. به این دلیل که مقدار سمی بودن عناصر مختلف برای انسان متفاوت است، ذکر این نکته مهم است که در شرایطی استفاده از میانگین برای همه پارامترها صحیح می‌باشد که مقدار سمی و خطرناک بودن آن‌ها برای انسان تقریباً به یک اندازه باشد و اگر یک یا چند عنصر، سمی‌تر از دیگر عناصر باشد، باید دوباره فرمول ارائه شده واسنجی و اصلاح شود (هیاما، ۲۰۱۰: ۱۱۳).

محاسبه شاخص FGQI

رفتارسنجی و تصمیم‌گیری در مورد کیفیت آب بر اساس اطلاعات به‌دست آمده در همه مراحل، از نمونه‌برداری تا بررسی و تحلیل نتایج، با انواع عدم قطعیت‌ها روبه‌رو هست. با توجه به اهمیت تأثیر املاح محلول موجود در آب بر بدن انسان و عدم قطعیت همراه با اندازه‌گیری در مراحل نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها، استفاده از روش‌های کلاسیک در ارزیابی کیفیت آب شرب و حتی کشاورزی مناسب به نظر نمی‌رسند. روش‌ها و معیارهای مختلفی در منابع مختلف برای تصمیم‌گیری و ارزیابی کیفیت آب شرب و کشاورزی به‌روش فازی ارائه شده است. ابهام و نبود قطعیت ذاتی حاکم بر منابع آب در ارزیابی اهداف، معیارها و واحدهای تصمیم‌گیری از یکسو و ناسازگاری و بی‌دقتی در نظرات و قضاوت افراد تصمیم‌گیرنده از سوی دیگر، سبب گرایش به نظریه‌های مجموعه‌های فازی و به دنبال آن منطق فازی به‌عنوان ابزاری کارآمد و مفید برای برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها در منابع آب شده است (باردوسی و همکاران، ۱۹۹۵: ۱۹۴؛ لی و همکاران، ۲۰۰۹: ۷۹۲). با طراحی یک مدل فازی مناسب می‌توان عدم قطعیت در مراحل نمونه‌برداری، اندازه‌گیری، تفسیر کیفیت آب را رفع نمود (لیو و لو، ۲۰۰۴: ۳۶).

بحث و نتایج

در شکل (۶)، نمودار شولر مربوط به ۴ نمونه انتخابی M_4, M_5, M_{17}, M_{22} به ترتیب از قسمت‌های ورودی (شرق)، میانی و انتهایی (غرب) دشت رسم شده است. بر اساس این نمودار کیفیت آب زیرزمینی در رده‌های غیرقابل شرب، کاملاً نامطبوع، نامناسب و متوسط قرار می‌گیرند. بر اساس این نمودار، نمونه‌های M_4, M_5 که مربوط به نیمه غربی دشت می‌باشند در رده‌های کیفیت غیرقابل شرب و کاملاً نامطبوع قرار گرفته‌اند که در ادامه مطالعه، از نتایج روش‌های GQI و FGQI نیز چنین برمی‌آید.

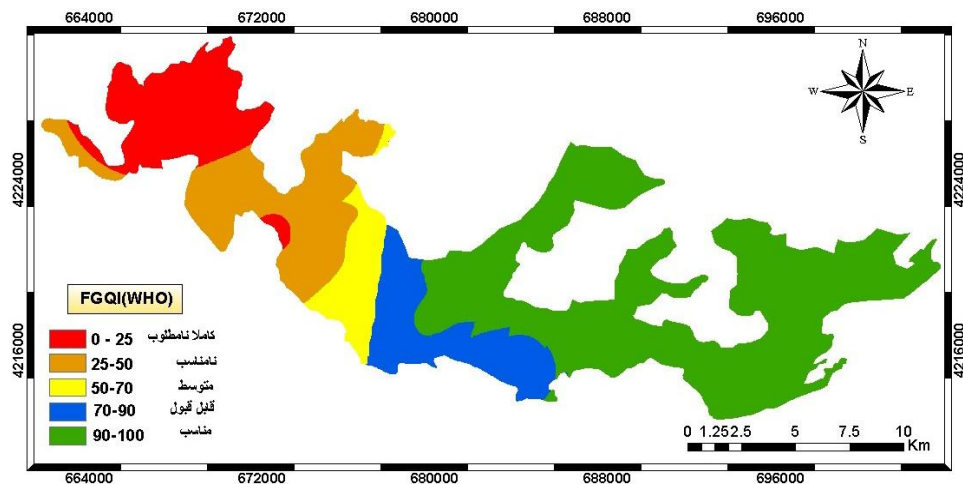


شکل (۸) نقشه شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) دشت مهربان براساس استاندارد ISIRI

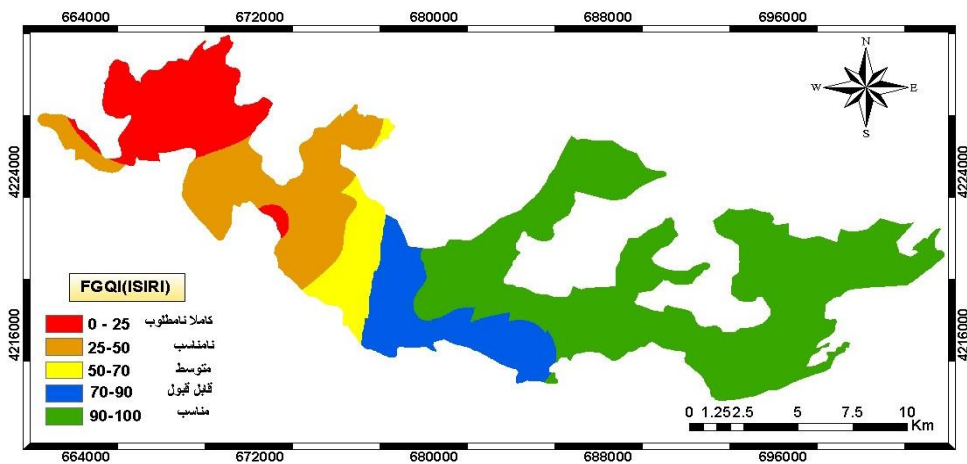
در نهایت، با توجه به جدول (۲)، کیفیت آب تقسیم‌بندی می‌شود (بابیکر و همکاران، ۲۰۰۷: ۷۰۹) که بر اساس آن و با توجه به محاسبات انجام شده مقدار شاخص کیفی در محدوده مورد مطالعه بر اساس استاندارد WHO بین ۵۳ تا ۷۸ درصد و براساس استاندارد ISIRI بین ۵۷ تا ۸۲ درصد متغیر بوده و بیانگر این است که در مجموع آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از نظر استانداردهای آب آشامیدنی با توجه به جدول (۲) در رده کیفیت متوسط و قابل قبول قرار می‌گیرند.

در این تحقیق، به دلیل عدم قطعیت موجود در ارزیابی کیفیت آب شرب و همچنین توانایی مجموعه فازی در فرآیند تصمیم‌گیری، سعی بر آن شده تا با فازی کردن روش GQI در محیط نرم‌افزار Arc GIS، کیفیت آب شرب منطقه بر اساس FGQI نیز مورد بررسی قرار بگیرد. لذا جهت محاسبه شاخص FGQI نیز، ابتدا در محیط GIS با درونیابی کریجینگ داده‌های نقطه‌ای، برای هر یک از ده پارامتر شیمیایی، نقشه رستری غلظت تهیه شد. سپس نقشه‌های رستری با استفاده از تابع عضویت خطی تبدیل به نقشه‌های رستری فازی شدند. آنگاه با استفاده از رابطه ۱، که در روش GQI اشاره شد، غلظت‌های هر پیکسل (K) از نقشه‌های رستری فازی که در مرحله قبل ایجاد شده بودند، با مقدار استاندارد ISIRI و WHO آن پارامتر ارتباط برقرار می‌کند. خروجی آن ده نقشه خواهد بود که آنها نیز با تابع عضویت خطی فازی‌سازی می‌شوند. سپس با قرار دادن نقشه‌های فازی در رابطه ۲، نقشه رتبه‌بندی هر پارامتر به دست می‌آید. خروجی این نقشه‌ها نیز با روش تابع عضویت Linear فازی می‌شوند. در نهایت برای ایجاد نقشه نهایی از رابطه ۳ استفاده شده و دو نقشه به-دست می‌آید که بر اساس استانداردهای WHO و ISIRI می‌باشند (شکل‌های ۹ و ۱۰). در شکل‌های (۹ و ۱۰) به ترتیب نقشه فازی شاخص کیفیت آب زیرزمینی (FGQI) دشت مهربان براساس استاندارد WHO و ISIRI آمده است. همانطور که مشخص است در بخش‌های ورودی دشت کیفیت آب زیرزمینی مناسب بوده و با

نزدیک شده به انتهای دست کیفیت آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. رنگ سبز نشان‌دهنده کیفیت مناسب، رنگ آبی قابل قبول، محدوده زرد رنگ متوسط و بخش‌های قهوه‌ای و قرمز به ترتیب نامناسب و کاملاً نامطلوب هستند.



شکل (۹) نقشه فازی شاخص کیفیت آب زیرزمینی (FGQI) دشت مهربان بر اساس استاندارد WHO



شکل (۱۰) نقشه فازی شاخص کیفیت آب زیرزمینی (FGQI) دشت مهربان براساس استاندارد ISRI

نتایج نشان می‌دهد که مقدار FGQI بر اساس هر دو استاندارد WHO و ISIRI بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر است و آب‌های زیرزمینی از نظر کیفیت، بین رده‌های کاملاً نامطلوب تا مناسب قرار می‌گیرند. در نهایت، با توجه به تقسیم‌بندی کیفی آب بر پایه GQI (بابیکر و همکاران، ۲۰۰۷: ۷۰۹). کیفیت آب منطقه تقسیم‌بندی می‌شود (جدول ۲)، که بر اساس آن و با توجه به محاسبات انجام شده مقدار شاخص کیفی در محدوده مورد مطالعه بر اساس GQI و استانداردهای WHO، ISIRI بین ۵۰ تا ۹۰ درصد متغیر بوده و درصد قابل توجهی از مساحت

منطقه مورد مطالعه از نظر استانداردهای آب آشامیدنی در رده کیفیت متوسط و قابل قبول قرار می‌گیرند. ولی بر اساس FGQI مقدار شاخص کیفی آب در هر دو استاندارد WHO و ISIRI از ۰ تا ۱۰۰ درصد، متغیر بوده و طبق جدول (۲)، در رده‌های کاملاً نامطلوب تا مناسب قرار می‌گیرند. در این پژوهش از روش GQI ارایه شده توسط بایبکر و همکاران استفاده شده است تا بتوان به درک بهتری در مدیریت تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دست یافت. از این رو سعی شده است تا با به‌کارگیری رهنمودهای سازمان بهداشت جهانی و تحقیقات صنعتی ایران مقایسه کاملی از کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه داشت. در روش GQI به جهت استفاده از روابط ساده و قطعی، ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی مناسب به‌نظر نمی‌رسد؛ زیرا بیشتر منطقه در دو رده قابل قبول و نامناسب قرار گرفتند. در حالی که کیفیت آب زیرزمینی به‌صورت پیوسته از کیفیت مناسب در جنوب شرقی دشت تا کیفیت کاملاً نامطلوب در شمال غربی دشت تغییر می‌کند. به‌همین منظور سعی شده است تا با استفاده از منطق فازی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه بهتر نشان داده شود. همان‌طور که در جدول ۲، مشاهده می‌شود؛ در روش GQI کیفیت آب زیرزمینی در دو رده قابل قبول و متوسط قرار گرفته‌اند. در حالی که در روش FGQI کیفیت آب زیرزمینی در گستره‌ای از کیفیت مناسب تا کاملاً نامطلوب قرار گرفته است؛ بنابراین روش FGQI روند تغییرات به صورت تدریجی بوده و نسبت به روش GQI قابلیت بالاتری دارد. برتری روش فازی نسبت به روش قطعی در مرزهای تغییرات رده‌های تقسیم‌بندی کیفیت آب است. به طوری که در روش FGQI تغییرات با استفاده از تابع عضویت خطی فازی‌سازی شده و با استفاده از تابع فازی‌سازی خطی بر هم نهی شده تا بتوان مرز تغییرات کیفیت آب زیرزمینی را به‌صورت تدریجی در نظر گرفت. مقایسه استانداردهای سازمان بهداشت جهانی و تحقیقات صنعتی ایران نشان می‌دهد؛ اختلاف بارزی در نتایج به روش FGQI وجود ندارد در حالی که در روش GQI به جهت تمرکز کیفیت در رده، نتایج دو استاندارد سازمان بهداشت جهانی و تحقیقات صنعتی ایران بسیار متفاوت است.

جدول (۲) درصد مساحت‌های مربوط به GQI و FGQI در محدوده مورد مطالعه دشت مهربان

درصد FGQI		درصد GQI		تقسیم‌بندی کیفی آب بر پایه (GQI) (بایبکر و همکاران، ۲۰۰۷)	
WHO	ISIRI	WHO	ISIRI	میزان GQI	پارامتر طبقه‌بندی آب
۵۱/۰۸	۵۱/۱۳	*	*	۹۰-۱۰۰	مناسب
۱۱/۹۳	۱۱/۹۵	۴۴/۷۶	۵۷/۴۳	۷۰-۹۰	قابل قبول
۵/۶۸	۵/۷	۵۵/۲۴	۴۲/۵۷	۵۰-۷۰	متوسط
۱۶/۹۶	۱۷/۲	*	*	۲۵-۵۰	نامناسب
۱۴/۳۵	۱۴/۰۲	*	*	۰-۲۵	کاملاً نامطلوب

از نقشه نهایی GQI، می‌شود برای بررسی چگونگی و دلیل تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی استفاده کرد. برای این کار می‌توان اطلاعات این نقشه با اطلاعات زمین‌شناسی، کاربری اراضی، عمق سطح آب و...

ارتباط داده شود تا عوامل کنترل کننده تغییرات کیفی آب زیرزمینی مشخص شود. بر اساس این نقشه‌ها، کاهش کیفیت آب در قسمت‌های غربی دشت می‌توان چند دلیل داشته باشد. اول اینکه جهت حرکت جریان آب زیرزمینی در این محدوده از شرق به غرب است و با فاصله گرفتن از منطقه تغذیه و نزدیک شدن به منطقه تخلیه، کیفیت آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. دوم، می‌توان به نقش بارز رودخانه آجی‌چای اشاره کرد که پس از عبور از لایه‌های گچی و نمکی و تنزل کیفیت، در قسمت‌های میانی دشت و از جنوب وارد منطقه می‌شود. همچنین توسعه لایه‌های مارنی و ژپسی در قسمت‌های غربی دشت نیز، می‌تواند سبب تخریب کیفیت آب شود. در مطالعه‌ای مشابه که توسط صیاد و همکاران (۱۳۹۰: ۷)، با استفاده از روش GQI انجام شد، نتایج حاکی از تغییرات GQI بین ۶۶ تا ۸۶ درصد بود که نشان‌دهنده متوسط تا خوب بودن کیفیت آب‌های زیرزمینی محدوده درگز از نظر استاندارد آب آشامیدنی می‌باشد، ولی در رده‌بندی به روش شولر، نمونه‌ها در رده‌های کاملاً نامطبوع تا خوب قرار گرفتند. همچنین سلیمانی و همکاران (۱۳۹۲: ۱۷۷)، مطالعه‌ای با عنوان بررسی تغییرات کیفی منابع آب باختر کوهسرخ با استفاده از شاخص کیفی GQI در محیط GIS انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد، مقدار شاخص GQI در منطقه، بین ۸۲/۹ تا ۹۴/۸ درصد تغییر می‌کند و بیانگر این است که در مجموع آب‌های زیرزمینی منطقه از نظر استانداردهای آب آشامیدنی در رده کیفیت مناسب تا قابل قبول قرار می‌گیرند. نقشه پهنه‌بندی نشان‌دهنده کاهش شاخص کیفی GQI از پیرامون به سمت مرکز منطقه مورد مطالعه، به دلیل تأثیر عوامل زمین‌شناسی و جهت جریان و همچنین سامانه گرمایی فعال در منطقه می‌باشد.

مزیت این مطالعه نسبت به مطالعات مشابه پیشین این است که سعی شده تا با استفاده از فازی سازی شاخص GQI، جهت از بین بردن عدم قطعیت‌های موجود در روش GQI، به مطالعه ویژگی‌های کیفی منطقه، پرداخته شود. همچنین مزیت دیگر این مطالعه، استفاده از هردو استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) و استاندارد تحقیقات صنعتی ایران (ISIRI) بوده است.

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان می‌دهد نتایج حاصل از روش GQI با روش‌های دیگر ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی همخوانی دارد و می‌توان از آن به عنوان یک شاخص مورد اطمینان برای بررسی تغییرات مکانی و حتی زمانی کیفیت آب زیرزمینی استفاده کرد. روش شولر با این که روشی سنتی است، پارامترها را به صورت جداگانه بررسی می‌کند و کیفیت نهایی بر اساس بدترین کیفیت موجود تعیین می‌شود. از سوی دیگر تعداد و نوع پارامترها در روش GQI کاملاً اختیاری بوده و این امکان را به محقق می‌دهد که تغییرات کیفی را متناسب با

نیازها و مشکلات هر منطقه بررسی نماید. در حالی که پارامترهای مورد بررسی در روش شولر همواره ثابت می‌باشد. البته نباید فراموش کرد که روش شولر محدودیت تعداد پارامتر را دارد و پارامترهای مهمی مانند نیتрат و... در رده‌بندی آن لحاظ نشده است؛ بنابراین با توجه به نوع و هدف تحقیق می‌توان هر یک از این دو روش را به کار برد. نمودار شولر که بیانگر ارزیابی نقطه‌ای کیفیت آب آبخوان در سطح دشت می‌باشد، برای چهار چاه انتخابی از ابتدا (شرق)، وسط و انتهای دشت (غرب)، آب زیرزمینی را در رده‌های غیرقابل شرب تا متوسط، نشان می‌دهد. محاسبه GQI برای دشت مهربان نشان می‌دهد که مقدار این شاخص از شرق به طرف غرب، بین ۵۳ تا ۷۸ درصد بر اساس استاندارد WHO و بین ۵۷ تا ۸۲ درصد طبق استاندارد ISIRI متغیر بوده و بیانگر این مسئله است که در مجموع آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از نظر استانداردهای آشامیدنی دارای کیفیت متوسط و قابل قبول می‌باشند. همچنین، نتایج FGQI نیز نشان می‌دهد که مقدار FGQI بر اساس هر دو استاندارد WHO و ISIRI بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر بوده و کیفیت آب زیرزمینی در ۵ رده کاملاً نامطلوب تا نامناسب قرار می‌گیرند. آب زیرزمینی در هنگام عبور از لایه‌ها و مواد سازنده آن، مقداری از املاح موجود در مسیر را حل می‌کند و از آنجا که جهت جریان در منطقه مورد مطالعه از شرق و شمال به طرف رودخانه آجی‌چای و در نهایت به طرف غرب است، کیفیت آب زیرزمینی در جهت آب زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند. کیفیت آب زیرزمینی در این دشت به شدت تحت تأثیر سازندهای زمین‌شناسی و ورودی از رودخانه‌های شور است.

منابع

- آقا نباتی، علی (۱۳۸۳)، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صص ۷۰۷-۱.
- بابامیر، راضیه؛ چیت‌سازان، منوچهر؛ میرزایی، یحیی؛ زارع صفت، مجتبی (۱۳۹۱)، ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب با استفاده از شاخص GQI در دشت دزفول-اندیمشک، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- سلیمانی، سمیه؛ محمودی قرایی، محمدحسین؛ قاسم‌زاده، فرشته؛ سیاره، علیرضا (۱۳۹۲)، بررسی تغییرات کیفی منابع آب باختر کوهسرخ با استفاده از شاخص کیفی GQI در محیط GIS، مجله علوم زمین، سال ۲۳، شماره ۸۹، پاییز ۹۲، صص ۱۷۵-۱۸۲.
- صیاد، حامد؛ محمدزاده، حسین؛ ولایتی، سعدالله (۱۳۹۰)، ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان درگز از نظر شرب با استفاده از نمودار شولر و شاخص GQI، سی‌امین گردهمایی علوم زمین.
- طباطبایی، حسن؛ توسلی، مسعود؛ اسلامیان، سعید؛ احمدزاده، قدرت‌الله (۱۳۸۲)، مطالعه میزان آلاینده‌های آب زیرزمینی شهر اصفهان و ارزیابی آن با تأکید بر جنبه آب شرب، مجله علمی کشاورزی، ۲۹، صص ۷۹-۹۲.
- عزیززاده، مریم (۱۳۸۷)، بررسی هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی آبخوان‌های دشت‌های بیلوردی دوزدوزان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز، صص ۱-۲۰۶.
- عزیزی، فرحناز؛ محمدزاده، حسین (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و ارزیابی تغییرات مکانی کیفیت آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران با استفاده از شبیه DRASTIC و شاخص کیفی GWQI، مجله مهندسی منابع آب، سال ۵، شماره ۱۳، تابستان ۹۱، صص ۱-۱۴.
- منزوی، محمدتقی (۱۳۷۷)، آب‌رسانی شهری. انتشارات دانشگاه تهران، صص ۱-۲۲۰.
- مهدوی، مهدی (۱۳۸۴)، هیدروژئولوژی کاربردی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران، صص ۱-۱۲۰.
- نیک پیمان وحید، محمدزاده، حسین (۱۳۹۲)، ارزیابی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت مشهد با استفاده از شاخص GQI، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی.
- وزارت نیرو (۱۳۶۷)، معیارهای کیفی آب آشامیدنی، طرح تهیه استانداردهای صنعت آب کشور، صص ۱-۱۸.

- Al-hadithi, M., (2012), **Application of Water Quality Index to Assess Suitability of Groundwater Quality for Drinking Purposes in Ratmao- Pathri Rao watershed**, Haridwar District India, Journal of Scientific and Industrial Research, pp. 395-402.
- Babiker, I.S., Mohamed, M.A.A., Hiyama, T., (2007), **Assessing Groundwater Quality Using GIS**, Water Resources Management, 21, p. 699–715.
- Bardossy, A., and Duckstein, L., (1995), **Fuzzy Rule-Based Modeling with Applications to Geophysical, Biological and Engineering Systems**, CRC press Inc., USA, pp. 1-256.
- Comply, H.H., (1945), **Cyanosis in Infants Caused by Nitrates in Well Water**, Journal of American Medicines Association, 129, p. 112- 117.
- Condon, M.R., Traver, R.G., Fergusson, W.B., and Chadderton, R.A., (1993), **Parameter Estimation for a Groundwater Model**, Water Resource Bulletin, (29), pp. 36-41.
- Gebrehiwot, A. B., Tadesse, N., Jigar, E., (2011), **Application of Water Quality Index to Assess Suitability of Groundwater Quality for Drinking Purposes in Hantebet watershed**, Tigray, Northern Ethiopia, Journal of Food and Agriculture Science Vol. 1(1), pp. 22-30.
- Glynn, P.D., Plummer, L.N., (2005), **Geochemistry and the Understanding of Groundwater System, Hydrogeolog**, Hydrogeology Journal, v. 13, no. 1, p. 263-287.
- Hiyama, T., (2010), **Evaluation Groundwater Vulnerability (and Sustainability)**, 20th UNESCO. IHP Training Course DOI 10. 1007/S 11269-006-9059-6, pp. 1-127.
- Li Y.P., Huang G.H., Huang Y.F. and Zhou H.D., (2009), **A Multistage Fuzzy-Stochastic Programming Model For Supporting Sustainable Water-Resources Allocation And Management**, Environmental Modeling and Software, 24, pp. 786-797.
- Liou, S., and S.L. Lo., (2004), **A fuzzy Index Model for Tropic Status Evolution of Reservoir Waters**, Water Resources, 96, pp.35-52.
- U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency)., (2005), **Supplemental Guidance for Assessing Cancer Susceptibility from Early-life Exposure to Carcinogens, Risk Assessment Forum**, Washington, DC. Available from: <http://www.epa.gov/ncea/raf>, pp.1-42.
- WHO (World Health Organization), (2008), **Guidelines for Drinking-Water Quality, Second addendum**, Vol. 1, Recommendations, -3rd ed., ISBN 9789241547604, pp. 1-515.