ارزیابی تغییرات کیفیت آب آشامیدنی دشت ارومیه با استفاده از شاخص تلفیقی کیفیت آب (IWQI)

نقی اکبرزاده[۱]، اسفندیار عباس نوین‌پور[۲*]، فرخ اسدزاده [۳] و فریبا صادقی‌اقدم[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد هیدروژئولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲ - استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳- استادیار گروه علوم و خاک، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۴- دکتری هیدروژئولوژی، گروه علوم‌زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

نویسنده مسئول: e.abbasnovinpour@urmia.ac.ir *

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۲۴ نوع مقاله: کاربردی

چکیده

عوامل مختلفی در کیفیت آب دخیل هستند که بررسی همه این عوامل به منظور ارزیابی کیفیت آب کار سختی می‌باشد. شاخص‌های کیفی ابزاری قدرتمند برای جمع‌بندی و مقایسه کیفیت آب زیرزمینی می‌باشند. تحقیق حاضر به بررسی شاخص تلفیقی کیفیت آب (IWQI) با روش زمین‌آمار کریجینگ برای دشت ارومیه بین سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ در یک دوره زمانی ۱۰ ساله می‌پردازد. پارامترهای فیزیکوشیمیایی شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، مواد جامد محلول (TDS)؛ و یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر و سولفات برای محاسبه شاخص به‌کار رفته است. برای سال‌های مختلف تعداد ۶۳ نمونه آب زیرزمینی به‌منظور محاسبه شاخص IWQI مورد استفاده قرار گرفت و با سایر شاخص‌ها مانند درصد سدیم و نسبت جذب سدیم (SAR) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاکی از این است که بیشتر قسمت‌های دشت ارومیه از لحاظ طبقه‌بندی شاخص IWQI در رده متوسط و خوب قرار دارد. همچنین کیفیت در سال ۱۳۸۳ نسبت به سال‌های قبلی بهتر بوده و نامناسب‌ترین کیفیت مربوط به سال ۱۳۹۸ می‌باشد. بررسی تغییرات مکانی انجام گرفته برای شاخص IWQI نشانگر کیفیت پایین‌تر قسمت‌های جنوبی دشت نسبت به سایر قسمت‌ها، به‌ویژه قسمت میانی دشت می‌باشد. به‌طوری‌که قسمت‌های جنوبی دشت از لحاظ رده‌بندی شاخص IWQI اغلب در رده متوسط بوده، و در سال ۱۳۹۸ با کاهش کیفیت کل دشت، قسمت‌های جنوبی نیز به رده ضعیف کاهش یافته‌اند. قسمت‌های میانی دشت وضعیت بهتری نسبت به سایر مناطق دارند، به‌خصوص در سال ۱۳۹۳ که کیفیت مناطق میانی به رده عالی نیز ارتقا پیدا کرده است. کیفیت قسمت‌های شمالی دشت از لحاظ شاخص IWQI اغلب در رده خوب بوده به‌طوری‌که در برخی سال‌ها به رده متوسط، و در سال ۱۳۹۸ به رده ضعیف تغییر یافته است.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، IWQI، کریجینگ، دشت ارومیه

پیشگفتار

آب مایه حیات است و از مهم‌ترین منابع طبیعی در جهان است. زندگی تمام موجودات زنده اعم از گیاه، حیوان و انسان به آب بستگی دارد و زندگی در جایی ممکن است که آب وجود داشته باشد. آب‌های زیرزمینی، به عنوان بخش مهمی از آب‌های تجدیدپذیر جهان به حساب می‌آیند. با افزایش جمعیت و افزایش نیاز به آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت، شرب و بهداشت فشار زیادی به منابع آب زیرزمینی وارد شده است. بررسی امکانات بالقوه منابع آب کشور نشان می‌دهد که حدود ۳۰ درصد آن را منابع آب زیرزمینی تشکیل می‌دهد، در حالی که در شرایط موجود، سهم آب‌های زیرزمینی ازکل مصارف آب متجاوز از ۵۰ درصد است به نظر می‌رسد تأثیرپذیری آب‌های زیرزمینی از محیط اطراف کمتر از آب‌های سطحی باشد اما پژوهش‌ها نشان می‌دهد که همگام با منابع سطحی، کمیت و کیفیت آب‌هـــای زیرزمینی نیز از عوامل محیطی تأثیر می‌گیرد و حتی در پاره‌ای از موارد تأثیرات شدیدتر و ماندگارتر است در صورتی که مطالعات لازم با توجه به خصوصیات آبخوان نپذیرد و از آلودگی آن جلوگیری نشود، خسارات جبران ناپذیری به منابع آب وارد می‌نماید (علیزاده، ۱۳۸۳). بررسی روندهای گذشته و پیش‌بینی‌های آتی نشان‌دهنده وضعیت نامطلوب کیفیت منابع آب کشور در سال‌های آتی خواهد بود. به عنوان مثال، پیش‌بینی جمعیت کشور، با سناریوی رشد سالانه

یک درصدی از حدود ۷۷ میلیون نفر در سال ۱۳۹۲ به حدود ۱۰۲ میلیون نفر در افق ۱۴۲۰ افزایش خواهد یافت. بر اساس تحلیل‌های انجام شده در مطالعات جامع آب کشور، برای این جمعیت، حجم پساب‌های شهری، روستایی و صنعت و معدن در سال ۱۴۲۰ در سناریوی شرایط معمول به ترتیب برابر با ۱۶۱۵/۵ و ۱۴۸۳/۷ و ۲۲۹۸/۵ میلیون مترمکعب خواهد بود. با توجه به همگن نبودن توزیع جمعیت در کشور، میزان تولید پساب در استان‌ها و حوضه‌های آبریز کشور نیز یکنواخت نیست و در مناطق دارای تمرکز جمعیت و صنعت، تنش بیشتری به محیط‌زیست به خصوص منابع آب وارد خواهد شد (کراچیان و مریدی، ۱۳۹۵). استان آذربایجان غربی علیرغم اینکه جزو استان‌های پرآب کشور محسوب می‌گردد، لکن به علت وقوع خشک‌سالی‌های متعدد و پیوسته طی سال‌های اخیر و به‌تبع آن کاهش منابع آب سطحی، باعث معطوف شدن توجه بهره‌برداران به منابع آب‌های زیرزمینی سهل‌الوصول در آبخوان‌های استان و در نتیجه افزایش تعداد چاه‌های مجاز و غیرمجاز گردیده است. در حال حاضر در برخی دشت‌های استان، متأسفانه شاهد بروز اثرات منفی کاهش افت مخازن آب زیرزمینی می‌باشیم که یکی از مهم‌ترین تبعات آن پدیده فرونشست زمین بوده که با توجه به آهستگی و خزنده بودن این پدیده، کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. با توجه به سوابق و اطلاعات حاصل از بازدیدهای دوره‌ای در سطح دشت ارومیه که نشان از وجود فرونشست در حواشی تعدادی از پیزومترهای حاشیه شرقی آبخوان ارومیه داشته و منجر به پدیده رشد چاه و لوله‌زایی گردیده است (مقیمی و همکاران، ۱۴۰۰).

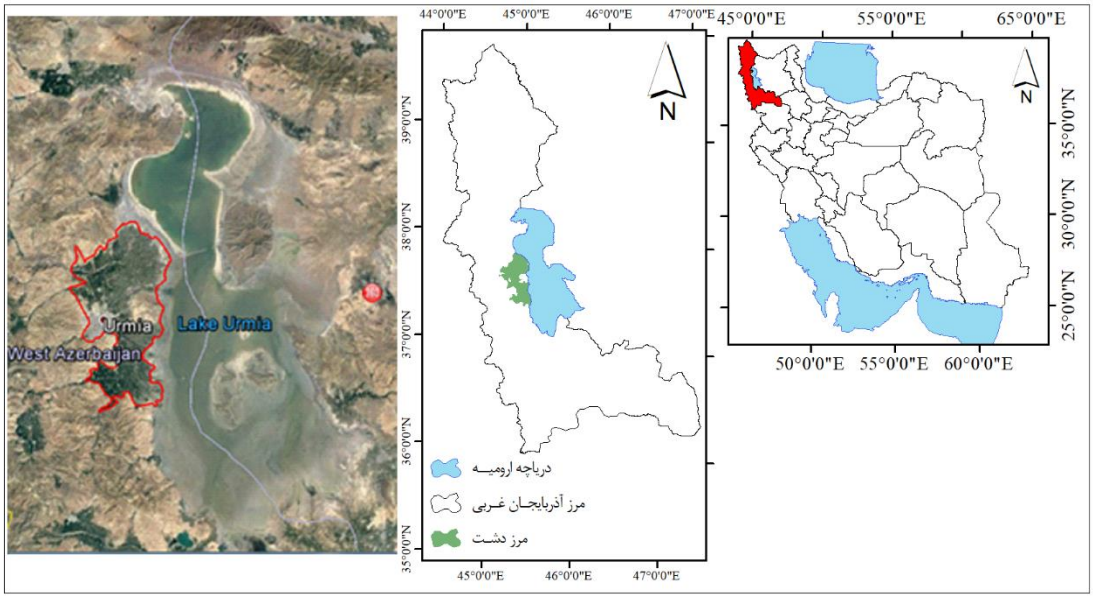
نصر و فاروک (۲۰۱۴) مدل شبکه عصبی را برای تخمین میزان شوری آب زیرزمینی جهت آبیاری مزارع آلکساندریا مصر توسعه دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد، مدل شبکه عصبی مصنوعی تطبیق خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده و مورد انتظار شوری آب زیرزمینی دارد. خردپیشه و همکاران (۲۰۱۵) جهت ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت بهاباد یزد در طول دوره آماری (۲۰۰۳-۲۰۱۳) از مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی می‌تواند جایگزین مناسبی برای محاسبات طولانی شاخص کیفیت آب باشد. یوسفی و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تغییر روند آب زیرزمینی آب شرب ابهر پرداختند. نتایج نشان داد که در یک دهه اخیر روند پارامترهای سختی کل، هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول تغییر یافته است به طوریکه در طول زمان افزایش یافته است. سلیمانی سارد و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی کیفیت آب رودخانه چم انجیر استان لرستان پرداخته و روند پارامترهای کیفی آب این رودخانه را توسط روش‌های گرافیکی از قبیل نمودارهای ویلکوکس، شولر و پایپر محاسبه کردند که با توجه به نتایج، روند صعودی تغییرات املاح محلول آب نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب و افزایش املاح محلول این رودخانه می‌باشد. مقدم و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی که با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق بولین انجام شد، آب دشت مشهد بر اساس پارامترهای کیفی مؤثر در طبقه‌بندی‌های شرب و کشاورزی پهنه‌بندی شد و سپس روند تغییرات زمانی و مکانی آن‌ها بررسی شد، نتایج نشان داد که پایین دست حوضه مشهد به یک ناحیه بحرانی تبدیل شده است. توکلی و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی کیفیت آب رودخانه الیگودرز با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب (NSFWQI) و (IRWQI) به این نتیجه دریافتند که شرایط کیفی آب رودخانه در فصل تابستان بهتر از فصل پاییز است، که افزایش بار جمعیتی در فصل پاییز و همچنین استفاده از کودهای شیمیایی در این دوره از دلایل آن می‌باشد. سعادتمند و همکاران (۱۴۰۰)، با بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت کامیاران با روش استاندارد تجزیه‌وتحلیل (APHA) در آزمایشگاه آنالیز و سپس با روش میانگین فاصلهٔ وزنی (IDW) پهنه‌بندی انجام شد. نتایج نشان داد عوامل هدایت الکتریکی و مواد جامد محلول، دارای بیشترین نوسان‌ها در این دشت بوده و بازهٔ آن برای EC از ۱۵ µmhos/cm هزار تا ۶۰۰ µmhos/cm و برای TDS از ۱۰۲۰۰ mg/lit تا ۴۵ mg/lit شناسایی شد. با استفاده از استاندارد کیفی آب آشامیدنی مشخص شد که غلظت پارامترهای کیفی مورد بررسی در منابع آب زیرزمینی این دشت به غیر از پارامتر pH در برخی روستاها در بازهٔ مجاز قرار دارد و بیشتر قسمت‌های شمالی و جنوبی این دشت از کیفیت کمتر آب برخوردار است. مقیمی و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی تغییرت سطح آب زیرزمینی و تأثیر آن بر کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت قروه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که محدوده بیلان دشت ۲/۰۱ متر افت پیدا کرده و کیفیت آب

زیرزمینی با افت سطح ایستابی ۲/۵ متر، در ۱۸ حلقه چاه در دوره آماری ۱۵ ساله برای مصارف مختلف خوب و در حد قابل قبول بدست آوردند. محمدی و پیرخراطی (۱۴۰۰) با ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت آبرفتی ارومیه در سامانه‌های آبیاری دریافتند که آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی، از نظر مقادیر به‌دست آمده برای شاخص نسبت جذب سدیم، کیفیت عالی و از نظر مقادیر محاسبه شده برای شاخص نفوذپذیری و درصد سدیم، کیفیت مناسب برای اهداف آبیاری را دارا می‌باشد. مقادیر مرتبط با غلظت نسبت جذب منیزیم، در ۱۸/۶ درصد چاه‌ها و مقادیر سدیم کربنات باقی مانده در تعداد سه نمونه از چاه‌ها، پایین‌تر از حد مجاز بدست آمد؛ در حالی‌که، چاه‌های مطالعاتی منطقه، از نظر مقادیر محاسبه شده برای شاخص نسبت کیلی و اشباع لانژلیر، برای آبیاری نامناسب است. با بررسی پیشینهٔ پژوهش یاد شده، مشخص شد که آنالیز کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه و مکان‌یابی مناطق مناسب برای مصارف مختلف با توجه به محدودیت منابع آب، اهمیت دارد. لذا این تحقیق، با هدف پهنه‌بندی منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه با تلفیق شاخص IQWI و روش کریجینگ انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت ارومیه، از لحاظ جغرافیایی بین ´۵۰-°۳۷ تا ´۱۸-°۳۹ عرض شمالی و´۵۶-°۴۴ تا ´۲۰-°۴۵ طول شرقی قرار گرفته است. موقعیت منطقه مورد مطالعه مطابق شکل شماره ۱ در غرب دریاچه ارومیه واقع شده است. حد شمالی آن را نمکزارهای جنوب دشت کهریز و حد جنوبی آن تا نزدیکی‌های روستای بالانج، حد غربی آن را ارتفاعات تغذیه کننده رودخانه‌های نازلوچای، شهر چای، روضه چای، باراندوز چای و بالانوش چای تشکیل می‌دهد. در حد غربی دشت‌ها و دره‌های کوچکی به اسامی هورسین، تولی یا تلو، سیلوانا و زیوه یا دیزج وجود دارد که توسط انشعابات اولیه رودخانه نازلوچای مانند قصریک، صوفیان، چم‌کوران، گنبدچای و سایر رودخانه‌های ذکر شده اخیر مشروب گردیده و در نقاط خروجی این دشت‌ها، شاخه‌های اصلی دشت ارومیه را به وجود می آورد. وسعت کل حوضه آبریز دشت بدون احتساب دشت‌های کوچک غربی و حوضه آبریز آن‌ها ۳۷۲۰ کیلومتر مربع بوده که ۹۶۲ کیلومتر مربع آن را دشت ارومیه تشکیل می‌دهد. طول این دشت در امتداد شمالی- جنوبی به طور متوسط حدود ۵۰ کیلومتر و در امتداد شرقی- غربی به طور متوسط حدود ۲۰ کیلومتر می باشد. دشت ارومیه با ارتفاع متوسط ۱۳۳۰ متر از سطح دریا و همجوار با ارتفاعات قرار گرفته و دارای آب و هوای نیمه‌خشک تا مدیترانه‌ای می‌باشد. میزان نزولات جوی در دشت ارومیه نوسانات شدیدی را نشان می‌دهد و توزیع بارش در سال‌های مختلف بسیار نامنظم است. متوسط ریزش‌های جوی در دشت ارومیه سالانه حدود ۳۰۵/۵ میلی‌متر برآورد شده است (گزارش امور آب ارومیه، ۱۳۹۸).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت ارومیه

زمین‌شناسی عمومی و چینه‌نگاری منطقه

منطقه مورد مطالعه جزئی از واحد زمین‌ساختی البرز غربی- آذربایجان می‌باشد بطوریکه زمین‌شناسی منطقه، بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی دوران سوم بوده و کهن‌ترین سنگ‌های رخنمون‌یافته، مجموعه‌ای از سنگ‌های دگرگونی شامل گنیس، آمفیبولیت، متادیوریت، اسلیت، فیلیت، ماسه‌سنگ دگرگونی، متاولکانیک و سنگ‌های کربناته یا سنگ‌های پرکامبرین و کامبرین هستند که بر روی آن‌ها سنگ‌های آهکی، آهکی دولومیتی و دولومیتی سازند روته، توسط گسل‌های تراستی رانده شده‌اند. سنگ‌های نفوذی دگرگونی متاگرانودیوریت، متادیوریت، متاگابرو، تشکیلات پرکامبرین در منطقه را قطع نموده و توسط سازند میلا پوشیده شده است. گرانیت قوشچی که سن آن پس از کرتاسه است با نفوذ به واحدهای یادشده در منطقه، دگرگونی مجاورتی ایجاد نموده است. در شمال غربی و جنوب شرقی منطقه، سنگ آهک‌ها و سنگ‌آهک‌های رسی گچ‌دار الیگومیوسن (سازند قم) رخنمون دارند. جنوب منطقه مورد مطالعه را رسوبات کنگلومرایی، مارنی و سنگ‌آهک‌های ماسه‌ای نازک تا متوسط لایه با شیب ۳۰ - ۲۰ درجه به سمت شمال غرب تشکیل داده‌اند که دیرینه آن‌ها میوسن است. در شمال شرق شهر ارومیه تا گلمانخانه، سنگ‌های ولکانیک آندزیتی تا داسیتی توام با خرده‌سنگ‌های تکتونیزه از آن سنگ‌ها و نیز در همان محدوده‌ها تناوب ماسه‌سنگ، توف، مارن، سنگ‌آهک و کنگلومرا با دیرینه‌های میوسن تا میوپلیوسن به صورت وسیع گسترش دارند. سرانجام همه واحدهای سنگی منطقه توسط رسوبات جوان کواترنر بصورت افقی پوشیده می‌شود (شرکت حفاری نوین ارومیه، ۱۳۸۵).

محاسبه شاخص تلفیقی کیفیت آب (IWQI)

مرحله اول: جمع‌آوری و انتخاب پارامترها می‌باشد برای این کار نمونه‌ها از نواحی مسکونی، کشاورزی و صنعتی جمع‌آوری گردید. تعداد ۹ پارامتر فیزیکوشیمیایی شامل PH، EC، TDS، Ca، Mg، Na، K، Cl و SO4 انتخاب شده تا نشان‌دهنده‌ی کیفیت آب با استفاده از شاخص IWQI بر مبنای حد مجاز پایین و بالا که توسط سازمان استاندارد تعریف شده است. نمونه‌های آنالیز در دسترس برای سال ۱۳۹۱ حدود ۶۳ مورد می‌باشد که مطابق شکل ۲ شاخص کیفی بر مبنای نمونه‌های ذکر شده انجام گرفته شده است.

مرحله دوم: محاسبه رنج یا دامنه مجاز به این ترتیب که مقادیر حد پایین و حد بالا بر اساس میزان خطر آن بر سلامتی با توجه به استاندارد ۱۰۵۳سازمان استاندارد ایران برای هر پارامتر تعریف می‌شود روش محاسبه دامنه مجاز با استفاده از رابطه زیر فرمول (۱) صورت می‌گیرد:

$$\text{Range} = PL - DL \qquad (۱)$$

مرحله سوم: محاسبه حد مجاز حداکثر اصلاح‌شده می باشد، دامنه مجاز هر پارامتر با استفاده از رابطه زیر تعریف می‌شود. در این رابطه حد مجاز حداکثر اصلاح شده از تفاضل بین حد مجاز حداکثر و ۲۰ درصد دامنه مجاز به دست می‌آید. ۲۰ درصد کاهش برای هشدار قبل از رسیدن به وضعیت بحرانی آلودگی است چرا که اگر آبخوان به مرحله بحرانی آلودگی برسد بازگرداندن آن به حالت طبیعی قبلی بسیار سخت خواهد بود. مقدار درصد کاهشی اصلاحی مقداری متغییر است بطوری که بسته به شرایط مورد نیاز قابل تغییر خواهد بود (رابطه ۲). فرمول (۲).

$$\text{MPL} = PL - 20\%\ \text{Range} \qquad (۱)$$

مرحله چهارم: محاسبه شاخص‌های جزء می‌باشد، غلظت هر پارامتر زیر حد مجاز حداقل به اندازه زیاد بودن آن از حد مجاز حداکثر نامناسب است مقادیری که کمتر از حداقل مقدار مورد نیاز و بالاتر از حداکثر مقدار مورد نیاز اصلاح شده باشد کیفیت آب را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در حالیکه مقادیر پارامترهای مابین دامنه مجاز اصلاح شده باشد به عنوان پارامترهای کیفیت مطلوب جهت آب شرب منظور می‌گردد. (شکل ۳). از تفسیر نمودار مربوط به مدل مفهومی شاخص تلفیقی یا یکپارچه کیفیت آب با سه حالت مختلف مواجه می‌شویم. این حالت‌ها عبارتند از:

حالت اول: اگر مقدار پارامتر (Pi) بیشتر از حد مجاز اصلاح شده MPL باشد از فرمول شماره ۳ جهت محاسبه شاخص جزء استفاده می‌شود:

$$SI = \frac{Pi - MPL}{MPL} \qquad (۳)$$

حالت دوم: اگر مقدار قابل مشاهده یک پارامتر (Pi) بالاتر از حد مجاز حداقل DL و کمتر از حد مجاز اصلاح شده MPL باشد مقدار شاخص جزء صفر خواهد بود فرمول شماره ۴ استفاده می‌شود:

$$DL \le Pi \le MPL \quad SI = 0 \qquad (۴)$$

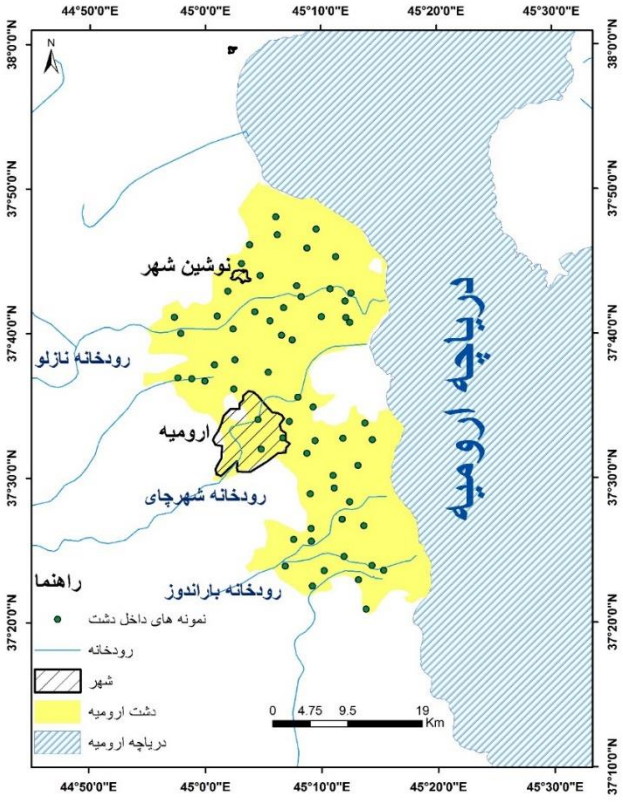
حالت سوم: اگر مقدار پارامتر (Pi) کمتر از حد مجاز حداقل DL باشد از رابطه زیر جهت محاسبه شاخص جزء از فرمول شماره ۵ استفاده می‌شود:

$$Pi \leq DL \qquad SI = (DL - Pi)/DL \qquad (۵)$$

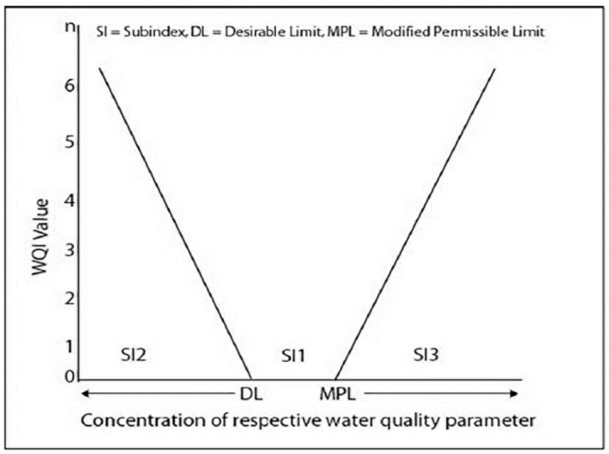
در روابط فوق SI : شاخص جزء، Pi: مقدار پارمتر، DL: حد مجاز حداقل، MPL: حد مجاز اصلاح شده می‌باشند. در این مرحله اختلاف بین مقدار پارامتر Pi و حد مجاز حداقل DL یا حد مجاز اصلاح شده MPL بر حد مجاز حداقل DL یا حد مجاز اصلاح شده MPL تقسیم می‌شود بدینوسیله مقادیر حاصله جهت مقایسه افزایش یا کاهش غلظت یک پارامتر مشخص نسبت به حد مجاز حداقل DL و حد مجاز اصلاح شده MPL به یک عدد بدون بعد تبدیل می شود. پس از آن مقدار شاخص جزء جهت محاسبه شاخص تلفیقی کیفیت آب IWQI به فرمول شماره ۶ اضافه می‌گردد.

$$IWQLI = \sum_{j=1}^{n} SI_{ij} \qquad (۶)$$

SIij: شاخص جزء نمونه iام و پارامتر jام کیفیت آب است.



شکل ۲. نمونه‌های ژئوشیمی موجود برای دشت ارومیه



شکل ۳. مدل مفهومی شاخص تلفیقی یا یکپارچه کیفیت آب IWQI

جدول ۱. کلاس‌بندی کیفیت آب با استفاده از شاخص IWQI

مقدار شاخص IWQI	کلاس آب	شرح توصیفی
<۱	عالی	عالی برای آب شرب
۱-۲	خوب	خوب برای آب شرب
۲-۳	متوسط	بصورت مشروط قابل استفاده
۳-۵	ضعیف	نامناسب برای آب شرب
>۵	نامناسب	غیر قابل استفاده

روش درون‌یابی کریجینگ

در این روش فرض بر این است که فاصله و جهت بین نقاط نمونه روی همبستگی مکانی تأثیر می‌گذارد. این روش وقتی بهترین کارایی را دارد که وجود همبستگی فاصله‌ای یا چولگی جهتی داده‌ها مشخص باشد. کریجینگ نوعی روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار بوده و بهترین تخمینگر خطی غیراریب است. معادلهٔ حاکم بر این روش همانند رابطهٔ (۷) است (علی و احمد، ۲۰۲۰):

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(S_i) \qquad (۷)$$

که در آن $Z(S_i)$ مقدار اندازه‌گیری شدهٔ متغیر در i امین موقعیت، λ_i، وزن نامشخص برای مقدار اندازه‌گیری شده در i امین موقعیت، S_0 موقعیت پیش‌بینی و n تعداد مقادیر اندازه‌گیری شده است. این نوع کریجینگ خطی می‌نامند، زیرا ترکیب خطی از n داده است.

بحث و نتایج

محاسبه شاخص تلفیقی کیفیت آب زیرزمینی (IWQI): نحوه محاسبه شاخص تلفیقی کیفیت آب (IWQI) قبلا به صورت مشروح توضیح داده شد لذا رنج و دامنه‌های به کار برده شده در محاسبات در جدول (۲) آورده شده است.

درون‌یابی مقادیر با روش کریجینگ شاخص (IWQI): به منظور بررسی تغییرات حاصله در شاخص IWQI اقدام به مقایسه آماری شاخص طی بازه ۱۰ ساله کردیم، تغییرات میانگین شاخص IWQI و سایر پارامترهای آماری در جدول (۳) آورده شده است. همچنین مطابق شکل تغییرات ۱۰ ساله مقادیر میانگین شاخص IWQI و سایر پارامترهای آماری در شکل (۴) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد میانگین آماری شاخص IWQI در سال ۱۴۰۰ حدود ۱/۸۵ می‌باشد این مقدار در سال ۸۳ به ۱/۸ کاهش می‌یابد در سال‌های بعدی این مقدار به حدود ۱/۹ افزایش می‌یابد ولی در سال ۸۷ به کمترین مقدار یعنی ۱/۷۵ کاهش می‌یابد این مقدار در سال ۹۹ به بالاترین مقدار یعنی ۲/۴۸ افزایش می‌یابد در سال ۱۴۰۰ این مقدار در حدود ۲/۱۷می‌باشد. تغییرات میانگین آماری شاخص IWQI با نقشه‌ها و پهنه‌بندی این مقدار که با روش ژئواستاتیک انجام گرفته است و نقشه‌ها و توضیحات آن در ابتدای فصل حاضر ارائه شده است همگرایی خوبی دارد.

بررسی تغییرات زمانی انجام گرفته برای شاخص تلفیقی کیفیت آب IWQI با روش زمین آمارو کریجینگ انجام و پهنه‌بندی در شکل‌های (۵) ارائه شده است. مطابق شکل در سال‌های ۹۱ و ۹۲ عمده مساحت دشت ارومیه به خصوص قسمت‌های میانی و شمالی از نظر شاخص تلفیقی کیفیت آب IWQI در کلاس خوب قرار مـی‌گیرند و قسمت‌های جنوبی و شمال شرق از نظر شاخص فوق‌الذکر در کلاس متوسط قرار می‌گیرند. این تغییرات برای سال ۹۳ مانند دو سال قبلی بوده با این تفاوت که قسمت‌های کوچکی از مساحت دشت در مرکز و شمال دشت ارومیه از نظر شاخص IWQI در کلاس عالی قرار می‌گیرد. حدود ٪۸۵ نمونه‌ها در کلاس متوسط و خوب و حدود ۱۶ درصد از نمونه‌ها در کلاس عالی قرار می‌گیرند.

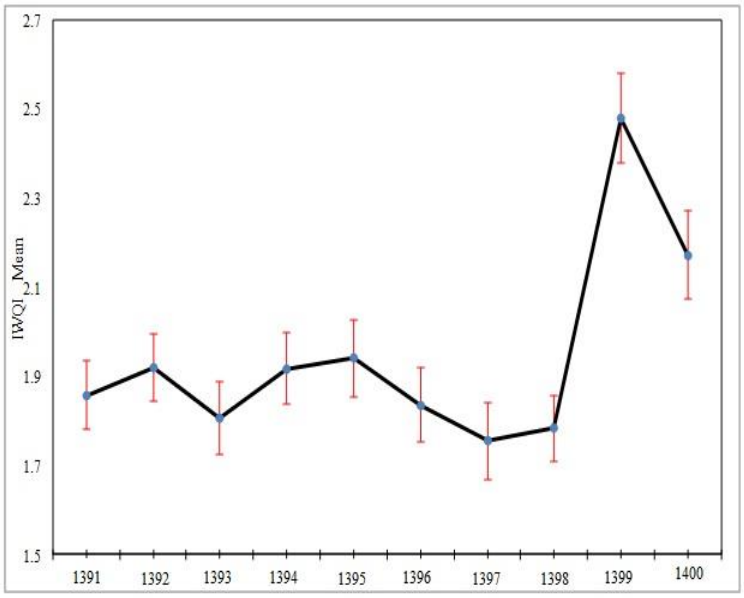
وضعیت دشت ارومیه در سال‌های ۹۴ و ۹۵ لحاظ شاخص IWQI مانند سال‌های ۹۱ و ۹۲ می‌باشد بطوریکه در سال ۹۵ حدود ٪۹۳ نمونه‌ها در کلاس متوسط و خوب و حدود ۷ درصد از نمونه‌ها در کلاس عالی قرار می‌گیرند و برای سال ۹۵ حدود ٪۵۰ نمونه‌ها در کلاس متوسط و ٪۳۸ کلاس خوب قرار دارند و همچنین ٪۹ نمونه‌ها در کلاس عالی و ٪ ۳ در کلاس ضعیف قرار می‌گیرند. وضعیت دشت در سال ۹۶ تقریباً مثل سال ۹۳ برآورده شد بطوریکه حدود ٪۳۸ نمونه‌ها در کلاس متوسط و ٪۴۸ خوب قرار دارند و همچنین ٪۷ نمونه‌ها در کلاس عالی و ٪۱ در کلاس ضعیف قرار می‌گیرند.

جدول ۲. رنج و دامنه‌های به کار برده شده در محاسبات

MPL	R	PL	DL	
۸/۱	۲	۸/۵	۶/۵	pH
۱۳۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۵۰۰	TDS
۱۷۵	۱۲۵	۲۰۰	۷۵	Ca
۱۳۰	۱۰۰	۱۵۰	۵۰	Mg
۱۶۰	۲۰۰	۲۰۰	۰	Na
۱۶	۲۰	۲۰	۰	K
۵۳۰	۳۵۰	۶۰۰	۲۵۰	Cl
۳۶۰	۲۰۰	۴۰۰	۲۰۰	SO4

جدول ۳. مقایسه آماری شاخص IWQI طی بازه ۱۰ ساله

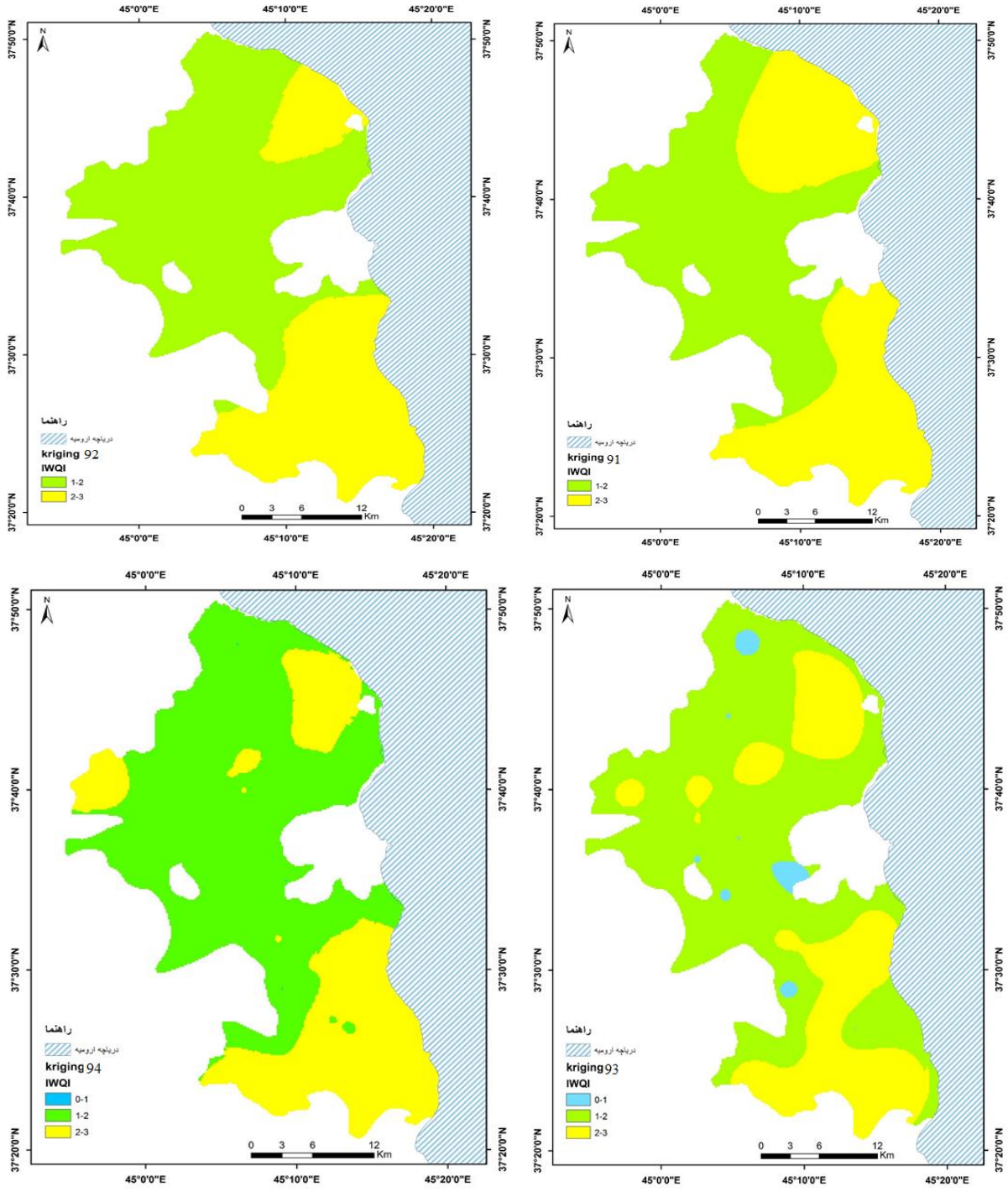
سال	Mean	STDEV	SE
۱۳۹۱	۱/۸۵	۰/۶۱	۰/۰۷
۱۳۹۲	۱/۹۱	۰/۵۹	۰/۰۷
۱۳۹۳	۱/۸۱	۰/۶۴	۰/۰۸
۱۳۹۴	۱/۹۱	۰/۶۴	۰/۰۸
۱۳۹۵	۱/۹۳	۰/۶۷	۰/۰۸
۱۳۹۶	۱/۸۳	۰/۶۵	۰/۰۸
۱۳۹۷	۱/۷۵	۰/۶۷	۰/۰۸
۱۳۹۸	۱/۷۸	۰/۵۸	۰/۰۷
۱۳۹۹	۲/۴۷	۰/۷۹	۰/۱
۱۴۰۰	۲/۱۷	۰/۷۹	۰/۰۹



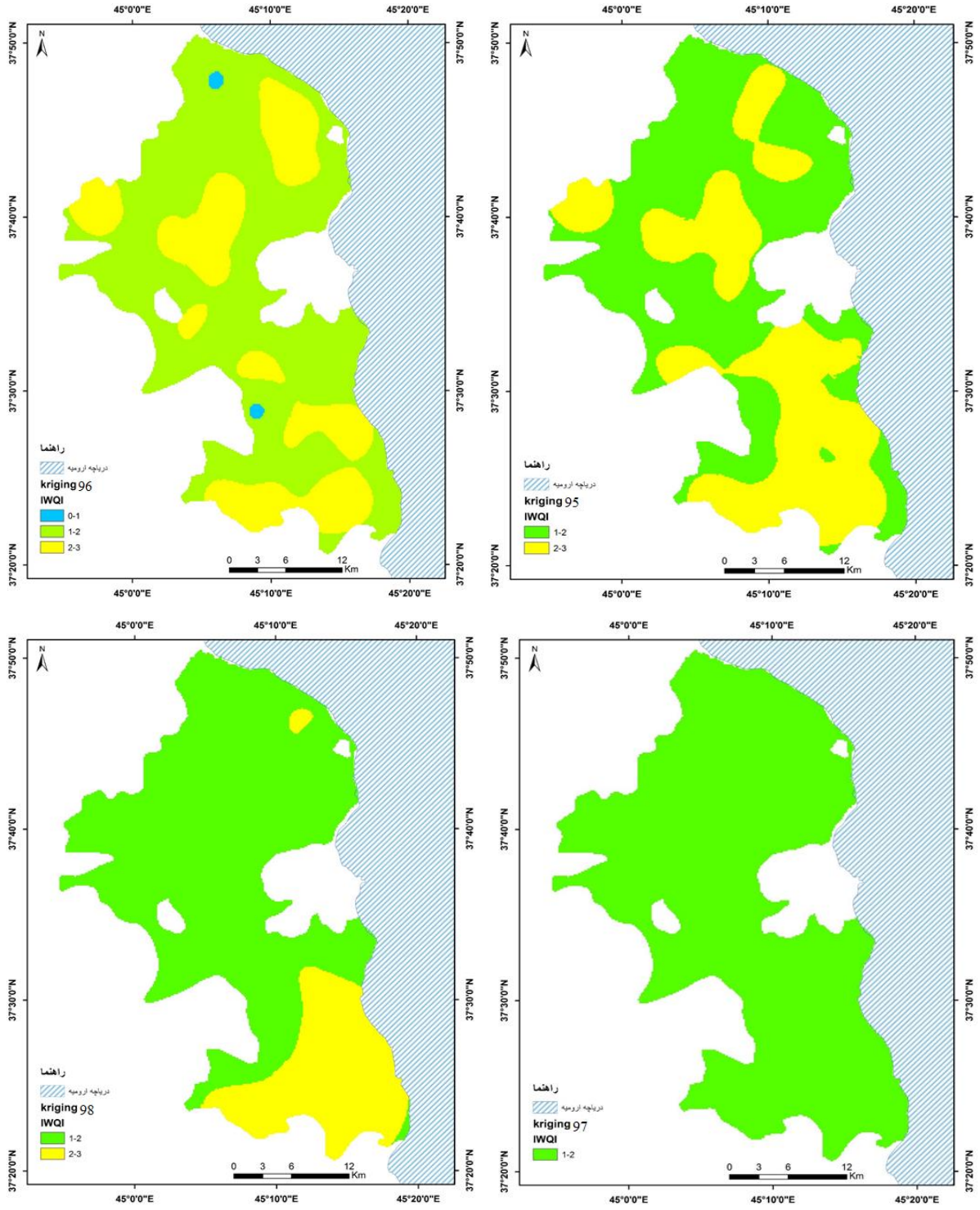
شکل ۴. نمودار تغییرات ۱۰ ساله مقادیر میانگین شاخص IWQI

اما در سال ۹۷ تغییر کیفیت آب از نظر شاخص IWQI برای کل پهنه دشت ارومیه در کلاس خوب قرار گرفت. این تغییرات در سال ۹۸ در اغلب قسمت‌ها در کلاس خوب قرار داشته و جنوب دشت در کلاس متوسط قرار گرفته شد حدود ۳۵٪ نمونه‌ها در کلاس متوسط و ۵۲٪ خوب قرار دارند و همچنین ۱۲٪ نمونه‌ها در کلاس عالی قرار می‌گیرند. سال ۹۹ اغلب قسمت‌های دشت در کلاس متوسط از لحاظ شاخص IWQI قرار گرفتند و مناطقی در

قسمت‌های جنوبی و شمالی دشت به ویژه اطراف رودخانه نازلو در کلاس ضعیف قرار گرفتند. مشاهده شد حدود ۴۲٪ نمونه‌ها در کلاس متوسط و ۲۱٪ خوب قرار دارند و همچنین ۳٪ نمونه‌ها در کلاس عالی قرار می‌گیرند و ۳۲٪ از نمونه‌ها در کلاس ضعیف قرار می گیرند. وضعیت کیفیت آب زیرزمینی و شاخص IWQI برای سال ۱۴۰۰ بهتر از سال ۹۹ بوده به طوری که اغلب قسمت‌های دشت ارومیه در کلاس متوسط و قسمت‌هایی در مرکز شمال غرب در کلاس خوب از لحاظ شاخص IWQI قرار می‌گیرند. حدود ٪۵۲ نمونه‌ها در کلاس متوسط و ۳۰٪ خوب قرار دارند و همچنین ۱۰٪نمونه‌ها در کلاس عالی قرار می‌گیرند و ۹٪ از نمونه‌ها در کلاس ضعیف قرار می‌گیرند.



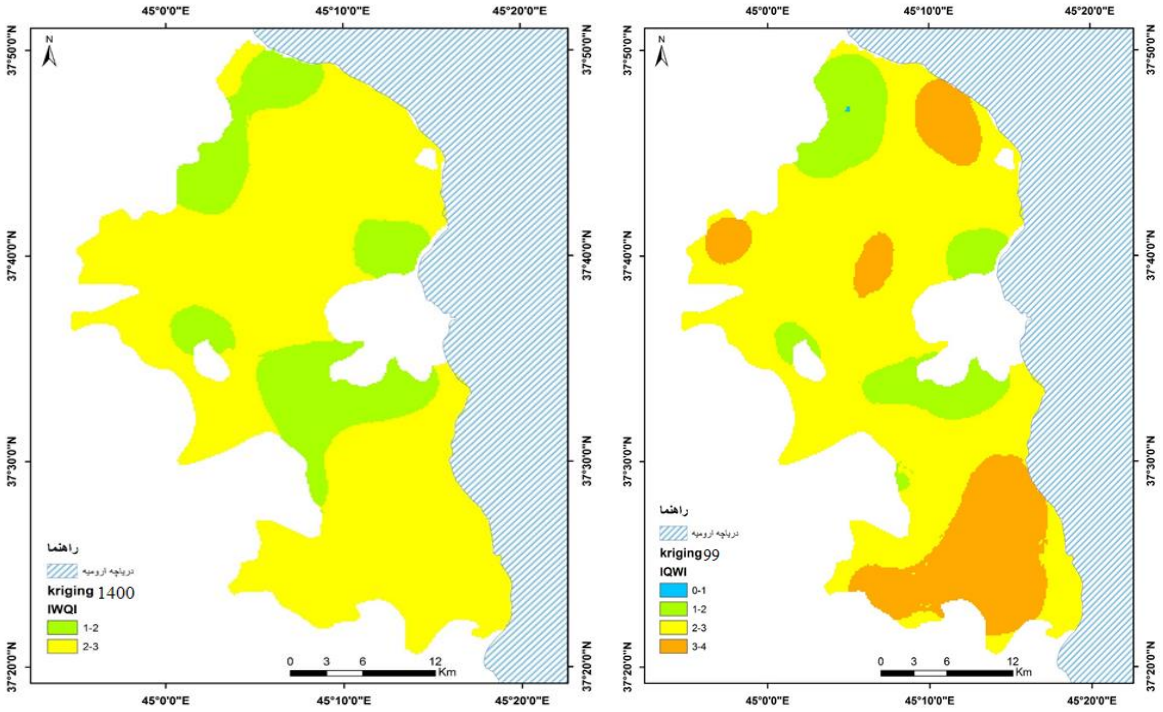
شکل ۵. درون‌یابی شاخص (IWQI) از روش زمین آمار کریجینگ بین سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰



ادامه شکل ۵. درون‌یابی شاخص (IWQI) از روش زمین آمار کریجینگ بین سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰

جباری قره‌باغ و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای برای بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت ارومیه از نرم‌افزار کاربردی Hydrochemistry V1 که در سطح وزارت نیرو به ثبت رسیده است، استفاده کردند. نتایج نشان داد که اغلب نمونه‌ها دارای یون‌های اسیدی ضعیف (بی‌کربناته) می‌باشند. تغییرات هدایت الکتریکی به گونه‌ای است که در اطراف رودخانه‌های ورودی به دشت مقدار هدایت الکتریکی کاهش یافته که با توجه به کیفیت خوب آب رودخانه‌های منطقه، نشانه تغذیه دشت در آن نواحی توسط آب رودخانه‌ها می‌باشد. همچنین مقدار هدایت الکتریکی با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی در نواحی منتهی به دریاچه (نواحی خروجی) افزایش یافته که در این

نواحی این مقدار به حدود ۱۲۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر رسیده است، این افزایش را زهکشی دشت توسط رودخانه‌ها در نواحی خروجی و عدم تغذیه بیان کردند. روند تغییرات میزان TDS و یون کلر نیز در منطقه مشابه هدایت الکتریکی بیان نمودند. در مطالعه‌ای که توسط جعفری و همکاران (۱۳۹۸) انجام شد کیفیت آب دشت‌های شرقی دریاچه ارومیه در محدوده سال‌های آبی ۱۳۸۰-۸۱ تا ۹۱-۱۳۹۰ با کاهش تراز سطح آب دریاچه ارومیه کاهش یافته است. همچنین آن‌ها بیان نمودند که کاهش کیفیت آب به گونه‌ای بوده است که مقدار TDS بطور نسبی از ۱۰ درصد تا ۴۵ درصد و برای پارامتر SAR از ۷ درصد تا ۳۰ درصد متغیر بوده است.



ادامه شکل ۵. درون‌یابی شاخص (IWQI) از روش زمین آمار کریجینگ بین سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تغییرات پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی شامل پتاسیم، کلسیم، سولفات، TDS، سدیم، کلر، منیزیم و pH دشت ارومیه با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در طی سال‌های ۹۱-۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ از نظر مکانی و زمانی بررسی شدند. بخش‌های جنوبی دشت ارومیه در بیشتر سال‌های آبی کیفیت آب‌های زیرزمینی TDS افزایش یاقته است که نشان‌دهنده اثر کاهش بارندگی و افزایش برداشت اضافی از آب زیرزمینی منطقه بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. با توجه به اینکه پارامتر TDS علاوه بر مصرف شرب برای مصرف کشاورزی هم حایز اهمیت است لذا برای استفاده از آب منطقه برای امور کشاورزی بایستی مورد بررسی قرار گیرد. بطور کلی پهنه‌بندی شاخص IWQI برای دشت ارومیه به روش زمین‌آماری کریجینگ با دسته‌بندی‌های آماری داده‌های نمونه‌ها مطابقت خوبی نشان می‌دهد. بررسی تغییرات مکانی انجام گرفته برای شاخص تلفیقی کیفیت آب IWQI که به روش زمین‌آمار و کریجینگ نشانگر کیفیت پایین‌تر قسمت‌های جنوبی دشت نسبت به سایر قسمت‌ها به خصوص قسمت میانی دشت می‌باشد به طوری که کلاس قسمت‌های جنوبی دشت از لحاظ شاخص IWQI اغلب در کلاس متوسط بوده و در سال ۹۹ با کاهش کیفیت کل دشت قسمت‌های جنوبی نیز به کلاس ضعیف کاهش یافته‌اند. نتایج پهنه‌بندی با شاخص IWQI با پهنه‌بندی پارامترهای کیفی تحقیق جعفری و همکاران (۱۳۹۸) در منطقه‌ی مورد مطالعه برای مصرف کشاورزی در طول دوره‌ی آماری سال آبی ۸۱-۱۳۸۰ تا ۹۱-۱۳۹۰ در خصوص کاهش کیفیت آب زیرزمینی منطقه همخوانی دارد. طبق نتایج بدست آمده در طول ۲۰ سال گذشته کیفیت آب زیرزمینی منطقه کاهش یافته است لذا برای

جلوگیری از پایین‌تر آمدن کیفیت آب زیرزمینی منطقه و بایر نشدن زمین‌های کشاورزی در سال‌های آتی بایستی اقدامات اثرگذاری از طرف مدیران بخش مدیریت منابع آب انجام گیرد.

منابع

امور آب ارومیه (۱۳۹۸) گزارش مطالعات منابع آب دشت ارومیه.

توکلی، ف.، محمدی روزبهانی، م.، سبحان اردکانی، س (۱۳۹۷) بررسی کیفیت آب رودخانه با استفاده از شاخص‌های کیفی آب (مطالعه موردی: رودخانه الیگودرز). فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست.

جباری قره‌باغ، ث.، خانی تملیه، ذ.، رضایی، ح. و باطنی، م. م (۱۳۹۲) بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت ارومیه (مطالعه موردی حوزه دشت ارومیه). دوازدهمین همایش سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.

جعفری، ر.، ترابیان، ع.، قربانی، م. ع.، میرباقری، س. ا. و حسنی، ا. م (۱۳۹۸) بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت‌های شرقی دریاچه ارومیه. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، دوره ۱۰، شماره ۲۰، ص ۱۴۵-۱۵۷.

حسنی‌پاک، ع. ا (۱۳۸۶) زمین آمار (ژئواستاتیستیک). انتشارات دانشگاه تهران. ص ۳۰۶-۳۱۴.

سعادتمند، ا.، نوراللهی، ی.، یوسفی، ح.، محمدی، ع (۱۴۰۰) ارزیابی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی دشت کامیاران کردستان. مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۲، شماره ۸، ص ۳۵۷-۳۶۷.

سلیمانی، م.، ولی، ع.، قضاوی، ر.، سعیدی، ح (۱۳۹۲) آنالیز و روندیابی پارامترهای کیفیت شیمیایی آب: مطالعه موردی رودخانه چم انجیر خرم‌آباد. فصلنامه علمی-پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران.

شرکت حفاری نوین آب ارومیه (۱۳۸۵) لوگ زمین‌شناسی چاه‌های اکتشافی و بهره‌برداری، امور آب ارومیه.

علیزاده، ا (۱۳۸۸) اصول هیدرولوژی کاربردی. دانشگاه امام رضا مشهد. انتشارات آستان قدس رضوی. ص ۸۷۲.

کریم‌نیا، م (۱۳۸۰) ترفندهای زمین آماری (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران. ص ۳۶۷.

محمدی، ص.، پیرخراطی، ح (۱۴۰۰) ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت آبرفتی ارومیه در سامانه‌های آبیاری. مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۵، شماره ۳۰، ص ۱۷۷-۱۸۷.

مقدم، ع.، قلعه‌بان، م.، اسماعیلی، ک (۱۳۹۲) بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۳، شماره ۲۰.

مقیمی، ه.، عباس نوین‌پور، ا.، مرشدی، ب (۱۴۰۰) بررسی پدیدهٔ نشست زمین بر اثر افت سطح آب زیرزمینی در محدودهٔ شهر ارومیه با استفاده از تغییرات دانه‌بندی لایه‌های زمین. مجله اکو هیدرولوژی،۸ دروه ۸، شماره ۳، ص۷۹۱-۸۰۶.

مقیمی، ه.، محمدزاده، آ. عباس‌نوین‌پور، ا.، امینی، س. ع (۱۴۰۱) ارزیابی تغییرات سطح آب زیرزمینی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت قروه، استان کردستان). مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی. دروه ۱۶، شماره ۳۱، ص ۱۳-۳۱.

Yousefi, M., Dehghani, M. H., Maghsoudi Nasab, S., Taghavimanesh, V., Nazmara, S., Mohammadi, A. A (2018) Data on trend changes of drinking groundwater resources quality: A case study in Abhar. Journal of Data in Brief, 17: 424-230.

Nasr, M., Farouk Zahran, H (2014) Using of pH as a tool to predict salinity of groundwater for irrigation purpose using artificial neural network. The Egyptian Journal of Aquatic Researc, 40(2): 111-115.

Kheradpisheh, Z., Talebi, A., Rafati, L., Ghaneeian, M. T., Ehrampoush, M. H (2015) Groundwater quality assessment using artificial neural network: A case study of Bahabad plain, Yazd, Iran. Desert, 20(1): 65-71

Ali, S. A., Ahmad, A (2020) Analysing water-borne diseases susceptibility in Kolkata Municipal Corporation using WQI and GIS based Kriging interpolation. Geo Journal, 85: 1151-1174.

Evaluation of drinking water quality variation in Urmia plain using Integrated Water Quality Index (IWQI)

N. Akbarzadeh[1], E. Abbasnovinpour[2*], F. Asadzade[3] and F. Sadeghi Aghdam[4]

1- M. Sc., (graduated), in Hydrogeology, Dept., of Geology, Urmia University, Urmia, Iran
2- Assist. Prof., Dept., of Geology, Urmia University, Urmia, Iran
3- Assist. Prof., Dept., of Soil Science, Urmia University, Urmia, Iran
4- Ph. D. in Hydrogeology, Dept., of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

* e.abbasnovinpour@urmia.ac.ir

Recieved: 2022/1/4 Accepted: 2022/5/14

Abstract

There are different factors involved in water quality and it's difficult to study all of these factors to assess water quality. Quality indexes are a powerful tool for conclusion and comparison groundwater quality. The current study investigates the integrated water quality index (IWQI) with the Kriging geostatistical technique for the Urmia plain between 2002 and 2011 over a period of ten years. Physicochemical parameters including acidity (pH), electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), and ions of calcium, magnesium, sodium, potassium, chloride and sulfate have been used to calculate the index. For different years, 63 groundwater samples were used to calculate the IWQI index and compared with other indexes such as %Na and sodium adsorption ratio (SAR). The results show that most parts of the Urmia plain are in the middle and good class in terms of IWQI classification. Also, the quality in 2004 is better than previous years and the most unsuitable quality is related to 2010. The study of spatial variations of the IWQI indicates the lower quality of the southern parts of the plain than other parts, especially the center part of the plain. As the southern parts of the plain in terms of IWQI classification is often in the middle class, and in 2010 with the decrease in the quality of the entire plain, the southern parts have also decreased to a lower quality class. The center parts of the plain are in a better condition than other parts, especially in 2004, when the quality of the middle class improved to an excellent level. The quality of the northern parts of the plain in terms of IWQI is often in the good class, so that in some years it has changed to the middle class and in 2010 to the poor class.

Keywords: Groundwater, Integrated Water Quality Index, Geo statistics, Kriging, Urmia Plain