



## ارزیابی کارایی و پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت نقده جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت

فریبا صادقی اقدم<sup>۱\*</sup>، عطا الله‌ندیری<sup>۲</sup>، اصغر اصغری مقدم<sup>۳</sup>، اسفندیار عباس‌نوین‌پور<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
۲. دانشیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
۳. استاد گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
۴. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

### مشخصات مقاله

### چکیده

#### پیشینه مقاله:

دریافت: ۲۸ اسفند ۱۳۹۶

پذیرش: ۱۶ دی ۱۳۹۷

دسترسی اینترنتی: ۳۰ بهمن ۱۳۹۷

#### واژه‌های کلیدی:

آب زیرزمینی

نقشه پهنه‌بندی کیفی

سیستم اطلاعات جغرافیایی

دشت نقده

آبخوان دشت نقده، واقع در قسمت جنوب‌غربی دریاچه ارومیه تأمین‌کننده نیازهای آبی این ناحیه است. به‌منظور ارزیابی و طبقه‌بندی کیفی منابع آبی این دشت، نمونه‌برداری از تعداد ۳۳ حلقه چاه بهره‌برداری در تیرماه سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ انجام گرفت و ویژگی‌های هیدروشیمیایی، غلظت یون‌های اصلی، فرعی و فلزات سنگین نمونه‌های آبی توسط روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. با استفاده از داده‌های حاصل، امکان‌سنجی استفاده از آب زیرزمینی در مصارف مختلف با کاربرد روش‌های گرافیکی و معیارهای طبقه‌بندی کیفی شولر (شرب)، ویلکاکس (کشاورزی) و لائزیر (صنعت) مورد بررسی قرار گرفت. براساس اطلاعات موجود، به‌منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی مصارف آب، توزیع پارامترهای مؤثر در کیفیت هر نوع از کاربری با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش درون‌یابی زمین‌آماری (کریجینگ) برای سطح دشت انجام گرفت. در این راستا پس از ایجاد لایه‌های رستری پارامترهای مؤثر، رده‌بندی و تلفیق آن‌ها، نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی کیفی تهیه گردید. بر پایه نتایج درجه سختی آب شرب تمام نمونه‌ها بالا بوده و غلظت برخی از پارامترهای بیش از حد مجاز استاندارد آب شرب (WHO) و کشاورزی (FAO) است که می‌بایست کیفیت نامناسب این منابع مورد توجه قرار گیرد. ارزیابی کیفیت آب صنعتی، نشانگر رسوب‌گذار بودن ۶۱٪ و خورنده بودن ۳۹٪ نمونه‌ها، و همچنین کیفیت آب کشاورزی نشانگر کیفیت خوب و متوسط به ترتیب ۴۶٪ و ۳۹٪ نمونه‌های آبی بود. تجزیه و تحلیل نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی با اطلاعات زمین‌شناسی، کاربری اراضی و توزیع واحدهای صنعتی دشت صورت گرفت و مشخص گردید که آب‌های زیرزمینی با کیفیت نامناسب به‌طور عمده در نواحی شمالی مرکز دشت و نواحی شرقی دشت وجود دارند.

\* Fariba\_Sadeghi@tabrizu.ac.ir: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

## مقدمه

موقعیت، مقدار و کیفیت منابع آبی به عنوان پارامترهای توصیف کننده منابع آبی می باشند. کاربرد آب های زیرزمینی به عنوان منبعی برای مناطق با آب سطحی کم حائز اهمیت است (۱۱). در این میان استفاده از آب های زیرزمینی به منظور تأمین آب مورد نیاز مصارف شرب، صنعت و کشاورزی دارای اهمیت می باشند. امروزه به علت وجود منابع متعدد آلوده کننده آب، از کیفیت شیمیایی منابع آبی به شدت کاسته شده است و به این دلیل می بایست قبل از استفاده از آب در مصارف گوناگون، کیفیت آن مورد بررسی و ارزیابی دقیق قرار گیرد. وجود مقادیر بالایی از عناصر و فلزات سنگین آب زیرزمینی از طریق شرب و ورود به زنجیره غذایی تهدید بزرگی برای سلامت انسان می باشد. همچنین عناصر جزئی یا کمیاب مانند برم، فلزات سنگین و آفت کش ها باعث توقف رشد گیاهان می شوند. آب با کیفیت پایین آبیاری ممکن است محصولات را به طرق مختلف، از جمله تجمع نمک در ریشه گیاهان، کاهش نفوذپذیری خاک، دارا بودن عوامل بیماری زا و آلاینده های سمی تحت تأثیر قرار دهد (۱۵ و ۳۴).

نخستین مرحله برای پایش سیستم های آبی نمونه برداری از منابع آبی و تعیین پارامترهای فیزیکی و هیدروشیمیایی مرتبط با سنجش کیفی آب است. پارامترهای حاصل از مرحله نمونه برداری و آنالیزهای هیدروشیمیایی، داده های لازم برای مطالعات بعدی را فراهم می آورد. کیشلاقی و همکاران (۳۷) به منظور بررسی کیفی آب رودخانه تیره (مهم ترین انشعاب رود کرخه) به منظور مصارف شرب، صنعت و کشاورزی اقدام به نمونه برداری و تعیین پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمودند. بر اساس داده های حاصل، غلظت عناصر سولفات، منیزیم و کلسیم بیش از مقادیر استاندارد آب شرب (WHO) بودند و اغلب نمونه های آبی بر اساس طبقه بندی استاندارد (FAO) برای آبیاری مناسب تعیین گردید.

تحلیل های حاصل از نمودارهای هیدروشیمیایی در حل بسیاری از مسائل نظیر مناسب بودن آب برای کاربردهای خاص، وضعیت کیفی آب ها، مکانیسم های حاکم و عوامل

تأثیرگذار بر کیفیت آب حائز اهمیت است (۲۳، ۲۴ و ۴۴). مطالعات متعددی صورت پذیرفته است که در آنها از نمودارهای هیدروشیمیایی و طبقه بندی کیفی به منظور بررسی کیفی منابع آبی برای مصارف مختلف استفاده شده است (۳۳ و ۳۶). نگ و داس (۳۰) در بنگلادش به بررسی کارایی آب زیرزمینی برای مصارف خانگی و آبیاری پرداختند که به این منظور نمونه برداری از منابع آبی و آنالیز پارامترهای هیدروشیمیایی انجام گرفت و فرآیند مؤثر بر هیدروشیمی منابع آبی، در ارتباط با درهم کنش آب-سنگ تعیین گردید. نتایج حاصل از شاخص های متفاوت حاکی از کیفیت خوب تا متوسط نمونه های آبی برای کاربرد آبیاری در فصل بارندگی و خطر قلیائیت ۸۰ درصد آب ها در فصل قبل از بارندگی بود. شاخص کیفی آب نشانگر کیفیت مناسب ۹۰ درصد نمونه ها در فصل بارندگی و کیفیت نامناسب ۶۰ تا ۴۰ درصد نمونه ها در فصل قبل بارندگی برای مصارف شرب است.

آروموگام و همکاران (۱۵) کیفیت آب را در نتیجه تأثیر فعالیت های صنعتی در منطقه ای واقع در هند مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه با استفاده از نمودارهای هیدروشیمیایی عوامل مؤثر بر هیدروشیمی آب منطقه، عوامل هوازندگی شیمیایی سازندها و تبخیر و تعرق تعیین گردید. همچنین براساس تعیین شاخص های نسبت جذبی سدیم، کربنات سدیم باقیمانده و شاخص شوری و نفوذپذیری مشخص گردید که کیفیت آب زیرزمینی در بسیاری از مکان های منطقه مطالعاتی برای شرب و آبیاری مناسب نبودند. پیلانی و خان (۳۵) به منظور بررسی کیفیت و کمیت آب های سطحی و زیرسطحی منطقه ای در هند به نمونه برداری و آنالیز منابع آبی پرداختند. نتایج نشانگر کیفیت خوب ۵ درصد نمونه ها، کیفیت ضعیف ۶۲ درصد، خیلی ضعیف ۳۰ درصد و نامناسب ۳ درصد نمونه ها برای مصارف خانگی بودند.

عباس نیا و همکاران (۱۲) با بررسی پارامترهای هیدروشیمیایی مربوط به ۶۵۴ چاه آبی در محدوده استان سیستان و بلوچستان به ارزیابی کیفی آب شرب و کشاورزی پرداختند. بر اساس نتایج حدود ۵۳ و ۴۷ درصد نمونه ها

مدیریت منطقه مطالعاتی پرداخته شود. بر این اساس توزیع مکانی شاخص‌ها و آنومالی‌ها با استفاده از روش پهنه‌بندی در GIS تعیین گردید. آنالیزهای آماری طبقه‌بندی شاخص‌ها نشان داد که تأثیر آلودگی و ریسک سلامت ناشی از عناصر As و Pb از معیارهای استاندارد تجاوز می‌کند. بر این اساس تصمیمات لازم برای مدیریت و پاک‌سازی آلودگی دو منطقه با ریسک بالا اتخاذ گردید.

بهبودی کریمی و امیدوار (۱) به منظور برآورد توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت بیضاء-زرقان استان فارس، از تحلیل‌گر زمین‌آماری در نرم‌افزار ArcGIS استفاده کردند. در این مطالعه به کمک تحلیل عاملی سه عامل شوری، سختی و اسیدیته به‌عنوان مهم‌ترین پارامترهای شیمیایی مؤثر در کیفیت آب تعیین گردید و نقشه‌های توزیع مکانی پارامترهای مؤثر در هر عامل با استفاده از روش‌های قطعی و زمین‌آماری با معیار ارزیابی RMSe تهیه گردید. نتایج نشان داد که برای همه پارامترها به‌جز اسیدیته روش کریجینگ مناسب‌ترین روش بود.

خداکرمی و همکاران (۳) باهدف بررسی اثر آلودگی‌های غیرنقطه‌ای کشاورزی بر میزان غلظت فلزات سنگین و تهیه نقشه پتانسیل آلودگی خاک از سامانه اطلاعات جغرافیایی، زمین‌آمار و سنجش‌ازدور استفاده نمودند. در این تحقیق نمونه‌برداری از خاک به‌منظور تعیین غلظت عناصر، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد. برای پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین ابتدا با کمک آنالیز همبستگی مکانی، مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی با استفاده از توابع MAE و MBE انتخاب گردید. سپس نقشه‌های پهنه‌بندی با استفاده از روش کریجینگ معمولی و مدل‌های نمایی و کروی تهیه شد. همچنین برای بررسی تجزیه‌وتحلیل نقشه‌های توزیع غلظت فلزات از نقشه‌های کاربری اراضی، زمین‌شناسی و نقشه برآورد غلظت زمینه فلزات سنگین استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل نقشه پهنه‌بندی فلزات سنگین نشان داد که عناصر مس و روی منشأ زمین‌شناسی و کشاورزی دارند و عنصر آرسنیک از مواد مادری منشأ می‌گیرد ولی فعالیت‌های کشاورزی به دلیل مصرف

به‌ترتیب جزو آب شرب با کیفیت مناسب و نامناسب، و حدود ۲۰ و ۸۰ درصد نمونه‌ها به‌ترتیب جزو آب کشاورزی با کیفیت عالی و خوب طبقه‌بندی شدند. همچنین به‌منظور ارزیابی کیفی آب صنعتی از شاخص‌ها LSI، RSI، PSI، LS و AI استفاده شد. از نتایج آزمایشگاهی به‌منظور تهیه توزیع مکانی عددی پارامترها با به‌کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده گردید که به این وسیله توزیع کیفی هر نوع از کاربری آب بر اساس شاخص طبقه‌بندی کیفی آن در محدوده مطالعاتی تعیین گردید.

سنجش مقادیر عناصر و نحوه پراکنش آن‌ها در یک منطقه، امر ضروری در اکثر مطالعات مرتبط با پیش‌بینی کیفی منابع آبی است. استفاده از GIS به‌منظور پردازش، تلفیق، تجزیه‌وتحلیل، تبادل و ذخیره اطلاعات مکان‌مرجع کاربرد وسیعی در مدل‌های رقومی زمین، مدل‌سازی، شبیه‌سازی، مدیریت، زمین‌آمار، هیدرولوژی، زمین‌شناسی و سایر علوم دارد. استفاده از زمین‌آمار علاوه بر توصیف تغییرات زمانی و مکانی داده‌ها قادر به تهیه نقشه‌های کمی توزیع پارامترها با حداقل واریانس ممکن است. این روش‌ها امکان کمی نمودن توزیع مکانی غلظت عناصر را فراهم می‌آورد که مشخص‌کننده مناطق آلوده یا در معرض آلودگی است. نقشه‌های پهنه‌بندی اطلاعات مهمی را در زمینه انتخاب و یافتن مناطق مناسب جهت کاربری‌های منطقه مطالعاتی یا پاک‌سازی، در اختیار کاربران قرار می‌دهد (۱۰).

در مطالعات متعدد به‌منظور تعیین توزیع مکانی پارامترها، ارزیابی کیفی و طبقه‌بندی آب کاربردی در مصارف مختلف از سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است (۳۰، ۳۴ و ۳۵). از این روش در مطالعات مربوط به آلودگی فلزات سنگین (۲۹)، آسیب‌پذیری آبخوان (۴) یا تعیین شاخص کیفی آب (۵) نیز استفاده شده است. زنگ و همکاران (۴۸) در مطالعه‌ای به‌منظور پیش‌بینی کیفی و مدیریت آلودگی شدید منابع آبی در چین به بررسی شاخص‌های آلودگی فلزات سنگین و ریسک سلامت ناشی از آن‌ها پرداختند تا بر اساس روش تجزیه عوامل و پهنه‌بندی در GIS به طبقه‌بندی آلودگی و تعیین درجه

و صنعت منطقه و مقایسه مقادیر غلظت پارامترهای هیدروشیمیایی با مقادیر استاندارد جهانی تعیین شده، کیفیت منابع آبی با استفاده از نمودارهای هیدروشیمیایی و معیارها و روش‌های طبقه‌بندی کیفی مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای نقشه پهنه‌بندی کیفی آب شرب و کشاورزی و صنعت برای محدوده مطالعاتی با استفاده از روابط ریاضی، درون‌یابی مقادیر، رده‌بندی و تلفیق لایه‌های مختلف در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید و دلایل توزیع کیفیت هر نوع از کاربری آب با شواهد زمین‌شناسی، کاربری اراضی و توزیع واحدها صنعتی موجود در دشت مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

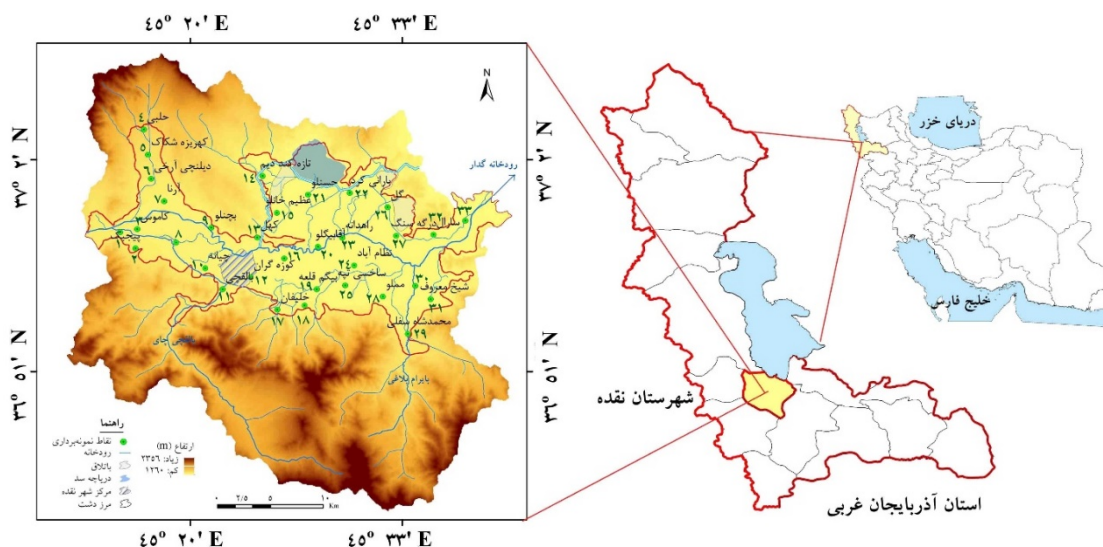
در موقعیت جغرافیایی  $24^{\circ} 45'$  تا  $31^{\circ} 45'$  طول شرقی و  $37^{\circ} 37'$  تا  $57^{\circ} 37'$  عرض شمالی در استان آذربایجان غربی و جوب غربی دریاچه ارومیه واقع شده است (شکل ۱). وسعت کل محدوده مطالعاتی نقده ۱۱۶۸ کیلومترمربع و وسعت دشت آبرفتی آن ۳۷۷ کیلومترمربع است. این دشت از نظر تقسیمات هیدرولوژیکی جزو حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه می‌باشند. مهم‌ترین رودخانه جاری در منطقه، رودخانه گدار است که از قسمت غربی پس از عبور از دشت اشویه وارد محدوده مطالعاتی شده و پس از جریان یافتن به سمت شرق، در انتها به شورزارهای دریاچه ارومیه ختم می‌گردد. شاخه‌های فرعی رودخانه در قسمت جنوب‌غربی و جنوب‌شرقی دشت به ترتیب رودهای بالقچی و بایرام‌بلاغی می‌باشند.

بیش‌ازحد کودهای شیمیایی می‌تواند باعث افزایش هر چه بیشتر این عناصر در خاک شود.

پاناسکار و همکاران (۳۴) به ارزیابی پارامترهای هیدروشیمیایی آب زیرزمینی و کارایی آن برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی پرداختند. به این منظور نمونه‌برداری از تعداد ۵۰ چاه آبی به‌منظور آنالیز کاتیون و آنیون‌های اصلی صورت پذیرفت. فرآیندهای هوازدگی سنگ و تبخیر به‌عنوان عوامل اصلی تأثیرگذار بر هیدروشیمی منطقه معرفی گردید. بر اساس مقادیر استاندارد آب شرب، کشاورزی و صنعت، کیفیت اکثر نمونه‌ها مناسب تعیین شد. توزیع مکانی پارامترهای هیدروشیمیایی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تعیین گردید. نمودار تعیین شوری آزمایشگاهی اکثریت نمونه‌ها را از نوع آب با شوری بالا و خطر سدیم پایین (C3S1) تعیین نمود.

منطقه مطالعاتی دشت نقده در قسمت جنوب‌غربی دریاچه ارومیه، واقع شده است. گسترش کشاورزی و صنعت، افزایش تقاضای آب همراه با کاهش نزولات جوی و آب‌های سطحی، افزایش تعداد حفر چاه‌ها و بهره‌برداری بیش‌ازحد آب‌های زیرزمینی منطقه باعث افت سطح آب زیرزمینی و کاهش کیفیت آن شده است. علاوه بر موارد ذکر شده، تأثیرگذاری کمی و کیفی منابع آبی این دشت بر روی دریاچه ارومیه، ضرورت مطالعاتی آن را اهمیت می‌بخشد. با توجه به نیاز تأمین آب شرب ساکنین، رونق زیاد کشاورزی و گسترش باغات در محدوده دشت و وجود شهرک‌های صنعتی و کارخانه‌های متعدد در منطقه مطالعاتی نیز لازمه بررسی کیفی آب را ایجاب می‌نماید.

در مطالعه حاضر ضمن بررسی ترکیب شیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت نقده به‌عنوان تأمین‌کننده آب شرب، کشاورزی



شکل ۱. محدوده مطالعاتی دشت نقده

جریان‌های رودخانه گذار است که باعث ایجاد مخروط افکنه‌هایی گردیده است که حداکثر ضخامت آبرفت این رسوبات ممکن است به ۱۰۰ متر برسد (۶).

### روش تحقیق

برای تحلیل و ارزیابی کیفیت منابع آب و امکان‌سنجی استفاده در مصارف شرب، کشاورزی و صنعت، نمونه‌برداری هیدروشیمیایی از تعداد ۳۳ چاه بهره‌برداری آب زیرزمینی این دشت (شکل ۱) طی ۴ روز در تیرماه سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ انجام پذیرفت. مراحل نمونه‌برداری، نوع ظروف نمونه‌برداری، محلول‌ها، مراحل انتقال و آنالیز نمونه‌ها با رعایت اصول استاندارد انجام گرفت (۱۴ و ۱۶). در صورت وجود کدورت در آب نمونه‌ها از کاغذ صافی با اندازه منافذ ۲۵-۲۰ میکرومتر عبور داده شد. همچنین به منظور تثبیت نمونه‌های فلزات سنگین، با استفاده از اسیدنیتریک غلیظ ( $\text{HNO}_3$ )، pH آن به زیر ۲ رسانده شد تا از رسوب احتمالی فلزات سنگین جلوگیری شود. همچنین پارامترهای دما، pH و EC به صورت صحرائی نیز اندازه‌گیری گردید.

از تمامی ایستگاه‌ها دو نمونه مجزا به منظور آنالیز عناصر اصلی، فرعی و فلزات سنگین برداشت گردید. مشخصه‌های آنالیز شده شامل تعیین پارامترهای درجه‌حرارت، اسیدیته (pH)

مطابق با بررسی آمار درازمدت دوره شاخص ۱۰ ساله (۱۳۹۵-۱۳۸۵) مربوط به ایستگاه سینوپتیک نقده با متوسط درجه‌حرارت سالانه ۱۵ درجه‌سانتی‌گراد، بارش ۳۲۵ میلی‌متر، تبخیر و تعرق از تشتک ۱۲۸۴ میلی‌متر و رطوبت نسبی ۵۸ درصد، اقلیم منطقه به روش آمبرژه (۲۱) جزو مناطق نیمه-خشک سرد تعیین گردید. حداکثر ارتفاع محدوده مطالعاتی ۲۲۰۰ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۲۷۰ متر در حواشی دریاچه ارومیه است. تجمع آب در فروافتادگی‌های توپوگرافی ملایم به‌ویژه در قسمت‌های شرق و مرکز دشت باعث تشکیل شوره‌زارهایی در فصول خشک می‌گردد. علاوه بر سد مخزنی حسنلو مهم‌ترین تالاب‌های بین‌المللی استان شامل تالاب‌های حسنلو، یادگارلو، درگه‌سنگی، شیطان‌آباد و سولدوز در این دشت واقع می‌باشد. تشکیل واحدهای هیدروژئولوژیکی در ارتباط با ساختارها و سازندهای زمین‌شناسی می‌باشد در محدوده مطالعاتی نقده سنگ‌های دگرگونی، آتشفشانی، آذرین نفوذی و رسوبی از زمان پرکامبرین تا کواترنری رخنمون دارند. گسترش سیستم‌های درز و شکاف در سنگ‌های آهکی و دولومیتی نقش مؤثری در تغذیه منابع آب زیرزمینی منطقه دارد. بیشتر واحدهای رسوبی منطقه به خاطر داشتن شرایط هیدروژئولوژیکی مناسب جهت تشکیل مخازن آب زیرزمینی حائز اهمیت می‌باشند. عامل اصلی رسوب مواد آبرفتی

تعیین سریع کل مواد جامد محلول می‌تواند از طریق اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آب صورت پذیرد. در مورد اغلب آب‌های شیرین رابطه‌ای خطی بین هدایت الکتریکی و TDS مطابق رابطه ۱ وجود دارد (۲۸).

[۱]

$$TDS=EC \times K, \quad K \cong 0.55-0.76, \quad K_{\text{groundwater}} \cong 0.66$$

در این رابطه؛ TDS برحسب میلی‌گرم بر لیتر (ppm) و مقادیر هدایت الکتریکی EC برحسب میکروزیمنس بر سانتی-متر ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) است. K نیز ضریبی متغیر است که با افزایش دما و شوری افزایش می‌یابد و مقدار آن در آب زیرزمینی ۰/۶۶ تعیین می‌شود (۴۳).

از پارامترهای مهم برای آب با کاربری خانگی سختی آب است. آب سخت طعم مناسبی ندارد و آشامیدن آب سخت منجر به سوءهاضمه و سنگ کلیه نیز می‌گردد (۴۵). سختی آب نیز از طریق رابطه ۲ محاسبه گردید (۲۸).

$$TH = Ca \left( \frac{CaCO_3}{Ca} \right) + Mg \left( \frac{CaCO_3}{Ca} \right) = 2.5 Ca + 4.1 Mg \quad [۲]$$

در این رابطه؛ TH به میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم، Ca و Mg به میلی‌گرم بر لیتر و نسبت‌ها برحسب وزن‌های اکی‌والان بیان می‌گردد.

روش ویلکاکس (Wilcox) یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای طبقه‌بندی آب برای مصارف کشاورزی است که در این روش کیفیت آب در چهار طبقه خیلی خوب، خوب، متوسط و نامناسب طبقه‌بندی می‌گردد (۴۴). مهم‌ترین معیار برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی، شوری با معیار EC یا هدایت الکتریکی (Electrical conductivity) و مقدار سدیم با معیار SAR یا نسبت جذبی سدیم (Sodium adsorbatio ratio) موجود در آن است (۴۶). نسبت جذبی سدیم (SAR) درجه‌ای از سدیم موجود در آب آبیاری جایگزین شده به‌وسیله Ca و Mg خاک‌های رسی را نشان می‌دهد که این فرآیند جایگزینی

و هدایت الکتریکی (EC) و مشخصه‌های شیمیایی شامل تعیین غلظت یون‌های اصلی شامل سدیم ( $\text{Na}^+$ ) و پتاسیم ( $\text{K}^+$ ) به روش فتومتر شعله‌ای (Flame photometry)، کلسیم ( $\text{Ca}^{2+}$ ) و  $\text{Mg}^{2+}$  به روش تیتراسیون کمپلکسومتری (Complexometric titration)، کربنات ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) و بیکربنات ( $\text{HCO}_3^-$ ) به روش حجم‌سنجی تیتراسیون اسید-باز، سولفات ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) به روش توربیدیمتری (Turbidimetric Method) و کلر ( $\text{Cl}^-$ ) به روش تیتراسیون رسوبی (نقره‌سنجی مور) بود. همچنین غلظت نیترات ( $\text{NO}_3^-$ ) و فسفات ( $\text{PO}_4^{2-}$ ) و سایر یون‌های فرعی شامل سیلیس ( $\text{SiO}_2$ )، فلئور ( $\text{F}^-$ )، لیتیم ( $\text{Li}^+$ )، بر (B) و بروم (Br) به روش اسپکتوفتومتر و غلظت کل فلزات سنگین شامل آهن (Fe)، منگنز (Mn)، روی (Zn)، کروم (Cr) و آلومینیم (Al) به روش جذب اتمی مورد آنالیز قرار گرفتند.

آب موردنیاز در مصارف مختلف می‌بایست دارای ویژگی‌های کیفی و معیارهای مشخصی باشند. معیارهایی از جمله مقادیر ML یا مقادیر حدمجاز (Maximum level) عناصر موجود در آب زیرزمینی از طریق ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و رادیواکتیو آب تعریف می‌گردد که می‌بایست در حدی باشد که مصرف آن عارضه‌سویی در کوتاه‌مدت یا بلندمدت ایجاد نکند (۴۲). غلظت عناصر موجود در نمونه‌های آبی برداشت‌شده از دشت نقره با مقادیر استاندارد تعیین‌شده برای مصارف شرب WHO (۴۵) و کشاورزی FAO (۱۷) و صنعت (۷) مقایسه گردید.

تعیین کیفیت آب برای مصارف شرب با استفاده از نمودار شولر (Schoeller) و بر اساس پنج پارامتر مؤثر شامل سدیم، کلر، سولفات، TDS یا کل مواد جامد محلول (Total dissolved solids) و TH یا سختی کل (Total hardness) صورت پذیرفت (۴۱) بر این اساس کیفیت آب شرب در شش طبقه (خوب و کاملاً بی‌مزه، قابل شرب و دارای کمی طعم، تا حدودی نامناسب برای شرب، نامناسب و با طعم نامطبوع، نامناسب و با طعم کاملاً نامطبوع، غیرقابل شرب) طبقه‌بندی گردید. هدایت الکتریکی (EC) شاخص مناسبی برای نمایش مقادیر کل مواد حل‌شده در آب یا شوری است.



تابع سختی کل (TH) بر مبنای کربنات کلسیم و برحسب میلی گرم بر لیتر، و D تابع آلکالینیته کل است (۳۸).

به منظور نمایش داده‌های کیفیت آب و روند تغییرات پارامترهای مؤثر در طبقه‌بندی هر نوع کاربری آب زیرزمینی از روش پهنه‌بندی در قالب نقشه استفاده می‌شود (۴۷). در این نقشه‌ها داده‌ها با استفاده از علائم و رنگ‌های متفاوت روی نقشه نشان داده می‌شوند. به منظور نقشه توزیع هر یک از پارامترهای مؤثر در طبقه‌بندی برای ۳۳ نقطه نمونه برداری شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS<sup>®</sup> 10.3 تهیه گردید. با توجه به پراکندگی نمونه‌های برداشت شده در دشت، به منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی و نمایش پیوسته داده‌ها با استفاده مقادیر پارامترها در فواصل بین نقاط نمونه برداری شده از روش زمین‌آمار (Geostatistics) برای درون‌یابی استفاده گردید که شامل پیش‌بینی و محاسبه نقاط نامعلوم از طریق نقاط معلوم است که بر اساس همبستگی مکانی تعیین می‌گردد (۱۹). تفاوت روش‌های مختلف درون‌یابی در نحوه محاسبه وزن‌ها است. روش‌های زمین‌آمار در مواردی که تغییرات مکانی متغیر زیاد باشد نتایج بهتری دارد. روش درون‌یابی کریجینگ (Kriging) بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است که به‌عنوان بهترین تخمین‌گر خطی نارایب است که واریانس تخمین در آن حداقل است تخمین‌گر کریجینگ که به‌صورت رابطه ۶ تعریف می‌شود (۲۷) قادر به محاسبه خطای مرتبط به هر تخمین است که روش‌های کلاسیک قادر به آن نیستند (۸).

$$Z_{(x)}^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{xi} \quad [6]$$

در این رابطه؛  $Z_x^*$  مقدار تخمین زده Z در نقطه x،  $\lambda_i$  وزن یا اهمیت نسبت داده‌شده به مقدار Z در نمونه  $\lambda_i$ ، مقدار  $Z_{xi}$  مشاهده شده Z در نقطه xi است. در بسیاری از مطالعات کریجینگ نوع عادی یا معمولی (Ordinary) به‌عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای پارامترهای هیدروشیمیایی معرفی شده است (۱۸، ۲۵ و ۴۰). نقشه‌های پیش‌بینی (Prediction map) پارامترهای موردنظر پس از مراحل تحلیل

به ساختار خاک آسیب می‌رساند و باعث تغییر در ویژگی‌های نفوذپذیری و زهکشی می‌گردد. این معیار از رابطه ۳ محاسبه گردید (۳۹).

$$SAR = Na / \sqrt{(Ca+Mg)/2} \quad [3]$$

در محاسبه این پارامتر بدون واحد اندازه‌گیری، غلظت عناصر آب برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر در معادلات جایگزین می‌گردد.

آب‌های مصرفی صنایع وابسته به نوع صنعت و نوع مصرف در بخش‌های مختلف نیز می‌بایست دارای کیفیت و ویژگی‌های معینی باشند. مهم‌ترین عوامل تعیین کیفیت آب‌های صنعتی شامل پارامترهای اسیدیته، قلیایت (Alkalinity)، سختی، درجه حرارت، TDS و میزان گازهای محلول در آب است. به این منظور کیفیت شیمیایی آب از نظر تعادل شیمیایی و پیدایش پدیده‌های خوردگی (Corrosion) و رسوب‌گذاری (Scaling) آب زیرزمینی در سه طبقه رسوب‌گذار، متعادل و خورنده طبقه‌بندی گردید (۳۸). شاخص لانژیئر (Langelier) برای سنجش کیفیت آب برای صنعت بر اساس رابطه‌های ۴ و ۵ استفاده گردید (۲۸).

$$LI = pH_a - pH_s \quad [4]$$

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D), \quad A = (\log(TDS) - 1) / 10,$$

$$B = -13.12 \log(^{\circ}C + 273) + 34.55, \quad [5]$$

$$C = \log[TH: Ca^{2+} \text{ as } CaCO_3] - 0.4,$$

$$D = \log[ALK: alkalinity \text{ as } CaCO_3]$$

در این رابطه‌ها، LI شاخص لانژیئر است که تغییرات موردنیاز pH برای رسیدن آب به حالت تعادل را به‌صورت تفاوت بین  $pH_a$  واقعی و  $pH_s$  اشباع‌شده (رابطه ۵) توسط کربنات کلسیم به‌عنوان شاخصی برای بیان خوردگی و رسوب‌گذاری بیان می‌کند. A تابع TDS برحسب میلی‌گرم بر لیتر، B تابع درجه حرارت برحسب درجه سلسیوس ( $^{\circ}C$ )، C

سختی و فلزات سنگین Fe, Mn و Al بیش از مقدار حدمجاز (ML) استاندارد WHO آب شرب (۴۵) می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی‌های ارائه‌شده مقادیر حدمطلوب EC مناسب برای آب شرب کمتر از ۷۵۰ و مقادیر حدمجاز آن ۷۵۰-۱۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است. بر پایه نتایج و بررسی نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی (شکل ۲) مشاهده گردید که در نواحی شمالی مرکز دشت و خروجی دشت (نواحی شرقی) دارای بیشترین شوری با مقادیر بیش از حدمجاز هستند. بر این اساس شوری آب زیرزمینی مرتبط با برهم‌کنش آب-سنگ و انحلال سازندهای شورکننده (به‌طور عمده سازند میوسن در شمال غرب منطقه)، کاهش بارندگی و افزایش تبخیر همراه با تشکیل شوره‌زارهای فصول خشک، نفوذ شورآبه‌ها و آبشویی رسوبات تبخیری ناشی از آن‌ها تعیین گردید. به‌جز نقاط دارای EC بالا که در آن‌ها آنیون Cl غالب است، در بقیه نقاط نمونه‌برداری شده آنیون  $\text{HCO}_3$  غالب است که در نتیجه انحلال گسترده سازندهای آهکی در منطقه مطالعاتی است (۹).

مقادیر میانگین غلظت فلزات سنگین در منطقه مطالعاتی کمتر از مقادیر حدمجاز آن‌ها است ولی در چندین مورد نمونه مقادیر فلزات سنگین آهن و منگنز بیش از مقادیر حدمطلوب و غلظت آلومینیم بیش از حدمجاز استاندارد آب شرب تعیین گردیده است که به‌عنوان تهدیدی برای سلامت انسان محسوب می‌گردد. بر اساس مطالعات غلظت بالای فلزات سنگین در این مناطق می‌توان مرتبط با انحلال سازندهای زمین‌شناسی، استخراج معدن سنگ آهن، فعالیت واحدهای صنعتی و تغلیظ عناصر در آب زیرزمینی در نتیجه تبخیر بالا در مناطق با عمق کم سطح ایستابی باشد. مقادیر سختی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت نقده با مقدار میانگین ۵۹۶ میلی‌گرم بر لیتر بر اساس شاخص کیفی طبقه‌بندی سختی آب (۴۴) حدود ۸۸ درصد جزو آب‌های خیلی سخت و ۱۲ درصد جزو آب‌های سخت است که از نظر شرب از مقدار حدمجاز آن نیز تجاوز می‌کند. سختی آب بر اساس نوع سازندهای در تماس با آب متفاوت است به‌طوری‌که سازندهای آهکی در تماس با جریانات آبی تأثیر بیشتری در افزایش سختی منابع آبی منطقه دارند.

واریوگرام (Variogram)، برازش مدل و اعتبارسنجی مدل درونیابی به‌وسیله ضریب تبیین R تهیه شد که مقدار آن از رابطه ۷ تعیین گردید که بهترین جواب مدل برای مقادیر نزدیک ۱ است (۲۶).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2} \quad [7]$$

در این رابطه؛  $x_i$  نتایج مشاهداتی (معلوم) برای داده  $i$ ،  $\bar{x}$  میانگین نتایج مشاهداتی،  $\bar{y}$  نتایج محاسباتی برای  $i$  و  $\bar{y}$  میانگین نتایج محاسباتی است. در مطالعات مربوط به تهیه نقشه‌های توزیع پارامترهای کیفی آب معمولاً مدل گوسی (Gaussian) برازش بیشتری نشان می‌دهد (۱۳ و ۳۱).

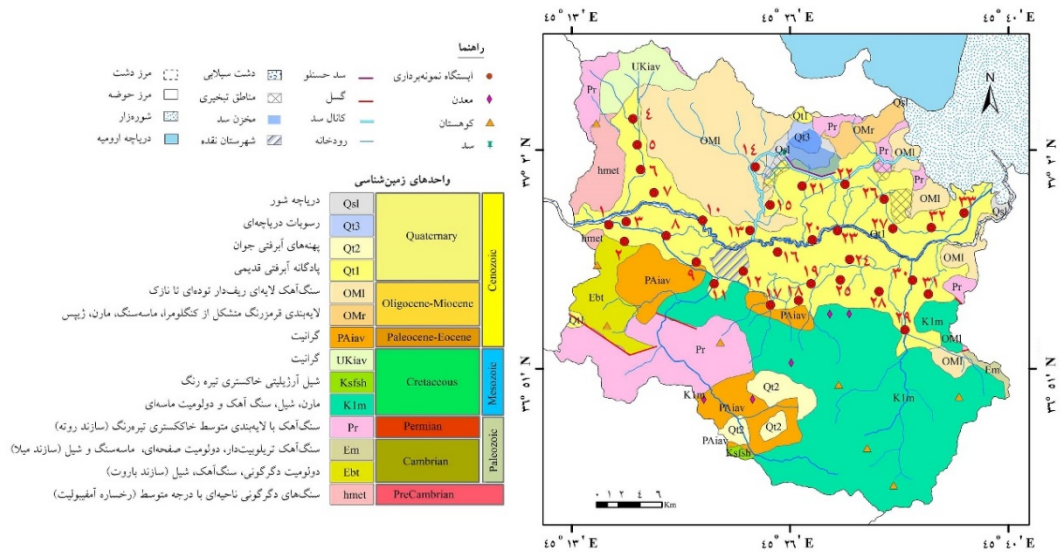
هر یک از پارامترهای مؤثر در طبقه‌بندی کیفی آب با توجه به نوع کاربری شرب، کشاورزی و صنعت به روش درونیابی کریجینگ عادی و مدل نوع Gaussian تهیه گردید. نوع تصویر لایه‌های درونیابی‌شده به‌منظور اعمال محاسبات بعدی به رستر (با مقادیر Cell size برابر ۱۰۰) تبدیل شده و به مرز دشت تعمیم داده شد. رده‌بندی هر یک از لایه‌ها با توجه به طبقه‌بندی بازه اعداد ارائه‌شده توسط طبقه‌بندی کیفی شولر (شرب)، ویلکاکس (کشاورزی) و شاخص لائزبلر (صنعتی) صورت پذیرفت. به این منظور از ابزار Reclassify استفاده گردید که در این مرحله هر بازه عددی مرتبط با طبقه‌بندی کیفی پارامتر با یک عدد کدگذاری می‌گردد. در مرحله بعد مناطق همپوشان لایه‌های رده‌بندی‌شده هر گروه کیفی آب در محدوده مطالعاتی با استفاده از ابزار Raster calculator تعیین گردید و سپس لایه رستر نهایی نقشه طبقه‌بندی کیفی آب زیرزمینی برای کاربری‌های موردنظر تهیه گردید.

## نتایج و بحث

### ارزیابی کیفیت آب شرب

با توجه به نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آبی برداشت‌شده از دشت نقده مطابق جدول ۱ مشاهده می‌گردد که غلظت برخی از پارامترهای هیدروشیمیایی مانند شوری (EC)،





شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی

جدول ۱. نتایج آنالیز آزمایشگاهی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت نقره و مقایسه نسبت به مقادیر استاندارد آب شرب

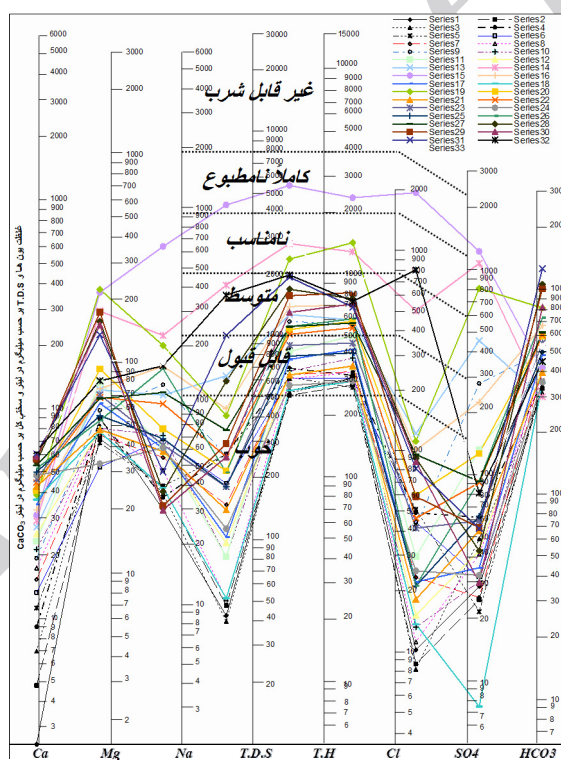
استاندارد WHO		میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف از معیار	کشیدهی	کشیدهی	واحد	پارامتر
ML	DL								
۱۵۰۰	۷۵۰	۱۴۹۱/۳۰	۸۶۴۰	۴۲۶	۱۶۶۹/۵۶	۲/۹۹	۱۰/۳۶	میکروزیمنس بر سانتی‌متر	EC
ND	۱۰۰۰	۱۲۴۱/۷۹	۵۴۳۲	۵۰۶	۹۹۰/۱۵	۲/۷۳	۹/۴۵	میلی‌گرم بر لیتر	TDS
ND	۷/۵-۸/۵	۷/۷۲	۸/۱۰	۷/۰۳	۰/۲۶	-۱/۰۸	۰/۹۸	-	pH
۵۰۰	۲۰۰	۵۹۶/۱۵	۲۳۶۱	۲۷۶	۴۱۶/۹۹	۲/۸۱	۹/۷۸	میلی‌گرم بر لیتر	TH (CaCO <sub>3</sub> )
		۴۳۱/۵۳	۱۰۳۶	۲۴۶	۱۹۳/۳۶	۱/۶۲	۲/۳۲	میلی‌گرم بر لیتر	Alk (CaCO <sub>3</sub> )
-	۳۰۰	۱۴۰/۱۰	۳۷۲	۵۲	۸۸/۵۰	۱/۴۵	۱/۰۶	میلی‌گرم بر لیتر	Ca <sup>2+</sup>
-	۳۰	۵۹/۸۳	۳۵۴	۱۹	۶۱/۲۸	۳/۷۴	۱۷/۱۱	میلی‌گرم بر لیتر	Mg <sup>2+</sup>
ND	۲۰۰	۱۲۰/۳۵	۱۰۳۹	۸/۰۸	۲۱۲/۸۱	۳/۲۲	۱۱/۳۲	میلی‌گرم بر لیتر	Na <sup>+</sup>
		۴/۰۴	۵۱	۰/۶۱	۸/۹۳	۵/۰۲	۲۷/۰۱	میلی‌گرم بر لیتر	K <sup>+</sup>
		۵۲۶/۲۲	۱۲۶۴	۳۰۰	۲۳۵/۷۹	۱/۶۲	۲/۳۲	میلی‌گرم بر لیتر	HCO <sub>3</sub>
۵۰۰	۲۵۰	۱۶۹/۵۹	۱۲۴۰	۷/۴۳	۳۰۰/۰۷	۲/۷۶	۶/۹۵	میلی‌گرم بر لیتر	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
ND	۲۵۰	۱۷۸/۹۵	۱۹۸۶	۸/۰۰	۴۱۵/۶۵	۳/۴۴	۱۲/۲۴	میلی‌گرم بر لیتر	Cl <sup>-</sup>
۵۰		۱۶/۵۱	۵۵/۰۹	۰/۲۸	۱۳/۰۳	۰/۸۸	۱/۰۸	میلی‌گرم بر لیتر	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		۲۴/۴۶	۳۳/۷۱	۱۶/۹۵	۴/۳۰	۰/۱۰	-۰/۳۵	میلی‌گرم بر لیتر	SiO <sub>2</sub>
		۰/۰۹۱	۰/۷۹۰	DL	۰/۱۸	۲/۵۱	۶/۴۶	میلی‌گرم بر لیتر	Li
۱/۵	-	۰/۵۷۵	۱/۶۱۰	۰/۳۲۰	۰/۲۶	۲/۵۵	۷/۳۹	میلی‌گرم بر لیتر	F
۲/۴		۰/۸۴۲	۱/۱۷۰	۰/۷۲۰	۰/۰۹	۱/۷۵	۳/۸۷	میلی‌گرم بر لیتر	B
		۰/۰۲۴	۰/۰۵۲	۰/۰۰۲	۰/۰۱	-۰/۰۷	۱/۳۵	میلی‌گرم بر لیتر	Br
۰/۰۱	-	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۳	DL	۰۰,۰	۵/۰۲	۲۶/۲۴	میلی‌گرم بر لیتر	As
ND	۰/۳	۰/۱۱۳	۰/۸۵۲	DL	۰/۲۰	۳/۰۹	۹/۰۷	میلی‌گرم بر لیتر	Fe
۰/۴	۰/۱	۰/۰۶۰	۰/۹۵۲	DL	۰/۱۷	۵/۴۰	۳۰/۰۸	میلی‌گرم بر لیتر	Mn
ND	۳	۰/۰۴۹	۰/۲۵۱	DL	۰/۰۶	۲/۰۷	۴/۰۴	میلی‌گرم بر لیتر	Zn
۰/۰۵	-	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹	DL	۰/۰۰	۲/۲۵	۳/۶۶	میلی‌گرم بر لیتر	Cr
۰/۲	۰/۱	۰/۲۰۱	۱/۹۷۰	DL	۰/۳۵	۴/۸۳	۲۵/۴۹	میلی‌گرم بر لیتر	Al

ND: مقدار تعیین نشده (Not Detected) DL: مقادیر کمتر از حد تشخیص دستگاهی (Detection Limit)

دره‌بندی کیفی آب شرب توسط طبقه‌بندی شولر در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس درصد نمونه‌های قرارگرفته در هر رده کیفی و توزیع نمونه‌ها در نمودار شولر (شکل ۳) دارند.

جدول ۲. طبقه‌بندی کیفی آب شرب بر اساس پارامترهای هیدروشیمیایی

رده	پارامتر واحد		TDS		TH		پارامتر واحد	
	درصد شولر	میلی‌گرم بر لیتر	درصد شولر	میلی‌گرم بر لیتر	درصد شولر	میلی‌گرم بر لیتر	درصد شولر	میلی‌گرم بر لیتر
۱	خوب و کاملاً بی‌مزه	<۵۰۰	۰	<۲۵۰	۰	<۱۱۵	۷۹	<۱۱۷/۵
۲	قابل شرب و دارای کمی طعم	۵۰۰-۱۰۰۰	۵۲	۲۵۰-۵۰۰	۵۲	۱۱۵-۲۳۰	۹	۱۱۷/۵-۳۵۵
۳	تا حدودی نامناسب برای شرب	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۳۶	۵۰۰-۱۰۰۰	۳۹	۲۳۰-۴۶۰	۶	۳۳۵-۷۱۰
۴	نامناسب و با طعم نامطبوع	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۹	-۲۰۰۰	۶	۴۶۰-۹۲۰	۳	۷۱۰-۱۴۲۰
۵	نامناسب و با طعم کاملاً نامطبوع	۴۰۰۰-۸۰۰۰	۳	-۴۰۰۰	۳	۹۲۰-۱۸۴۰	۳	۱۴۲۰-۲۳۰۴
۶	غیر قابل شرب	>۸۰۰۰	۰	>۴۰۰۰	۰	>۱۸۴۰	۰	>۲۳۰۴



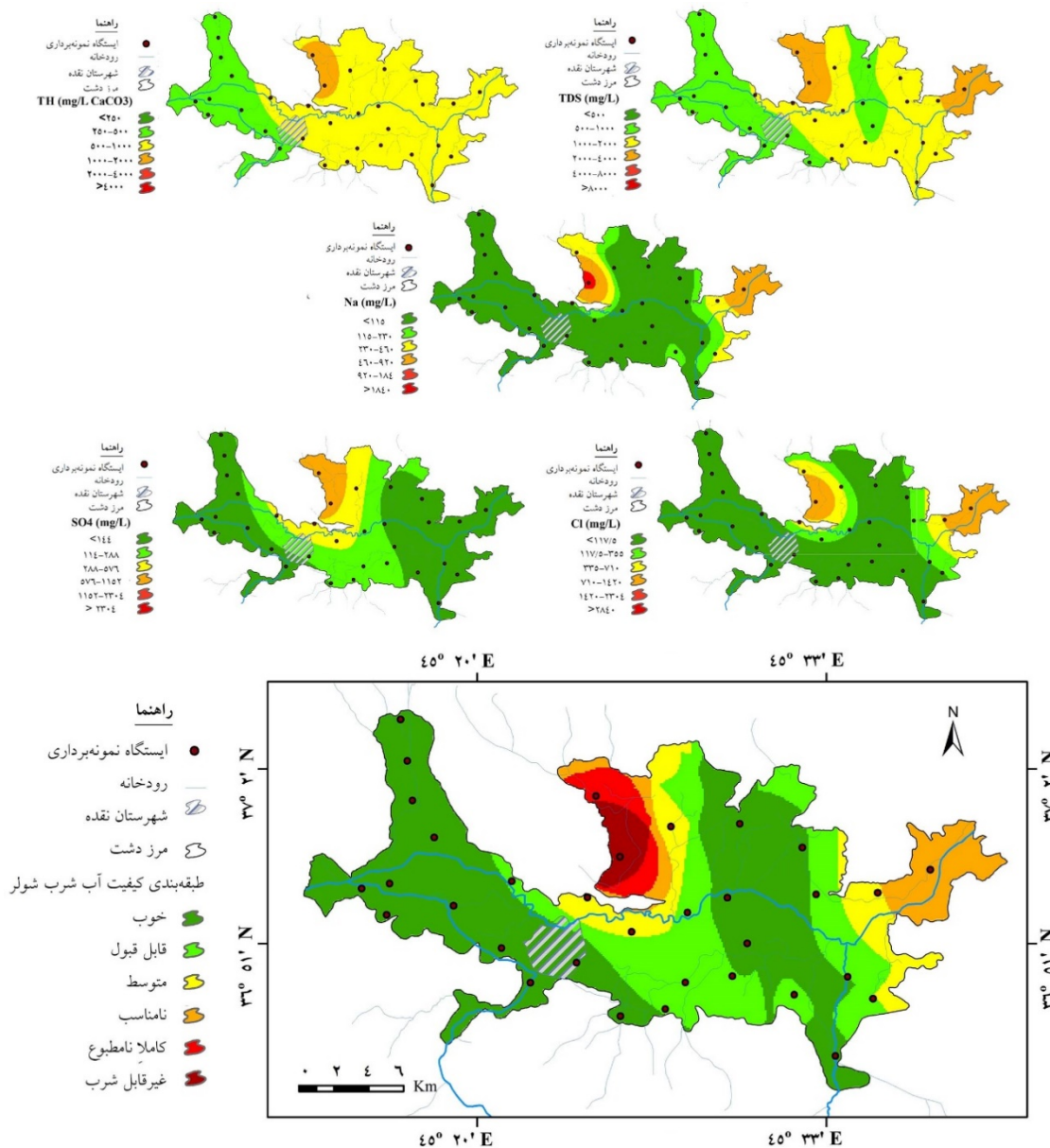
شکل ۳. توزیع نمونه‌ها در نمودار طبقه‌بندی کیفی آب شرب شولر

شامل کل مواد جامد محلول، سختی، سدیم، کلر و سولفات به روش درون‌یابی کریجینگ انجام شد و پس از رده‌بندی و ترفیق لایه‌های رستری پارامترهای مؤثر درون‌یابی‌شده، نقشه

نقشه پهنه‌بندی کیفی آب شرب بر اساس طبقه‌بندی کیفی آب شرب شولر در شکل ۴ ارائه شده است. تعیین توزیع مکانی هر یک از پارامترهای تأثیرگذار در رده‌بندی کیفی آب شرب

هستند که در نواحی غربی (ورودی آبخوان) و جنوبی دشت توزیع شده‌اند. همچنین نواحی با کیفیت نامناسب آب شرب به‌طور عمده در نواحی شمالی مرکز دشت و شرقی دشت (مناطق انتهایی دشت به سمت دریاچه ارومیه) قرار دارند.

نهایی رده‌بندی شده کیفیت آب شرب تهیه گردید. مطابق شکل ۴ بر اساس پهنه‌بندی کیفی هر یک از پارامترهای مؤثر در طبقه‌بندی آب شرب مشاهده می‌گردد که کیفیت اکثر نمونه‌های آبی در محدوده مطالعاتی در حد قابل قبولی برای مصارف شرب



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت نقده جهت مصارف شرب

می‌شوند (۲۲ و ۲۴). بر اساس داده‌های موجود در محدوده مطالعاتی آبی باکیفیت خیلی خوب برای کشاورزی وجود نداشت همچنین حدود ۴۶ درصد نمونه‌ها دارای رده‌بندی

#### ارزیابی کیفیت آب کشاورزی

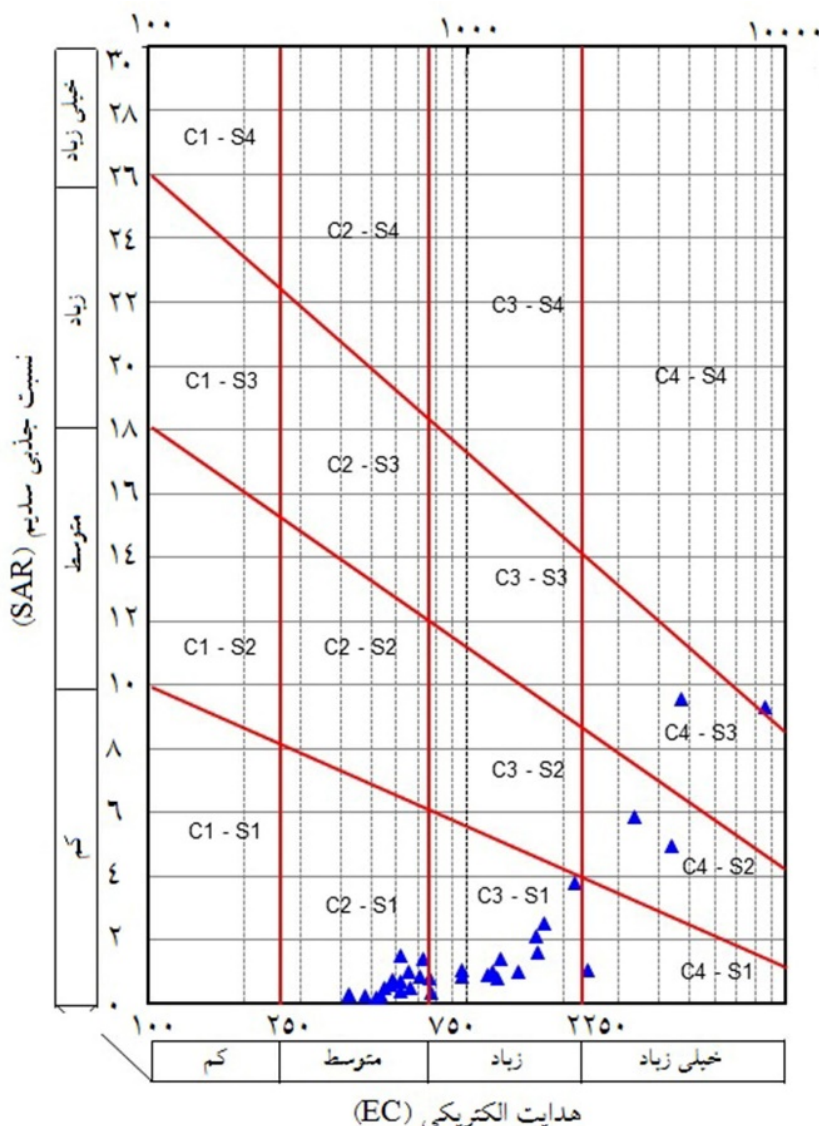
آب‌های آبیاری منطقه مطالعاتی نقده مطابق جدول ۳ به ۴ رده باکیفیت خیلی خوب، خوب، متوسط و نامناسب طبقه‌بندی

اساس مشاهده می‌گردد که قسمت عمده نمونه‌های برداشت‌شده از منابع آب زیرزمینی دشت نقده در زیررده C3S1 و C2S1 قرار دارند که به ترتیب دارای کیفیت شوری تقریباً مناسب (خطر شوری متوسط، به‌جز گیاهان حساس به شوری) و نامناسب (خطر شوری بالا، به‌جز خاک‌های زهکش‌دار و گیاهان باتحمل بالا) هستند.

خوب (کمی شور و مناسب برای کشاورزی)، ۳۶ درصد متوسط (شور و قابل استفاده برای کشاورزی) و ۱۵ درصد جزو آب‌های نامناسب (خیلی شور و نامناسب برای کشاورزی) هستند. این طبقه‌بندی کیفی براساس خطر شوری (Salinity hazard) و خطر سدیم (Alkalinity hazard) مطابق نمودار ویلاکس (شکل ۵) به ۱۶ زیررده قابل تقسیم است (۳۲). بر این

جدول ۳. طبقه‌بندی کیفی آب کشاورزی بر اساس خطر شوری و خطر قلیائیت

کیفیت	خطر شوری	رده‌بندی ویلاکس	EC (میکروزیمنس بر سانتی‌متر)	درصد رده‌بندی کیفی آب کشاورزی ویلاکس نمونه	طبقه‌بندی کیفی رده‌بندی	رده
مناسب برای همه نوع خاک	کم	C1	<۲۵۰	۰	C1S1	۱ خیلی خوب
				۰	C1S2	
تقریباً مناسب (به‌جز گیاهان حساس به شوری)	متوسط	C2	۲۵۰-۷۵۰	۴۶	C2S1	۲ خوب
				۰	C2S2	
نامناسب (به‌جز خاک‌های زهکش‌دار و گیاهان باتحمل بالا)	زیاد	C3	۷۵۰-۲۲۵۰	۰	C1S3	۳ متوسط
				۰	C2S3	
غیرقابل استفاده (به‌جز برای گیاهان بسیار مقاوم)	خیلی زیاد	C4	<۲۲۵۰	۳۹	C3S1	
				۰	C3S2	
کیفیت	خطر قلیائیت	رده‌بندی ویلاکس	SAR	۰	C3S3	۴ نامناسب
				۰	C1S4	
مناسب	کم	S1	<۱۰	۰	C3S4	
				۳	C4S1	
مناسب (باعث قلیایی شدن زمین‌های رسی می‌شود)	متوسط	S2	۱۰-۱۸	۶	C4S2	
				۳	C4S3	
قلیائیت خاک را به حد زیان‌آوری می‌رساند	زیاد	S3	۱۸-۲۶	۳	C4S4	
				۳	C4S4	
نامطلوب برای آبیاری	خیلی زیاد	S4	>۲۶	۳	C4S4	



شکل ۵. توزیع نمونه‌ها در نمودار طبقه‌بندی کیفی کشاورزی ویلکاکس

کیفیت آب کشاورزی تهیه گردید. بر این اساس مشاهده می‌گردد که خطر قلیایت در تمام محدوده مطالعاتی در رده کم قرار دارد ولی خطر شوری به‌طور عمده در نواحی شمالی مرکز دشت و شرقی دشت مشاهده می‌گردد که منطبق بر مناطق باکیفیت نامناسب آب‌های کشاورزی در نقشه پهنه‌بندی نهایی نیز است.

برای تهیه نقشه پهنه‌بندی کیفی آب کشاورزی مطابق شکل ۶، ابتدا نقشه توزیع هر یک از پارامترهای تأثیرگذار در طبقه‌بندی کیفی آب کشاورزی شامل هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذبی سدیم (SAR) به روش درون‌یابی کریجینگ انجام شد و پس از رده‌بندی و تلفیق لایه‌های رستری پارامترهای مؤثر درون‌یابی‌شده، نقشه نهایی رده‌بندی‌شده







چغندر قند، گندم، ذرت، یونجه، جو، نخود، کدو، سیب زمینی، پیاز و گوجه فرنگی صورت می گیرد (۲). مقدار میانگین کلر آب زیر زمینی دشت حدود ۱۷۸/۹۵ میلی گرم بر لیتر است که بر اساس طبقه بندی ارائه شده به منظور تأثیر مقادیر کلر بر روی محصولات کشاورزی (۱۷) به گیاهان نسبتاً حساس مانند محصولات سیب زمینی، یونجه، گندم، ذرت، گوجه فرنگی آسیب می رساند.

مطابق جدول ۴ مقادیر میانگین پارامترهای آب زیر زمینی دشت نقده نسبت به استانداردهای تعیین شده توسط FAO مقایسه گردیده است. طبق مقادیر استاندارد تعیین شده FAO (۲۰) آب زیر زمینی از نظر مقادیر هدایت الکتریکی، سدیم، بر، نیترات، بیکربنات و منیزیم دچار مشکل کم تا متوسط برای مصارف آبیاری کشاورزی است. با توجه به اطلاعات ارائه شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی، کشاورزی در سطح دشت نقده عمدتاً برای محصولات

جدول ۴. مقایسه مقادیر میانگین پارامترهای آب زیر زمینی دشت نقده نسبت به استانداردهای تعیین شده توسط FAO

پارامتر	واحد	میانگین نمونه ها	رده بندی کیفی		
			مشکل کم تا متوسط	مشکل جدی	بدون مشکل
EC	دسی زیمنس بر	۱/۴۹۱	۰/۷-۳	>۳	<۰/۷
SAR	-	۱/۷۶	۳-۹	>۹	<۳*
Na	میلی اکی والان بر	۵/۲۴	>۳		<۳
Cl	میلی اکی والان بر	۵/۰۵	۳-۱۰	>۳	<۳*
B	میلی گرم بر لیتر	۰/۸۴	۰/۷-۳	>۳	<۰/۷
NO <sub>3</sub>	میلی گرم بر لیتر	۱۶/۵۱	۵-۳۰	>۳۰	<۵
HCO <sub>3</sub>	میلی اکی والان بر	۷/۷۲	۱/۵-۸/۵	>۸/۵	<۱/۵
pH	-	۸/۱۱	محدوده متداول ۶/۵-۸/۳		
			حد اکثر غلظت توصیه شده (ML) < >		
As	میلی گرم بر لیتر	۰/۰۰۰۲	۰/۱		
F	میلی گرم بر لیتر	۰/۵۷۴	۱		
Zn	میلی گرم بر لیتر	۰/۰۴۹	۲		
Mn	میلی گرم بر لیتر	۰/۰۶۰	۰/۲		
Mg	میلی گرم بر لیتر	۵۹/۸۳	۰/۲		
Al	میلی گرم بر لیتر	۰/۲۰۱	۵		
Fe	میلی گرم بر لیتر	۰/۱۱۳	۵		
Li	میلی گرم بر لیتر	۰/۰۹۲	۲/۵		

تحت اشباع بودن آب نسبت به کربنات کلسیم و حالت خورندگی آب است. بر اساس طبقه بندی کیفی آب صنعتی حدود ۶۱ درصد از نمونه ها دارای ویژگی رسوب گذار و حدود ۳۹ درصد خورنده هستند (جدول ۵).

#### ارزیابی کیفیت آب صنعتی

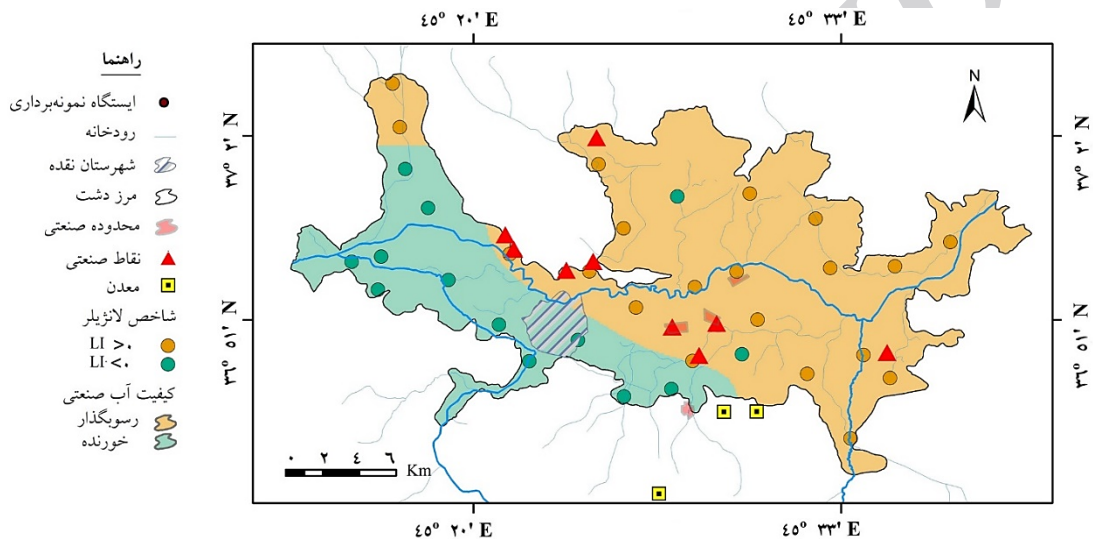
در طبقه بندی مربوطه شاخص لائزیر LI با مقادیر صفر نشانگر حالت تعادل آب (عدم تمایل به رسوب گذاری یا خورندگی)، مقادیر مثبت نشانگر فوق اشباع بودن آب نسبت به کربنات کلسیم و حالت پوسته گذاری و مقادیر منفی نشانگر

جدول ۵. طبقه‌بندی کیفی آب صنعتی بر اساس شاخص لانژیلر

درصد نمونه	شاخص لانژیلر	کیفیت آب برای مصارف صنعتی
۶۱	LI > ۰	رسوب‌گذار
۰	LI = ۰	متعادل
۳۹	LI < ۰	خورنده

صنعتی موجود در سطح دشت از جمله دو شهرک صنعتی واقع در غرب روستای محمدیار و شرق تصفیه‌خانه نقده، کارخانه‌ها متعدد کاشی، بسته‌بندی و نساجی در محدوده آب‌های زیرزمینی رسوب‌گذار واقع شده‌اند.

براساس توزیع کیفی آب صنعتی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت نقده مطابق شکل ۸ مشاهده می‌گردد که در نواحی غربی (ورودی دشت) دارای ویژگی خورندگی و نواحی میانی و پایانی دشت دارای ویژگی رسوب‌گذار هستند. اکثر واحدهای



شکل ۸. نقشه پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت نقده جهت مصارف صنعتی

پ برای هر نوع مصرفی در صنعت نیازمند تصفیه آب هستند و توصیه می‌شود بیش‌تر برای مصارف آب خنک‌کننده که نیازمند تصفیه بالایی نمی‌باشند، به‌کار روند. باتوجه به نیاز به سطح بالای تصفیه آب برای فرآیندهای حساس، استفاده از این آب‌ها در این فرآیندها توصیه نمی‌شود. با مقایسه مقادیر استاندارد ارائه‌شده با مقادیر میانگین این پارامترها در منابع آب زیرزمینی دشت نقده مشاهده می‌گردد که اسیدیته آب برای هر نوع از کاربری صنعتی مناسب است ولی از نظر غلظت پارامترهای آهن، منگنز، سولفات و کلر آب در رده کیفی خوب، از نظر قلیائیت و سیلیس در رده کیفی متوسط و از نظر سختی و TDS در رده کیفی ضعیف قرار دارد.

مطابق جدول ۶ استاندارد کیفیت پارامترهای تأثیرگذار از جمله غلظت آهن، منگنز، اسیدیته، قلیائیت و هدایت الکتریکی در کیفیت سه گروه آب با کاربری صنعتی (۷) ارائه شده است. گروه الف برای صنایعی مناسب است که در فرآیندها به آب با کیفیت بسیار بالا نیاز نیست و بدون تصفیه و یا با حداقل تصفیه قابل استفاده می‌باشند و برای فرآیندهای با حساسیت زیاد، باید تا حد موردنیاز تصفیه شود. گروه ب نیز برای فرآیندهای صنعتی با کمترین حساسیت به کیفیت آب، بدون تصفیه و یا با حداقل تصفیه قابل استفاده می‌باشند ولی برای فرآیندهای صنعتی نسبتاً حساس، انجام فرآیندهای تصفیه آب فیزیکی و شیمیایی با توجه به نوع استفاده، لازم است. گروه

جدول ۶. مقایسه مقادیر میانگین پارامترهای آب زیرزمینی دشت نقده نسبت به استاندارد کیفیت آب صنعتی

پارامتر	واحد	مقدار میانگین آب زیرزمینی	استاندارد کیفیت	
			گروه الف	گروه ب
			کیفیت خوب	کیفیت متوسط
Fe	میلی گرم بر لیتر	۰/۱۱۳	<۰/۳	<۱
Mn	میلی گرم بر لیتر	۰/۰۶۰	<۰/۳	<۱
pH	-	۷/۷۲	۶-۹	۶-۹
Alkalinity	میلی گرم بر لیتر	۴۳۱/۵۳	<۱۵۰	<۵۰۰
TH	میلی گرم بر لیتر	۵۹۶/۱۵	<۲۵۰	<۵۰۰
TDS	میلی گرم بر لیتر	۱۲۴۱/۷۵	<۵۰۰	<۱۰۰۰
SO <sub>4</sub>	میلی گرم بر لیتر	۱۶۹/۵۹	<۲۵۰	<۵۰۰
Cl	میلی گرم بر لیتر	۱۷۸/۹۵	<۲۰۰	<۵۰۰
SiO <sub>2</sub>	میلی گرم بر لیتر	۲۴/۴۶	<۲۰	<۵۰

### تشکر و قدردانی

از مسئول محترم آزمایشگاه آب شناسی گروه علوم زمین دانشگاه تبریز و شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی که در انجام آنالیزهای آزمایشگاهی همکاری لازم را مبذول نمودند کمال تشکر و قدردانی به عمل می آید.

### منابع مورد استفاده

- کارستی دالاهو. سنجش ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۸(۲): ۱-۱۶.
- رحیمی بلوچی، ل.، آ. زرکار، و ب. ملک محمدی. ۱۳۹۳. بررسی تغییرات زیست محیطی با استفاده از سنجش ازدور و شاخص کیفیت آب (مطالعه موردی: تالاب بین المللی شادگان). سنجش ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵(۲): ۶۱-۷۳.
- سازمان آب منطقه ای استان آذربایجان غربی. ۱۳۹۰. مطالعات بهنگام سازی بیان منابع آب محدوده های مطالعاتی حوضه آبریز دریاچه ارومیه منتهی به سال آبی ۸۹-۹۰. گزارش بیان منابع آب محدوده مطالعاتی نقده، جلد ۵، ضمیمه ۷، کد ۳۰۰۷.
- سازمان حفاظت محیط زیست. ۱۳۹۵. استاندارد کیفیت آب های ایران. معاونت محیط زیست انسانی دفتر آب و خاک. ۹۰ صفحه.
- صادقی اقدم، ف. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت منابع آب ورودی به سد سهند هشتگرد با تأکید بر آنومالی آرسنیک. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه زمین شناسی. دانشگاه تبریز. ۱۴۵ صفحه.
- صادقی اقدم، ف.، ا. اصغری مقدم، ع. ا. ندیری. ۱۳۹۷. بررسی شوری آب زیرزمینی آبخوان دشت نقده با استفاده از دیاگرام تحول رخساره های هیدروشیمیایی (HFE). تحقیقات منابع آب ایران، آماده انتشار، انتشار آنلاین از تاریخ ۲۷ مهر ۱۳۹۷.
- عباسی، ا. پ.، ح. ا. امانی، و م. زارعیان. ۱۳۹۳. ارزیابی کمی

- بهبادی کریمی، ح. و ک. امیدوار. ۱۳۹۶. تحلیل فضایی پارامترهای شیمیایی مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک تحلیل عاملی و مدل های زمین آماری (مطالعه موردی: دشت بیضاء-زرقان). سنجش ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۸(۴): ۱۷-۳۵.
- جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی. ۱۳۹۴. آمار محصولات کشاورزی زراعی و باغات شهرستان نقده در سال ۹۴-۱۳۹۳. ۱۰۰ صفحه.
- خداکرمی، ل.، ع. ر. سفیانیان، ا. محمدی توفیق، و ن. میرغفاری. ۱۳۹۳. بررسی غلظت عناصر سنگین مس، روی و آرسنیک با استفاده از RS و GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کبودآهنگ، رزن و خونجین- تلخاب در استان همدان). سنجش ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵(۳): ۴۵-۵۵.
- دسترنج، ع.، ا. نوحه گر، ا. ملکیان، ح. غلامی، م. جعفری اقدم. ۱۳۹۶. ارزیابی و تهیه نقشه آسیب پذیری آلودگی آبخوان

- York: Prentice hall publishing, 691 pp.
23. Fetter CW. 1999. Contaminant hydrogeology. Second edition. Prentice Hall Inc, 500 pp.
  24. Hounslow AW. 1995. Water quality data: analysis and interpretation. Lewis publishers, 397 pp.
  25. Kadhim N. 2018. Geospatial technology for groundwater quality parameter assessment in Dhi-Qar governorateiraq by using GIS. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 9(1): 358-370.
  26. Krause P, Boyle D, Båse F. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*, 5: 89-97.
  27. Li J, Heap AD. 2014. Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling & Software*, 53: 173-189.
  28. Llyod J, Heathcote J. 1985. Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater: an introduction. Clarendon Press, Oxford. 296 pp.
  29. Nadiri AA, Aghdam FS, Khatibi R, Moghaddam AA. 2018. The problem of identifying arsenic anomalies in the basin of Sahand dam through risk-based 'soft modelling'. *Science of the Total Environment*, 613: 693-706.
  30. Nag S, Das S. 2014. Quality assessment of groundwater with special emphasis on irrigation and domestic suitability in Suri I & II Blocks, Birbhum District, West Bengal, India. *American Journal of Water Resources*, 2(4): 81-98.
  31. Nas B. 2009. Geostatistical Approach to Assessment of Spatial Distribution of Groundwater Quality. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18(6): 1073-1082.
  32. Ntanganedzeni B, Elumalai V, Rajmohan N. 2018. Coastal Aquifer Contamination and Geochemical Processes Evaluation in Tugela Catchment, South Africa-Geochemical and Statistical Approaches. *Water*, 10(6): 687.
  33. Özler HM. 2000. Hydrogeology and geochemistry in the Curuksu (Denizli) hydrothermal field, western Turkey. *Environmental Geology*, 39(10): 1169-1180.
  34. Panaskar D, Wagh V, Muley A, Mukate S, Pawar R, Aamalawar M. 2016. Evaluating groundwater suitability for the domestic, irrigation, and industrial purposes in Nanded Tehsil, Maharashtra, India, using GIS and statistics. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(13): 615.
  35. Pillai G, Khan I. 2016. Assessment of Groundwater Suitability for Drinking and Irrigation Purpose in the Dimbhe Command Area of River Ghod, Maharashtra, India. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 4(12): 142-157.
  36. Purwaningsih E, Notosiswoyo S. 2013. Hydrochemical study of groundwater in Sidoarjo mud volcano area, East Java Indonesia. *Procedia*
- وضعیت بیابانزایی با استفاده از مدل مدالوس و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: دشت شمیل - استان هرمزگان). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۹(۱): ۸۷-۹۷.
۱۱. وازت نیرو. ۱۳۹۰. راهنمای مطالعات کیفیت آب مخازن سدهای بزرگ. معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، نشریه ۵۵۰، ۱۱۲ صفحه.
12. Abbasnia A, Yousefi N, Mahvi AH, Nabizadeh R, Radfard M, Yousefi M, Alimohammadi M. 2018. Evaluation of groundwater quality using water quality index and its suitability for assessing water for drinking and irrigation purposes: Case study of Sistan and Baluchistan province (Iran). *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*: 1-18.
  13. Ahmad Yahya S, Fauziah Ahmad MK. 2013. Study of spatial variability into contaminated soil using Kriging techniques at Basrah. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(6): 1-6.
  14. Andrew ED, Clesceri LS, Greenberg AE, Franson MAH. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. *American Public Health Association*, 21: 1600.
  15. Arumugam K, Rajesh Kumar A, Elangovan K. 2015. Evolution of Hydrochemical Parameters and Quality Assessment of Groundwater in Tirupur Region, Tamil Nadu, India. *International Journal of Environmental Research*, 9(3): 1023-1036.
  16. ASTM (American Society for Testing and Materials). 2002. Annual book of ASTM standards. Section 11, Water and Environmental Technology, 11.01. 1020 pp.
  17. Ayers RS, Westcot DW. 1994. Water quality for agriculture- Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 29 Rev.
  18. Bhunia GS, Keshavarzi A, Shit PK, Omran E-SE, Bagherzadeh A. 2018. Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and irrigation using GIS and geostatistics techniques in semiarid region of Neyshabur, Iran. *Applied Water Science*, 8(6): 168.
  19. Deutsch CV, Journel AG. 1998. *GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide*. Oxford University Press. 345 pp.
  20. Dougherty TC, Hall AW. 1995. Environmental Impact Assessment of Irrigation and Drainage Projects- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 145 pp.
  21. Emberger L. 1930. La vegetation de la region mediterraneenne. *Essai d'une classification des groupments vegetaux*. *Rev. Gen. Bot*, 42: 641-662.
  22. Fetter CW. 1994. *Applied Hydrogeology*. New

- Earth and Planetary Science, 6: 234-241.
37. Qishlaqi A, Kordian S, Parsaie A. 2017. Hydrochemical evaluation of river water quality-a case study. *Applied Water Science*, 7(5): 2337-2342.
  38. Rice EW, Baird RB, Eaton AD. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22th edition. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation. 320 pp.
  39. Richard LA. 1954. Diagnosis and improvemet of saline alkali soils agriculture, Vol 160, Handbook 60, US Department of Agriculture, Washington DC. 420 pp.
  40. Sarangi A, Cox C, Madramootoo C. 2005. Geostatistical methods for prediction of spatial variability of rainfall in a mountainous region. *Transactions of the ASAE*, 48(3): 943-954.
  41. Schoeller H. 1955. *Geochimie des eaux souterraines*. Rev. Inst. Franc. Pétrole. Paris, 10(3):181- 213.
  42. Schwartz FW, Zhang H. 2003. *Fundamentals of Ground Water*: John Wiley and Sons Inc. 275 pp.
  43. Singh H, Bitz C, Nusbaumer J, Noone D. 2016. A mathematical framework for analysis of water tracers: Part 1: Development of theory and application to the preindustrial mean state. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 8(2): 991-1013.
  44. Todd DK, Mays LW. 2005. *Groundwater hydrology*. John Wiley and Sons, New York, 535 pp.
  45. WHO. 2011. *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4th ed. World Health Organization, 541 pp.
  46. Wilcox LV. 1955. *Classification and use of irrigation waters*. Circular No. 696. Washington: US Department of Agriculture. 19 pp.
  47. Yang C-S, Kao S-P, Lee F-B, Hung P-S. 2004. Twelve different interpolation methods: A case study of Surfer 8.0. In: *Proceedings of the XXth ISPRS Congress*. pp 778-785.
  48. Zhang Y, Chu C, Li T, Xu S, Liu L, Ju M. 2017. A water quality management strategy for regionally protected water through health risk assessment and spatial distribution of heavy metal pollution in 3 marine reserves. *Science of The Total Environment*, 599: 721-731.

Archive of SID



## Assessing the suitability and quality zoning of groundwater resources of Naqadeh plain for drinking, agriculture, and industrial purposes

F. Sadeghi Aghdam<sup>1\*</sup>, A. A. Nadiri<sup>2</sup>, A. A. Moghaddam<sup>3</sup>, E. A. Novinpour<sup>4</sup>

1. PhD Student of Hydrogeology, Department of Natural Sciences, University of Tabriz
2. Assoc. Prof. College of Earth Sciences, Department of Natural Sciences, University of Tabriz
3. Prof. College of Earth Sciences, Department of Natural Sciences, University of Tabriz
4. Assist. Prof. College of Geology, Department of Sciences, Urmia University

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 19 March 2018  
Accepted 6 January 2019  
Available online 19 February 2019

#### Keywords:

Groundwater  
Quality zoning map  
Geographic Information System (GIS)  
Naqadeh plain

### ABSTRACT

The Aquifer of Naqadeh plain, located in the southwestern part of Urmia Lake, providing water supply of the area. In order to evaluate and classify water resources quality, 33 samples were taken from operational wells in June 2016. Hydrogeochemical characteristics and concentration of heavy metals, major and minor ions were measured by means of standard methods. Feasibility studies for various consumption of groundwater were investigated using graphical methods and quality criteria of Schuler (drinking), Wilcox (agriculture) and Langelier (industrial) classification. Based on the available information, the spatial distribution of the effective parameters using GIS and geostatistical interpolation method (Kriging) was applied to generate water quality zoning maps. In this regard, the final maps of quality, zoning were prepared after creating the raster layers of the effective parameters, classification, and integration. According to the results the hardness degree of drinking water of all samples was high, and also the concentration of some parameters was more than drinking (WHO) and agriculture (FAO) water standard, so inappropriate quality of these resources should be considered. The evaluation of industrial water quality showed scaling property of 61% and corrosive property of 39% of samples. In addition, the agricultural water quality illustrated that 46% and 39% of water samples were placed in good and average quality, respectively. Analyzing the quality, zoning maps with geological information, land use and distribution of industrial units were carried out in the plain and the results show that quality of groundwater is inappropriate mainly in the northern and eastern parts of the plain.

\* Corresponding author e-mail address: [Fariba\\_Sadeghi@tabrizu.ac.ir](mailto:Fariba_Sadeghi@tabrizu.ac.ir)