ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت آبرفتی ارومیه در سامانه‌های آبیاری

صبا محمدی[۱] و حسین پیرخراطی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه
۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

نویسنده مسئول: h.pirkharrati@urmia.ac.ir *

دریافت: ۹۹/۱۲/۱۷ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۱۹ نوع مقاله: کاربردی

چکیده

کیفیت آب زیرزمینی جهت اهداف آبیاری در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. تحقیق حاضر، با هدف دست یافتن به کیفیت آب زیرزمینی دشت آبرفتی ارومیه، در سامانه‌های آبیاری می‌باشد؛ جایی‌که فعالیت‌های کشاورزی به دلیل افزایش روند خشکسالی در دریاچه ارومیه به آب‌های زیرزمینی وابسته است. در این مطالعه، از داده‌های مربوط به ۵۹ حلقه چاه آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی در فصل خشک سال ۱۳۹۷ استفاده شده است. داده‌ها از نظر پارامترهای کیفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند؛ سپس جهت بررسی تغییرات مکانی آب زیرزمینی و تعیین محدوده مناسب برای استفاده در سامانه‌های آبیاری، از تعدادی شاخص‌های کیفیت آب (شاخص نفوذپذیری، نسبت جذب منیزیم، نسبت جذب سدیم، نسبت کیلی، درصد سدیم، سدیم کربنات باقی مانده و شاخص اشباع لانژلیر) با استفاده از روش زمین‌آماری در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، استفاده گردید. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مقادیر مرتبط با پارامترهای کیفی pH، هدایت الکتریکی، کلسیم، سدیم، کلراید، سولفات، پتاسیم و کل جامدات محلول در حد مجاز می‌باشند؛ درحالی‌که، ۸/۵ درصد و ۱۷ درصد از چاه‌های آب زیرزمینی منطقه، به‌ترتیب در بی‌کربنات و منیزیم، دارای مقادیر بیش از حد مجاز بر اساس استاندارد سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO, 1994)، می‌باشند. 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 نشان می‌دهند. 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 می‌باشند؛ در حالی‌که، چاه‌های مطالعاتی منطقه، از نظر مقادیر محاسبه شده برای شاخص نسبت کیلی و اشباع لانژلیر، برای آبیاری نامناسب می‌باشند. نقشه‌های توزیع مکانی شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی نشان می‌دهد که قسمت مرکزی دشت آبرفتی ارومیه، بهترین زون جهت اهداف آبیاری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، دشت آبرفتی ارومیه، سامانه‌های آبیاری، شاخص‌های کیفیت آب، توزیع مکانی

۱- پیشگفتار

یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی برای بقای زندگی انسان آب است؛ که به دلیل افزایش روز افزون جمعیت و به دنبال آن، افزایش شهرنشینی، تقاضا برای این منبع ارزشمند بیش‌تر شده و در نتیجه کیفیت آب را با مشکلاتی مواجه کرده است؛ تا جایی که برای استفاده انسان نامناسب گردیده است (شارما و همکاران، ۲۰۱۵). آب زیرزمینی، بزرگ‌ترین منبع آب شیرین روی زمین است. کیفیت آن به‌طور مداوم تحت تاثیر منابع انسان زاد و طبیعی قرار دارد (کریشان و همکاران، ۲۰۱۶). افزایش شدید تقاضا برای آب به دلایل مختلف، منابع آب زیرزمینی را ارزشمندتر کرده است؛ به طوری‌که به یک منبع بسیار مهم در اهداف کشاورزی در بسیاری از کشورها که در آن، رودخانه‌ها و سیستم زهکشی کافی نمی‌باشد تبدیل شده است؛ بنابراین، کیفیت آب جهت اهداف آبیاری در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است (کیشان و همکاران، ۲۰۱۸).

شاخص‌های کیفیت آب در تصمیم‌گیری جهت مدیریت مناسب، تصفیه و توسعه عاقلانه منابع آب زیرزمینی مفید خواهند بود (آچاریا و همکاران، ۲۰۱۸). طبقه‌بندی‌های مختلف شاخص‌ها، بر اساس ترکیب و غلظت عناصر حل شده در آب، برای تعیین کیفیت آب آبیاری صورت گرفته است؛ از جمله، درصد سدیم (%Na)، شاخص نفوذپذیری (PI)، نسبت جذب سدیم (SAR)، نسبت کیلی (KR)، سدیم کربنات باقی مانده (RSC)، نسبت جذب منیزیم (MAR) و شاخص اشباع لانژلیر (LSI). هر یک از این شاخص‌ها جنبه‌های مختلف کیفیت آب را ارزیابی می‌کنند.

شاخص نسبت جذب سدیم، ارتباط بین غلظت یون‌های سدیم، منیزیم و کلسیم موجود در نمونه‌های آب را تعیین می‌کند. استفاده مستمر از آب با مقادیر SAR بالا، که نشان‌دهنده مقدار یون سدیم است، بر ساختمان خاک تاثیر گذاشته و منجر به کاهش نفوذپذیری آن می‌شود؛ علاوه بر این، درصد سدیم، برای ارزیابی خطر سدیم و مناسب بودن یا نبودن آب برای آبیاری استفاده می‌شود. شاخص نسبت کیلی، یکی از شاخص‌های مبتنی بر سطح غلظت یون سدیم در برابر غلظت یون کلسیم و منیزیم برای ارزیابی کیفیت آب آبیاری می‌باشد؛ که در سال ۱۹۶۳، توسط کیلی معرفی شد. شاخص نفوذپذیری، در ارزیابی قابلیت حرکت آب در خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. نفوذپذیری در خاک، تحت تأثیر استفاده طولانی مدت از آب آبیاری (با غلظت بالای نمک) می‌باشد؛ چرا که غلظت یون‌های سدیم، منیزیم، کلسیم و بی‌کربنات، نفوذپذیری خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. شاخص نسبت جذب منیزیم، نشان‌دهنده سطح خطر منیزیم می‌باشد. به طور کلی، در آب زیرزمینی بین عناصر قلیایی خاکی کلسیم و منیزیم حالت تعادل وجود دارد. مقدار مازاد یون منیزیم در آب، به طور نامطلوبی بر کیفیت خاک تأثیر می‌گذارد؛ طوری‌که خاک قلیایی‌تر شده و حاصلخیزی خود را از دست می‌دهد. شاخص سدیم کربنات باقی‌مانده، در ارتباط با مجموع مازاد کربنات و بی‌کربنات آب آبیاری در مقایسه با تمام یون‌های کلسیم و منیزیم می‌باشد. شاخص لانژلیر، به منظور تعیین پتانسیل خطر گرفتگی انتشار دهنده‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (گونگر و ارسلان، ۲۰۱۶؛ سالیفو و همکاران، ۲۰۱۷؛ شامی و همکاران، ۲۰۱۶ و تحلاوی و همکاران، ۲۰۱۴). ارزیابی شاخص‌های کیفیت آب در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه، امکان ناپذیر می‌باشد و روش‌های درون‌یابی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به عنوان راه حلی برای آن، توسعه یافته است (گوناراتنا و همکاران، ۲۰۱۶).

با توجه به اهمیت بررسی کیفیت آب زیرزمینی، مطالعات زیادی در سطح جهان و ایران در این زمینه صورت گرفته است؛ که در این میان می‌توان به مطالعه انجام شده توسط المابروک و همکاران در سال ۲۰۱۷ اشاره کرد؛ که برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در منطقه Alagilat در لیبی جهت اهداف کشاورزی، تعداد ۶۵ نمونه آب زیرزمینی جمع‌آوری شد و شاخص‌های شیمیایی از جمله هدایت الکتریکی (EC)، درصد سدیم (SP)، نسبت جذبی سدیم (SAR)، میزان سدیم کربنات باقی‌مانده (RSC)، شاخص نفوذپذیری (PI)، نسبت منیزیم (MAR) و شاخص نسبت کیلی (KR) محاسبه شدند. نتایج نشان داد که بیش از ۹۵ درصد از نمونه‌ها برای اهداف کشاورزی مناسب می‌باشند. جهت بررسی آب زیرزمینی مورد استفاده در کشاورزی در استان واسط - عراق، غالیب (۲۰۱۷)، شاخص‌های کیفی آب از جمله نسبت منیزیم و بی‌کربنات سدیم باقی مانده را مورد تحلیل قرار داد. نتایج نشان داد که مقادیر شاخص‌ها از محلی به محل دیگر متفاوت است و آب منطقه از نظر خطر سدیم و شوری برای کشاورزی نامناسب می‌باشد. شبیر و احمد (۲۰۱۶)، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و شاخص‌های کیفیت آب را برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در راولپندی و اسلام‌آباد برای فعالیت‌های کشاورزی مناسب دانستند. در تحقیق انجام شده توسط دلبری و همکاران (۲۰۱۶)، در شهرستان فسا، استان فارس، تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (EC, SAR, HCO_3^-, Na^+, Cl^-, pH)، توسط روش‌های زمین‌آماری ارزیابی شدند و مناطق مناسب جهت سیستم‌های آبیاری بارانی مشخص شد. در تحقیق انجام شده توسط سالیفو و همکاران (۲۰۱۷)، در منطقه شمال غربی غنا و مطالعه تحلاوی و همکاران (۲۰۱۴)، در مصر، آب زیرزمینی مناطق از نظر شاخص‌ها و پارامترهای کیفیت برای اهداف آبیاری مناسب بودند. بهرامی نصب و همکاران (۱۳۹۹)، به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت کهریز واقع در امتداد دریاچه ارومیه، شاخص‌های درصد سدیم، نسبت جذب سدیم، نفوذپذیری، خطر منیزیم و نسبت کیلی را مورد بررسی قرار دادند که نشان‌دهنده محدودیت کم تا متوسط در استفاده از آب زیرزمینی در سامانه‌های آبیاری می‌باشند.

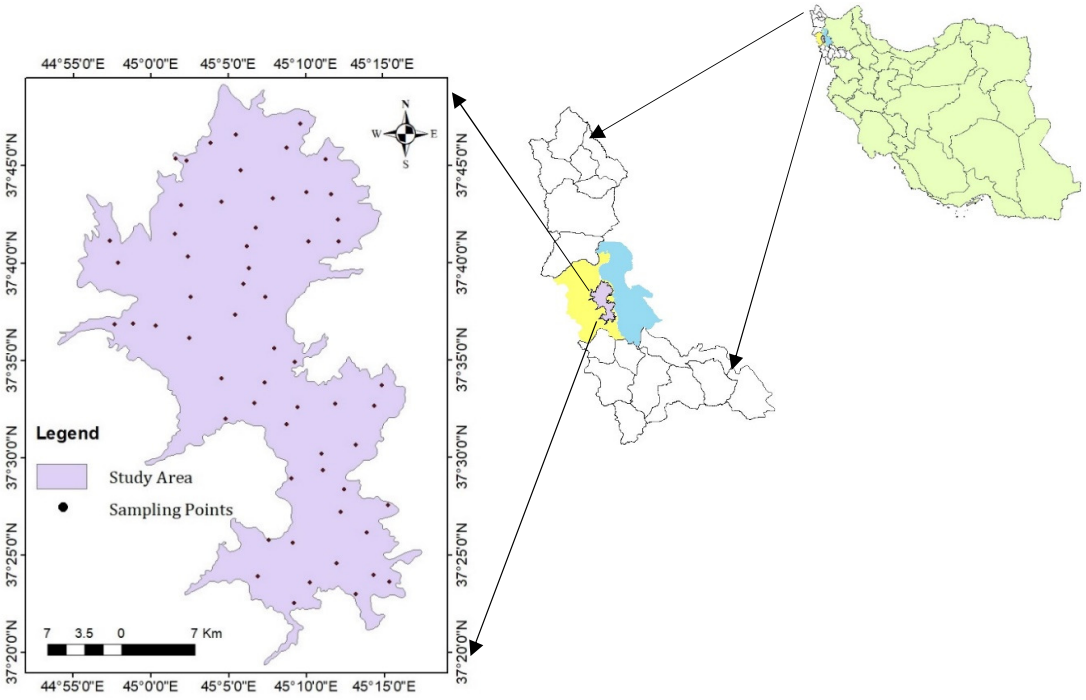
دشت ارومیه، با مساحت ۱۴۹۷ کیلومتر مربع، در شمال غرب ایران و غرب دریاچه ارومیه واقع شده است. در سال‌های اخیر، به دلیل کمبود بارش و برداشت بی‌رویه جهت مصارف کشاورزی و به دنبال آن خشک شدن دریاچه ارومیه (دومین دریاچه آب شور دنیا)، کیفیت آب زیرزمینی در دشت ارومیه دچار نوسان شده است (کوکبی‌نژاد، ۱۳۹۵ و محمودی، ۱۳۹۵). هدف اصلی مطالعه حاضر، بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت ارومیه جهت اهداف آبیاری با استفاده از شاخص‌های مختلف کیفیت آب می‌باشد. اهمیت

این پژوهش در این است که در سال‌های اخیر، توسعه سیستم‌های آبیاری جدید در منطقه به دلایل مسائل خشکسالی دریاچه ارومیه مورد توجه قرار گرفته است؛ بنابراین آگاهی از وضعیت عمومی دشت ارومیه ضروری می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

دشت آبرفتی ارومیه، در جنوب غرب استان آذربایجان غربی و در حاشیه غربی دریاچه ارومیه و شرق زون خوی - مهاباد، با مساحت ۷۷۸/۴۷ کیلومتر مربع، بین طول‌های جغرافیایی ۴۴درجه و ۵۴ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی قرار دارد. چهار سیستم رودخانه‌ای اصلی در این ناحیه که از رشته کوه‌های باختری منشأ گرفته و به دریاچه ارومیه می‌ریزند، عبارت‌اند از: نازلو چای، روضه چای، شهرچای و باراندوز چای.

در این مطالعه، از داده‌های مربوط به ۵۹ حلقه چاه مربوط به بخش آبرفتی دشت ارومیه برای دوره خشک سال ۱۳۹۷، استفاده شد؛ که جهت بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت، پارامترهای pH، EC، TDS، TH و غلظت برخی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی اندازه‌گیری شده، از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌غربی تهیه شد. در شکل (۱)، موقعیت محدوده مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه برداری دشت ارومیه مشخص شده است. به طور کلی، pH و هدایت الکتریکی (EC)، به ترتیب با دستگاه pH متر و EC متر اندازه‌گیری می‌شوند. آنالیز عناصر سدیم (Na^+) و پتاسیم (K^+) نیز توسط دستگاه نورسنج شعله‌ای[1] انجام می‌گیرد. از روش‌های اندازه‌گیری سختی کل (TH)، کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، بی‌کربنات (HCO_3^-) و کلراید (Cl^-)، روش تیتراسیون با EDTA[2] می‌باشد. مقادیر سولفات (SO_4^{2-})، در نمونه‌های آبی را می‌توان با استفاده از روش رنگ‌سنجی به دست آورد (سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۸؛ پراسانت و همکاران، ۲۰۱۲ و علیم و همکاران، ۲۰۱۸).



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

1 Flame Photometer

2 Ethylenediaminetetraacetic acid

۲-۱- شاخص‌های کیفیت آب

در مطالعه حاضر، به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی مورد استفاده در بخش کشاورزی دشت آبرفتی ارومیه، از هفت شاخص مختلف کیفیت آب استفاده شده است. مقادیر هریک از شاخص‌ها با استفاده از پارامترهای کیفی آب، طبق روابط (۱ تا ۷)، تعیین می‌شود. در روابط زیر، به‌جز رابطه (۷)، تمامی پارامترهای کیفی بر حسب میلی‌اکی والان بر لیتر (meq/l) می‌باشند (المابروک، ۲۰۱۷؛ ابراهیم و مظهر نازیب خان، ۲۰۱۷؛ گونگر و ارسلان، ۲۰۱۶ و سالیفو و همکاران، ۲۰۱۷).

۲-۱-۱- نسبت جذبی سدیم (SAR)

برای توصیف SAR، طبقه‌بندی زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ مقادیر SAR کمتر از ۱۰، برای آبیاری در حد عالی؛ بین ۱۰ تا ۱۸، خوب؛ مقادیر بین ۱۸ تا ۲۶، دارای محدودیت متوسط و مقادیر بالای ۲۶، دارای محدودیت جدی خواهند بود. رابطه (۱):

$$SAR=\frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{2+}+Mg^{2+}}{2}}}$$

۲-۱-۲- درصد سدیم (Na%)

طبقه‌بندی زیر برای شاخص درصد سدیم تعریف شده است: Na% کمتر از ۲۰، عالی؛ ۲۰ تا ۴۰، خوب؛ ۴۰ تا ۶۰، مجاز؛ ۶۰ تا ۸۰، غیرقابل اعتماد و مقادیر درصد Na بیش از ۸۰، نامناسب برای اهداف آبیاری می‌باشند. رابطه (۲) (تاد، ۱۹۸۰):

$$\%Na=\frac{(Na^{+}+K^{+})}{(Ca^{2+}+Mg^{2+}+Na^{+}+K^{+})}\times 100$$

۲-۱-۳- شاخص نفوذپذیری خاک (PI)

آبی که از نظر طبقه‌بندی PI ، در کلاس اول (PI>۷۵) و کلاس دوم (۷۵>PI>۲۵) قرار می‌گیرد، برای آبیاری مناسب می‌باشد و آب کلاس سوم (۲۵>PI)، نشان‌دهنده وجود اثر منفی سدیم از نظر نفوذپذیری می‌باشد. رابطه (۳) (دنین، ۱۹۶۴):

$$PI=\frac{Na^{+}+\sqrt{HCO_3^{-}}}{Ca^{2+}+Mg^{2+}+Na^{+}}\times 100$$

۲-۱-۴- شاخص نسبت جذبی منیزیم (MAR)

برای شاخص نسبت جذبی منیزیم یا خطر منیزیم، مقادیر بالای ۵۰ درصد، بیان کننده کیفیت نامناسب آب برای آبیاری می‌باشند. رابطه (۴) (راگونات، ۱۹۸۷):

$$MAR=\frac{Mg^{2+}}{Mg^{2+}+Ca^{2+}}\times 100$$

۲-۱-۵- شاخص کیلی (KR)

اگر مقادیر شاخص KR، کمتر از یک باشد، نشان‌دهنده عدم وجود محدودیت استفاده از آب منطقه مورد مطالعه به منظور آبیاری است. رابطه (۵) (کیلی، ۱۹۶۳):

$$KR=\frac{Na^{+}}{Mg^{2+}+Ca^{2+}}$$

۲-۱-۶- سدیم کربنات باقی‌مانده (RSC)

مقادیر شاخص RSC کمتر از ۱/۲۵، مناسب آبیاری بوده و مقادیر بزرگتر از آن نامناسب می‌باشند. رابطه (۶):

$$RSC=(HCO_3^{-}+CO_3^{2-})-(Ca^{2+}+Mg^{2+})$$

۲-۱-۷- شاخص اشباع لانژلیر (LSI)

برای محاسبه LSI، آنالیز پارامترهای قلیاییت (میلی‌گرم بر لیتر $CaCO_3$)، سختی کلسیم (میلی‌گرم بر لیتر Ca^{2+} در $CaCO_3$)، کل مواد جامد محلول (میلی‌گرم بر لیتر TDS)، pH واقعی آب و درجه حرارت آب ($^{\circ}C$) ضروری می‌باشد. طبق رابطه (۷)، pHs، نشان‌دهنده pH اشباع شده توسط کلسیم یا کربنات کلسیم می‌باشد. اگر مقدار محاسبه شده LSI، مثبت باشد، امکان رسوب کربنات کلسیم و گرفتگی انتشار دهنده‌ها وجود دارد؛ اگر LSI منفی باشد، آب، کلسیم کربنات را حل خواهد کرد (خاصیت خورندگی) و اگر pH و pHs برابر باشند (LSI=0)، آب حالت تعادل خواهد داشت. شاخص LSI، بر حسب mg/l بیان می‌شود. رابطه (۷):

$$LSI = pH - pHs,\ pHs = C + pca + palk$$

۳- نتایج

۳-۱- آمار توصیفی پارامترهای کیفی آب

پارامترهای اندازه‌گیری شده، برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به کار گرفته شده‌اند. مقادیر دامنه، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات پارامترها در جدول (۱)، گزارش شده است. در مطالعه حاضر، استانداردهای سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO, 1994)، پایه و اساس ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در نظر گرفته شده است. طبق جدول شماره (۲)، پارامترهای کیفی به mg/l تبدیل شده‌اند تا با مقادیر استاندارد گزارش شده توسط (FAO, 1994)، مقایسه شوند. بر اساس استاندارد FAO، مقادیر غلظت کلسیم،

سدیم، کلراید، سولفات، پتاسیم و کل مواد جامد محلول و همچنین مقادیر pH و هدایت الکتریکی در آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی، در حد مجاز قرار گرفته‌اند. غلظت بی‌کربنات در آب زیرزمینی از ۱۴۰/۳ تا ۸۳۵/۹ میلی‌گرم بر لیتر متغیر می‌باشد و ۸/۵ درصد از چاه‌های آب زیرزمینی، مقادیر بی‌کربنات بالاتر از حد مجاز (۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، دارند. حد مجاز تعیین شده برای منیزیم توسط FAO، ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر است. حدود ۱۷ درصد از چاه‌های آب زیرزمینی، دارای مقادیر منیزیم بالاتر از حد مجاز استاندارد می‌باشند.

جدول ۱. پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت آبرفتی ارومیه همراه با شاخص‌های آماری

پارامتر	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب واریانس
pH	-	۷/۱	۷/۸	۷/۴	۰/۲	۲/۳
Ca^{2+}	meq/l	۱/۵	۸/۱	۴/۶	۱/۵	۳۲/۶
Mg^{2+}	meq/l	۰/۵	۱۵/۳	۳/۷	۲/۹	۷۸/۱
Na^{+}	meq/l	۰/۳	۱۱/۳	۲/۳	۲/۲	۹۹/۲
K^{+}	meq/l	۰	۰/۳	۰/۱	۰/۰۶	۳۸/۵
HCO_3^-	meq/l	۲/۳	۱۳/۷	۶/۵	۲/۲	۳۳/۶
Cl^-	meq/l	۰/۲	۸/۸	۱/۵	۱/۸	۱۱۶/۰۴
SO_4^{2-}	meq/l	۰/۵	۱۰/۰۲	۲/۶	۲/۱	۸۰/۳
TDS	mg/l	۲۰۱/۵	۱۷۰۹/۵	۶۴۶/۳	۳۲۲/۶	۴۹/۹
EC	µmhos/cm	۳۱۰	۲۶۳۰	۹۹۴/۴	۴۹۶/۳	۴۹/۹
TH	mg$CaCO_3$/l	۱۳۵	۱۰۹۰	۴۱۷/۴	۱۹۷	۴۷/۲

جدول ۲. مقایسه پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت آبرفتی ارومیه با استانداردهای توصیه شده

پارامتر	واحد	حداقل و حداکثر	استاندارد (FAO,1994)
pH	-	۷/۱ -۷/۸	۸/۴
EC	µmhos/cm	۳۱۰ - ۲۶۳۰	۳۰۰۰
Ca^{2+}	mg/l	۳۰/۰۶ – ۱۶۲/۳۲۴	۴۰۰
Mg^{2+}	mg/l	۶/۰۷ – ۱۸۵/۹	۶۰
Na^{+}	mg/l	۶/۹ - ۲۵۹/۸	۹۰۰
K^{+}	mg/l	۰ - ۱۱/۷	۷۸
HCO_3^-	mg/l	۱۴۰/۳ – ۸۳۵/۹	۶۰۰
Cl^-	mg/l	۷/۰۹ – ۳۱۱/۹	۱۰۰۰
SO_4^{2-}	mg/l	۲۴/۰۱ – ۴۸۱/۳	۹۰۰
TDS	mg/l	۲۰۱/۵ – ۱۷۰۹/۵	۲۰۰۰

۳-۲- بررسی شاخص‌های کیفیت آب

مقادیر هریک از شاخص‌ها با استفاده از روابط (۱ تا ۷) در بخش مواد و روش‌ها، تعیین شده‌اند.

SAR : مقادیر محاسبه شده SAR در محدوده مورد مطالعه، بین ۰/۲۶ تا ۴/۵۲ متغیر است و نشان‌دهنده طبقه‌بندی عالی برای اهداف آبیاری می‌باشد.

%Na : مقادیر Na% در محدوده مطالعاتی، بین ۷/۴ تا ۵۷/۹ درصد در تغییر است. از میان ۵۹ نمونه آب زیرزمینی منطقه، ۶۷/۸ درصد از نظر Na% در کلاس عالی، ۲۳/۷ درصد در طبقه خوب و تعداد ۵ حلقه چاه (۸/۵ درصد)، مربوط به کلاس مجاز می‌باشند.

PI : در دشت آبرفتی ارومیه، مقادیر PI، از ۲۹/۳۴ تا ۸۶/۷۵ میلی‌اکی والان بر لیتر متغیر است. مقادیر محاسبه شده برای شاخص نفوذپذیری، نشان می‌دهد که ۵/۰۸ درصد از نمونه‌ها دارای مقادیر PI بیش‌تر از ۷۵ درصد و تعداد ۹۴/۹ درصد از چاه‌های آبی، دارای PI متغیر بین ۲۵ تا ۷۵ درصد می‌باشند.

MAR : مقادیر MAR دشت مطالعاتی، بین ۱۸/۵۲ تا ۷۵/۰۶ میلی‌اکی والان بر لیتر در تغییر است. با توجه به این مقادیر، ۶/ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی برای اهداف آبیاری نامناسب می‌باشند؛ درحالی‌که ۸۱/۳۵ درصد برای استفاده‌های آبیاری بی‌خطر می‌باشند.

KR: پهنه‌بندی پارامتر KR نشان می‌دهد که چاه‌های کل محدوده، مقادیر بیش از یک دارند و برای آبیاری مناسب نمی‌باشند. مقادیر RSC مرتبط با چاه‌های آب زیرزمینی منطقه، بین ۱۱/۱۵- تا ۲ متغیر می‌باشد؛ بنابراین، آب زیرزمینی دشت، به‌جز آب چاه سه منطقه، از نظر RSC، جهت اهداف آبیاری مناسب می‌باشند.

LSI: تمامی مقادیر محاسبه شده برای LSI، منفی می‌باشند؛ در نتیجه، امکان رسوب کربنات کلسیم و مسدود شدن انتشار دهنده‌ها در آبیاری قطره‌ای وجود دارد.

۳-۳- تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی

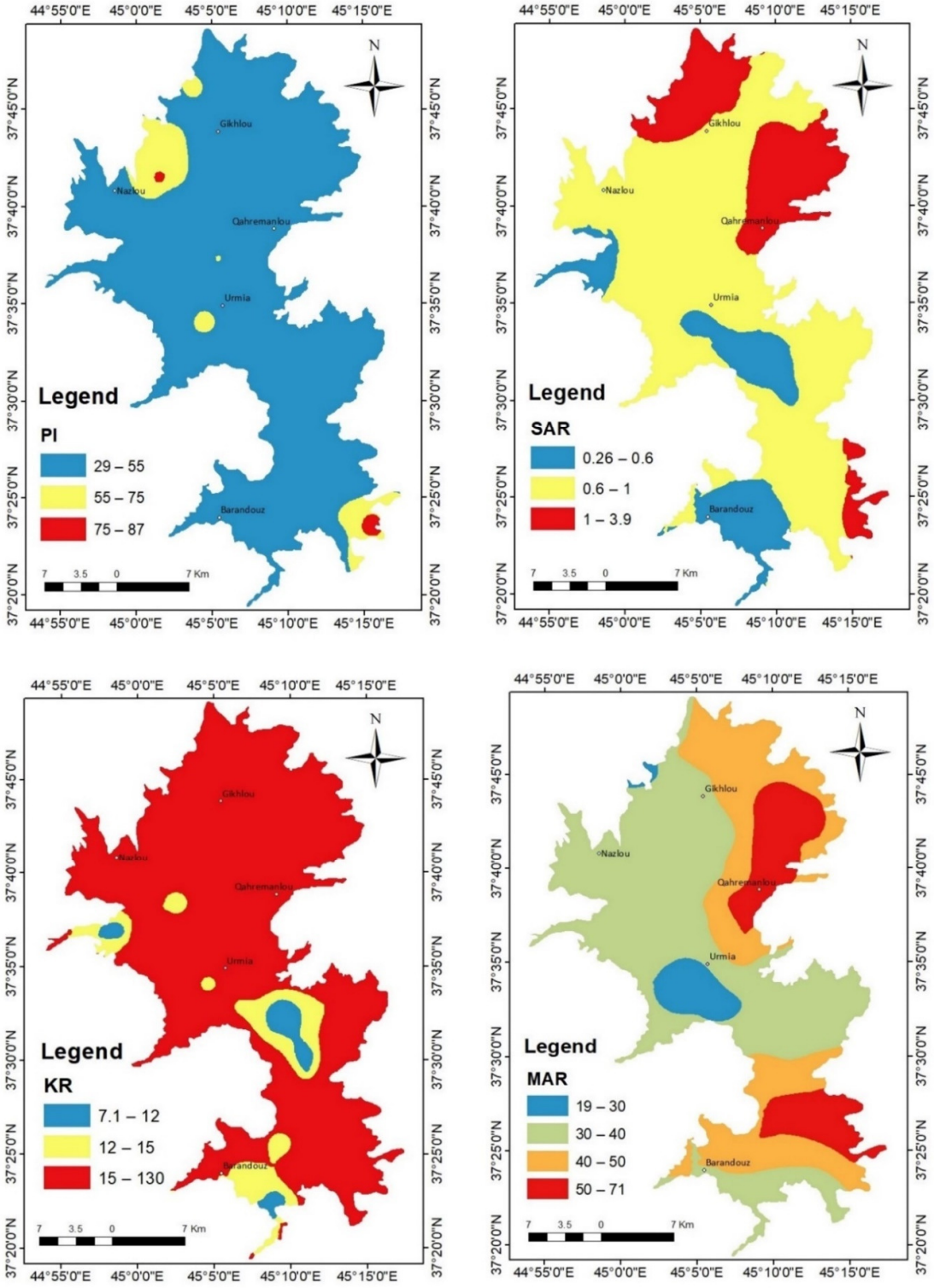
به منظور تحلیل تغییرات مکانی شاخص‌های کیفیت آب، اقدام به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی با استفاده از روش‌های درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW[1]) و کرایجینگ[2] در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (Arc GIS) شده است. روش وزن‌دهی معکوس فاصله و کرایجینگ از رایج‌ترین روش‌های مورد استفاده هستند که در بسیاری از مقالات توضیح داده شده‌اند (الدیری و گارسیا، ۲۰۱۱). تخمین مقادیر متغیر با توزیع و ساختار فضایی و ارزیابی خطای همراه با این تخمین کرایجینگ نامیده می‌شود (صادقی و باباعلی، ۱۳۹۹). در روش وزن‌دهی معکوس فاصله، ارزش یک متغیر بر اساس میانگین متغیرهای همسایه در محدوده‌های معین محاسبه می‌شود (صادقی و باباعلی، ۱۳۹۹). دقت مدل‌های درون‌یابی با انجام ارزیابی خطا مورد بررسی قرار می‌گیرد و مدلی که کم‌ترین خطا را دارد انتخاب می‌شود. یکی از شرایط استفاده از روش کرایجینگ در پهنه‌بندی ویژگی‌های محیطی، نرمال بودن توزیع داده‌ها می‌باشد؛ بنابراین در مطالعه حاضر جهت تهیه نقشه‌های مربوط به پارامترها در ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از منحنی‌های هیستوگرام و Normal Q-Q Plot در ابزار آنالیز زمین‌آماری[3] بررسی شد و برای پارامترهایی که نرمال نبودند از انواع روش‌های تبدیل[4] جهت نرمال کردن استفاده شد. در روش تبدیل، داده‌هایی که از توزیع نرمال برخوردار نمی‌باشند به توزیع نرمال تبدیل می‌شوند. این روش‌های تبدیل می‌تواند شامل لگاریتم‌گیری، ریشه دوم و یا روش Box-Cox باشد که تمامی روش‌های ذکر شده در بسته آنالیز زمین‌آماری در نرم‌افزار Arc map قرار دارد. پس از نرمال شدن پارامترها، روش‌های درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله و کرایجینگ معمولی برای شاخص‌های کیفیت آب به‌کار برده شدند. برای هر یک از شاخص‌های کیفیت، مدل‌های سمی واریوگرام مورد آزمایش قرار گرفتند و بهترین مدل برای هر یک از آن‌ها برای توصیف وابستگی‌های فضایی انتخاب شد. روش‌های درون‌یابی به‌کاربرده شده برای هر شاخص، با استفاده از اعتبارسنجی متقابل بر اساس MAE[5] و RMSE[6] ارزیابی شدند. برای مدلی که پیش‌بینی دقیقی را ارائه می‌دهد، میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، باید نزدیک به صفر باشد و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، تا حد امکان کمتر باشد. در نهایت نقشه‌های درون‌یابی متناسب با هر شاخص کیفیت آب به دست آمد. جدول شماره (۳)، نشان‌دهنده نتایج اعتبارسنجی متقابل و روش درون‌یابی بهینه بر اساس (MAE) و (RMSE) و نشان‌دهنده بهترین مدل سمی واریوگرام برای هر شاخص کیفیت می‌باشد؛ که توسط روش‌های زمین‌آماری وزن‌دهی معکوس فاصله و کرایجینگ به دست آمده است. شکل (۲)، نشان‌دهنده نقشه‌های درون‌یابی پیش‌بینی شده با به‌کارگیری روش‌های وزن‌دهی معکوس فاصله و کرایجینگ، برای ارزیابی شاخص‌های کیفیت آب جهت اهداف آبیاری در دشت آبرفتی ارومیه می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

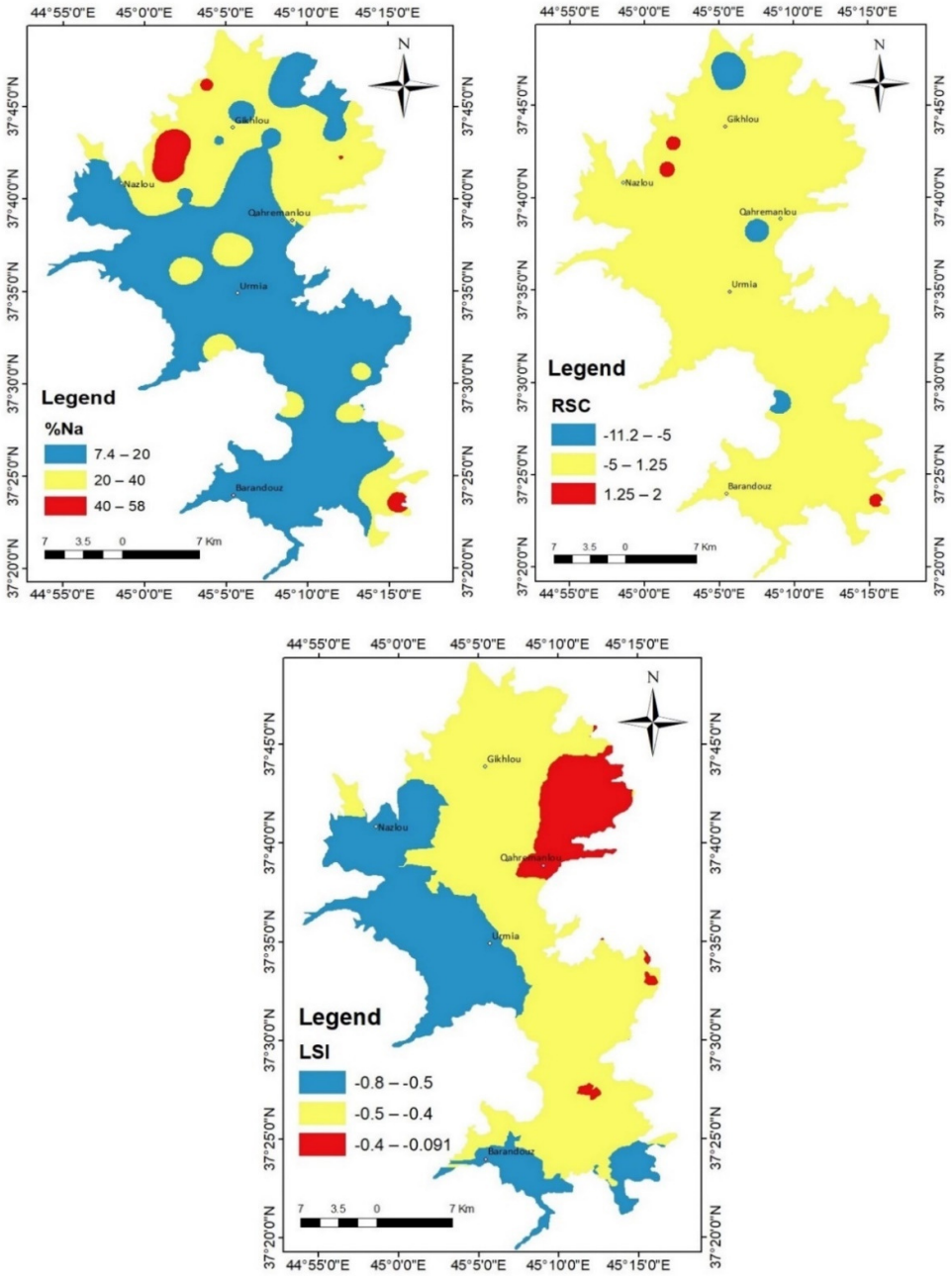
تمامی نمونه‌های آبی دشت مورد مطالعه، از نظر مقادیر PI برای آبیاری مناسب می‌باشند. از نظر غلظت SAR، تمامی نمونه‌ها مقادیر کمتر از ۱۰ را به خود اختصاص داده‌اند و برای آبیاری مناسب می‌باشند. مقادیر مربوط به Na%، در چاه‌های آب زیرزمینی منطقه، در کلاس عالی تا مجاز جهت مصارف آبیاری قرار دارند. بیش‌ترین مقدار شاخص MAR، مربوط به مناطق تکیه اردشاهی، مقدم، تپه ترکمان و ساعتلوی ببر-کیفی در جنوب منطقه و اصالو، زرمانلو، آباجالوسفلی، ساریجالو و گزنق در شمال شرق منطقه مورد مطالعه می‌باشد؛ که جهت اهداف مورد نظر نامناسب می‌باشند. پهنه‌بندی پارامتر KR و LSI نشان می‌دهد که چاه‌های کل محدوده، برای آبیاری نامناسب می‌باشند. تحلیل مکانی شاخص RSC، بیانگر آن است که مناطق

1 IDW
2 Kriging
3 Geo-statistical Analyst
4 Transformation
5 Mean Absolute Erorr
6 Root Mean Square Erorr

ساعتلوی بیگلر و اراضی لک در غرب و جبل کندی در جنوب شرقی منطقه، از میزان بالای RSC برخوردار هستند. بر اساس نقشه‌های توزیع مکانی شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی، قسمت مرکزی دشت آبرفتی ارومیه، بهترین زون جهت اهداف آبیاری می‌باشد.



شکل ۲. نقشه‌های توزیع مکانی شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی دشت آبرفتی ارومیه



ادامه شکل ۲. نقشه‌های توزیع مکانی شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی دشت آبرفتی ارومیه

جدول ۳. روش‌های درون یابی و مدل بهینه سمی واریوگرام انتخاب شده برای روش کرایجینگ

شاخص‌های کیفیت آب	مدل و روش	Nugget (C_0)	Sill ($C_0 + C$)	Range effect (Km)	$(C_0/C_0+C)\%$	MAE	RMSE
PI	IDW	-	–	–	–	۷/۴۶	۱۰/۰۰
SAR	Kriging-Exponential	۰/۲۱	۰/۴۲	۲۱/۵	۴۹/۸	۰/۴۸	۰/۶۷
%Na	IDW	–	–	–	–	۷/۰۶	۹/۵۴
MAR	Kriging-Exponential	۰/۰۱	۰/۱	۲۲/۸	۱۴/۵	۶/۲۵	۸/۴۶
KR	Kriging-Exponential	۰/۰۶	۰/۳۷	۱۰/۶	۱۶/۴	۱۲/۰۱	۲۰/۲۹
RSC	IDW	–	–	–	–	۱/۵۵	۲/۳۰
LSI	Kriging-Exponential	۰/۰۲	۰/۰۲	۲۱/۸	۷۲/۷	۰/۱۱	۰/۱۴

سپاسگزاری

نظرات سازنده داوران محترم مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی باعث بهتر شدن این نوشتار گردید که از ایشان قدردانی می‌گردد.

منابع

بهرامی‌نصب، ر.، پیرخراطی، ح.، عباس‌فام، ع. ر.، شیخی‌آلمان آباد، ز (۱۳۹۹) ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت کهریز و مقایسه روند تغییرات آن در طی سال‌های اخیر، نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۴، شماره ۲۸، ص ۱-۱۷.

صادقی، م.، باباعلی، ح. ر (۱۳۹۹). تحلیل مکانی و زمانی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی و سطحی دشت الشتر با روش ANOVA و مدل‌های زمین‌آماری، نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۴، شماره ۲۸، ص ۷۲-۸۴.

کوکبی‌نژاد، ا.، محمدنژاد، آ. و سلیمانی، م. ب (۱۳۹۵) بررسی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی واقع در رسوبات کواترنری دشت ارومیه، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۳، ص ۱۱۰-۹۳.

محمودی، م.، ندیری، ع.، اضغری‌مقدم، ا.، پوراکبر، م. و مرادیان هره‌دشت، ع (۱۳۹۵) بررسی منابع آب دشت شیرامین با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد بیست و سوم، ص ۳۰۲-۲۸۹.

Acharya, S., Sharma, S. K., & Khandegar, V (2018) Assessment of groundwater quality by water quality indices for irrigation and drinking in South West Delhi, India. Data Brief, 18: 2019-2028.

Aleem, M., Shun, C. J., Li, C., Aslam, A. M., Yang, W., Nawaz, M. I., & Buttar, N. A (2018) Evaluation of groundwater quality in the vicinity of Khurrianwala industrial zone, Pakistan. Water, 10(10): 13-21.

Delbari, M., Amiri, M., & Motlagh, M. B (2016) Assessing groundwater quality for irrigation using indicator kriging method. Applied Water Science, 6(4): 371-381.

Doneen, L. D (1964) Water Quality for Agriculture, Department of Irrigation, University of Calfornia, Davis, 48 p.

Eldeiry, A. A., & García, L. A (2011) Using deterministic and geo-statistical techniques to estimate soil salinity at the sub-basin scale and the field scale. Proceedings of the 31th Annual Hydrology Days, Fort Collins, CO, USA, 2123.

Elmabrok, F. M., & Abu-Libda, O. A (2017) Evaluation of Ground Water Quality and Suitability for Irrigation Purposes in Alagilat Area, Libya.

FAO (1994) by R. S. Ayers and D. W. Westcot "Water quality for agriculture". Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ghalib, H. B (2017) Groundwater chemistry evaluation for drinking and irrigation utilities in east Wasit province, Central Iraq. Applied Water Science, 7(7): 3447-3467.

Gunarathna, M. H. J. P., Nirmanee, K. G. S., & Kumari, M. K. N (2016) Are geo-statistical interpolation methods better than deterministic interpolation methods in mapping salinity of groundwater? Int. J. Res. Innov. Earth Sci, 3(3): 59-64.

Güngör, A., & Arslan, H (2016) Assessment of water quality in drainage canals of Çarşamba plain, Turkey, through water quality indexes and graphical methods. Global Nest Journal, 18(1): 67-78.

Ibraheem, A. M., & Mazhar Nazeeb Khan, S. M (2017) Suitability assessment of groundwater for irrigation purpose in Veppanthattai block, Perambalur district, Tamil Nadu. World Scientific News, 81(2): 81-93.

Kelly, W. P (1963) Use of Saline Irrigation Water. Soil Sci, 95 (4): 355-391.

Krishan, G., Singh, S., Gurjar, S., Kumar, C. P., & Ghosh, N. C (2016) Water quality assessment in terms of water quality index (WQI) using GIS in Ballia district, Uttar Pradesh, India. J Environ Anal Toxicol, 6(366): 2161-0525.

Prasanth, S. S., Magesh, N. S., Jitheshlal, K. V., Chandrasekar, N., & Gangadhar, K (2012) Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in the coastal stretch of Alappuzha District, Kerala, India. Applied Water Science, 2(3): 165-175.

Raghunath, I. I. M (1987) Groundwater. 2nd edition; Wiley Eastern Ltd., New Delhi, India.

Rawat, Kishan S., Sudhir Kumar Singh, and Sandeep Kumar Gautam. "Assessment of groundwater quality for irrigation use: a peninsular case study." Applied Water Science 8.8 (2018): 233.

Salifu, M., Aidoo, F., Hayford, M. S., Adomako, D., & Asare, E (2017) Evaluating the suitability of groundwater for irrigational purposes in some selected districts of the Upper West region of Ghana. Applied water science, 7(2): 653-662.

Shabbir, R., & Ahmad, S. S (2016) Water resource vulnerability assessment in Rawalpindi and Islamabad, Pakistan using analytic hierarchy process (AHP). Journal of King Saud University-Science, 28(4): 293-299.

Shammi, M., Karmakar, B., Rahman, M. M., Islam, M. S., Rahman, R., & Uddin, M. K (2016) Assessment of salinity hazard of irrigation water quality in monsoon season of Batiaghata

Upazila, Khulna District, Bangladesh and adaptation strategies.

Sharma, P. K., Vijay, R., & Punia, M. P (2015) Geostatistical evaluation of groundwater quality distribution of Tonk district, Rajasthan. International Journal of Geomatics and Geosciences, 6(2): 1474.

Soleimani, H., Abbasnia, A., Yousefi, M., Mohammadi, A. A. and Khorasgani, F. C (2018) Data on assessment of groundwater quality for drinking and irrigation in rural area Sarpol-e Zahab city, Kermanshah province, Iran. Data in brief, 17: 148-156.

Tahlawi, M. R., Mohamed, M. A., Boghdadi, G. Y., Rabeiy, R. E., & Saleem, H. A (2014) Groundwater quality assessment to estimate its suitability for different uses in Assiut Governorate, Egypt. International Journal of Recent Technology and Engineering, 3(5): 2277-3878.

Todd, D. K (1980) Groundwater Hydrology. Wiley International Edition, John Wiley and Sons. Inc., New York.

Evaluation of water quality for irrigation purposes in Urmia alluvial plain (Iran)

S. Mohammadi[1] and H. Pirkharrati[2*]

1- M. Sc., student. Dept., of Geology, Urmia University, Urmia
2- Assoc. Prof., Dept., of Geology, Urmia University, Urmia

* h.pirkharrati@urmia.ac.ir

Recieved: 2021/3/7 **Accepted: 2021/5/8**

Abstract

The aim of this study is to evaluate suitability of groundwater for irrigation purposes in Urmia alluvial plain, West Azerbaijan, Iran; where agriculture activities are dependent on groundwater because of increasing drought trend in Lake Urmia. Fifty-nine water samples from groundwater were selected during dry season in 2018 and analyzed for water quality parameters. The present study was carried out to investigate the spatial variability of water quality indices (PI, MAR, SAR, RSC, LSI, KR and %Na) by geo-statistical methods to determine suitable areas for irrigation. Electrical conductivity (EC), pH, calcium, sodium, chloride, sulfate, potassium and TDS concentrations were in permissible limit, while %8.5 and %17 of groundwater wells; in bicarbonate and magnesium, respectively; were higher than acceptable limit within prescribed limits as FAO (1994) for irrigation purpose. The calculated SAR values suggested excellent quality for irrigation. The values of PI and %Na suggest that the groundwater of study area is suitable for irrigation purpose. It shows that concentrations of MAR in %18.6 of wells and RSC values in three of samples, are lower than the permissible limit; Whereas computed values of LSI and KR indicate unsuitable groundwater of study area. The spatial distribution maps of groundwater quality indicated that the central of Urmia plain is the most suitable zone for irrigation purposes.

Keywords: Groundwater, Urmia Alluvial Plain, Irrigation Purposes, Water Quality Indices, Spatial Distribution.