

ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی آبخوان اردبیل برای مصارف شرب و کشاورزی

مینا رحیمی، سینا بشارت و وحیدرضا وردی نژاد

دوره ۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، صفحات ۳۶۰-۳۷۵

Vol. 2 (4), Winter 2017, 360 - 375

**Quality Evaluation of Groundwater Resources
of Ardabil Aquifer for Agricultural and
Drinking Uses**

Rahimi M., Besharat S. and Rezaverdinejad V. R.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

نحوه ارجاع به این مقاله: رحیمی م.، بشارت س. و وردی نژاد و. ر. (۱۳۹۵). ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی آبخوان اردبیل برای مصارف شرب و کشاورزی. مجله محیط زیست و مهندسی آب، جلد ۲، شماره ۴، صفحات: ۳۶۰-۳۷۵.

How to cite this paper: Rahimi M., Besharat S. and Rezaverdinejad V. R. (2017). Quality evaluation of groundwater resources of Ardabil aquifer for agricultural and drinking uses. J. Environ. Water Eng., 2(4), 360-375.

ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی آبخوان اردبیل برای مصارف شرب و کشاورزی

مینا رحیمی^۱، سینا بشارت^۲ و وحیدرضا وردی نژاد^{*۲}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

* نویسنده مسئول: rezaverdinejad@gmail.com

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۰۹/۱۷]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۵/۰۷/۰۶]

چکیده

در این مطالعه کیفیت آب زیرزمینی آبخوان اردبیل از نظر شرب و کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ۷۶ چاه شامل ۳۲ چاه با کاربری شرب و ۴۴ چاه با کاربری کشاورزی در نظر گرفته شد. به منظور بررسی کیفیت آب جهت مصارف کشاورزی نیز از دیاگرام ویل کاکس و شاخص‌های خورندگی و رسوب‌گذاری شامل شاخص‌های اشباع لانژیلر (LSI)، رایزنر (RSI) و پوکوریوس (POR)، خطر منیزیم (MH)، نفوذپذیری (I)، درصد سدیم باقیمانده (RSC)، نسبت جذبی سدیم (SAR) و درصد سدیم و کلر استفاده گردید. نتایج نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی این آبخوان بر مبنای شاخص کیفی آب (WQI) در وضعیت مطلوب قرار دارد. بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO) و استاندارد ملی ایران (ISIRI)، ۱۰/۵ درصد چاه‌ها دارای مقادیر نیترات بالاتر از حد مجاز در فصل تر می‌باشند. اما در فصل خشک حدود ۲۹ درصد چاه‌ها دارای مقادیر نیترات بالاتر از حد مجاز می‌باشند. نتایج همچنین نشان داد که آب زیرزمینی این آبخوان دارای خاصیت خورندگی بوده و استفاده از آن در سامانه‌های آبرسانی شهری، سبب بروز بیماری و مسائل مختلف ناشی از خوردگی لوله‌ها، در انسان خواهد شد. همچنین استفاده از این آب‌ها، برای مصارف کشاورزی سبب بروز مشکل در اتصالات فلزی سامانه‌های آبیاری بارانی خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: شاخص خورندگی، رسوب‌گذاری، کیفیت آب، نیترات، نیتريت

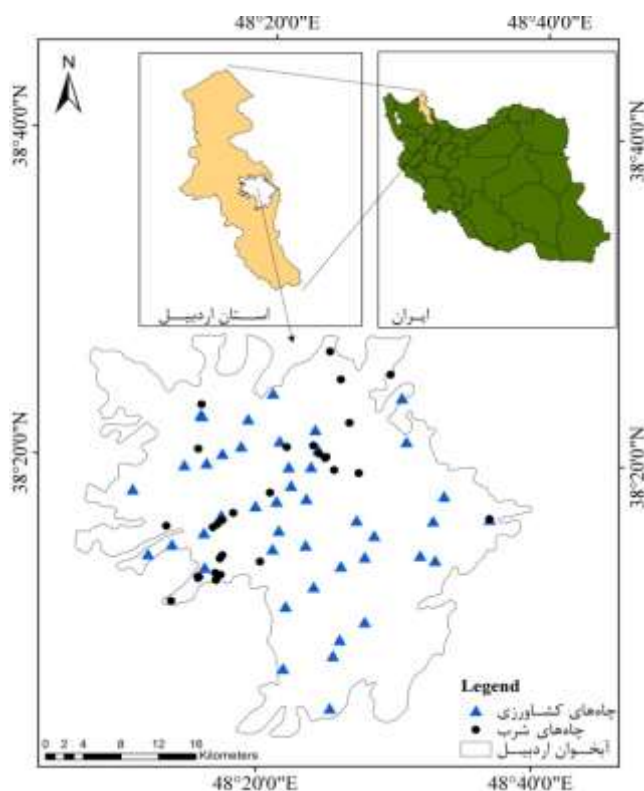
۱- مقدمه

امروزه آب‌های زیرزمینی در اکثر مناطق جهان از اهمیت بالایی در تأمین آب شرب و کشاورزی برخوردار هستند. افزایش جمعیت و بهره‌برداری از این منابع ارزشمند باعث گردیده که علاوه بر کمیت، کیفیت این منابع نیز کاهش یابد (Bamdad Machiani et al. 2014). ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی یکی از مباحث مهم در طرح‌های توسعه منابع آب کشور است (Hoseinsarbazy and Esmaili 2014). شناخت کیفیت آب‌های زیرزمینی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و آسیب‌پذیرترین منابع تأمین آب، در دهه‌های اخیر یک امر کاملاً بدیهی بوده است (Shokuhi et al. 2011). اثرات خوردگی و رسوب‌گذاری در سامانه‌های آب‌رسانی، انتقال و توزیع آب، می‌تواند سبب افزایش هزینه‌های بهره‌برداری و همچنین ایجاد اثرات منفی برای سلامتی انسان گردد (Ehsani et al. 2014; Bamdad Machiani et al. 2013). Entezari et al. (2013) کیفیت آب شرب منابع آب زیرزمینی دشت مشهد را بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب در این دشت به‌خصوص در قسمت‌های جنوبی دارای وضعیت نامطلوب است. کیفیت منابع آب در بخش کشاورزی نیز حائز اهمیت فراوان است. آب‌های آلوده در آبیاری مزارع به لحاظ ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی متفاوت، تأثیرات گوناگون در خاک‌های کشاورزی ایجاد می‌کنند (Kumar et al. 2007). یکی از روش‌های آبیاری که در آن می‌توان با مصرف آب کم و کنترل دقیق، صرفه‌جویی فراوانی در مصرف آب و سایر هزینه‌ها کرد و به بازدهی مطلوبی رسید، آبیاری قطره‌ای است. بزرگ‌ترین مشکل سامانه‌های آبیاری قطره‌ای گرفتگی قطره‌چکان است که با کیفیت آب آبیاری ارتباط مستقیم دارد. رسوب کربنات کلسیم و منیزیم، رایج‌ترین عامل ایجاد گرفتگی شیمیایی گسیلنده‌ها در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای است. سولفات‌های کلسیم و منیزیم نیز یک عامل شیمیایی مهم دیگر در انسداد گسیلنده‌ها می‌باشند (Hoseinsarbazy and Esmaili 2014). ترکیبات شیمیایی رسوبات موجود در قطره‌چکان‌ها با نوع فصل تغییر می‌کند؛ به‌این‌ترتیب که در زمستان و بهار عامل گرفتگی، بیشتر آلومینیوم و سیلیکون بوده و در تابستان و پاییز، فسفر و کلسیم است (Lalehzari and Ansari 2014). (Mohammadi-Ghaleni et al. 2010) با بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی دو آبخوان ساوه و اراک، گزارش کردند که کیفیت آب زیرزمینی در فصول تر نسبت به فصول خشک و در چاه‌ها با عمق کم، نامطلوب‌تر است. Bamdad Machiani et al. (2014) به ارزیابی کیفی آب زیرزمینی استان گیلان در چهار منطقه لاهیجان، آستانه، تالش و فومنات جهت مصارف کشاورزی پرداختند و از LSI به‌منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی این منطقه استفاده کردند. مطابق این شاخص، آب‌های زیرزمینی منطقه روند خاصی نداشته و بعضی از سال‌ها رسوب‌گذار و برخی از سال‌ها تمایل به رسوب نداشته‌اند. Hoseinsarbazy and Esmaili (2014) کیفیت آب زیرزمینی دشت نیشابور برای مصارف کشاورزی را در طی سال‌های ۸۸-۸۱ ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که عناصر سدیم، کلر و سولفات بیش‌ترین مقدار را در بین کاتیون و آنیون‌ها دارند که به‌تدریج باعث کاهش کیفیت آب می‌شود. Homayoonnezhad et al. (2016) در بررسی کیفیت آب مخازن چاه نیمه زابل از نقطه‌نظر شرب و کشاورزی، به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب آن‌ها بر اساس دیاگرام ویل کاکس در طبقه متوسط و مطابق دیاگرام شولر در طبقه قابل قبول قرار دارد. در این مطالعه آلودگی آب زیرزمینی آبخوان اردبیل از نظر مصارف شرب و کشاورزی موردبررسی و مطالعه قرار گرفت. استان اردبیل از جمله دشت‌های مهم کشاورزی کشور است که مصرف کودهای ازته در دشت‌های کشاورزی این استان افزایش فراوانی داشته است که سبب شده است تا آب‌های زیرزمینی این استان در معرض خطر آلودگی قرار گیرند. استفاده از آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب، نظر به اینکه آب‌های سطحی در دسترس نبوده و نمی‌تواند به‌تنهایی پاسخگوی نیازهای مختلف بشر باشد، افزایش یافته است. هدف از این مطالعه، ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی آبخوان اردبیل برای مصارف شرب و کشاورزی از لحاظ حد مجاز نیترات و نیتريت و شاخص کیفیت آب (WQI) با استفاده از دو استاندارد کیفی سازمان بهداشت جهانی (WHO) و ملی ایران (ISIRI) در بخش شرب و بهره‌گیری از شاخص‌های مربوطه در بخش کشاورزی می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل با ۱۷۹۵۳ کیلومتر مربع وسعت، در شمال غربی فلات ایران قرار دارد و حدوداً ۱/۰۹ درصد مساحت کل کشور ایران را تشکیل می‌دهد. این استان از لحاظ جغرافیایی در ۳۷/۴۵ تا ۳۹/۴۲ عرض شمالی و ۴۷/۳۰ تا ۴۸/۵۵ طول شرقی واقع شده است. محدوده مطالعاتی شامل شهرستان‌های اردبیل و نمین با مساحت ۱۱۵۳ کیلومتر مربع می‌باشد. شکل (۱) موقعیت محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. آبخوان اردبیل از نوع آبخوان آزاد و نیمه تحت فشار می‌باشد. این استان به دلیل شرایط آب و هوایی و حاصلخیزی خاک منطقه به عنوان قطب کشاورزی محسوب می‌گردد که بی‌شک بر میزان آلودگی‌های موجود مؤثر خواهد بود.



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی و چاه‌های انتخابی جهت پایش آب زیرزمینی آبخوان اردبیل

۲-۲- جمع‌آوری و آنالیز نمونه‌های آب

در مجموع ۷۶ چاه در محدوده مورد مطالعه انتخاب گردید و نمونه‌برداری دو بار طی دو فصل خشک و تر در سال ۱۳۹۰ انجام گرفت. نمونه‌برداری فصل خشک در شرایط حداقل تراز آب زیرزمینی (در آبان ماه سال ۱۳۹۰) و فصل تر در شرایط حداکثر تراز آب زیرزمینی (در اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۰) انجام شد. از مجموع ۷۶ چاه موجود، ۳۲ چاه با کاربری شرب و ۴۴ چاه با کاربری کشاورزی می‌باشند (مطابق شکل ۱). نمونه‌های برداشتی و آزمایش‌ها صورت گرفته در این مطالعه شامل: بی‌کربنات (HCO_3^-)، کلر (Cl^-)، سولفات (SO_4^{++})، کلسیم (Ca^{++})، منیزیم (Mg^{++})، سدیم (Na^+)، پتاسیم (K^+)، سختی کل (TH)، کل مواد جامد محلول (TDS)، نیتريت (NO_2^-) و نیترات (NO_3^-) می‌باشند. آمار و اطلاعات مربوط به آنیون‌ها و کاتیون‌ها، از اداره کل

محیطزیست استان اردبیل اخذ گردید. پارامترهای فوق‌الذکر به ترتیب با روش‌های تیتراسیون، کلرتر، اسپکتوفتومتر، تیتراسیون، تیتراسیون با EDTA، ظرف تبخیر و اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری شده بود.

۲-۳- کیفیت منابع آب زیرزمینی از نظر مصارف شرب

به‌منظور بررسی کیفیت آب و تناسب آن جهت مصارف شرب، از شاخص WQI به‌عنوان روشی متداول و مناسب می‌توان استفاده نمود (Saeedi et al. 2010) (Hamzaoui-azaza et al. 2013). این شاخص پارامتری بسیار مهم برای تعیین کیفیت آب و بررسی تناسب آن برای مصارف شرب می‌باشد (Avvannavar and Shrihari 2008). این روش، یک روش وزن‌دهی است که تأثیر ترکیبی پارامترهای مختلف، روی کیفیت کلی آب، برای مصارف انسانی را فراهم می‌کند (Vasanthavigar et al. 2010). جهت محاسبه WQI از استاندارد ISIRI و استاندارد WHO استفاده شد. برای محاسبه این شاخص در ابتدا بر اساس اهمیت هر پارامتر در آب شرب، وزنی بین ۱ تا ۵ به هر پارامتر تعلق می‌گیرد سپس وزن نسبی هر پارامتر با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد (Vasanthavigar et al. 2010):

$$W_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i \quad (1)$$

در مرحله بعد، زیرشاخص کیفی q_i بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد:

$$q_i = (C_i / S_i) \times 100 \quad (2)$$

که در آن q_i زیرشاخص پارامتر i ام، C_i غلظت هر پارامتر در هر نمونه آب و S_i مقدار استاندارد هر پارامتر بر اساس استاندارد ISIRI می‌باشد. سپس، WQI بر اساس رابطه (۳) محاسبه گردید:

$$SI_i = W_i \times q_i \quad (3)$$

$$WQI = \sum SI_i$$

سه عنصر آلاینده نیترات، نیتريت و آمونیوم نیتروژن از مشتقات نیتروژن می‌باشند. نیترات و نیتريت از آلاینده‌های مهم آب آشامیدنی هستند. طبق آخرین استاندارد WHO و آخرین استاندارد ISIRI، حداکثر مجاز یون نیترات در آب آشامیدنی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و برای نیتريت ۳ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. به دلیل امکان وجود هم‌زمان نیترات و نیتريت در آب‌های آشامیدنی، مطابق رابطه پیشنهادی WHO، مجموع نسبت‌های مقادیر اندازه‌گیری شده نیترات و نیتريت به مقادیر رهنمودی پیشنهادی (K)، باید کمتر از یک باشد (Bian et al. 2016):

$$K = \frac{NO_3}{S_1} + \frac{NO_2}{S_2} \quad (4)$$

که در آن NO_3 غلظت یون نیترات (میلی‌گرم بر لیتر)، S_1 مقدار مجاز یون نیترات بر اساس WHO (میلی‌گرم بر لیتر)، NO_2 غلظت یون نیتريت (میلی‌گرم بر لیتر)، S_2 مقدار مجاز یون نیتريت و K مجموع نسبی مقادیر نیترات و نیتريت می‌باشد (Bian et al. 2016). جهت پایش غلظت نیترات و نیتريت از استانداردهای WHO و ISIRI استفاده شد.

۲-۴- کیفیت منابع آب زیرزمینی از نظر مصارف کشاورزی

۲-۴-۱- دیاگرام ویل کاکس

مهم‌ترین معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب از نظر مصارف کشاورزی، شوری و مقدار سدیم موجود در آن می‌باشند (Bamdad Machiani et al. 2014). شوری با معیار هدایت الکتریکی (EC) و سدیم با معیار نسبت جذبی سدیم (SAR) سنجیده می‌شود.

از ترکیب توأم EC و SAR توسط آزمایشگاه شوری خاک آمریکا، روشی با کاربرد وسیع برای طبقه‌بندی آب‌های آبیاری ارائه شده است (Nagarajan et al. 2010). نفوذپذیری خاکی که تحت تأثیر آبیاری قرار دارد در درازمدت تحت تأثیر EC ، Na^+ و HCO_3^- موجود در آب آبیاری قرار خواهد گرفت (Ramesh and Elango, 2012). شاخص نفوذپذیری (I) مطابق رابطه (۵) قابل محاسبه می‌باشد:

$$I = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100 \quad (5)$$

که در آن غلظت عناصر برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. شاخص نفوذپذیری در سه کلاس مناسب، تقریباً مناسب و نامناسب با مقادیر به ترتیب: $75 >$ ، $25-75$ و $25 <$ طبقه‌بندی می‌گردد (Gautam et al. 2015).

۲-۴-۲- نسبت جذبی سدیم (SAR)

نسبت جذبی سدیم، معیاری جهت محاسبه خطر شوری و قلیائیت برای محصولات کشاورزی بوده و از مهم‌ترین عوامل در تعیین خصوصیات کیفی آب برای مصارف کشاورزی می‌باشد که با استفاده از رابطه (۶) قابل محاسبه است (Gautam et al. 2015):

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}\right)}} \quad (6)$$

که در آن Na^+ ، Ca^{++} ، Mg^{++} به ترتیب غلظت یون‌های منیزیم، کلسیم و سدیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) می‌باشد. SAR در چهار کلاس قابل تقسیم‌بندی است. این کلاس‌ها شامل: S_1 (خطرات سدیمی شدن کم با مقادیر < 10)، S_2 (خطرات سدیمی شدن متوسط با مقادیر بین $10-20$)، S_3 (خطرات سدیمی شدن زیاد با مقادیر بین $20-28$) و S_4 (خطرات سدیمی شدن بسیار زیاد با مقادیر > 28) می‌باشند (Hassen et al. 2016).

۲-۴-۳- درصد سدیم

مقادیر بالای سدیم تهدیدی جدی برای گیاه است که تعیین میزان آن در آب زیرزمینی به‌منظور اهداف آبیاری بسیار مهم است (Chung et al. 2014). درصد سدیم با استفاده از رابطه (۷) قابل محاسبه می‌باشد (Hassen et al. 2016; Gautam et al. 2015).

$$\%Na = \frac{(Na^+ + K^+)}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)} \times 100 \quad (7)$$

که در آن، Na^+ ، Ca^{++} ، Mg^{++} ، K^+ به ترتیب غلظت یون‌های پتاسیم، منیزیم، کلسیم و سدیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) می‌باشد. درصد سدیم در کلاس‌های عالی، خوب، مناسب، مشکوک و نامناسب با مقادیر به ترتیب: < 20 ، $20-40$ ، $40-60$ ، $60-80$ و > 80 تقسیم می‌گردد (Wilcox 1955).

۲-۴-۴- کربنات سدیم باقی‌مانده (RSC)

RSC به‌عنوان معیاری برای ارزیابی آب‌های کربناته می‌باشد. به‌موجب این معیار اگر غلظت این یون‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر توصیف گردند، چنانچه RSC در آبی بیش از $2/5$ باشد آن آب برای آبیاری مناسب نیست. آب‌هایی که دارای مقادیر بین $1/2-5/5$ است متوسط و اگر دارای مقادیر کمتر از $1/25$ باشد برای آبیاری مناسب می‌باشد (Hassen et al. 2016). RSC از رابطه (۸) قابل محاسبه می‌باشد (Alizadeh 2010).

$$RSC = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg}) \quad (۸)$$

۲-۴-۵- خطر منیزیم (MH)

منیزیم در آب زیرزمینی روی کیفیت خاک تأثیرگذار می‌باشد و خاک را به یک خاک قلیایی تبدیل کرده و سبب کاهش محصول گیاه می‌شود (Gowd, 2005). Szabolcs and Darab (1964) شاخص خطر منیزیم را با استفاده از رابطه (۹) برای مصارف کشاورزی ارائه دادند:

$$MH = \frac{\text{Mg}^{2+}}{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})} \times 100 \quad (۹)$$

که در آن Ca^{++} و Mg^{++} به ترتیب غلظت یون‌های منیزیم و کلسیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) می‌باشد. اگر MH کمتر از ۵۰ باشد، آب از لحاظ منیزیم بدون خطر بوده و اگر بالاتر از ۵۰ باشد، آب برای مصارف کشاورزی نامناسب می‌باشد (Gautam et al. 2015).

۲-۴-۶- شاخص‌های رسوب‌گذاری و خوردگی (LSI, RSI, POR)

خوردگی و رسوب‌گذاری آب یکی از مشکلات کیفی آن می‌باشد که بر شبکه توزیع تأثیر بسزایی دارد. روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی رسوب‌گذاری یا تمایل به ایجاد خوردگی وجود دارد. این روش‌ها معمولاً بر مبنای تعادلات شیمیایی بنا شده و تنها می‌تواند بیانگر نتیجه بوده و واکنش‌های شیمیایی انجام‌شده را بررسی نمی‌کنند (Bamdad Machiani et al. 2014). در این مطالعه از سه شاخص شامل شاخص‌های LSI, RSI و POR برای بررسی خوردگی و رسوب‌گذاری استفاده گردید که به ترتیب در معادلات (۱۰) تا (۱۳) ارائه می‌گردند:

$$LSI = pH - pH_C \quad (۱۰)$$

$$RSI = 2(pH_C) - pH \quad (۱۱)$$

$$POR = 2(pH_C) - (1.465(SAR) + 4.54) \quad (۱۲)$$

$$pH_C = A + B + C \quad (۱۳)$$

در معادلات فوق، pH: اسیدیته اندازه‌گیری شده آب، pH_C : اسیدیته اصلاح‌شده، SAR: نسبت جذبی سدیم، Ca^{++} ، Mg^{++} ، Na^+ ، K^+ ، CO_3^{--} و HCO_3^- به ترتیب غلظت کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کربنات و بی‌کربنات، A: لگاریتم منفی مجموع غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، B: لگاریتم منفی مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم و C: لگاریتم منفی مجموع غلظت یون‌های کربنات و بی‌کربنات می‌باشد. در این رابطه غلظت یون‌ها برحسب اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. مقادیر منفی این شاخص نشانگر عدم رسوب و مقادیر مثبت نشانگر رسوب کربنات کلسیم می‌باشد. اگر مقدار این شاخص بالاتر از یک باشد باید عملیات اصلاحی مانند اسیدشویی سخت‌تر صورت بگیرد. مطابق شاخص‌های RSI و POR، آب هنگامی خورنده است که مقدار این دو نمایه از شش تجاوز کنند و اگر این مقدار کمتر از شش باشد، آب دارای خاصیت رسوب‌گذاری خواهند بود (Bamdad Machiani et al. 2014).

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- کیفیت منابع آب زیرزمینی از نظر مصارف شرب

در این مطالعه، به منظور بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان اردبیل از شاخص WQI و برای محاسبه این شاخص، از ده پارامتر کیفی شامل: TDS، Na^+ ، Ca^{++} ، Mg^{++} ، K^+ ، Cl^- ، SO_4^{--} ، HCO_3^- ، F^- و NO_3^- استفاده شد. وزن اختصاص‌یافته به

پارامترهای مختلف برم بنای اهمیت آن‌ها در آب‌های زیرزمینی آبخوان اردبیل برای مصارف شرب، جهت محاسبه شاخص WQI، در جدول (۱) ارائه شده است. بالاترین وزن ۵ می‌باشد که به پارامترهای TDS، F^- و NO_3^- اختصاص یافته است. Vasanthavigar et al. (2010) نیز، بالاترین وزن را به پارامترهای فوق اختصاص داده‌اند. کمترین وزن نیز، ۱ می‌باشد که به پارامترهای SO_4^{2-} و HCO_3^- تعلق می‌گیرد (Varol and Davraz 2014). به منظور بررسی مقادیر پارامترها با مقادیر استاندارد، از ISIRI استفاده گردید اما با توجه به اینکه در این استاندارد، برای مقادیر K^+ و HCO_3^- حد مطلوبی در نظر گرفته نشده است، برای مقایسه این دو پارامتر و تعیین میزان اهمیت آن‌ها در آب آشامیدنی از استاندارد WHO که استاندارد ISIRI نیز بر مبنای آن تدوین شده است استفاده گردید.

جدول ۱- وزن و وزن نسبی اختصاص یافته به پارامترهای شیمیایی آب‌های زیرزمینی آبخوان اردبیل برای محاسبه WQI (میلی گرم بر لیتر)

پارامترها	حداقل	حداکثر	ISIRI	wi	Wi
TDS	۳۲۷/۰۰	۳۷۱۶/۰۰	۱۰۰۰	۵	۰/۱۵۱۵
Na	۵/۴۷	۵۷/۴۳	۲۰۰	۴	۰/۱۲۱۲
Ca	۴/۳۳	۴۳/۸۲	۳۰۰	۳	۰/۰۹۱۰
Mg	۱/۷۶	۲۱/۰۹	۳۰	۳	۰/۰۹۱۰
K	۰/۰۸	۲۱/۷۶	۳۰	۳	۰/۰۹۱۰
Cl	۶/۹۵	۱۰۷/۷۱	۲۵۰	۳	۰/۰۹۱۰
SO ₄	۹/۲۵	۱۱۳/۵۰	۲۵۰	۱	۰/۰۳۰۳
HCO ₃	۲۱/۹۳	۷۲/۴۴	۳۸۰*	۱	۰/۰۳۰۳
F	۰/۰۴	۱/۲۶	۱/۵	۵	۰/۱۵۱۵
NO ₃ ⁻	۳۹/۸۰	۲۷/۲۰	۵۰	۵	۰/۱۵۱۵

مقادیر محاسبه شده WQI در جدول (۲)، ارائه شده است. بر اساس نتایج ارائه شده در این جدول، WQI در فصل خشک در بازه ۳۱-۱۸/۹۴ با میانگین مقدار ۴۴/۷۳ و در فصل تر در بازه ۲۸۲/۸۶-۱/۶۵ با میانگین مقدار ۴۰/۴۱ قرار دارد. در فصل خشک ۶۴/۲۸ درصد نمونه‌ها در کلاس عالی (<۵۰) قرار داشته و ۳۵/۷۲ درصد نیز در کلاس خوب (۵۰-۱۰۰) قرار دارند که برای مصارف شرب مناسب می‌باشند. در فصل تر ۸۱/۸۲ درصد در کلاس عالی (<۵۰)، ۱۵/۱۵ درصد در کلاس خوب (۵۰-۱۰۰) و ۰/۰۳ درصد نیز در کلاس خیلی بد (۲۰۰-۳۰۰) قرار دارند که در حالت کلی در فصل تر نیز آب‌های زیرزمینی این آبخوان بر مبنای این شاخص، برای مصارف شرب مناسب می‌باشند. Hassen et al. (2016) مقادیر محاسبه شده برای شاخص WQI در آبخوان اوم علی تلیپته را در بازه ۲۸/۷۲-۴۶/۰۵ محاسبه نمودند که بر این اساس تمامی نمونه‌ها در کلاس عالی طبقه‌بندی گردیدند.

در این مطالعه، مقادیر نیترات و نیتريت نیز در محدوده آبخوان اردبیل بررسی و تحلیل گردید که نتایج آن‌ها در جدول (۳) ارائه شده است. جدول (۳) نتایج آنالیز آماری نیترات، نیتريت و K را در آب‌های زیرزمینی آبخوان اردبیل نشان می‌دهد. در این جدول مقادیر حداکثر، حداقل، انحراف معیار، متوسط و مقادیر استاندارد نیترات و نیتريت در آب آشامیدنی بر اساس استانداردهای WHO و ISIRI آب زیرزمینی اردبیل ارائه شده است. نیترات از جمله مواد آلاینده آب می‌باشد که فرم اکسیدشده ترکیبات نیتروژن است. بر اساس WHO و ISIRI بالاترین میزان مجاز نیترات و نیتريت به ترتیب ۵۰ و ۳ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. مطابق جدول (۳)، بالاترین و پایین‌ترین میزان نیترات در فصل خشک به ترتیب ۱۴۳/۶ و صفر میلی‌گرم بر لیتر بوده و در فصل تر به ترتیب ۱۲۹/۹ و صفر میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.

جدول ۲- تقسیم‌بندی شاخص WQI برای مصارف شرب آب‌های زیرزمینی آبخوان اردبیل

بازه	نوع آب	فصل خشک			فصل تر			فصل خشک (درصد)	فصل تر (درصد)
		حداقل	حداکثر	متوسط	حداقل	حداکثر	متوسط		
۵۰ <	عالی						۶۴/۲۸	۸۱/۸۲	
۱۰۰-۵۰	خوب						۳۵/۷۲	۱۵/۱۵	
۲۰۰-۱۰۰	بد	۱۸/۳۱	۹۴	۴۴/۷۳	۱/۶۵	۲۸۲/۸۶	۴۰/۴۱	.	
۳۰۰-۲۰۰	خیلی بد						.	۳/۰۳	
۳۰۰ >	نامناسب						.	.	

جدول ۳- محاسبات آماری نیترات، نیتريت و K در دو فصل خشک و تر (میلی گرم بر لیتر)

پارامترهای موردبررسی	فصل خشک			فصل تر		
	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	K	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	K
حداکثر	۱۴۳/۶	۰/۶	۲/۹	۱۲۹/۹	۴/۱	۲/۸
حداقل	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
متوسط	۳۹/۷	۰/۲	۰/۸	۲۳/۶	۰/۱	۰/۵
انحراف معیار	۳۳/۶	۰/۰۷۵	۰/۷	۲۳/۴	۰/۵	۰/۵
ضریب تغییرات	۸۴/۴	۳۴۰/۹	۸۴/۰	۹۹/۲	۴۸۰/۰	۱۰۳/۶
WHO (2011)	۵۰/۰	۳/۰	۱/۰	۵۰/۰	۳/۰	۱/۰
ISIRI (2009)	۵۰/۰	۳/۰	.	۵۰/۰	۳/۰	.
درصد بالاتر از استاندارد WHO	۲۹/۰	.	۲۹/۰	۱۰/۵	.	۱۳/۲
درصد بالاتر از استاندارد ISIRI	۲۹/۰	.	۲۹/۰	۱۰/۵	.	۱۳/۲

Agca et al. (2014) میزان نیترات را در دشت آمیک کشور ترکیه بررسی نمودند که در آن بالاترین میزان نیترات را ۳۰۰ و پایین‌ترین آن را ۰/۳۸ میلی‌گرم بر لیتر به دست آوردند. در این مطالعه ۱۲ نمونه از ۹۲ نمونه دارای مقادیر نیترات بالاتر از حد مجاز می‌باشند. بالاترین و پایین‌ترین میزان نیترات در فصل خشک به ترتیب ۰/۶ و صفر میلی‌گرم بر لیتر بوده و در فصل تر به ترتیب ۴/۱ و ۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. بالاترین مقدار نیترات مشاهده شده در یک چاه برابر ۱/۴ میلی‌گرم بر لیتر بوده ولی در سایر چاه‌ها، میزان این ماده کمتر از ۱ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. بر اساس استانداردهای WHO و ISIRI، ۱۰/۵ درصد چاه‌ها دارای

مقادیر نیترا ت بالاتر از حد استاندارد در فصل تر می‌باشند. اما در فصل خشک، بر اساس استاندارد WHO و ISIRI حدود ۲۹ درصد چاه‌ها دارای مقادیر نیترا ت بالاتر از حد استاندارد می‌باشد؛ اما مقادیر نیترا ت مطابق تمام استانداردها، پایین‌تر از حد مجاز جهت مصارف آشامیدنی می‌باشد. نتایج مقادیر K محاسبه شده بر اساس رابطه (۴)، در جدول (۳) ارائه گردیده است. حداکثر مقادیر K در دو نوبت اندازه‌گیری طی فصول خشک و تر به ترتیب ۲/۸۷ و ۲/۸۱ بوده و میانگین مقدار نیز به ترتیب ۰/۸ و ۰/۵۱ می‌باشد. در فصل خشک، ۲۹ درصد و در فصل تر، ۱۳/۱۵ درصد چاه‌ها دارای نسبت بیش از یک می‌باشند. (2011) Mohammadi et al. با بررسی میزان K در آب‌های آشامیدنی مناطق تحت پوشش دانشکده پزشکی شهید بهشتی استان تهران به این نتیجه دست یافتند که میزان K در تمامی نمونه‌ها به جز در دو نمونه، دارای مقادیر کمتر از یک می‌باشند. در فصل خشک تمام نمونه‌ها دارای مقادیر نیترا ت کمتر از یک بوده و مطابق تمام استانداردها، در دامنه مجاز می‌باشد. اما در اندازه‌گیری‌های فصل تر، مقدار نیترا ت فقط در یک چاه دارای مقدار بالاتر از یک (حدود ۴/۱۱ میلی‌گرم بر لیتر) بوده و بقیه چاه‌ها دارای مقادیر کمتر از یک می‌باشند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که مقادیر یون نیترا ت در آب محدوده مورد بررسی از مقادیر استاندارد پیشنهادی پایین‌تر است. دلیل آن نیز می‌تواند ناپایدار بودن این یون و تبدیل سریع آن در طبیعت به یون نیترا ت باشد. بالا بودن غلظت یون نیترا ت در ضمن پایین بودن غلظت یون نیترا ت گویای این واقعیت است که آلودگی موجود به‌تازگی و به‌صورت لحظه‌ای اتفاق نیفتاده، بلکه این افزایش در طی سال‌های متمادی رخ داده است که در صورت عدم اعمال کنترل‌های لازم این روند ادامه خواهد داشت.

۳-۲- کیفیت منابع آب زیرزمینی از نظر مصارف کشاورزی

نتایج آنالیز شاخص‌های مختلف کشاورزی در جدول (۴) ارائه شده است. بر اساس نتایج جدول (۴)، هدایت الکتریکی در بازه ۳۵۱-۴۷۴۹ (میکروزیمنس بر سانتی‌متر) با میانگین مقدار ۱۳۶۷/۷۶ در فصل خشک و در فصل تر در بازه ۴۹۸۱-۳۶۶ (میکروزیمنس بر سانتی‌متر) با میانگین مقدار ۱۴۱۳/۶۱ قرار دارد. بنابراین در هر دو نوبت نمونه‌برداری شوری در بازه C₂ تا C₄ قرار می‌گیرد که در محدوده خطرات با شوری متوسط تا بسیار زیاد می‌باشد. گروه C₂ آب با شوری متوسط می‌باشد. گروه C₃ آب با شوری زیاد است که هنگام استفاده از این نوع آب‌ها و برای آنکه از هرگونه خطرات شوری پیشگیری گردد، اغلب شستشوی منظم مورد نیاز است و حتی المقدور باید گیاهانی که به شوری مقاوم هستند انتخاب گردند. (2014) Lalehzari and Ansari با بررسی میزان شوری در آبخوان شمال استان خوزستان به این نتیجه دست یافتند که در تمامی محدوده مطالعاتی شوری در بازه C₂ تا C₄ قرار می‌گیرد که با نتایج حاصل از این مطالعه مطابقت دارد. نسبت جذبی سدیم (SAR)، در بازه ۰/۳۴ تا ۴/۰۸ با میانگین مقدار ۱/۷۰ در فصل خشک و در فصل تر در بازه ۰ تا ۳/۸۹ با میانگین مقدار ۱/۶۹ قرار دارد که در هر دو نوبت نمونه‌برداری مقادیر SAR در بازه در کلاس S₁ (خطرات سدیمی شدن کم)، قرار می‌گیرد. آب این گروه می‌تواند برای تمام خاک‌ها و برای هر محصول استفاده شود. (2016) Osati and Nahvinia با بررسی میزان SAR در منابع آب زیرزمینی دشت بیرجند به این نتیجه رسیدند که مقادیر بالای این پارامتر در بیشتر نقاط عامل محدودکننده برای آبیاری مزارع و باغات می‌باشد. درصد سدیم در آب‌های زیرزمینی آبخوان اردبیل در بازه ۲۱/۷۷ تا ۷۸/۳۳ درصد با میانگین مقدار ۵۴/۰۷ درصد در فصل خشک و در فصل تر در بازه ۴/۴۶ تا ۸۵/۴۹ درصد با میانگین مقدار ۵۴/۸۴ درصد قرار دارد. بر اساس درصد سدیم، آب‌های زیرزمینی این آبخوان در فصل خشک در بازه خوب (۲۰/۵۹ درصد)، قابل قبول (۴۱/۱۷ درصد) و مضر (۳۸/۲۴ درصد) و در فصل تر در کلاس عالی (۴/۳۵ درصد)، خوب (۱۵/۲۱ درصد)، قابل قبول (۴۱/۳۰ درصد)، مضر (۳۰/۴۳ درصد) و غیرقابل مصرف (۸/۷۱) قرار دارند. مقادیر بالای بی‌کربنات سدیم برای خصوصیات ظاهری خاک مضر می‌باشد و سبب باقی ماندن یک لایه سیاه‌رنگ روی سطح خاک گردد (Li et al. 2012). کربنات سدیم باقی‌مانده در تمامی محدوده مطالعاتی و در هر دو نوبت نمونه‌برداری کمتر از ۱/۲۵ می‌باشد بنابراین بر اساس این شاخص آب‌ها مناسب جهت مصارف کشاورزی می‌باشند. (2015) Gautam et al. درصد سدیم در دشت چاتانگیور کشور

هندوستان را در فصل خشک در بازه ۳۴/۷-۳/۵ و در فصل تر در بازه ۴۴/۶-۶ به دست آوردند. نتایج حاصل از کار این محققان نیز نشان داد که درصد سدیم در فصل تر دارای مقادیر بالاتر می‌باشد که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد. شاخص نفوذپذیری از شاخص‌های بسیار مهم در آبیاری بخصوص در آبیاری سطحی می‌باشد. بر اساس این شاخص، تمامی نمونه‌ها مناسب برای مصارف کشاورزی می‌باشند. محققان بیان داشته‌اند که شوری باعث افزایش نفوذپذیری و مقدار SAR بالا باعث کاهش نفوذپذیری می‌گردد.

جدول ۴- تناسب آب‌های زیرزمینی آبخوان اردبیل برای مصارف کشاورزی بر مبنای شاخص‌های مختلف کشاورزی

فصل تر	فصل خشک	فصل تر			فصل خشک			کلاس بندی	شاخص
		متوسط	حداکثر	حداقل	متوسط	حداکثر	حداقل		
(درصد)	(درصد)							بازه‌های مربوط به	EC
۰	۰	۱۴۱۳/۶۱	۴۹۸۱	۳۶۶	۱۳۶۷/۷۶	۴۷۴۹	۳۵۱	شوری کم	۲۵۰<
۲۸/۲۷	۳۲/۳۶							شوری متوسط	۷۵۰-۲۵۰
۵۸/۶۹	۵۵/۸۸							شوری زیاد	۲۲۵۰-۷۵۰
۱۳/۰۴	۱۱/۷۶							شوری بسیار زیاد	۲۲۵۰<
۱۰۰	۱۰۰	۱/۶۹	۳/۸۹	۰	۱/۷۰	۴/۰۸	۰/۳۴	خطر کم	۱۰<
۰	۰							خطر متوسط	۲۰-۱۰
۰	۰							خطر زیاد	۲۸-۲۰
۰	۰							خطر بسیار زیاد	۲۸<
۴/۳۵	۰	۵۴/۸۴	۸۵/۴۹	۴/۴۶	۵۴/۰۷	۷۸/۳۳	۲۱/۷۷	عالی	۲۰<
۱۵/۲۱	۲۰/۵۹							خوب	۴۰-۲۰
۴۱/۳۰	۴۱/۱۷							قابل قبول	۶۰-۴۰
۳۰/۴۳	۳۸/۲۴							مضر	۸۰-۶۰
۸/۷۱	۰							غیر قابل مصرف	۸۰<
۱۰۰	۱۰۰	۰/۱۲	۱/۱۲	-۲/۲۶	۰/۱۹	۱/۲۱	-۰/۷۶	خوب	۱/۲۵
۰	۰							متوسط	۱/۲-۵/۵
۰	۰							نامناسب	۲/۵<
۱۰۰	۱۰۰	۱۷۲/۸۱	۳۴۶/۲۵	۱۰۱/۹۹	۱۶۵/۷۴	۲۹۳/۲۱	۱۰۹/۴۸	مناسب	۷۵<
۰	۰							تقریباً مناسب	۷۵-۲۵
۰	۰							نامناسب	۲۵<
۶۳/۰۴	۹۷/۰۶	۴۴/۵۳	۸۳/۶۲	۱۱/۸۲	۳۳/۷۶	۹۳/۱۶	۱/۵۰	مناسب	۵۰<
۳۶/۹۶	۲/۹۴							نامناسب	۵۰>
۱۰۰	۱۰۰	۰/۴۲	۱/۸۸	۰/۰۴	۰/۴۸	۱/۸۰	۰/۰۶	بدون محدودیت	۴<
۰	۰							کم تا متوسط	۱۰-
۰	۰							شدید	۱۰<
۱۰۰	۱۰۰							بدون محدودیت	۳>
۰	۰							متوسط تا شدید	۳<
								بارانی	

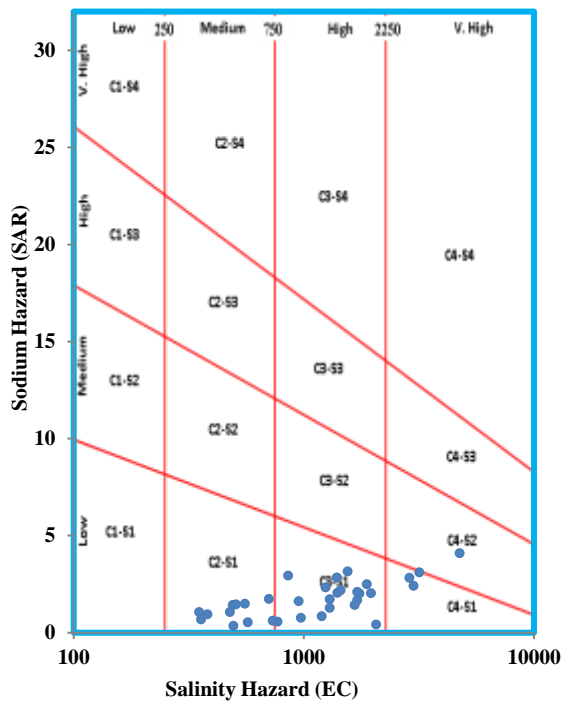
در این مطالعه، با توجه به اینکه SAR در کلاس S_1 قرار داشته و دارای مقادیر پایین می‌باشد و شوری در بازه C_2-C_4 می‌باشد، درستی نتایج حاصل از شاخص نفوذپذیری را به اثبات می‌رساند. نتایج آنالیز شاخص MH نشان می‌دهد که در فصل خشک، ۹۷/۰۶ درصد از نمونه‌ها در کلاس مناسب و ۲/۹۴ درصد نیز در کلاس نامناسب قرار دارند. همچنین در فصل تر نیز، ۶۳/۰۴ درصد از نمونه‌ها در کلاس مناسب و ۹۶/۳۶ درصد در کلاس نامناسب قرار دارند. نتایج حاصل از تحقیق (Gautam et al. (2016) در مورد میزان MH با نتایج حاصل از این مطالعه مطابقت دارد. این محققان نیز بیان داشته‌اند که ۹۶/۵ درصد از نمونه‌ها در بازه مناسب و ۳/۵ درصد در بازه نامناسب قرار دارند. مقدار کلر موجود در آب آبیاری در صورت استفاده از سامانه‌های آبیاری بارانی بسیار مهم می‌باشد و چنانچه مقدار آن بیش از حد مجاز باشد استفاده از سامانه‌های آبیاری بارانی منطقی نیست.

بر اساس نتایج جدول (۴) و استانداردهای موجود، کیفیت آب از لحاظ کلر، برای گیاهان در هیچ کدام از روش‌های آبیاری دارای مشکل نیست. از اولین روش‌هایی که به منظور طبقه‌بندی آب آبیاری برحسب شوری و نسبت جذبی سدیم صورت گرفته است، روش ارائه شده توسط آزمایشگاه شوری خاک آمریکا می‌باشد که بر اساس آن نمودار ویل کاکس تهیه گردیده است. این نمودار بر اساس SAR و EC، نمونه‌های آب را به ۱۶ گروه تقسیم‌بندی می‌کند. نمودارهای رسم شده ویل کاکس برای محدوده آبخوان اردبیل در شکل (۲) ارائه شده‌اند. با توجه به این شکل، می‌توان به این نتیجه رسید که اکثر نمونه‌های محدوده آبخوان اردبیل در گروه خوب و متوسط قرار دارند. تعداد کمی از نمونه‌ها در گروه نامناسب (C_4S_1 , C_4S_2) قرار داشته و هیچ کدام از نمونه‌ها در گروه خیلی خوب قرار ندارند. با توجه به نتایج بالا و در حالت کلی، آب‌های زیرزمینی آبخوان اردبیل برای کشاورزی مشکلی ندارند ولی چون اکثراً در گروه متوسط (C_3S_1) قرار دارند باید مراقبت‌های لازم نظیر عدم برداشت بیش از حد مجاز و عدم حفر بی‌رویه چاه‌های جدید اعمال گردد. آب‌هایی که در طبقه C_3S_1 قرار می‌گیرند تنها برای آبیاری زمین‌های درشت‌بافت و یا زمین‌های با زهکشی خوب، مناسب می‌باشند. آبیاری با آب شور، نه تنها به گیاه آسیب وارد می‌کند، بلکه موجب انتقال شوری آب به خاک، پراکنش ذرات خاک و تجمع نمک در پروفیل خاک می‌گردد. همچنین برای آبیاری مناسب و جلوگیری از شور شدن خاک، باید مقدار بیشتری آب برای لحاظ کردن جزء آبشویی در نظر گرفته شود. مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین شاخص‌های مختلف رسوب‌گذاری و خوردگی در جدول (۵) ارائه شده است.

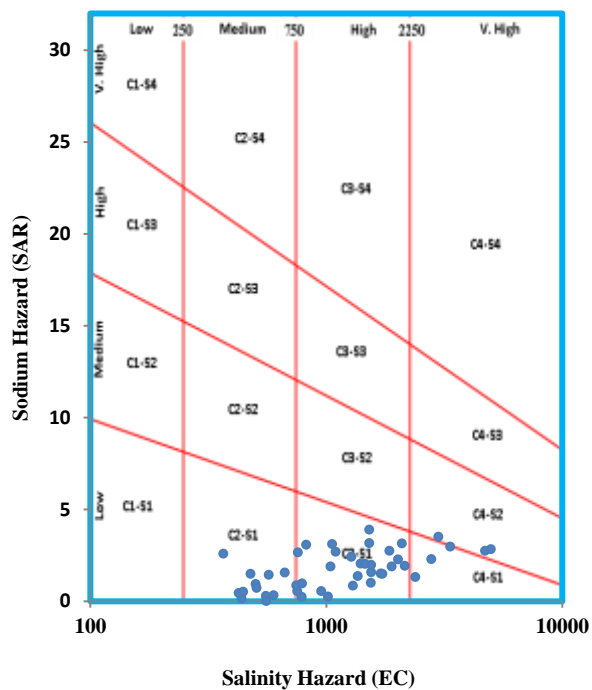
بر اساس شاخص LSI، مقادیر کمتر از صفر دارای خاصیت خوردگی و مقادیر بالای صفر دارای خاصیت رسوب‌گذاری می‌باشند. شاخص‌های RSI و POR، در صورت دارا بودن مقادیر کمتر از ۶، دارای خاصیت رسوب‌گذاری و در صورت داشتن مقادیر بالای شش دارای خاصیت رسوب‌گذاری خواهند بود (Kevin 2000). بر این اساس، در هر دو نوبت نمونه‌برداری و در تمامی نمونه‌های برداشت شده، شاخص‌های LSI و RSI، دارای خاصیت خوردگی می‌باشند. شاخص POR نیز در نوبت نمونه‌برداری تر در نمونه‌ها دارای خاصیت خوردگی بوده و در فصل خشک، تنها در یک نمونه، دارای خاصیت رسوب‌گذاری است و در سایر نمونه‌ها خوردگی می‌باشد. در تمامی نمونه‌های برداشتی از محدوده مطالعاتی و بر اساس هر سه شاخص، آب‌های زیرزمینی آبخوان اردبیل خوردگی می‌باشند. بنابراین در استفاده از این منابع در صنعت، سامانه‌های آب‌رسانی شهری و کشاورزی، به خصوص در سامانه‌های آبیاری تحت فشار، می‌بایست تمهیدات لازم در نظر گرفته شود تا کمترین آسیب به لوله‌ها و اتصالات فلزی وارد شود. Hoseinsarbazy and Esmaili (2014) با بررسی شاخص‌های رسوب‌گذاری و خوردگی به این نتیجه رسیدند که تمامی نمونه‌ها در دشت نیشابور دارای خاصیت رسوب‌گذاری می‌باشند. یون‌هایی مثل کربنات، قادرند با تشکیل رسوب کربنات کلسیم، سرعت خوردگی را کاهش دهند. با توجه به اینکه در این آبخوان، مقادیر کربنات در حد بسیار ناچیز می‌باشد، خوردگی بودن آب‌های زیرزمینی این محدوده را تأیید می‌کند. سوراخ شدن ناشی از خوردگی، سبب افزایش هزینه‌های پمپاژ و تعویض لوله‌های انتقال آب‌شده و مسائل بهداشتی ناشی از استفاده از این آب‌ها برای مصارف شرب می‌گردد.

جدول ۵- مقادیر مختلف محاسبه شاخص‌های مختلف خوردگی و رسوب‌گذاری

شاخص	بازه	کلاس بندی	فصل خشک			فصل تر	
			حداقل	حداکثر	متوسط	حداقل	حداکثر
LSI	< ۰	خورنده	-۳/۰۱	-۰/۵۸	-۱/۹۵	-۰/۶۸	-۲/۴۷
	> ۰	رسوب‌گذار	۸/۶۸	۱۳/۶۷	۱۱/۴۲	۱۵/۷۴	۱۲/۳۴
RSI	< ۶	خورنده	۵/۶۸	۱۵/۹۹	۱۱/۹۱	۷/۷۳	۱۲/۷۱
	> ۶	رسوب‌گذار	۱۲/۷۱	۱۷/۹۷	۱۷/۹۷	۱۷/۹۷	۱۷/۹۷



ب- فصل تر



الف- فصل خشک

شکل ۲- دیاگرام ویل کاکس آب‌های زیرزمینی آبخوان اردبیل الف- فصل خشک، ب- فصل تر

۴- نتیجه گیری

آب‌های زیرزمینی، منبع عمده تأمین آب در بسیاری از مناطق دنیا به‌ویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک مانند ایران هستند به همین دلیل پایش مستمر کیفیت این منابع ارزشمند بسیار ضروری است. خلاصه نتایج پایش کیفی آب زیرزمینی آبخوان اردبیل به‌صورت زیر ارائه می‌گردد:

۱- مطابق شاخص‌های تعیین کیفیت آب شرب، کیفیت آب بر اساس دیاگرام شولر در بازه خوب تا متوسط قرار می‌گیرد. علت قرارگیری تعدادی از نمونه‌ها در گروه متوسط، از وجود مقادیر بالای TDS در آن نمونه‌ها ناشی می‌شود. همچنین بر اساس شاخص WQI نیز آب‌های زیرزمینی این آبخوان در محدوده عالی و خوب قرار دارند.

۲- با بررسی شاخص‌های مختلف کشاورزی، می‌توان به این نتیجه رسید که آب‌های این منطقه دارای خاصیت خورندگی بالا می‌باشند. این عامل سبب بروز مشکلات متعدد در سامانه‌های آبرسانی شهری و کشاورزی خواهد شد.

۳- در سامانه‌های آبیاری و به‌خصوص سامانه‌های آبیاری بارانی که از قطعات فلزی در بخش پمپاژ و کنترل مرکزی استفاده می‌شود، مسئله خوردگی سبب بروز مسائل مختلف و هزینه‌های بالا ناشی از تعویض لوله‌ها خواهد شد.

با توجه به رده‌بندی صورت گرفته بر اساس شاخص‌های مختلف، به‌طور کلی می‌توان به این نتیجه رسید که برای مصارف شرب، آب‌های این ناحیه با بررسی پارامترهای ذکر شده در وضعیت مطلوب قرار دارد ولی مقادیر نترات در تعدادی از نمونه‌ها دارای مقادیر بالا می‌باشد. همچنین برای مصارف کشاورزی، می‌توان گفت که مشکل اصلی کیفیت آب آبیاری در سطح آبخوان از شوری نشأت می‌گیرد. بنابراین بهتر است زمین‌های زراعی، به‌منظور جلوگیری از تجمع نمک، دارای زهکش مناسب بوده و آبشویی گردند. اما در رابطه با دیگر خصوصیات شیمیایی، استفاده از این آب، تهدیدی برای گیاه و خاک محسوب نمی‌شود. همچنین بهتر است به‌منظور جلوگیری از خوردگی لوله‌های فلزی تا حد امکان از قطعات پلی‌اتیلنی استفاده شود. اما در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای به علت عدم رسوب‌گذاری، مسائل گرفتگی قطره‌چکان‌ها را نخواهیم داشت. سایر شاخص‌های کشاورزی نظیر شاخص‌های SAR، I، و RSC در وضعیت مطلوب قرار داشته و مشکلی ایجاد نخواهند کرد.

References

- Agca N., Kranlik S. and Odemis B. (2014). Assessment of ammonium, nitrate, phosphate, and heavy metal pollution in groundwater from Amik plain, southern Turkey. *Environ. Monit. Assess.*, 186(9), 5921-5934.
- Alizadeh A. (2010). *Soil, water and plant relationship*. 4th edition, University of Imam Reza publications, Mashhad, 470 pp.
- Avvannavar S. M. and Shrihari S. (2008). Evaluation of water quality index for drinking purposes for river Netravathi, Mangalore, India. *Environ. Monit. Assess.*, 143(1-3), 279-290.
- Bian J., Liu C., Zhang Z., Wang R. and Gao Y. (2016). Hydro-geochemical characteristics and health risk evaluation of nitrate in groundwater. *Pol. J. Environ. Stud.*, 25(2), 521-527.
- Bamdad Machiani S., Khaledian M. R., Rezaei M. and Tajdari Kh. (2014). Evaluation of groundwater quality in Gilan province for agricultural and industrial uses. *J. Irrigation Drain.*, 8(2), 246-256 [In Persian].
- Chung S. Y., Venkatramanan S., Kim T. H., Kim D. S. and Ramkumar T. (2014). Influence of hydrogeochemical processes and assessment of suitability for groundwater uses in Busan city, Korea. *Environ. Develop. Sustain.*, 14(3), 423-441.
- Ehsani S., Salehpur M., Ehsani-Ardekani H. and Abbasi-Maede P. (2013). Assessment of salinity and corrosion potential of Sari groundwater with emphasis for using in industry, agriculture and urban. *J. Human and Environ.*, 11(1), 19-30 [In Persian].

- Entezari A. R., Akbari E. and Mayvane F. (2013). Investigation of drinking water quality extracted from groundwater resources on human disease in the past decade in plains of Mashhad. *J. Appl. Res. Geogr. Sci.*, 157-172 [In Persian].
- Gowd S. S. (2005). Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes: a case study of Peddavamka watershed, Anantapur district, Andhra Pradesh, India. *Environ. Geol.*, 48(6), 702-712.
- Hamzaoui-Azaza F., Tlili-Zrelli B., Bouhlila R. and Gueddari M. (2013). An integrated statistical methods and modelling mineral-water interaction to identifying hydrogeochemical processes in groundwater in southern Tunisia. *Chem. Spec. Bioavail.*, 25(3), 165-178.
- Hassen I., Hamzaoui-Azaza F. and Bouhlila R. (2016). Application of multivariate statistical analysis and hydrochemical and isotopic investigations for evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agriculture purposes: case of Oum Ali-Thelepte aquifer, central Tunisia. *Environ. Monit. Assess.*, 18(3), 1-20.
- Homayoonnezhad I., Amirian P. and Piri I. (2016). Investigation on water quality of Zabol Chahnimeh reservoirs from drinking water and agricultural viewpoint with focus on Schuler and Wilcox diagrams. *J. Environ. Sci. and Tech.*, 18(1), 1-13 [In Persian].
- Hoseinsarbazy A. and Esmaili K. (2014). Investigation of groundwater resource quality change on agriculture and technology (Case study: the plain of Neyshabour). *J. Irrigation Drain.*, 8(1), 72-83 [In Persian].
- Kevin R. (2000). Scaling in geothermal heat pump systems. *Oregon Institute of Technology, Julio de.*, 11-15.
- Kumar M., Kumar K., Ramanathan A. and Saxena R. (2007). A comparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensively cultivated districts of Punjab, India. *Environ. Geol.*, 53, 553-574.
- Gautam K. S., Maharana Ch., Sharma D., Singh A. K., Tripathi J. K. and Kumar S. S. (2015). Evaluation of groundwater quality in the Chotanagpur plateau region of the Subarnarekha river basin, Jharkhand, India. *Sustain. Water Qual. Ecol.*, 6, 57-74.
- Lalehzari R. and Ansari F. (2014). Identification of regions vulnerable to trickle irrigation clogging based on groundwater quality using ArcGIS. *J. Water Res. Agri.*, 28(2), 285-294 [In Persian].
- Li P., Wu J. and Qian H. (2012). Groundwater quality assessment based on rough sets attribute reduction and TOPSIS method in a semi-arid area, China. *Environ. Monit. Assess.*, 184(8), 4841-4854.
- Mohammadi-Ghaleni M., Ebrahimi K. and Araghinejad Sh. (2010). Groundwater quantity and quality evaluation: a case study for Saveh and Arak aquifers. *Water Soil Sci.*, 21(2), 93-108 [In Persian].
- Mohammadi H., Yazdanbakhsh A., Sheykh Mohammadi A., Bonyadinejad G., Alinejad A. and Ghanbari G. (2011). Investigation of nitrite and nitrate in drinking water of regions under surveillance of Shahid Beheshti University of medical sciences in Tehran province, Iran. *Health Sys. Res.*, 7(6), 782-789 [In Persian].
- Nagarajan R., Rajmohan N., Mahendran U. and Senthamilkumar S. (2010). Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Thanjavur city, Tamil Nadu, India. *Environ. Monit. Assess.*, 171(1-4), 289-308.

- Osati Kh. and Nahvinia M. J. (2016). Spatial variations of groundwater quality in Birjand plain for agriculture, *J. Environ. Water Eng.* 2(1), 25-36 [In Persian].
- Ramesh K. and Elango L. (2012). Groundwater quality and its suitability for domestic and agricultural use in Tondiar river basin, Tamil Nadu, India. *Environ. Monit. Assess.*, 184(6), 3887-3899.
- Saeedi M., Sharifi O. A. and Meraji H. (2010). Development of groundwater quality index. *Environ. Monit. Assess.*, 163, 327-335.
- Shokuhi R., Hosinzadeh E., Roshanaei G., Alipour M. and Hoseinzadeh S. (2012). Evaluation of Aydughmush dam reservoir water quality by national sanitation foundation water quality index (NSF-WQI) and water quality parameter changes. *J. Health and Environ.*, 4(4), 439-450 [In Persian].
- Szabolcs I. and Darab C. (1964). The influence of irrigation water of high sodium carbonate content of soils. *Proceeding of 8th Int. Con. LSSS, Trans.*, 803-812.
- Varol S. and Davraz A. (2014). Evaluation of the groundwater quality with WQI (water quality index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). *Environ. Earth Sci.*, 73(4), 1725-1744.
- Vasanthavigar M., Srinivasamoorthy K., Vijayaragavan K., Rajiv Ganthi R., Chidambaram S., Anandhan P., Manivannan R. and Vasudevan S. (2010). Application of water quality index for groundwater quality assessment: Thirumanimuttar sub-basin, Tamilnadu, India. *Environ. Monit. Assess.*, 171(1), 595-609.
- Wilcox L. V. (1955). *Classification and use of irrigation water*, US department of agriculture, Circ. 696, Washington, DC.

Quality Evaluation of Groundwater Resources of Ardabil Aquifer for Agricultural and Drinking Uses

Mina Rahimi¹, Sina Besharat² and Vahidreza Verdinejad^{2*}

¹M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

²Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

*Corresponding author: rezaverdinejad@gmail.com

Received: September 27, 2016

Accepted: December 7, 2016

Abstract

In this study, groundwater quality of Ardabil aquifer was evaluated in terms of drinking and agricultural. For this purpose, 76 wells including 32 drinking wells and 44 agricultural wells were considered. The water quality for agricultural purposes was assessed using the Wilcox diagram and scaling and corrosion indices including Langelier saturation index (LSI), Ryznar saturation index (RSI) and Puckorius scaling index (PSI), magnesium hazard (MH), permeability (I), the residual sodium carbonate (RSC), sodium adsorption ratio (SAR), and the percentage of sodium and chlorine.

Based on the water quality index (WQI), the results indicated that groundwater quality is in good condition. Based on the standards of the World Health Organization (WHO) and Institute of Standard and Industrial Research of Iran (ISIRI), 10.5% of the wells had nitrate levels above the limit in the wet season; but in the dry season, about 29% of the wells had nitrate values higher than acceptable level. Moreover, the research showed that groundwater of this aquifer is corrosive and its consumption in municipal water supply systems may cause health issues and various problems resulted from the corrosion of pipes. In addition, the use of these waters for agricultural purposes would cause problems in metal fittings of sprinkler irrigation systems.

Keywords: Corrosion Index, Nitrate, Nitrite, Sedimentation, Water Quality