

بررسی مشخصات هیدروشیمیایی و تأثیر فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان اردبیل بر اساس نقشه کاربری اراضی مستخرج از تکنیک سنجش از دور

علیرضا رضوی دیزجی^۱، سید عباس حسینی^۲، وحید رضاوردی نژاد^{۳*}، احمد شرافتی^۴

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران، گروه عمران آب، دانشکده عمران معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲ و ۴- استادیار گروه مهندسی عمران آب، دانشکده عمران معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

ایمیل نویسنده مسئول: v.verdinejad@urmia.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۱۴

چکیده

افزایش جمعیت و گسترش فعالیت‌ها نقش بسزایی در افزایش آلودگی‌های منابع آب دارد. در این مطالعه کیفیت آب زیرزمینی آبخوان اردبیل برای مصارف شرب و کشاورزی در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ بررسی شد. برای تهیه نقشه کاربری اراضی از تکنیک سنجش از دور و کدنویسی در گوگل ارث انجین استفاده شد. برای بررسی مصارف شرب از شاخص GWQI و برای مصارف کشاورزی از شاخص‌های $\%Na$ ، PI ، RSC و SAR استفاده شد. براساس دیاگرام پایپر تیپ نمونه‌های آب $Ca-HCO_3$ می‌باشد. نتایج نشان داد غلظت عناصر موجود در نمونه‌های آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۰ به جز نیترات و منیزیم تغییرات محسوسی نداشته است. در سال ۱۳۹۰، ۲۹ درصد از نمونه‌ها مقادیر بالای نیترات داشته‌اند که این مقدار در سال ۱۳۹۵ به ۴۱ درصد رسیده است. از نظر شاخص GWQI بیشتر نمونه‌ها در وضعیت مطلوب برای مصارف شرب قرار دارند. بررسی نقشه کاربری اراضی نشان داد در سال ۱۳۹۵ مناطق کشاورزی افزایش یافته است. لذا افزایش غلظت نیترات در سال ۱۳۹۵ با مصرف کودها در اراضی کشاورزی ارتباط دارد. منشأ بیشتر عناصری که در سال ۱۳۹۵ تغییرات محسوسی نداشته‌اند مربوط به جنس مواد سازنده آبخوان است.

کلمات کلیدی

"کیفیت آب زیرزمینی"، "دیاگرام‌های هیدروشیمیایی"، "آبخوان اردبیل"، "مصارف شرب"، "مصارف کشاورزی"

Investigation of Hydrochemical Characteristics and Human activities Impact on Groundwater Quality of Ardabil Aquifer based on land use map prepared on remote sensing technique

Alireza Razavi Dizaji¹, Seyed Abbas hosseini², Vahid Rezaverdinejad^{3,*}, Ahmad Sharafati⁴

¹ Ph.D. Student of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

^{2,4} Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

³ Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

*Email Address: v.verdinejad@urmia.ac.ir

Abstract

Increasing population and expansion of activities have a significant role in increasing the pollution of water resources. In this study, groundwater quality of Ardabil aquifer for drinking and agricultural uses was investigated in 2011 and 2016. To preparing the land use map, remote sensing technique and writing code in Google earth engine were used. The GWQI index was used for drinking uses and PI , $\%Na$, RSC and SAR were used for agricultural uses. Based on piper diagram the type of water samples are $Ca-HCO_3$. The results showed that the concentrations of the elements in groundwater samples were not significantly changed in 2016 compared to 2011 except for nitrate and magnesium. In 2011, 29% of the samples had high nitrate levels, which reached 41% in 2016. In terms of GWQI, most samples are in optimal condition for drinking. A survey of land use mapping showed that in 2016 the agricultural areas have increased. Therefore, increasing nitrate concentration in 1395 is associated with the use of fertilizers in agricultural lands. Most of the elements that did not change significantly in 1395 are related to the aquifer material.

Keywords

"Groundwater quality", "Hydrochemical diagrams", "Ardabil aquifer", "Drinking uses", "Agricultural uses"

۱- مقدمه

امروزه آب‌های زیرزمینی در اکثر مناطق جهان از اهمیت بالایی در تأمین آب مورد نیاز برای مصارف شرب و کشاورزی برخوردار هستند. افزایش جمعیت و بهره‌برداری از این منابع ارزشمند باعث کاهش کمی و کیفی این منابع شده است (بامداد ماچانی و همکاران، ۱۳۹۳). ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی یکی از مباحث مهم در طرح‌های توسعه منابع آب کشور می‌باشد (حسین سربازی و اسماعیلی، ۱۳۹۳؛ شکوهی و همکاران، ۱۳۹۱). کیفیت آب‌های زیرزمینی به دلایل مختلف فعالیت‌های انسانی از قبیل کشاورزی و صنعت رو به وخامت می‌باشد لذا شناخت و آگاهی از کیفیت آب‌های زیرزمینی و طبقه‌بندی این آب‌ها بر اساس غلظت عناصر مختلف در آن‌ها ما را در اتخاذ تصمیمات مدیریتی و کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی یاری خواهد کرد. نظر به اهمیت موضوع، محققان مختلفی به ارزیابی پارامترهای هیدروشیمیایی به منظور دستیابی و نتیجه‌گیری از چگونگی کیفیت آب زیرزمینی پرداخته‌اند (بانژاد و محب‌خواه، ۱۳۹۰؛ ایمان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰؛ کیانی پویا و رسولی، ۱۳۹۰؛ Li et al., 2016; Nagarajan et al., 2010; Sheikhy Narany et al., 2015; Rajesh et al., 2015; Toumi et al., 2015; Nazzal et al., 2014; Prasanth et al., 2012; Adhikary et al., 2010). حسین سربازی و اسماعیلی (۱۳۹۳) کیفیت آب زیرزمینی دشت نیشابور را برای مصارف کشاورزی در طی سال‌های ۸۸-۸۱ ارزیابی کرده و به این نتیجه رسیدند که عناصر سدیم، کلر و سولفات بیش‌ترین غلظت را دارند که به تدریج باعث کاهش کیفیت آب‌ها شده است و درصد مربوط به کلاس C_4S_4 که بدترین کیفیت را دارد نیز افزایش یافته است. در مطالعه‌ای انجام شده توسط جعفری و بخشنده مهر (۱۳۹۳) تغییرات مکانی شوری و قلیائیت آب‌های زیرزمینی استان اصفهان با استفاده از روش‌های زمین‌آمار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد مطابق روش ویل کاکس غالب اراضی در کلاس غیرقابل استفاده طبقه‌بندی می‌شوند. شیرمردی دزکی و همکاران (۱۳۹۲) کیفیت آب چشمه‌های منطقه مسجد سلیمان و عوامل موثر بر آن‌ها را با استفاده از روش‌های هیدروشیمیایی بررسی کرده و نشان دادند که در بیشتر نمونه‌ها نوع آب سولفاتی و تعداد کمی از آن‌ها از نوع کلرید سدیم و بی‌کربناتی می‌باشند. Islam و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از دیاگرام پایپر رسم شده در منطقه Coastal کشور بنگلادش نشان دادند که تیپ غالب آب‌ها ترکیبی از سدیم-کلر-سولفات و سدیم-پتاسیم-بی‌کربنات است. علاوه بر عدم تناسب آب از لحاظ شوری (شوری بالای ۵۰۰۰ دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر) نسبت کلایز، سختی کل، SAR، RSC و Na% به وضوح نشان داد که نمونه‌های آب در محدوده مطالعاتی مناسب برای مصارف کشاورزی نیستند. Selvakumar و همکاران (۲۰۱۷-a) تناسب آب برای مصارف کشاورزی را با استفاده از پارامترهای کیفی و شاخص‌های ارزیابی در کشور هندوستان بررسی نموده و منشأ آلودگی آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی را افزایش جمعیت، تأثیر فعالیت‌های صنعتی و استفاده مجدد از آب استفاده شده کشاورزی دانستند. بعلاوه براساس دیاگرام ویل-

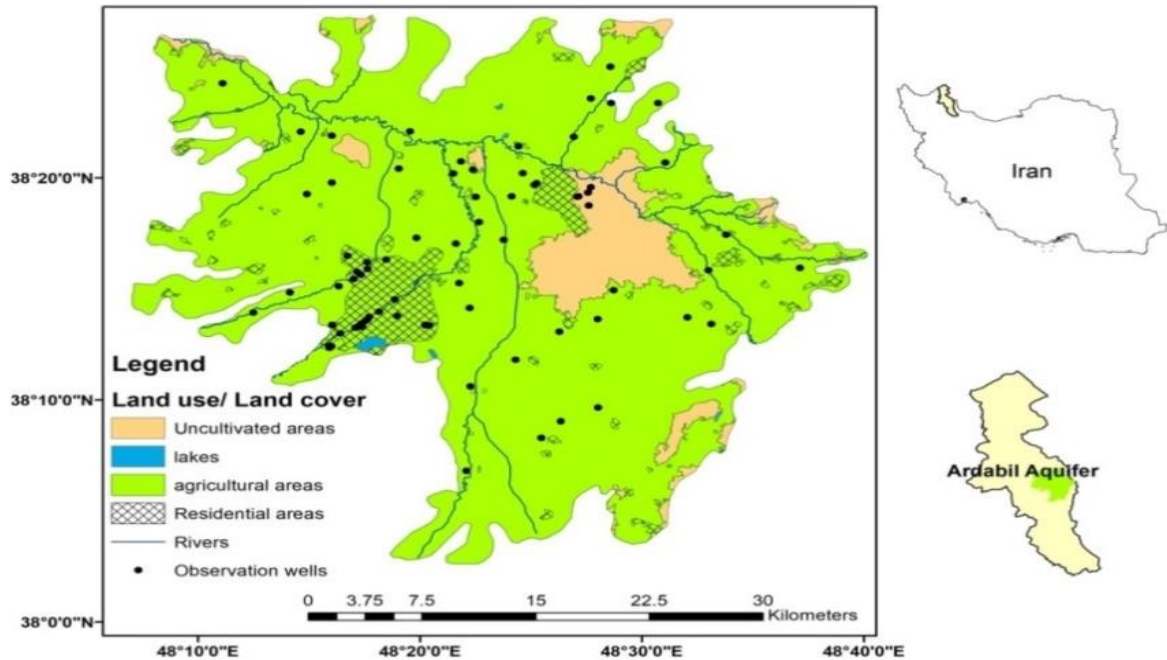
کاکس نیز تیپ آب شامل ترکیبی از: کلسیم-منیزیم-کلر، کلسیم-کلر و کلسیم-بیکربنات است. Selvakumar و همکاران (۲۰۱۷-b) کیفیت آب زیرزمینی و تناسب آن برای مصارف کشاورزی و شرب منطقه Tamil Nadu در کشور هندوستان را بررسی کردند. نتایج آنالیز شاخص‌های مختلف نشان داد که آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی قلیائی است. Balaji و همکاران (۲۰۱۷) تناسب آب مناطق جنوبی هندوستان را برای مصارف کشاورزی با استفاده از شاخص‌های SAR، Na%، RSC و PI بررسی کردند. برای مشخص کردن تیپ غالب آب از دیاگرام Chadha استفاده کرده و نشان دادند تیپ غالب آب مخلوطی از کلسیم-منیزیم-بیکربنات و کلسیم-منیزیم-کلر می‌باشد. ارزیابی نمونه‌های آب با متدهای مختلف نشان داد که آب نمونه‌های برداشتی در حالت کلی مناسب برای مصارف کشاورزی می‌باشد. Salifu و همکاران (۲۰۱۷) آب زیرزمینی منطقه غرب غنا را برای مصارف کشاورزی با استفاده از آمار کیفی ۲۳ نمونه آب زیرزمینی، پارامترهای فیزیکوشیمیایی، شاخص‌های کشاورزی و دیاگرام ویل کاکس ارزیابی کردند. بررسی‌های صورت گرفته نشان داد که شوری در بازه بسیار کم تا متوسط می‌باشد. Bashir و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی پارامترهای کیفی در آب زیرزمینی کشور پاکستان دریافتند که در بین کاتیون‌ها منیزیم و در بین آنیون‌ها کلر بیش‌ترین غلظت را داشت. با رسم دیاگرام استیف مشاهده شد که نمونه‌ها حاوی مقادیر بالای سدیم-کلر و مقادیر متوسط منیزیم-سولفات می‌باشند. همچنین براساس دیاگرام پایپر نیز تیپ غالب در نمونه‌ها سدیم-کلر بود. Shanmugasundharam و همکاران (۲۰۱۷) کیفیت آب زیرزمینی منطقه Krishnagiri و همکاران Vellore در کشور هندوستان را بررسی کرده و آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی را مناسب برای مصارف کشاورزی دانستند. Mirza و همکاران (۲۰۱۷) پارامترهای کیفی آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در مناطق غرب بنگلادش را بررسی کرده و نشان دادند کلر بیش‌ترین غلظت را در بین عناصر دارد. تیپ غالب آب در محدوده مطالعاتی نیز سدیم-کلسیم-منیزیم و سدیم-کلسیم-کلر می‌باشند. Srinivas و همکاران (۲۰۱۷) کیفیت آب زیرزمینی منطقه Manavalakurichi در کشور هندوستان را با داشتن ۳۰ نمونه آب زیرزمینی بررسی و به این نتیجه رسیدند که در بین کاتیون‌ها سدیم و در بین آنیون‌ها کلر بیش‌ترین غلظت را داشت و با دیاگرام ویل کاکس رسم شده نیز مشخص شد که فقط سه نمونه از ۳۰ نمونه برای مصارف کشاورزی مناسب نیستند. در این مطالعه کیفیت آب زیرزمینی آبخوان اردبیل برای مصارف شرب و کش‌آوری با استفاده از پارامترها و دیاگرام‌های هیدروشیمیایی و شاخص‌های موجود بررسی شد. به منظور تعیین تأثیر فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آب زیرزمینی از نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ که با تکنیک سنجش از دور و کد نویسی در گوگل ارث انجین تهیه شده است استفاده شد.

۲- مواد و روش‌ها

• محدوده مطالعاتی

استان اردبیل با ۱۷۹۵۳ کیلومترمربع وسعت، در شمال غربی ایران جای گرفته است و حدود ۱/۰۹ درصد از مساحت کشور ایران را تشکیل می‌دهد. این استان از لحاظ جغرافیایی در ۳۷/۴۵ تا ۳۹/۴۲ درجه عرض شمالی و

۴۷/۳۰ تا ۴۸/۵۵ درجه 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.



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

برای بررسی کیفیت آب برای مصارف شرب از شاخص GWQI (روابط ۱ تا ۴) استفاده شد:

$$GWQI = \sum_{i=1}^n SI_i \quad (1)$$

$$SI = (w_i \times q_i) \quad (2)$$

$$w_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3)$$

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad (4)$$

که C_i : غلظت هر پارامتر شیمیایی، S_i : مقدار استاندارد آن پارامتر شیمیایی، w_i : وزن هر پارامتر و n : تعداد پارامترها می‌باشند.

- تناسب کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی
- برای بررسی کیفیت آب جهت مصارف کشاورزی از شاخص‌های SAR، RSC، PI و %Na استفاده شد.

۲- روش انجام تحقیق

برای ارزیابی تغییرات کیفی آب زیرزمینی آبخوان اردبیل از آمار ۷۷ حلقه چاه در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ اسفند استفاده شد. آمار و اطلاعات مورد نیاز از سازمان آب استان اردبیل اخذ شد که شامل: شوری، pH، کربنات، بی-کربنات، کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و نیترات می‌باشند. از نرم‌افزار ArcGIS 10.2 برای ایجاد پایگاه داده و تهیه نقشه‌ها، از نرم‌افزار AQQA برای آنالیزهای شیمیایی و از گوگل ارث انجین برای تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در آبان ماه سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ استفاده شد.

• شیمی آب زیرزمینی

در این مطالعه برای ارزیابی شیمی آب زیرزمینی غلظت عناصر در آب زیرزمینی با غلظت‌های استاندارد که در نشریه استاندارد آب آشامیدنی ایران برای مصارف شرب ارائه شده است (آخرین رهنمود استاندارد ملی ایران، ۱۳۸۸) و نیز غلظت‌های استاندارد ارائه شده در نشریه 29 FAO (۱۹۹۴) برای مصارف کشاورزی، مقایسه شدند. به علاوه از دیاگرام‌های پایپر و چادها برای تعیین منشأ، تیپ و رخساره نمونه‌های آب استفاده شد.

- تناسب کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب

که در آن غلظت عناصر برحسب میلی اکلی والان بر لیتر است. بر مبنای طبقه‌بندی USSL (۱۹۵۴) مقادیر کمتر از ۲۰ برای این شاخص بسیار عالی از لحاظ مقادیر سدیم موجود در آب و مناسب برای مصارف کشاورزی، مقادیر بین ۲۰-۴۰ خوب، ۴۰-۶۰ مناسب، ۶۰-۸۰ مشکوک و بالاتر از ۸۰ نامناسب می‌باشند.

• تهیه نقشه کاربری اراضی

به منظور تعیین نقش فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آب زیرزمینی از لایه کاربری اراضی که با تکنیک سنجش از دور برای سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ تهیه شد استفاده گردید. داده‌های ماهواره‌ای از منابع مهم تهیه اطلاعات برای سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) هستند که از آن‌ها برای مدیریت و برنامه‌ریزی استفاده می‌شود. در این مطالعه برای تهیه لایه کاربری اراضی از تکنیک سنجش از دور و روش کدنویسی در گوگل ارث انجین استفاده شد. گوگل ارث انجین سامانه‌ای است تحت وب که به صورت رایگان یا متن باز امکان پردازش تصاویر ماهواره‌ای را فراهم می‌کند. از مزایای گوگل ارث انجین می‌توان به متن باز بودن آن، سرعت پردازش بالا، امکان استفاده از تمام داده‌های رایگان، به روز بودن آن، عدم نیاز به تصحیحات رادیومتریکی در بسیاری از داده‌ها و بررسی سری‌های زمانی با سرعت بالا اشاره نمود. از مهم‌ترین کاربردهای گوگل ارث انجین می‌توان به استفاده از آن در تهیه کاربری اراضی، تعیین نقشه نوع کشت و کشت‌های آبی و باغی اشاره نمود. زبان برنامه‌نویسی مورد استفاده در این سامانه جاوا و پایتون می‌باشد. در این مطالعه از تصاویر ماهواره لندست برای ماه‌های اکتبر و نوامبر سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۱ استفاده شد. داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده عاری از لکه‌های ابر بوده و از وضوح مناسبی برخوردار بودند. برای تهیه نقشه نهایی از روش طبقه‌بندی کم‌ترین فاصله استفاده شد. در این مطالعه از ترکیب رنگی ۵، ۴ و ۳ برای برداشت نمونه‌ها از ترکیب باندهای ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

شیمی آب زیرزمینی

نتایج آماری پارامترهای هیدروشیمیایی آب زیرزمینی نمونه‌های آب در محدوده مطالعاتی در جدول ۱ ارائه شده است. شکل ۲، دیاگرام پایپ آنیون‌ها و کاتیون‌ها می‌باشد.

• **شاخص نسبت جذبی سدیم (SAR):** این شاخص معیاری مهم جهت محاسبه خطر شوری و قلیائیت برای محصولات کشاورزی می‌باشد (رابطه ۵) (Gautam et al., 2015; Hassen et al., 2016):

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}\right)}} \quad (5)$$

که در آن منیزیم، کلسیم و سدیم به ترتیب غلظت یون‌های منیزیم، کلسیم و سدیم (میلی‌اکلی‌والان بر لیتر) می‌باشند. مقدار ۱۰ برای این شاخص خطرات کم سدیمی شدن، ۱۸-۱۰ متوسط، ۲۶-۱۸ زیاد و مقادیر بالاتر از ۲۶ خطرات بسیار زیاد را به دنبال دارد (USSL, 1954).

• **شاخص کربنات سدیم باقی مانده (RSC):** RSC به عنوان معیاری برای ارزیابی آب‌های کربناته می‌باشد. به موجب این معیار اگر غلظت یون‌ها برحسب میلی اکلی والان در لیتر توصیف گردند، چنانچه RSC در آبی بیش از ۲/۵ باشد آن آب برای آبیاری مناسب نیست (Hassen et al., 2016). RSC از رابطه (۶) قابل محاسبه است (علیزاده، ۱۳۹۰):

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^{-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (6)$$

• **شاخص نفوذپذیری (PI):** نفوذپذیری خاکی که آبیاری می‌شود در دراز مدت تحت تاثیر شوری، سدیم و بیکربنات موجود در آب آبیاری قرار خواهد گرفت (حسین سرپازی و اسماعیلی، ۱۳۹۳). شاخص نفوذپذیری مطابق رابطه (۷) قابل محاسبه می‌باشد (Gautam et al., 2015):

$$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^{-}}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100 \quad (7)$$

که در آن غلظت عناصر برحسب میلی‌اکلی‌والان بر لیتر است. شاخص نفوذپذیری در سه کلاس مناسب، تقریباً مناسب و نامناسب با مقادیر به ترتیب: >۷۵، ۷۵-۲۵ و <۲۵ طبقه‌بندی می‌گردد.

• **شاخص درصد سدیم (%Na):** مقادیر بالای سدیم تهدیدی جدی برای گیاه است که تعیین میزان آن در آب زیرزمینی به منظور اهداف آبیاری بسیار مهم است. درصد سدیم با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می‌شود (Hassen et al., 2016):

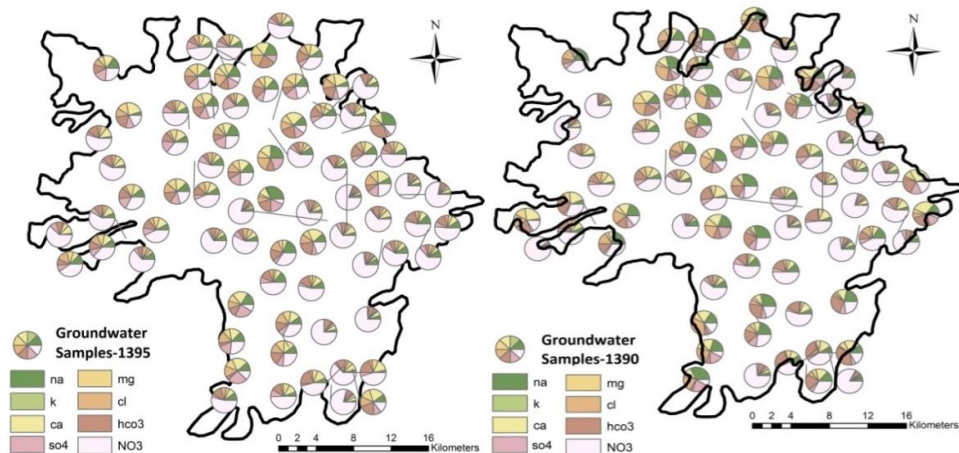
$$\%Na = \frac{(Na^+ + K^+)}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)} \times 100 \quad (8)$$

| پارامترها | واحد | ۲۰۱۱ | | | ۲۰۱۶ | | | استاندارد مصارف کشاورزی | استاندارد مصارف شرب |
|-----------|-------------------------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|-------------------------|---------------------|
| | | حداکثر | متوسط | حداقل | حداکثر | متوسط | حداقل | | |
| pH | - | ۸/۳۰ | ۷/۶۹ | ۶/۰۱ | ۷/۹۴ | ۷/۴۱ | ۶/۵۴ | ۸-۶/۵۰ | ۶/۸-۵۰/۵۰ |
| شوری | میکروزیمنس بر سانتی متر | ۷۲۹۰ | ۱۲۳۹/۲۱ | ۲۰۹ | ۴۶۱۰ | ۱۱۵۱/۹۸ | ۳۴۷ | ۳۰۰۰-۰ | - |
| TDS | میلی گرم بر لیتر | ۴۹۰۰ | ۸۳۱/۷۳ | ۱۴۶/۳۰ | ۳۲۲۷ | ۸۰۶/۳۹ | ۲۴۲/۹۰ | ۲۰۰۰-۰ | ۱۰۰۰-۰ |
| سختی | میلی گرم بر لیتر | ۱۴۴۰ | ۳۰۸/۱۳ | ۴۰ | ۱۴۸۰ | ۳۶۴/۹۳ | ۱۰۵ | ۷۵-۰ | ۲۰۰-۰ |
| نیترات | میلی گرم بر لیتر | ۱۴۳/۶۰ | ۳۹/۷۰ | ۰ | ۱۴۹/۳۰ | ۴۱/۰۵ | ۰/۱۳ | ۱۰-۰ | ۵۰-۰ |
| سدیم | میلی اکی والان بر لیتر | ۵۲/۳۰ | ۵/۶۴ | ۰/۲۶ | ۱۶/۵۰ | ۴/۰۱ | ۰/۵۲ | ۴۰-۰ | ۹-۰ |
| پتاسیم | میلی اکی والان بر لیتر | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۴۵ | ۰/۱۴ | ۰ | ۰-۰/۱۰ | - |
| کلسیم | میلی اکی والان بر لیتر | ۱۹/۲۰ | ۳/۹۴ | ۰/۵۰ | ۱۹/۱۰ | ۴/۵۰ | ۱/۳۰ | ۲۰-۰ | ۸-۰ |
| منیزیم | میلی اکی والان بر لیتر | ۹/۶۰ | ۲/۲۲ | ۰/۳۰ | ۱۱/۱۰ | ۲/۷۹ | ۰/۴۰ | ۲۰-۰ | ۱-۰ |
| کلر | میلی اکی والان بر لیتر | ۳۶/۲۰ | ۴/۵۹ | ۰/۲۰ | ۱۹/۵۰ | ۳/۴۸ | ۰/۵۰ | ۳۰-۰ | ۷-۰ |
| بی کربنات | میلی اکی والان بر لیتر | ۹/۴۰ | ۴/۳۲ | ۱/۴۰ | ۱۰/۹۰ | ۴/۱۸ | ۱/۲۰ | ۱۰-۰ | - |
| سولفات | میلی اکی والان بر لیتر | ۳۲/۸۰ | ۳/۰۵ | ۰/۳۰ | ۲۳/۲۰ | ۳/۹۳ | ۰/۲۵ | ۲۰-۰ | ۵-۰ |

جدول ۱- نتایج آماری پارامترهای هیدروشیمیایی آب زیرزمینی آبخوان اردبیل در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵

نیترات، فسفات و سولفات پتاسیم می‌باشند که از کود نیترات در کشت سبب زمینی، گندم، یونجه به فراوانی استفاده می‌شود و می‌تواند علت افزایش غلظت نیترات در آب زیرزمینی باشد. نیترات‌اثرات مضر بسیاری بر بدن انسان دارد. در حضور باکتری‌های احیا کننده سیستم گوارشی و وجود PH مناسب، نیترات به نیتریت تبدیل می‌شود که عامل بیماری متهموگلوبین‌میا است (Merusi et al., 2010). بالا بودن غلظت نیترات در آب نشانگر وقوع آلودگی است که می‌تواند آلودگی میکروبی نیز به همراه داشته باشد (Hammer et al., 2005). جلینی و دوستی (۱۳۹۰) با بررسی میزان تجمع نیترات در محصول سبب‌زمینی و گوجه فرنگی به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان کاربرد کود اوره، باقیمانده نیترات در گیاه افزایش می‌یابد. این محققان در مطالعه خود بیان داشته‌اند که با توجه به تازه‌خوری بسیاری از سبزی‌ها، مصرف نامناسب کودهای شیمیایی می‌تواند علاوه بر مسائل زیست محیطی و ایجاد آلودگی در منابع آب و خاک، مشکلات زیادی از نظر سلامتی به لحاظ تجمع نیترات برای مصرف کنندگان به همراه داشته باشد.

نیترات از جمله مواد آلاینده آب می‌باشد که فرم اکسیدشده ترکیبات نیترژن است. براساس ISIRI بالاترین غلظت مجاز نیترات و نیتریت به ترتیب ۵۰ و ۳ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. بالاترین و پایین‌ترین میزان نیترات در نمونه‌های آب موجود در آبخوان اردبیل ۱۴۳/۶ و ۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. براساس استاندارد ISIRI (۱۳۸۸) در سال ۱۳۹۰ حدود ۲۹ درصد و در سال ۱۳۹۵ نیز ۴۱ درصد از نمونه‌ها مقادیر نیترات بالاتر از حد استاندارد دارند. با توجه به شکل ۳ نیز مشاهده می‌شود که غلظت نیترات در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۰ افزایش داشته است. از مهم‌ترین دلایل آلودگی آب زیرزمینی آبخوان اردبیل مربوط به آلودگی‌های غیرنقطه‌ای کودهای مصرفی در بخش کشاورزی می‌باشد. بالا بودن غلظت یون نیترات در عین پایین بودن غلظت یون نیتریت گویای این واقعیت است که آلودگی موجود به تازگی و به صورت لحظه ای اتفاق نیفتاده است، بلکه این افزایش در طی سال‌های متمادی رخ داده است. غلظت نیترات شاخصی خوب از تعامل و ارتباط کاربری اراضی با کیفیت آب زیرزمینی است (Nazzal et al., 2014). با استعلام صورت گرفته مشخص شد که کودهای استفاده شده در آبخوان اردبیل شامل کودهای

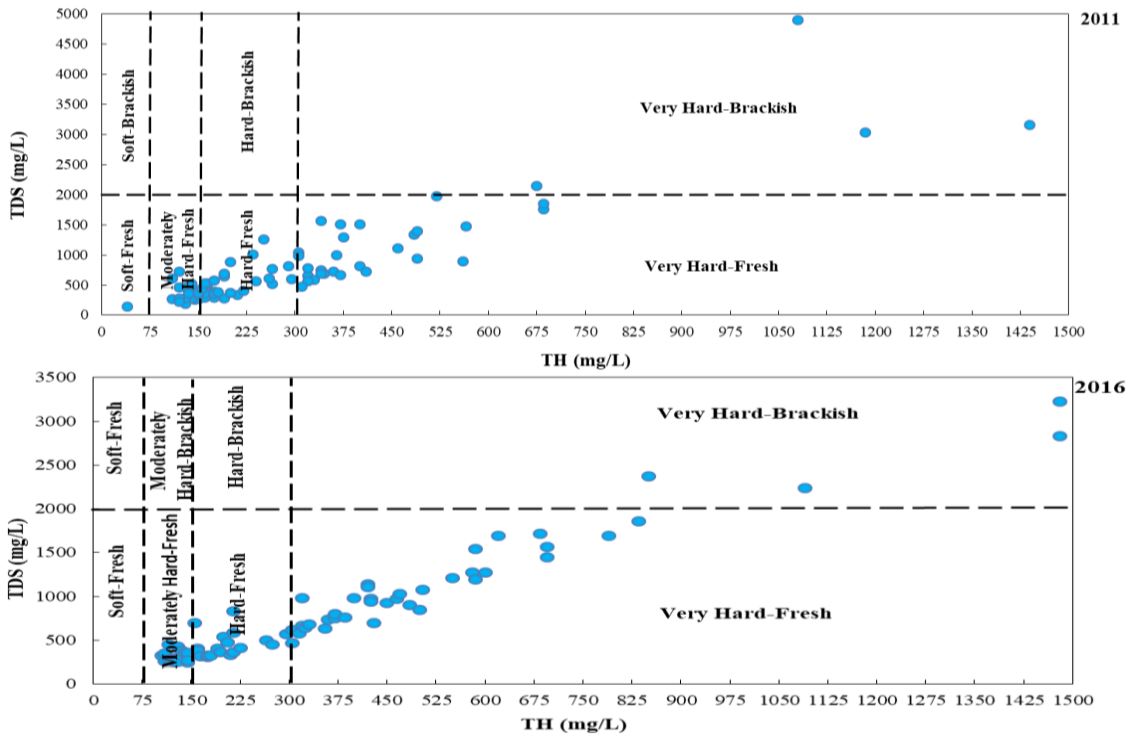


شکل ۲- دیاگرام پاپ آنیون‌ها و کاتیون‌ها در محدوده مطالعاتی در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۰

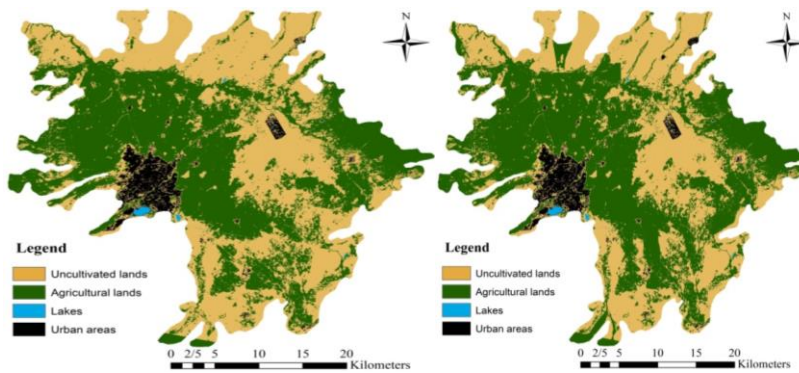
روده در انسان شود. مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۱، مشاهده می‌شود که مقادیر این پارامتر برای مصارف شرب و کشاورزی در حد استاندارد قرار دارد. مقادیر سختی برای مصارف شرب و کشاورزی بالاتر از حد استاندارد است. مقادیر بالای این شاخص در آب آشامیدنی، باعث افزایش ریسک رسوب آهک در شریان‌ها، سفت شدن مجاری ادراری، ایجاد بیماری‌های کلیوی و اختلالات در مثانه و کلیه می‌شود (Garg et al., 2009). مقدار مطلوب سختی کل که یکی از مهم‌ترین خواص آب مورد استفاده برای مصارف خانگی است بر طبق استاندارد ISIRI، ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است. در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به ترتیب ۵۷ و ۶۵ درصد از نمونه‌ها مقادیر بالای سختی دارند که رقم بسیار بالایی است و سبب بروز مشکلات ناشی از مصرف مداوم آن می‌شود. برای حذف سختی موقت آب می‌توان آب را جوشاند و سپس مورد استفاده قرار داد اما سختی دائم با جوشاندن از بین نمی‌رود. Prasan سختی و همکاران (۲۰۱۲) نیز در مطالعه خود بیان داشته‌اند که ۷۷/۲۷ درصد از نمونه‌ها مقادیر بالای سختی برای مصارف شرب دارند. بالا بودن مقادیر این شاخص از لحاظ مصارف کشاورزی به سبب احتمال ایجاد گرفتگی در لوله‌های آبیاری حائز اهمیت است و حداکثر مقدار استاندارد آن ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر است. برای حذف اثر آن در لوله‌های آبیاری نیز در برخی موارد استفاده از اسید توصیه می‌شود که ممکن است سبب خوردگی لوله‌ها شود که علاوه بر مشکلات اقتصادی ناشی از خوردگی لوله‌ها، ممکن است باعث افزوده شدن عناصر سمی موجود در ترکیب لوله‌ها به آب شود. برای بررسی سختی و شیرین بودن آب از نمودارهای شکل ۳ استفاده شد. مطابق با شکل ۳ مشاهده می‌شود که آب زیرزمینی آبخوان اردبیل از نظر میزان سختی و شیرین بودن تغییر چشمگیری نداشته است. تقریباً تمامی نمونه‌های آب از نظر میزان TDS آب شیرین محسوب می‌شوند. در سال‌های آبی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به ترتیب ۴۱/۵ و ۵۲ درصد از نمونه‌ها از نظر سختی در دسته آب‌های خیلی سخت قرار می‌گیرند. سختی آب را معمولاً به صورت مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم بر حسب میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم نشان می‌دهند. در این مطالعه مقادیر منیزیم در نمونه‌های آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۵

منیزیم از عناصری است که اثرات متفاوتی روی بدن دارد. مصرف کم منیزیم سبب بروز پوکی استخوان در بدن می‌شود (Rude et al., 2003). منیزیم بالا اثرات زیان‌بار بسیاری بر بدن انسان دارد. کلیه در حالت عادی فقط می‌تواند ۲ تا ۴ درصد از منیزیم را دفع کند. باقی مانده آن به صورت رسوب در کلیه‌ها باقی می‌ماند. سمیت عصبی و عضلانی، فلج، سستی و خواب‌آلودگی، مشکلات قلبی و تنفسی از دیگر عوارض وجود منیزیم بالا برای بدن می‌باشد (Topf and Murray, 2003). حداکثر میزان مجاز منیزیم در آب برای مصارف شرب یک میلی‌اکی والان بر لیتر است. با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود که در هر دو سال مورد بررسی میانگین غلظت این عنصر بیش از دو برابر میزان مجاز آن می‌باشد. غلظت سایر عناصر از غلظت استاندارد پایین‌تر می‌باشد اما در حالت کلی غلظت عناصر در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۰ افزایش داشته است. در ۶۳/۸ درصد از نمونه‌ها در سال ۱۳۹۰، منیزیم مقادیر بالاتر از حد استاندارد برای مصارف شرب دارد. این مقدار در سال ۱۳۹۵ به ۷۱ درصد رسیده است. وجود مقادیر زیاد منیزیم در آب دلالت بر آلودگی آب دارد. رایج‌ترین منبع برای مقادیر بالای منیزیم در آب‌های طبیعی، سنگ‌های رسوبی می‌باشد. بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی نشان داد جنس بیشتر مواد موجود در این آبخوان از نوع سنگ‌های آبرفتی می‌باشد. آبرفت به‌طور معمول از مواد و ذرات گوناگون، از ذرات ریز گل و لای و خاک رس، تا ذرات درشت‌تر شن و ماسه و سنگریزه تشکیل شده است. آبرفت‌ها نوعی از سنگ‌های رسوبی می‌باشند. لذا منشأ بالا بودن مقادیر منیزیم را می‌توان ناشی از جنس مواد سازنده آبخوان دانست. با گذشت زمان مواد بیشتری از ذرات آبخوان در آب حل می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر pH، سختی و TDS در دو سال مذکور تغییرات چندانی نداشته است و میانگین این مقادیر برای هر دو سال در یک بازه قرار دارد. به علاوه مقادیر pH در سال‌های مورد نظر در حد استاندارد قرار دارد. TDS نقش مهمی در بدن انسان دارد و باعث می‌شود دفع و جذب نمک‌های محلول در بدن انسان به تأخیر افتاده و زمینه ایجاد سنگ کلیه بالا رود. غلظت بالای TDS می‌تواند ضمن کاهش دلپذیری آب، باعث ایجاد سوزش معده و

روند افزایشی نسبت به سال ۱۳۹۰ داشت. لذا بالا بودن سختی آب در ارتباط با وجود مقادیر بالای منیزیم در آب می‌باشد.



شکل ۳- طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی برمبنای TDS و سختی



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی آبخوان اردبیل برای سال‌های ۱۳۹۰ (چپ) و ۱۳۹۵ (راست) با استفاده از تکنیک سنجش از دور

آب می‌باشد (Venkateswaran and Deepa, 2015). در این نمودار قضاوت در مورد تیپ کیفی آب توسط نمودار پایپر با توجه به منطقه تمرکز نقاط انجام می‌شود. در این طبقه‌بندی، آب‌ها براساس کاتیون‌ها به سه رخساره منیزیک، کلسیک و سدیک و نیز براساس آنیون‌ها به سه تیپ بی‌کربناته، سولفات و کلروره تقسیم‌بندی می‌شوند. با توجه به اطلاعات حاصله شکل ۵ مشاهده می‌شود که تیپ آب‌ها در هر دو سال یکسان است. کاتیون غالب کلسیم و آنیون غالب مجموع بی‌کربنات و کربنات می‌باشد. بنابراین تیپ اصلی آب زیرزمینی منطقه کلسیم-بی-کربنات است. همچنین تعداد ۴ نمونه در منطقه ۷ (قلیائیت غیرکربناته و اسید قوی)، ۳ نمونه در منطقه ۶ (دارای سختی دائم و اسید قوی) و بخشی از نمونه‌ها نیز

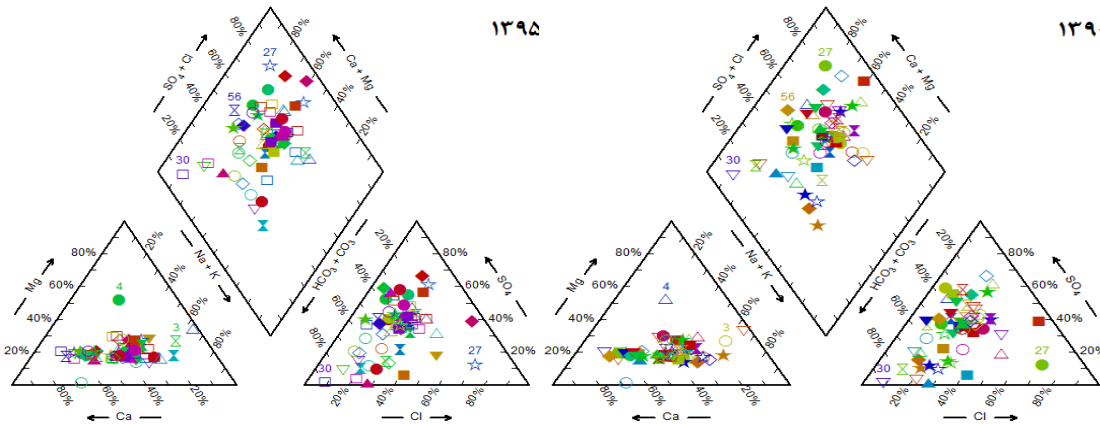
شکل ۴ نقشه کاربری اراضی آبخوان اردبیل برای سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که در سال ۱۳۹۵ مناطق با کاربری کشاورزی افزایش یافته است. بدیهی است که با افزایش مناطق کشاورزی استفاده از کودهای شیمیایی نیز افزایش خواهد یافت و این امر دلیلی بر افزایش غلظت عناصر در آب زیرزمینی می‌باشد.

نمودارهای هیدروشیمیایی

نمودار پایپر روشی مفید برای ارزیابی هیدروشیمی آب زیرزمینی می‌باشد. این نمودار عمدتاً جهت تعیین نوع آب، رخساره هیدروشیمیایی و تاثیر اختلاط بین آب‌های مختلف استفاده می‌شود. در نمودار پایپر آنیون با غلظت بیشتر، معرف تیپ و کاتیون با غلظت بیشتر نیز معرف رخساره نمونه

از ۵۰ درصد تجاوز نمی‌کند.

در منطقه ۵ قرار گرفته‌اند که نشان می‌دهد در این مناطق عناصر قلیائی خاکی (کلسیم و منیزیم) و اسیدهای ضعیف غالب هستند و سختی موقت

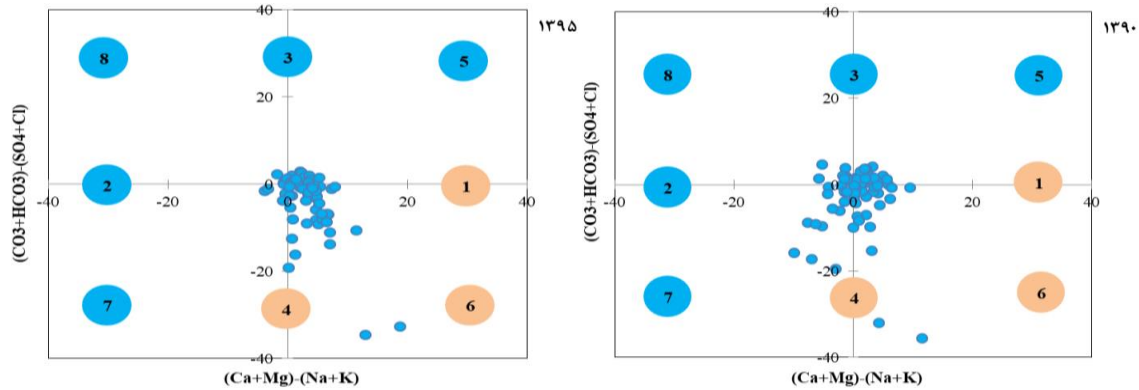


شکل ۵- تیپ و رخساره آب زیرزمینی آبخوان اردبیل با استفاده از دیاگرام پایپر

به آهک (CaO)، سنگ آهک (کلسی مکرینات)، گچ (کلسیم سولفات) و کلسیت (نوعی دیگر از کلسی مکرینات) اشاره کرد. با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود که تمرکز نمونه‌های آب در قسمت‌های ۱ و ۳ می‌باشد که نشانگر غالب بودن فلزات قلیایی خاکی بر فلزات قلیایی است و از طرفی اسیدهای ضعیف غالب هستند. کلسیم، منیزیم و بی‌کربنات عناصر اصلی آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی هستند و انحلال کربنات‌هایی نظیر کلسیت و دولومیت می‌تواند منشأ اصلی این عناصر باشد.

دیاگرام چادها

فلزات قلیایی به عناصر گروه اول جدول تناوبی گفته می‌شود که به دلیل واکنش‌پذیری زیاد به طور آزاد در طبیعت یافت نمی‌شوند و معمولاً به صورت ترکیب با عناصر هستند. فلزات قلیایی خاکی عناصر گروه دوم جدول تناوبی هستند و استخراج آن‌ها از پوسته زمین است از این رو به آن‌ها فلزات قلیایی خاکی گفته می‌شود. این فلزات به صورت ترکیب با کانی‌ها و سنگ‌های مختلف می‌باشند. از جمله فلزات قلیایی خاکی می‌توان



شکل ۶- دیاگرام چادها نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان اردبیل

- ۱- فلزات قلیایی خاکی بر فلزات قلیایی غالب هستند.
- ۲- فلزات قلیایی بر فلزات قلیایی خاکی غالب هستند.
- ۳- اسیدهای ضعیف غالب هستند.
- ۴- آنیون‌های اسیدی قوی بر آنیون‌های اسیدی ضعیف غالب هستند.
- ۵- فلزات قلیایی خاکی و آنیون‌های اسیدی ضعیف بر فلزات قلیایی و آنیون‌های اسیدی قوی غالب هستند.
- ۶- فلزات قلیایی خاکی بر فلزات قلیایی و آنیون‌های اسیدی قوی بر آنیون‌های اسیدی ضعیف غالب هستند.
- ۷- فلزات قلیایی بر فلزات قلیایی خاکی و آنیون‌های اسیدی قوی بر آنیون‌های اسیدی ضعیف غالب هستند.
- ۸- فلزات قلیایی بر فلزات قلیایی خاکی و آنیون‌های اسیدی ضعیف بر آنیون‌های اسیدی قوی غالب هستند.

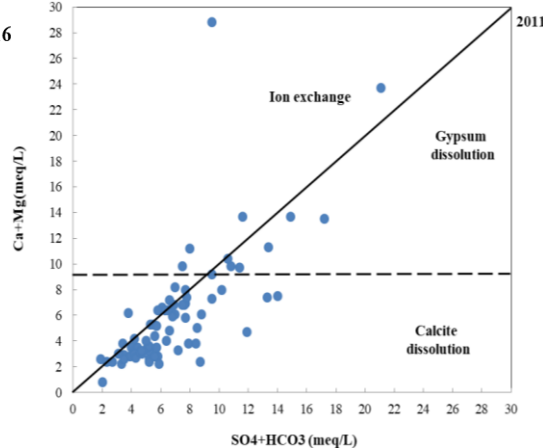
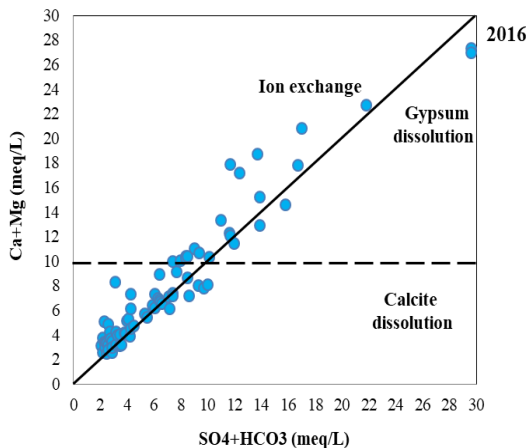
برای تعیین فرآیند تبادل یونی اغلب از شاخص‌های کلروآلکالین استفاده می‌شود (روابط ۱ و ۲). مقدار منفی این شاخص‌ها نشانگر تبادل یونی نرمال و مقدار مثبت آن نشانگر تبادل یونی برگشت پذیر است.

$$CAI1 = \frac{[Cl - (Na^+ + K^+)]}{Cl} \quad (1)$$

$$CAI2 = \frac{[Cl - (Na^+ + K^+)]}{(HCO_3^- + CO_3^{2-} + SO_4)} \quad (2)$$

که در آن غلظت پارامترها برحسب میلی‌اکی والان بر لیتر است.

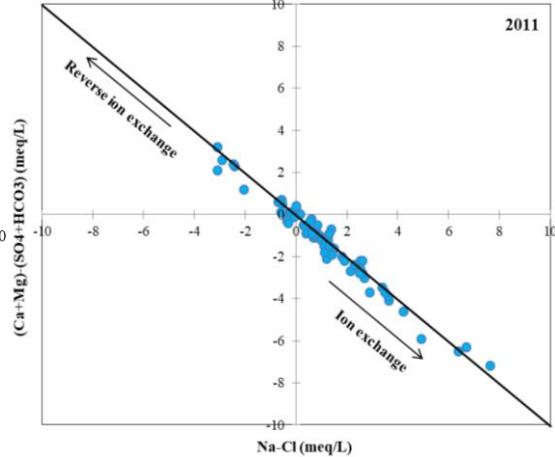
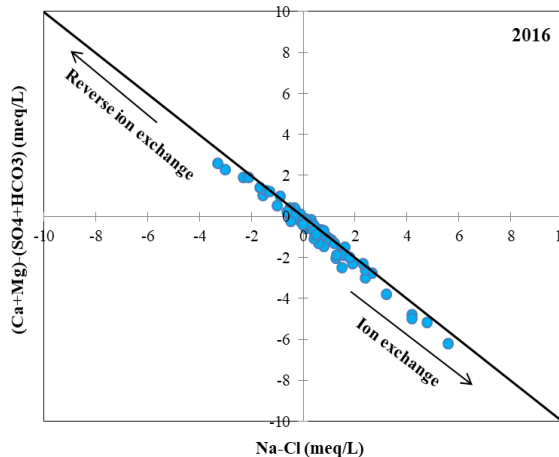
برای تعیین فرآیند حل و تأثیر آن در شیمی آب زیرزمینی از دیاگرام ارائه شده در شکل ۷ استفاده شد که در آن مجموع کلسیم و منیزیم در مقابل مجموع سولفات و بیکربنات رسم شده است. با توجه به این نمودار اگر انحلال موادی نظیر کلسیت، دولومیت و گچ غالب باشند، پراکنش نمونه‌ها در اطراف خط یک به یک خواهد بود. در صورتیکه مجموع غلظت‌های سولفات و بیکربنات کمتر از ۱۰ میلی‌اکی والان بر لیتر باشد شیمی آب زیرزمینی مربوط به مواد معدنی کربناته و بالاتر از ۱۰ میلی‌اکی والان بر لیتر مربوط به انحلال مواد معدنی سولفاته نظیر گچ خواهد بود. قرارگیری نمونه‌ها در بالای خط یک به یک نشانگر غالب بودن فرآیند تبادل یونی است. موقعیت قرارگیری نمونه‌های آب در هر دو سال نمونه‌برداری نشان می‌دهد که فرآیند انحلال مواد معدنی کربناته و تبادل یونی غالب می‌باشند. بنابراین فرآیند تبادل یونی مهم‌ترین فرآیندی است که شیمی و کیفیت آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.



شکل ۷- دیاگرام توزیع غلظت‌های مجموع کلسیم و منیزیم در مقابل سولفات و بیکربنات

۲/۸۵- تا ۰/۵۰ قرار دارند. بنابراین تبادل یونی نرمال فرآیند ژئوشیمیایی غالب می‌باشد که با شکل ۸ نیز همخوانی دارد.

محاسبه شاخص‌های CAI 1 و CAI 2 برای سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۰ نشان داد که مقادیر این شاخص‌ها به ترتیب در بازه‌های ۶/۲۴- تا ۰/۸۷ و



شکل ۸- دیاگرام توزیع غلظت‌های کلسیم-منیزیم-سولفات-بیکربنات در مقابل سدیم-کلر

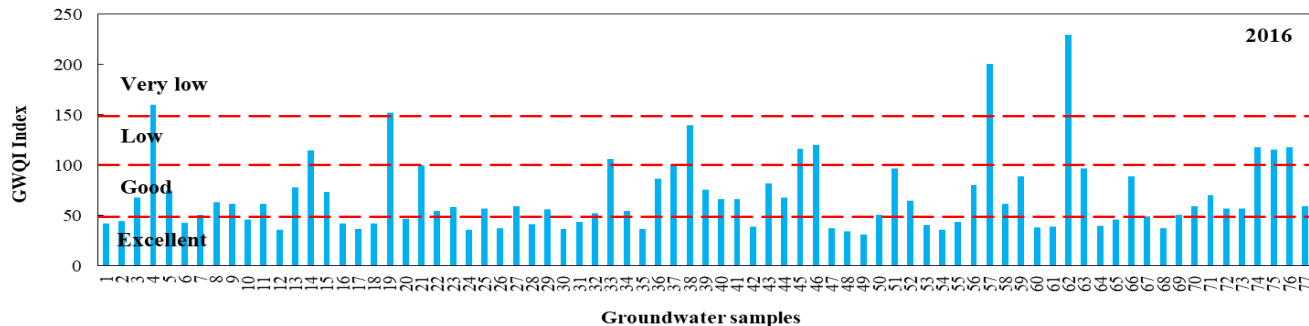
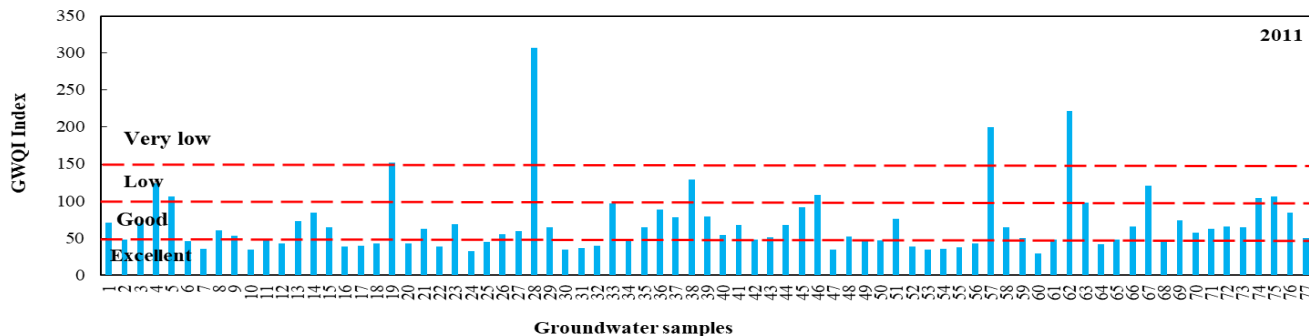
تناسب کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب

برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب از شاخص GWQI استفاده شد. پارامترهای استفاده شده به همراه ضرایبی که در محاسبه این شاخص برای پارامترها در نظر گرفته شده است در جدول ۱ ارائه شده است. مقادیر شاخص GWQI برای دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۰ محاسبه و در شکل ۹ ارائه شده است. مقایسه دو شکل نشان می‌دهد که در حالت کلی و در بسیاری از نمونه‌ها کیفیت آب در سال ۱۳۹۵ در

وضعیت نامناسب‌تری قرار گرفته است. در سال ۱۳۹۰ به ترتیب ۴۱، ۴۴، ۹ و ۶ درصد از نمونه‌ها وضعیت عالی، خوب، ضعیف و خیلی ضعیف برای مصارف شرب دارند. این درصدها در سال ۱۳۹۵ به ۳۶، ۴۶، ۱۲ و ۶ می‌رسد. همانطور که بیان شد غلظت‌های نیترات و منیزیم بالاتر از حد استاندارد است که بالا بودن غلظت این عناصر می‌تواند علتی برای کاهش کیفیت آب برای مصارف شرب باشد.

| Groundwater quality parameter | ISIRI, 2009 | Weight (wi) | Relative weight (Wi) |
|-------------------------------|-------------|-------------|----------------------|
| TDS | ۱۰۰۰ | ۴ | ۰/۱۷۳۹ |
| pH | ۷/۵۰ | ۴ | ۰/۱۷۳۹ |
| کلسیم | ۳۰۰ | ۲ | ۰/۰۸۷۰ |
| سدیم | ۲۰۰ | ۲ | ۰/۰۸۷۰ |
| منیزیم | ۳۰ | ۱ | ۰/۰۴۳۵ |
| سولفات | ۲۵۰ | ۲ | ۰/۰۸۷۰ |
| کلر | ۲۵۰ | ۳ | ۰/۱۳۰۴ |
| نیترات | ۵۰ | ۵ | ۰/۲۱۷۳ |
| مجموع | | ۲۳ | ۱ |

جدول ۲- ورودی‌های شاخص GWQI



شکل ۹- طبقه‌بندی آب زیرزمینی بر مبنای شاخص GWQI

تناسب کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی

SAR در آب آبیاری نشانگر کلیت آب می‌باشد و به همراه شوری برای تعیین کیفیت آب برای مصارف کشاورزی بسیار حائز اهمیت است. محاسبات صورت گرفته نشان داد در هر دو سال نمونه‌برداری، مقادیر SAR در کلاس S1 (خطرات سدیمی شدن کم)، قرار می‌گیرد. آب این گروه می‌تواند برای تمام خاک‌ها و برای هر محصول استفاده شود. لاله-زاری و انصاری سامانی (۱۳۹۳) نیز در تحقیق خود بیان داشته‌اند که به جز بخشی از نواحی شرقی منطقه دزفول - اندیمشک سایر مناطق در کلاس پایین سدیم جذبی قرار دارند. مقادیر بالای RSC برای خصوصیات ظاهری خاک مضر می‌باشد و سبب باقی ماندن یک لایه سیاه رنگ روی سطح خاک می‌گردد (Li et al., 2016). در این مطالعه مقادیر RSC در تمامی محدوده مطالعاتی و در هر دو نوبت نمونه برداری کمتر از ۱/۲۵ می‌باشد بنابراین بر اساس این شاخص، آب نمونه‌های برداشتی مناسب جهت مصارف کشاورزی می‌باشند. شاخص نفوذپذیری از شاخص‌های بسیار مهم در آبیاری بخصوص در آبیاری سطحی است. میانگین مقادیر این شاخص برای سال‌های نمونه‌برداری ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به ترتیب برابر ۲۹۳/۲ و ۳۴۶/۲ می‌باشند. لذا نمونه‌های برداشتی مناسب برای مصارف کشاورزی می‌باشند و مشکلی از نظر نفوذپذیری در محدوده مطالعاتی وجود ندارد. در سال ۱۳۹۵ فقط ۳ نمونه از نظر شاخص درصد سدیم در کلاس مضر قرار گرفته است. این در حالی است که در سال ۱۳۹۰، ۱۵ نمونه در کلاس مضر قرار داشت. بهبود وضعیت این شاخص به این دلیل است که مجموع کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم در سال ۱۳۹۵ افزایش داشته است. با توجه به معادله ۱۰، افزایش این عناصر منجر به کاهش مقدار درصد سدیم می‌شود. مشکل شوری زمانی اتفاق می‌افتد که غلظت نمک در ناحیه ریشه به میزانی برسد که باعث کاهش عملکرد گیاه شود و گیاه دیگر قادر به استخراج آب کافی از محلول خاک شور نباشد که این عمل سبب ایجاد تنش رطوبتی می‌گردد. آبتویی کلید کنترل مشکلات شوری در یک منطقه می‌باشد (FAO 29, 1994). در این مطالعه 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 حتی‌المقدور باید گیاهانی که به شوری مقاوم هستند انتخاب گردند. با بررسی نقشه عمق و شوری آب زیرزمینی که در نرم‌افزار GIS تهیه شد مشاهده گردید در مناطقی که سطح آب زیرزمینی به زمین نزدیک است مقادیر شوری در بالاترین حد قرار دارد. این حالت نشانگر این واقعیت است که شوری از سطح زمین به آب زیرزمینی وارد شده است.

جودوی و همکاران (۱۳۸۷) در مطالعه خود با هدف بررسی منشأ شوری آب زیرزمینی دشت فیض آباد بیان کرده‌اند که آب‌های عمیق‌تر مقادیر شوری بالاتری دارند و علت آن را نیز وجود رسوبات دانه‌ریزتر در آبخوان‌ها عنوان کرده‌اند که با نتایج حاصل از مطالعه حاضر مغایرت دارد. به علاوه با بررسی نقشه کاربری اراضی مشاهده شد مناطقی که مقادیر شوری بالایی دارند جزو مناطق با کاربری کشاورزی می‌باشد بنابراین عامل اصلی شوری آب زیرزمینی آبخوان اردبیل کودهای شیمیایی مورد استفاده برای مصارف کشاورزی است که از سطح زمین بر اثر آبتویی به آب زیرزمینی راه می‌یابد. اگرچه رشد گیاه در درجه اول وابسته به میزان شوری در آب آبیاری است، اما استفاده از آب با مقادیر نامناسب سدیم باعث کاهش محصول خواهد شد. کاهش نفوذ آب زمانی رخ می‌دهد که آب آبیاری محتوی مقادیر بالای سدیم نسبت به کلسیم و منیزیم باشد. سدیمی شدن باعث تورم و پراکندگی ذرات رس خاک، قرارگیری در بین منافذ خاک و جلوگیری از نفوذ آب و ایجاد رواناب می‌شود (Bauder et al., 2011). مقدار مجاز سدیم در آب زیرزمینی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است. بر این اساس در محدوده آبخوان اردبیل ۱۷ درصد از نمونه‌ها مقادیر بالای سدیم دارند. منشأ سدیم را می‌توان چندین عامل مختلف در نظر گرفت. فلدسپات‌های موجود در سنگ‌های آذرین در نتیجه تجزیه کانی‌ها و رسی شدن، سدیم آبتویی شده از خاک‌های فوقانی، ترکیب آب زیرزمینی با آب دارای منشأ دریایی، کانی‌های رسی و تبخیری نظیر هالوفیت و فاضلاب‌های صنعتی از جمله این عوامل می‌باشند. با توجه به جنس سازندهای زمین‌شناسی آبخوان اردبیل که عمدتاً آبرفتی هستند تنها گزینه برای منشأ سدیم در آب زیرزمینی را می‌توان سدیم آبتویی شده از خاک‌های فوقانی در نظر گرفت.

۴- نتیجه‌گیری

بررسی غلظت عناصر در محدوده آبخوان اردبیل نشان داد غلظت عناصر نیترات و منیزیم بسیار بالاتر از حد استاندارد است و در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۰ افزایش داشته است. بررسی نقشه کاربری اراضی نشان داد که مناطق با کاربری کشاورزی در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۰، افزایشی ۹ درصدی داشته است. در این مطالعه تیپ نمونه‌های آب براساس دیاگرام پایپر کلسیم-بیکربنات تعیین شد. براساس دیاگرام نیز بیان شد که فلزات قلیایی خاکی بر فلزات قلیایی غالب بوده و نیز اسیدهای ضعیف غالب می‌باشند. در این مطالعه به ترتیب ۱۵ و ۱۸ درصد از نمونه‌ها در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ کیفیت ضعیفی برای مصارف شرب دارند. آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی برای مصارف کشاورزی در وضعیت مناسبی قرار دارد و تنها مشکل آن بالا بودن سختی است که استفاده از آن در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای به لحاظ گرفتگی قطره‌چکان‌ها می‌باشد.

منابع

- عزیززاده، ا.، ۱۳۹۰. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). چاپ ۱۳، ویرایش ۳، ۶۱۶ صفحه.
- بانژاد، ح.، محب‌خواه، ح.، ۱۳۹۱. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت رزن-قهاوند برای تامین آب مورد نیاز کشاورزی با استفاده از GIS. فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، دوره ۱۲، شماره ۳۸، صفحه ۹۹ تا ۱۱۰.
- بامداد ماچانی، س.، خالدیان، م.، رضایی، م.، تاجداری، خ.، ۱۳۹۳. ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی استان گیلان برای مصارف کشاورزی و صنعت. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۸، شماره ۲، صفحه ۲۴۶ تا ۲۵۶.
- حسین سربازی، آ.، اسماعیلی، ک.، ۱۳۹۳. بررسی تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی در کشاورزی و صنعت (مطالعه موردی دشت نیشابور). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، جلد ۸، صفحه ۷۱ تا ۸۳.
- ایمان‌زاده، ح.، خدایی، ب.، نخعی، م.، یوسف‌نژاد، و.، ۱۳۸۹. بررسی مهم‌ترین پارامترهای هیدروشیمی آب زیرزمینی دشت کبودآهنگ. سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- جعفری، ر.، بخشنده‌مهر، ل.، ۱۳۹۳. بررسی تغییرات مکانی شوری و قلیائیت آب‌های زیرزمینی استان اصفهان با استفاده از زمین‌آمار. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۸، شماره ۶۸، صفحه ۱۹۴-۱۶۳.
- کیانی پویا، ع.، رسولی، ف.، ۱۳۸۹. ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی مورد استفاده در آبیاری در دشت‌های مرکزی استان فارس. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، الف، جلد ۲۴، شماره ۳، صفحه ۲۸۲-۲۷۳.
- لاله‌زاری، ر.، و انصاری سامانی، ف.، ۱۳۹۳. تعیین نواحی آسیب‌پذیر برای اجرای سیستم‌های آبیاری قطره‌ای بر اساس کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از ArcGIS. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲۸، شماره ۲، صفحه ۲۸۶ تا ۲۹۴.
- شکوهی، ر.، حسین‌زاده، ا.، روشنایی، ق.، علیپور، م.، حسین‌زاده، س.، ۱۳۹۰. بررسی کیفیت آب دریاچه سد آیدغموش با استفاده از شاخص کیفیت آب (NSFWQI) و بیان مواد مغذی. مجله سلامت و محیط. فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره ۴، شماره ۴، صفحه ۴۳۹ تا ۴۵۰.
- شیرمردی دزکی، ع.، موسوی، م.، ح.، امیری، ف.، ۱۳۹۲. ارزیابی هیدروشیمیایی و عوامل موثر بر کیفیت شیمیایی چشمه‌های مسجد سلیمان. ژئوشیمی، سال ۱، شماره ۳، صفحه ۱۹۰-۱۶۷.
- جلیلی، م.، دوستی، ف.، ۱۳۹۰. بررسی میزان تجمع نیترات در محصول سیب‌زمینی و گوجه فرنگی. فصلنامه علمی محیط زیست. ۵۰، صفحه ۷۱-۶۲.
- استاندارد ملی ایران، ۱۳۸۸. ویژگی‌های شیمیایی آب شرب، شماره ۱۰۵۳، ویرایش پنجم. سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران.
- جودوی، ع.، زارع، م.، اعتمادی، ب.، ۱۳۸۷. هیدروژئوشیمی و منشا شوری آب زیرزمینی دشت فیض‌آباد. دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اهواز.
- Adhikary, P.P., Chandrasekharan, H., Chakraborty, D., Kamble, K. 2010. Assessment of groundwater pollution in West Delhi, India using geostatistical approach. Environmental Monitoring and Assessment 167(1-4), 599-615 pp.
- Bashir, E., Huda, S. N. U., Naseem, S., Hamza, S., Kaleem, M. 2017. Geochemistry and quality parameters of dug and tube well water of Khipro, District Sanghar, Sindh, Pakistan. Applied Water Science 7(4), 1645-1655 pp.
- Balaji, E., Nagaraju, A., Sreedhar, Y., Thejaswi, A., Sharifi, Z. 2017. Hydrochemical characterization of groundwater in around Tirupati Area, Chittoor District, Andhra Pradesh, South India. Applied Water Science 7(3), 1203-1212 pp.
- Bauder, T. A., Waskom, R. M., Davis, J. G., Sutherland, P. L. 2011. Irrigation water quality criteria. Fort Collins, CO: Colorado State University Extension
- FAO. 1994. Water quality for agriculture. Irrigation and drainage, no: 29. Rome, Italy
- Garg, V. K., Suthar, S., Singh, S., Sheoran, A., Meenakshi, G., Jain, S. 2009. Drinking water quality in villages of southwestern Haryana, India: assessing human health risks associated with hydrochemistry. Environmental Geology, 58, 1329-1340 pp.
- Gautam, S. K., Maharana, C., Sharma, D., Singh, A. K., Tripathi, J. K., Singh, S. K. 2015. Evaluation of groundwater quality in the Chotanagpur plateau region of the Subarnarekha river basin, Jharkhand State, India. Sustainability of Water Quality and ecology 6, 57-74 pp.

- Hammer, M. J. 2005. Water and Wastewater Technology. 5th ed. Pearson Prentice Hall, Singapore, 137, 47 pp.
- Hassen, I., Hamzaoui-Azaza, F., 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. Environmental monitoring and assessment 188(3), 135 pp.
- Islam, M. A., Zahid, A., Rahman, M. M., Rahman, M. S., Islam, M. J., Akter, Y., Shammi, M., Bodrud-Doza, M., Roy, B. 2017. Investigation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in the south central part of the coastal region in Bangladesh. Exposure and Health 9(1), 27-41 pp.
- Li, P., Wu, J., Qian, H. 2016. Hydrochemical appraisal of groundwater quality for drinking and irrigation purposes and the major influencing factors: a case study in and around Hua County, China. Arabian journal of Geosciences, 9(1), 15.
- Merusi, C., Corradini, C., Cavazza, A., Borromei, C., Salvadeo, P. 2010. Analytical Methods; Determination of nitrates, nitrites and oxalates in food products by capillary electrophoresis with pH-dependent electro osmotic flow reversal. Food Chemistry, 120 (2), 615 pp.
- Mirza, A. T., Tanvir, R. M., Saadat, A. H. M., Safiqul, I. M., Abdullah, A. M., Ahmad, S. 2017. Groundwater characterization and selection of suitable water type for irrigation in the western region of Bangladesh. Applied Water Science 7, 233-243 pp.
- Nagarajan, R., Rajmohan, N., Mahendran, U., Senthamilkumar, S. 2010. Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Thanjavur city, Tamil nadu, India. Environmental monitoring and assessment 171(1), 289-308 pp.
- Nazzal, Y., Ahmed, I., Al-Arifi, N. S., Ghrefat, H., Zaidi, F. K., El-Waheidi, M. M., Batayneh, A., Zumlot, T. 2014. A pragmatic approach to study the groundwater quality suitability for domestic and agricultural usage, Saq aquifer, northwest of Saudi Arabia. Environmental monitoring and assessment 186(8), 4655-4667.
- 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 pp.
- Rajesh, R., Brindha, K., Elango, L. 2015. Groundwater quality and its hydrochemical characteristics in a shallow weathered rock aquifer of southern India. Water Quality, Exposure and Health 7(4), 515-524.
- Rude, R. K., Gruber, H. E., Wei, L. Y., Frausto, A., Mills, B. G. 2003. Magnesium deficiency: effect on bone and mineral metabolism in the mouse. Classified tissue international 72(1), 32-41 PP.
- 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 PP.
- Selvakumar, S., Chandrasekar, N., Kumar, G. a-2017. Hydrogeochemical characteristics and groundwater contamination in the rapid urban development areas of Coimbatore, India. Water Resources and Industry 17, 26-33 pp.
- Selvakumar, S., Ramkumar, K., Chandrasekar, N., Magesh, N. S., Kaliraj, S. b-2017. Groundwater quality and its suitability for drinking and irrigational use in the Southern Tiruchirappalli district, Tamil nadu, India. Applied Water Science 7(1), 411-420 pp.
- Shanmugasundharam, A., Kalpana, G., Mahapatra, S. R., Sudharson, E. R., Jayaprakash, M. 2017. Assessment of Groundwater quality in Krishnagiri and Vellore Districts in Tamil nadu, India. Applied Water Science 7(4), 1869-1879.
- Sheikhy Narany, T., Firuz, R. M., Zaharin, A. A., Azmin, S.W. N., Fakharian, K. 2015. Groundwater irrigation quality mapping using geostatistical techniques in Amol-Babol Plain, Iran. Arabian Journal of geoscience 8, 961-976 pp.

- Srinivas, Y., Aghil, T. B., Oliver, D. H., Nair, C. N., Chandrasekar, N. 2017. Hydrochemical characteristics and quality assessment of groundwater along the Manavalakurichi coast, Tamil Nadu, India. *Applied Water Science* 7(3), 1429-1438 pp.
- Toumi, N., Hussein, B. H., Rafrafi, S. 2015. Groundwater quality and hydrochemical properties of Al-Ula region, Saudi Arabia. *Environmental monitoring and assessment* 187(3), 84.
- Topf, J. M., Murray, P. T. 2003. Hypomagnesemia and hypermagnesemia. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders* 4(2), 195-206 pp.
- USSL, U. 1954. *Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils*. Washington: United States Department of Agriculture.
- Venkateswaran, S., Deepa, S. 2015. Assessment of Groundwater Quality using GIS Techniques in Vaniyar Watershed, Ponnaiyar River, Tamil Nadu. *Aquatic Procedia* 4, 1283-1290.
- WHO. 2011. *Guidelines for drinking-water quality*, 4th ed., World Health Organization, Geneva, Switzerland