Original article

Survey of Hydro-geochemical Quality and Health of Groundwater in Ramian, Golestan Province, Iran

Fahime Khandouzi[1]
Abdolhosein Pari Zangane[2]
Abbasali Zamani[3]
Yousef Dadban Shahamat[4*]

1- Environmental Health Department, Zanjan University, Zanjan, Iran
2- Associate Professor, Environmental Health Department, Zanjan University, Zanjan, Iran
3- Assistant Professor, Environmental Health Department, Zanjan University, Zanjan, Iran
4- Assistant Professor, Environmental Health Research Center, Environmental Health Engineering Department, School of Health, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran

***Corresponding author:** Yousef Dadban Shahamat, Environmental Health Research Center, Environmental Health Engineering Department, School of Health, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran

Email: ydadban@gmail.com

Received: 2 September 2015
Accepted: 20 December 2015

ABSTRACT

Introduction and purpose: Investigation of water quality is an important step toward the suitable use of potable water supplies and choosing the proper agriculture model. Hence, the need for the study of water quality has been increasingly addressed in the water resources management programs.

Methods: In this study, hydro-geochemical quality of groundwater resources for drinking and agricultural purposes has been studied in Ramian, Golestan province, Iran. Fifteen qualitative characteristics of the 13 wells of Water Organization of Golestan province in two dry and wet seasons were analyzed during 2011-2012. The quality and diagrams demonstrating water quality were evaluated using Aua Chem and Aq-qa softwares.

Results: Groundwater in the study area was classified as hard and very hard. The main cations and anions were Na^{+}>Ca^{2+}> Mg^{2+} and HCO_3^{-}> SO_4^{2-}>Cl^{-}. Based on piper diagram, the dominant hydro-chemical facies of water was Na-HCO_3. Salinity index of water indicated that most of the samples in the two seasons were in the average class. According to Schuler and Wilcox groundwater quality index, water was moderately suitable and suitable for agriculture and drinking, respectively. In addition, 77% of the cases were in C_3-S_1 category.

Conclusion: High salinity is one of the most important problems of water supply in Ramian for irrigation, which can reduce plant growth or even stop the growth of some plants. Inadequate water resources management can damage the soil in the near future.

Keywords: Drinking water, Irrigation, Salinity index, Water quality, Water resources management

▶ **Citation**: Khandouzi F, Pari Zangane A, Abbasali Zamani A, Dadban Shahamat Y. Mardi Survey of Hydro-geochemical Quality and Health of Groundwater in Ramian, Golestan Province, Iran. Autumn 2015;1(3): 41-52.

مقاله پژوهشی

بررسی کیفیت هیدروژئوشیمیایی و بهداشتی آب زیرزمینی شهرستان رامیان استان گلستان

فهیمه خاندوزی[1]
عبدالحسین پری زنگنه[2]
عباسعلی زمانی[3]
یوسف دادبان شهامت[4*]

۱- کارشناس ارشد، گروه علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۳- استادیار، گروه علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۴- استادیار، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران

* نویسنده مسئول: یوسف دادبان شهامت، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران

Email: ydadban@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۶
تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۲۹

چکیده

مقدمه و هدف: بررسی کیفیت آب گامی مهم در جهت استفاده بهینه و مناسب از منابع آب برای شرب و همچنین انتخاب الگوی کشت مناسب و سازگار با کیفیت آب می‌باشد. از این رو ضرورت مطالعه‌ی ویژگی‌های کیفی آب در برنامه‌های مدیریت منابع آب به شدت مورد توجه قرار گرفته است.

روش کار: در مطالعه‌ی حاضر، کیفیت هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی در شهرستان رامیان استان گلستان از نظر شرب و کشاورزی مطالعه شده است. به این منظور از ۱۵ ویژگی کیفی ۱۳ حلقه چاه سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان در دو فصل کم‌آبی و پرآبی سال ۱۳۹۰-۱۳۹۱، به‌عنوان داده‌های ورودی استفاده شد. ویژگی‌ها و نمودارهای تعیین کیفیت آب با استفاده از نرم‌افزارهای Aq.qa و Aqua Chem ارزیابی شدند.

یافته‌ها: آب‌های زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه در رده‌ی آب‌های سخت و خیلی سخت قرار دارند. کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی درآب به ترتیب $Na^{+}>Ca^{2+}>Mg^{2+}$ و $Cl>SO_4^{2-}>HCO_3^{-}$ می‌باشند. بر اساس نمودار Piper رخساره هیدروشیمیایی غالب منطقه از نوع $Na\text{-}HCO_3$ می‌باشد. بررسی شاخص شوری نیز نشان داد که اکثر نمونه‌های آب در دو فصل در کلاس متوسط قرار داشتند. با توجه به شاخص کیفی Willcox و Schueller آب‌های زیرزمینی برای مصرف کشاورزی در حد متوسط و از نظر شرب مناسب می‌باشند و از نظر کشاورزی ۷۷ درصد نمونه‌ها در رده $C_3\text{-}S_1$ قرار دارند.

نتیجه‌گیری: داده‌های مطالعه‌ی حاضر نشان می‌دهد که یکی از مشکلات مهم منابع آبی موجود در شهرستان رامیان برای آبیاری، مقدار زیاد نمک‌ها می‌باشد. این مقدار زیاد سبب کاهش رشد محصول و یا حتی جلوگیری از رشد برخی محصول‌ها می‌شود. در صورت عدم مدیریت مصرف منابع آبی در این منطقه پس از گذشت زمانی اندک خاک منطقه آسیب خواهد دید.

کلمات کلیدی: آب شرب، آبیاری، شاخص شوری، کیفیت آب، مدیریت کیفیت آب

استناد: خاندوزی، فهیمه؛ پری زنگنه، عبدالحسین؛ زمانی، عباسعلی؛ دادبان شهامت، یوسف. بررسی کیفیت هیدروژئوشیمیایی و بهداشتی آب زیرزمینی شهرستان رامیان استان گلستان. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، پاییز ۱۳۹۴؛۱(۳): ۵۲-۴۱.

مقدمه

آب به‌عنوان یک منبع قابل‌تجدید همواره به‌عنوان رکن اصلی توسعه پایدار مطرح بوده است. در حال حاضر، آینده آب در جهان بسیار بحرانی است. افزایش جمعیت و افزایش نیاز آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت و شرب فشار زیادی به منابع آب زیرزمینی ایران وارد کرده است. ایران کشوری پهناور با زمین‌های کشاورزی فراوان، همواره به‌دلیل تقاضای آب، بارش کم، تبخیر بالا و توزیع جزیی و موقتی بارندگی با کمبود آب مواجه بوده است [۱،۲]. از یک سو منابع آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شرب و کشاورزی در کشور و منبع اجتناب‌ناپذیر زندگی ما می باشند، از سوی دیگر خطر آلودگی

کمتر این منابع نسبت به منابع دیگر سبب شده است که حتی در منطقه‌هایی بدون کمبود آب سطحی نیز استفاده از این منابع رونق داشته باشد [۳،۴]. در حال حاضر بخش کشاورزی نقش اساسی و حیاتی در اقتصاد ملل و تولید مواد غذایی در ایران دارد و بیش از ۹۰ درصد آب مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد. مصرف آب با کیفیت نامناسب در کشاورزی علاوه بر کاهش محصول و ایجاد مشکل برای سیستم‌های آبیاری، خصوصیات فیزیکی خاک را از بین می‌برد و در نهایت سبب بایر شدن اراضی می‌شود؛ بنابراین لازم است تا جنبه‌های کیفی آب و وجود عناصر زیان‌آور مورد توجه قرار گیرند. ترکیب شیمیایی آب یکی از فاکتورهای عمده و اولیه جهت تعیین مناسب بودن آن برای اهداف کشاورزی و شرب می‌باشد [۵].

فهم مشخصات هیدرولیکی آبخوان و ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی آب برای برنامه‌ریزی و مدیریت آن ضروری می‌باشد. به‌طور کلی حرکت آب زیرزمینی در طول مسیرهای عبوری در زیر سطح زمین، غلظت ترکیبات شیمیایی آب را افزایش می‌دهد [۶]. آب زیرزمینی حاوی مقدار متفاوتی از یون‌های مختلف مانند کربنات، بی‌کربنات، کلسیم، منیزیم و سدیم می‌باشد که بر روی مناسب بودن آب زیرزمینی برای مصرف انسان، آبیاری و مصرف‌های دیگر تأثیر می‌گذارد. با استناد به اینکه فعالیت‌های انسانی کیفیت آب‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۷،۸]. شیمی آب‌های زیرزمینی به تعدادی از فاکتورها مانند: زمین‌شناسی منطقه، درجه‌ی هوازدگی شیمیایی انواع مختلف سنگ‌ها، کیفیت آب ورودی از منابع مختلف و به‌همین نسبت برهم‌کنش‌های موجود بین سنگ و آب بستگی دارد [۹]. تأثیر زمین‌شناسی بر روی کیفیت آب‌های زیرزمینی به‌طور وسیعی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۱،۱۲]. تأثیر خاک‌ها بر روی کیفیت آب خیلی پیچیده است و به فرآیندهای کنترل تبادل مواد شیمیایی بین خاک و آب نسبت داده می‌شود. بخشی از فاکتورهای طبیعی که بر روی کیفیت آب تأثیر می‌گذارند شامل: فعالیت‌های انسان مانند پساب‌های خانگی و کشاورزی می‌باشد که بر روی منابع آب تأثیر منفی دارند [۱۳].

آب‌های کشاورزی هم از نظر غلظت و هم ترکیب نمک‌های محلول به شدت متغیر هستند [۱۴]. مقدار زیاد یون‌های حل‌شده مانند سدیم، بی‌کربنات و کربنات در آب آبیاری، از نظر فیزیکی و شیمیایی بر روی گیاهان و خاک تأثیر می‌گذارد و به‌دنبال آن سبب کاهش بهره‌وری خاک می‌شود. شوری زیاد فعالیت اسمزی گیاهان را کاهش می‌دهد؛ بنابراین در جذب آب و مواد غذایی از خاک تداخل ایجاد می‌کند. شوری و شاخص‌هایی مانند: خطر شوری، نسبت جذبی سدیم، درصد سدیم و مقدار سدیم‌کربنات باقی‌مانده از پارامترهای مهم در تشخیص مناسب بودن آب زیرزمینی برای مصرف آبیاری می‌باشند [۱۵،۱۶]. ارزیابی کیفیت آب با هدف مناسب بودن آن، برای مصرف شرب و کشاورزی با استفاده از شاخص‌های مختلف انجام می‌شود.

یکی از یون‌هایی که به‌طور مشخص بر مطلوبیت آب برای کشاورزی تأثیر می‌گذارد، سدیم است که برای طبقه‌بندی آب آبیاری به‌صورت سدیم محلول استفاده می‌شود؛ زیرا این یون با واکنش در خاک، نفوذپذیری آن را کاهش می‌دهد [۱۷].

خطر سدیم به‌طور عمومی با عنوان نسبت جذب سدیم بیان می‌شود (SAR) که از نسبت سدیم به کلسیم و منیزیم به‌دست می‌آید [۱۸]. مناسب بودن آب برای مصارف کشاورزی به تأثیر مواد معدنی موجود در آن بر روی گیاهان و خاک مربوط می‌گردد؛ به‌طوری که محتوای بالای نمک و هدایت الکتریکی در آب سبب تشکیل خاک شور می‌شود. همچنین محتوای بالای سدیم (SAR) سبب تشکیل یک خاک قلیایی می‌گردد [۱۹]؛ بنابراین آب آبیاری با سدیم بالا بافت خاک را از طریق پراکندگی ذرات رس از بین می‌برد و همچنین سبب کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود [۲۰].

غلظت بی‌کربنات نیز منجر به خطر سدیم در آب‌های آبیاری می‌شود. غلظت‌های زیاد از یون‌های کربنات و بی‌کربنات در آب آبیاری سبب رسوب کلسیم و منیزیم از محلول خاک و در نتیجه

افزایش سدیم جذب شده در سطحهای رسی می‌گردد که به‌دنبال آن خطر سدیم را افزایش می‌دهد [۲۱]. برای توصیف این اثر یک پارامتر تجربی به‌عنوان سدیم کربنات باقی‌مانده می‌تواند محاسبه شود. اگر غلظت کربنات و بی‌کربنات بیشتر از قلیائی بودن زمین باشد، کیفیت آب کاهش یافته و مناسب بودن آب را برای کشاورزی کاهش می‌دهد. آب با سدیم‌کربنات باقی‌مانده کمتر از ۱/۲۵ میلی اکی والان بر لیتر مطمئن در نظر گرفته می‌شود. این مقدار اگر بین ۲/۵-۱/۲۵ میلی اکی والان بر لیتر باشد، کیفیت آب در نقطه‌ی بحرانی و مشکوک قرار گرفته و اگر به بیشتر از ۲/۵ میلی اکی والان بر لیتر برسد، آب برای کشاورزی نامناسب می‌باشد [۱۸].

نفوذپذیری خاک بر روی استفاده طولانی مدت از آب آبیاری با توجه به محتوای سدیم، کلسیم، منیزیم و بی‌کربنات خاک تأثیر می‌گذارد. شاخص تراوایی، مناسب بودن آب زیرزمینی را برای آبیاری نشان می‌دهد. دونین و راگوناس معیاری را برای ارزیابی مناسب بودن آب برای آبیاری بر پایه‌ی شاخص تراوایی، مورد استفاده قرار دادند که بر اساس آن آب به سه دسته I، II و III تقسیم می‌شود. در دسته I (نفوذپذیری بالای ۷۵ درصد) و در دسته II (نفوذپذیری بین ۷۵-۲۵ درصد)، آب برای آبیاری خوب و در دسته III با بیشینه نفوذپذیری ۲۵ درصد، آب برای آبیاری نامناسب در نظر گرفته می‌شود [۱۰].

رخساره‌های هیدروشیمیایی جهت نمایش اختلاف در ترکیب شیمیایی آب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۲]. یکی از روش‌های متداول برای طبقه‌بندی و مقایسه انواع آب بر اساس ترکیب یونی، استفاده از نمودار پایپر می‌باشد. نمودار پایپر علاوه بر اینکه ماهیت نمونه آب را به شکل گرافیکی نشان می‌دهد، وابستگی آن را نیز با نمونه‌های دیگر به‌منظور شناسایی سهم طبیعی، سنگ‌شناسی و انسانی نشان می‌دهد و به اظهار نظر در مورد تکامل شیمیایی آن در طول مسیر جریان کمک می‌کند [۲۳].

در این تحقیق کیفیت شیمیایی و هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی در شهرستان رامیان استان گلستان جهت مصارف شرب و کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته است و تیپ شیمیایی و کیفیت آب با استفاده از روش‌های گرافیکی مانند: پایپر و شولر طبقه‌بندی شد.

روش کار

شناسایی منطقه مورد مطالعه

رامیان یکی از شهرستان‌های استان گلستان است که در محدوده‌ی جغرافیایی ´۵۳ °۵۴ تا ´۱۴ °۵۵ طول شرقی و ´۴۶ °۳۶ تا ´۸ °۳۷ عرض شمالی قرارگرفته است. این شهرستان از نظر جغرافیایی به دو قسمت جلگه‌ای و کوهستانی تقسیم می‌شود. در پایه بلندی‌ها به ویژه در جنوب و شرق استان کوهپایه‌هایی از رسوبات دانه‌ریز و دانه درشت دیده می‌شود که سفره‌های آب زیرزمینی فراوانی را در خود جای داده است و به صورت چاه و قنات از آن‌ها بهره‌برداری می‌شود. منبع اصلی تأمین آب در شهرستان رامیان رودخانه‌ی گرگان‌رود می‌باشد و حجم آب زیر زمینی مصرفی در این شهرستان ۱۷۷۰ هزار متر مکعب است [۲۴].

زمین‌شناسی منطقه

از نگاه ریخت‌شناسی بخش شرقی رامیان، سرزمینی فلات گونه با توپوگرافی به نسبت آرام است. بلندترین ارتفاعات ورقه (۲۰۲۰ متر) مربوط به سنگ‌های سازند لار است. در درجه دوم سنگ آهک‌های با سن کرتاسه بالایی، دولومیت‌ها و ماسه‌سنگ‌های با سن پرمین قرار دارند. ارتفاعات درجه سوم توسط ماسه سنگ‌های سازند خوش‌ییلاق، آهک‌های نازک سازند الیکا و اسپیلیت بازالت‌های سلطان‌میدان و سازند شمشک تشکیل شده‌اند. نهشته‌های مارتی و ماسه‌سنگی در جنوب‌شرقی ورقه، ارتفاعات کوتاه تا متوسطی را می‌سازند [۲۴]. چاه‌های

مورد مطالعه مربوط به قسمت‌های شمالی این شهرستان می‌باشند که با توجه به بافت زمین‌شناسی منطقه می‌توان بیان کرد که تراس‌های رسی و آبرفتی بافت غالب این منطقه را پوشش داده‌اند (شکل شماره ۱).

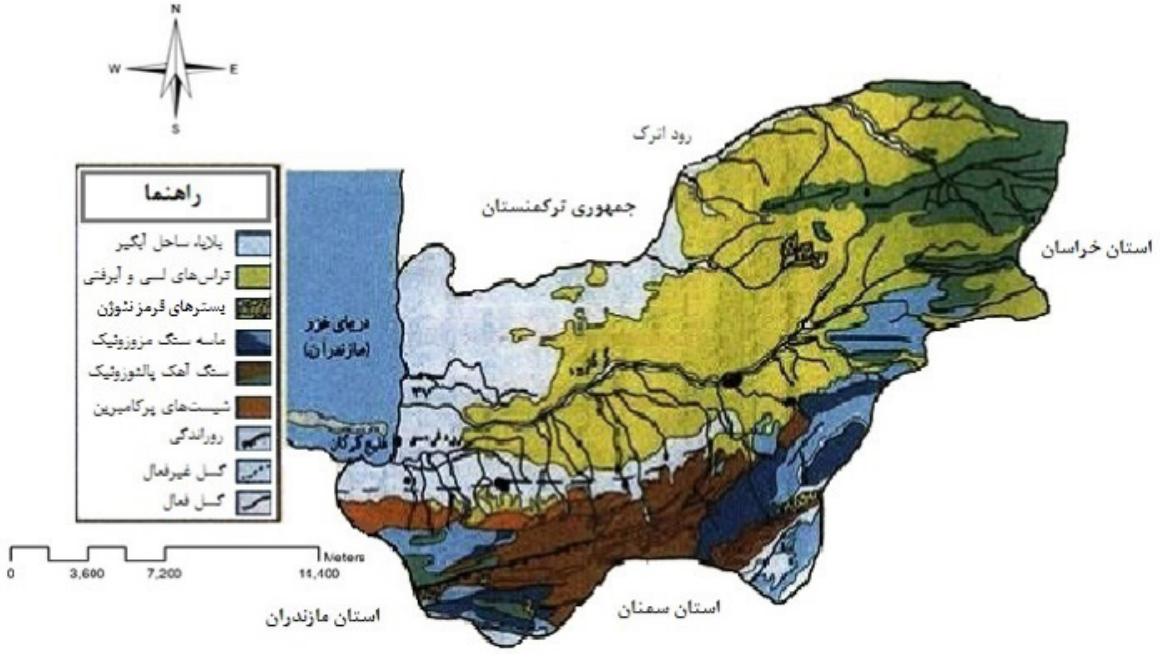
پایش کیفی آب

پایش کیفی آب نه تنها باعث بهبود کیفیت آب می‌شود؛ بلکه در فرآیند تولید آب سالم نیز ارزش اقتصادی دارد و عامل مهمی در کاهش هزینه‌های تولیدی و تصفیه آب می‌باشد. به‌منظور مطالعه‌ی کیفی و مناسب بودن آب زیرزمینی برای مصارف آشامیدن و کشاورزی در منطقه مورد مطالعه، تحلیل‌های هیدروژئوشیمیایی بر روی ۱۵ ویژگی کیفی مربوط به ۱۳ حلقه چاه عمیق انجام گرفت. نمونه‌ها در دو فصل کم‌آبی و پرآبی از چاه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه با روش‌های استاندارد توسط سازمان آب و فاضلاب روستایی استان گلستان در سال ۱۳۹۰ جمع‌آوری گردیدند. پارامترهای کیفی مورد بررسی شامل: هدایت الکتریکی (EC)، کل جامدات محلول (TDS)، اسیدیته (pH)، کاتیون‌های سدیم (Na^+)، پتاسیم (K^+)، کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+}) و آنیون‌های سولفات (SO_4^{2-})، بی‌کربنات (HCO_3^-)، کلرید (Cl^-) و شامل: شاخص‌های سختی کل (TH)، درصد سدیم (درصد Na)، نسبت جذب سدیم (SAR)، سدیم‌کربنات باقی‌مانده (RSC) و شاخص تراوایی (PI) بودند. نمودارهای پایپر، شولر و ویلکاکس نیز با استفاده از نرم‌افزارهای Aq.qa و AquaChem ترسیم گردیدند.

تعیین درصد سدیم (درصد Na)

درصد سدیم به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی مناسب بودن آب برای مصارف آبیاری استفاده می‌شود و با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌گردد که در آن همه غلظت‌های یونی برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر محاسبه می‌شوند [۱۷].

$$Na\% = \left(\frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+}\right)100 \qquad (۱)$$



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی استان گلستان (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گلستان)

تعیین نسبت جذب سدیم (SAR)

میزان نسبت جذب سدیم با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود که در آن همه غلظت‌های یونی برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد [۱۸].

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (۲)$$

تعیین سدیم‌کربنات باقی‌مانده (RSC)

سدیم‌کربنات باقی‌مانده با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود که در آن همه یون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشند [۱۸].

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^{-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (۳)$$

یافته‌ها

نتایج مربوط به خلاصه آماری پارامترها، مطابق جدول شماره ۱، بیشینه، کمینه و میانگین داده‌ها برای هر دو فصل کم‌آبی و پرآبی نشان داده شده است. نتایج نشان داد که میانگین غلظت کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم در طول فصل کم‌آبی به‌ترتیب ۵۰، ۳۵/۹، ۶۹/۷ و ۲/۹میلی‌گرم بر لیتر و در فصل پرآبی ۶۴/۷، ۳۴/۱، ۷۰/۵ و ۱/۵میلی‌گرم بر لیتر بود. بر اساس این نتایج، بیشترین غلظت در دو دوره مربوط به عنصر سدیم و به‌ترتیب در رده‌های بعدی کلسیم، منیزیم و پتاسیم قرار می‌گرفتند. همچنین نتایج مربوط به پارامترهای هیدروژئوشیمیایی مانند درصد Na، SAR، RSC و PI با استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه نیز در این جدول نشان داده شده است.

جهت مشخص نمودن کیفیت آب علاوه بر استانداردهای ملی و بین‌المللی از استانداردهای دیگری هم استفاده می‌شود که نمودار شولر یک مورد از آن می‌باشد که جهت رسم نمودار شولر از نرم‌افزار Aq.qa استفاده گردید. تیپ شیمیایی و کیفیت آب با استفاده از نمودار شولر در دو فصل پرآبی و کم‌آبی در شکل

جدول ۱: ویژگی‌های کیفی نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

پارامتر	فصل کم‌آبی			فصل پرآبی		
	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین
pH	۰/۷	۸/۷	۳/۷	۹/۶	۷/۷	۴/۷
EC	۶۴۱	۱۱۱۰	۶/۸۵۸	۷۳۸	۹۸۷	۸۶۳
TDS	۴۰۳	۷۰۰	۵۴۲	۴۶۷	۶۲۴	۲/۵۴۶
Ca^{2+}	۳۴	۷۴	۵۰	۴۶	۹۲	۶۴
Mg^{2+}	۲۲	۶۲	۳۶	۲۴	۵۵	۳۴
Na^{+}	۷/۹	۴/۱۶۷	۷/۶۹	۹/۱۱	۶/۱۴۲	۵/۷۰
K^{+}	۱۷/۱	۵۱/۳	۴۹/۲	۱۷/۱	۹۵/۱	۵/۱
HCO_3^{-}	۲۳۷	۳۹۰	۷/۲۹۴	۴/۲۶۸	۵/۳۹۶	۸/۳۲۳
SO_4^{2-}	۹/۲۶	۵/۱۷۹	۶/۹۰	۸/۵۱	۷/۱۷۴	۷/۱۰۰
Cl^{-}	۷/۱۷	۱۴۹	۶۲	۷/۱۷	۱۱۰	۲/۵۱
درصد Na	۸۹/۷	۳/۶۵	۸/۳۳	۳۱/۷	۵۸	۳/۳۲
SAR	۲۵/۰	۲۱/۵	۹۴/۱	۲۸/۰	۱۳/۴	۸۸/۱
TH	۵/۱۹۳	۵/۴۱۶	۶/۲۷۲	۶/۲۲۳	۸/۴۴۶	۲/۳۰۲
RSC	-۲۰/۳	۵۰/۲	-۶۶/۰	-۳۰/۳	۲	-۷۷/۰
PI	۲/۲۹	۸/۷۲	۷/۴۸	۶/۳۲	۶/۶۹	۲/۵۰

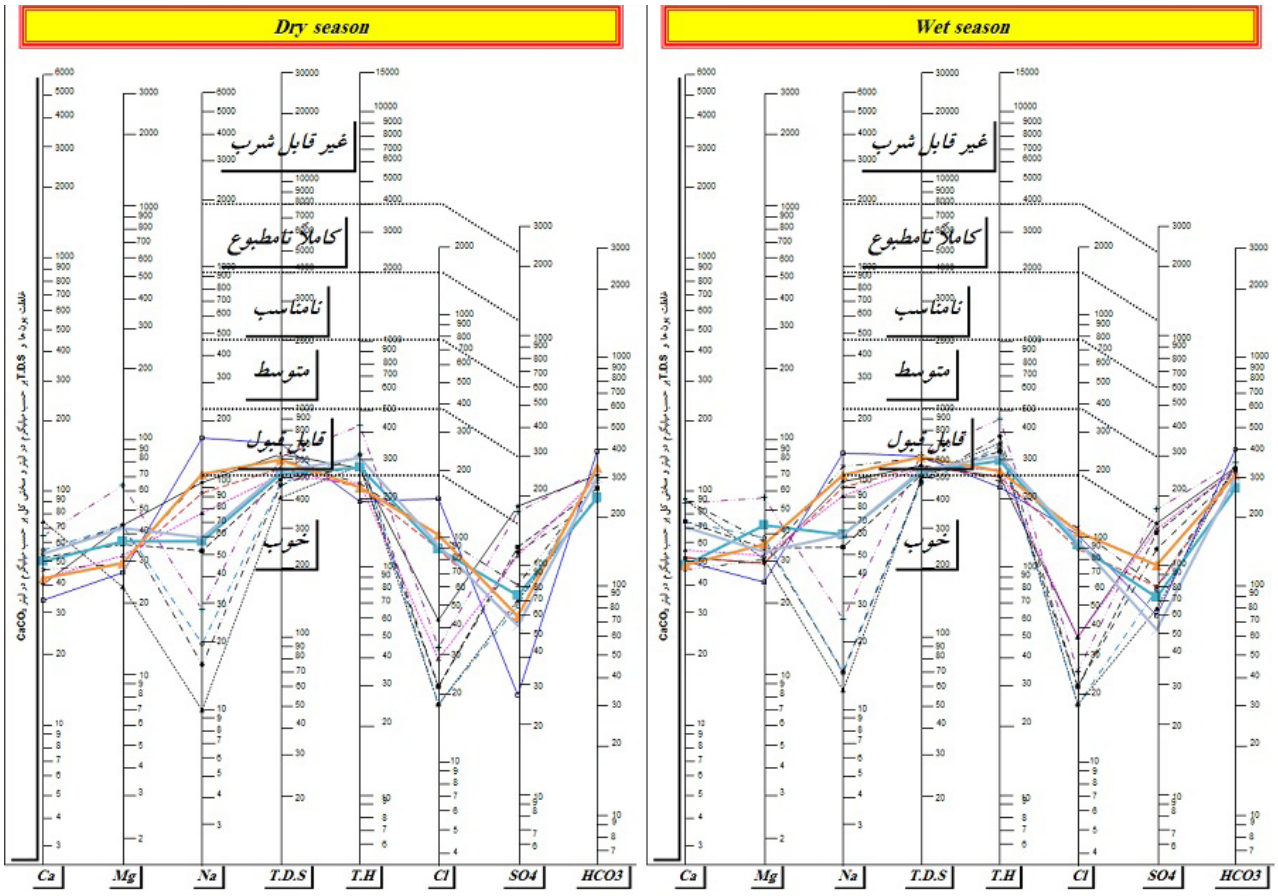
شماره ۲ نشان داده شده است.

همچنین مطابق شکل ۳، نمودار پایپر غلظت‌های نسبی از یون‌های مختلف نمونه‌های آب نشان داده شده است. با توجه به این نمودار، کاتیون‌های غالب به‌ترتیب سدیم، منیزیم و کلسیم و آنیون غالب بی‌کربنات می‌باشد.

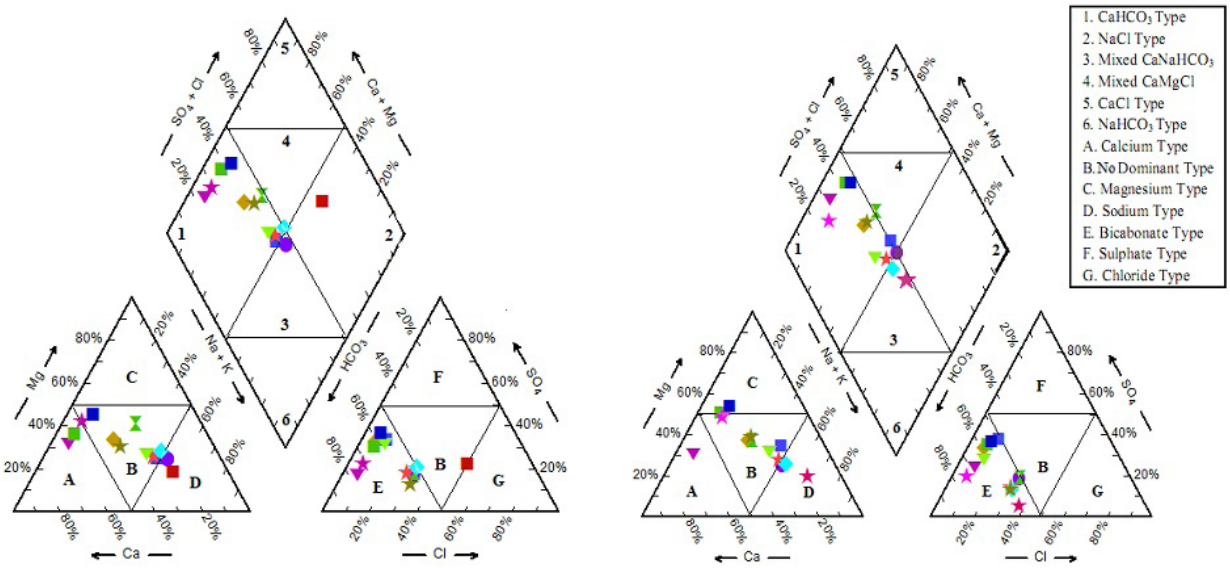
بحث و نتیجه‌گیری

مناسب بودن آب برای مصارف شرب

بر اساس نتایج موجود در جدول شماره ۱، در میان آنیون‌ها بیشترین میانگین غلظت مربوط به یون بی‌کربنات بود که به‌ترتیب در دو فصل کم‌آبی و پرآبی برابر با ۳۲۳/۸ و ۲۹۴/۷ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده گردید. فاکتورهای کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی نیز به‌طور معمول تحت تأثیر توپوگرافی، سنگ‌شناسی آبخوان، تغذیه و شرایط تخلیه رواناب به آب زیرزمینی قرار دارند. مقایسه میانگین غلظت به‌دست آمده، بالا بودن مقدار این پارامترها را در فصل کم آبی نشان می‌دهد. سختی کل نیز مقادیری از ۷۰۰-۴۰۳ را با میانگین ۵۴۲ میلی‌گرم بر لیتر در فصل کم آبی و دامنه ۶۲۴-۴۶۷ را با میانگین ۵۴۶/۲ میلی‌گرم بر لیتر در فصل پرآبی را در نمونه‌ها نشان داد. آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بر پایه سختی کل به دو دسته طبقه‌بندی شدند. بر اساس آن ۶۹ درصد و ۵۴ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی به‌ترتیب در فصل کم آبی و پرآبی با داشتن سختی کل بین ۳۰۰-۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در دسته سخت و ۳۱ درصد و ۴۶ درصد با داشتن سختی کل بالاتر از



شکل۲: نمودار شولر مربوط به نمونه‌های آب زیرزمینی در دو فصل پرآبی (راست) و کم‌آبی (چپ)



شکل۳: نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی در دو فصل کم‌آبی (راست) و پرآبی (چپ)

۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در دسته آب‌های کاملاً سخت قرار گرفتند. بررسی نتایج به‌دست آمده از جدول شماره ۱ نشان می‌دهد که pH نمونه‌های آب زیرزمینی در دامنه طبیعی ۶/۹-۷/۸ قرار دارد که با توجه به استانداردهای کیفیت آب در سه دسته خوب، قابل‌قبول و متوسط قرار می‌گیردکه البته میانگین غلظت اسیدیته نمونه‌ها در فصل پرآبی بیشتر از کم‌آبی مشاهده گردید. بررسی کاتیون‌ها نیز نشان داد که ۱۰۰ درصد نمونه‌های آب از نظر کاتیون منیزیم در دسته خوب و برای کاتیون سدیم و پتاسیم به‌ترتیب ۸۴/۶۲ درصد و ۳۱ درصد بر اساس دامنه استانداردهای تعریف‌شده، در دسته خوب و قابل‌قبول قرار داشتند. کلسیم همه نمونه‌های آب نیز در دسته خوب قرار داشتند.

بررسی نتایج (شکل شماره ۲) برای آنیون‌های کلرید و سولفات نیز نشان داد که ۱۰۰ درصد نمونه‌های آب زیرزمینی در دو فصل از نظر مقدار کلرید در دسته خوب، ۸۵ درصد از نظر سولفات در دسته خوب و ۱۵ درصد در دسته قابل‌قبول قرار دارند. طبقه‌بندی براساس مقدار یون بی‌کربنات نیز، نمونه‌ها را در دو گروه قابل‌قبول و متوسط قرار داد که البته میانگین غلظت در فصل پرآبی به مراتب بیشتر از کم‌آبی مشاهده گردید. درصد طبقه‌بندی دو ویژگی سختی کل و کل جامدات محلول نیز به گونه‌ای بود که برای هر دو پارامتر، بیشتر نمونه‌ها در دو فصل در دسته قابل‌قبول قرار داشتند. مقایسه داده‌ها با استانداردهای جدول شولر نشان داد که همه نمونه‌ها در دو فصل برای کاتیون‌ها و آنیون‌ها در رده خوب و قابل‌قبول قرار دارند. درحالی که از نظر سختی، نیمی از نمونه‌ها با داشتن سختی کل بیشتر از ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در دسته قابل‌قبول برای شرب قرار می‌گرفتند. برای کل جامدات محلول نیز تقریباً ۷۵ درصد از کل نمونه‌ها در دسته قابل‌قبول برای شرب قرار داشتند که البته میانگین غلظت نمونه‌ها در فصل پرآبی بیشتر از کم‌آبی مشاهده گردید.

مناسب بودن آب برای مصارف کشاورزی

کیفیت آب‌های زیرزمینی بر پایه درصد سدیم در پنج دسته قرار می‌گیرد که بر اساس این دسته‌بندی ۳۸ درصد از نمونه‌ها در فصل کم‌آبی برای آبیاری عالی، ۲۳ درصد خوب، ۳۱ درصد مجاز و ۸ درصد برای آبیاری در حد مشکوک قرار داشتند.

مطابق جدول شماره ۲، در فصل پرآبی نیز به‌ترتیب ۴۶، ۲۳ و ۳۱ درصد از نمونه‌ها در رده عالی تا مجاز قرار داشتند. همچنین داده‌های جدول شماره ۱ نشان داد که میانگین درصد سدیم در فصل پرآبی بالاتر از فصل کم‌آبی می‌باشد.

بررسی شوری داده‌ها بر اساس کل مواد جامد محلول نشان داد که در دو فصل کم آبی و پرآبی به ترتیب ۶۹ درصد و ۷۸ درصد از نمونه‌ها در حد مجاز قرار داشتند و تمام نمونه ها نیز در دسته آب شیرین (TDS <۱۰۰۰) طبقه بندی شدند. بنابراین با توجه به تحقیقات انجام‌شده خاک‌هایی که از این نوع آب برای آبیاری استفاده می‌کنند، باید نفوذپذیر بوده و زه کشی کافی داشته باشند. هنگامی که غلظت سدیم در آب آبیاری بالا باشد، سدیم تمایل دارد که جذب ذرات رس شده و جانشین یون‌های منیزیم و کلسیم شود. این فرآیند تبادلی سدیم در آب نفوذپذیری منیزیم و کلسیم در خاک را کاهش داده و در نهایت سبب عدم تشکیل لخته و آسیب رساندن به نفوذپذیری خاک می‌گردد [۲۵].

محتوای کل نمک‌های محلول در آب آبیاری توسط پارامتر هدایت الکتریکی نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از جدول شماره ۱ نشان داد که این پارامتر با میانگین غلظت سمیکالون بر سانتی متر ۸۶۳، بالاترین مقدار را در فصل پرآبی دارد و در طبقه‌بندی شوری نیز در فصل کم‌آبی (۲۲ درصد و ۷۸ درصد) و پرآبی (۹۲ درصد و ۸ درصد) به‌ترتیب در دسته‌های با شوری متوسط و زیاد قرار گرفتند. این نوع آب از نظر کیفیت نیز در دسته خوب و متوسط قرار داشت.

آزمایشگاه سنجش شوری آمریکا آب‌ها را بر اساس شاخص‌های شوری و قلیائی بودن به چهار دسته تقسیم بندی کرده است [۱۳]. بر اساس این دسته‌بندی، در فصل کم‌آبی ۲۳ درصد از آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه با داشتن هدایت الکتریکی سمیکالون بر سانتی متر ۷۵۰-۲۵۰ در دسته C_2 و ۷۷ درصد با داشتن هدایت الکتریکی بین سمیکالون بر

جدول۲: کیفیت آب زیرزمینی جهت آبیاری بر پایه طبقه‌بندی درصد سدیم

رده	محدوده	بر حسب درصد	
		فصل کم آبی	فصل پرآبی
عالی	<۲۰	۳۸	۴۶
خوب	۴۰-۲۰	۲۳	۲۳
مجاز	۶۰-۴۰	۳۱	۳۱
مشکوک	۸۰-۶۰	۸	-
نامناسب	>۸۰	-	-

سانتی متر ۷۵۰-۲۲۵۰ در کلاس C_3 و در فصل پرآبی نیز ۸ درصد از نمونه‌ها در دسته C_2 و ۹۲ درصد در دسته C_3 قرار گرفتند. آب‌های زیرزمینی که از نظر شوری در دسته متوسط (C_2) قرار دارند، در بسیاری از موارد بدون هیچ شیوه کنترلی خاصی می‌توانند در منطقه مورد استفاده قرار بگیرند. در عین حال نمونه‌های آبی که در دسته زیاد (C_3) قرار گرفته‌اند، ممکن است اثرات زیان‌آوری بر روی محصولات حساس و بسیاری از گیاهان داشته باشند.

دامنه شاخص نسبت جذبی سدیم (SAR) در فصل کم آبی بین ۵/۲۱-۰/۲۵ و در فصل پرآبی بین ۴/۱۳-۰/۲۸ به دست آمد. بر پایه دسته‌بندی، ۱۰۰درصد از نمونه‌ها در هر دو فصل با داشتن نسبت جذب سدیم بین ۱۸-۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در دسته عالی (S_1) قرار داشتند. آبی که در کلاس S_1 قرار دارد از لحاظ کیفیت و شوری مناسب‌ترین آب برای آبیاری می‌باشد و بیانگر این است که غلظت سدیم این آب‌ها ممکن نیست که برای خاک‌ها و گیاهان منطقه مضر باشد.

ویلکاکس با ترسیم نسبت جذبی سدیم در مقابل شوری، نموداری را برای ارزیابی کیفی آب‌ها جهت مصارف کشاورزی ارائه کرده است [۱۴]. نمودار ویلکاکس آب کشاورزی را به ۱۶ رده تقسیم می‌کند که آب‌های کشاورزی با کیفیت آبیاری خیلی خوب در رده C_1-S_1 وآب‌های کشاورزی با کیفیت خوب

در رده‌های C_1-S_2، C_2-S_2، C_2-S_1 قرار می‌گیرند. در صورتیکه دانه‌بندی و نفوذپذیری خاک مناسب باشد، رده‌های C_1-S_3، C_2-S_3، C_3-S_1، C_3-S_2 و C_3-S_3برای آبیاری در حد متوسط می‌باشند و در نهایت رده‌های C_4-S_1، C_4-S_2، C_1-S_4، C_2-S_4، C_4-S_3، C_3-S_4 و C_4-S_4 نیز برای آبیاری نامناسب هستند. این نمودار با استفاده از نرم‌افزار Aqua.Chem ترسیم گردید. بر اساس نمودار ویلکاکس، دسته نمونه‌های آب بر حسب درصد در فصل کم‌آبی C_2-S_1 ۲۳ درصد و C_3-S_1 ۷۷ درصد و در فصل پرآبی C_2-S_1 ۸درصد و C_3-S_1 ۹۲ درصد بودند. دسته اصلی C_3-S_1 بود که نشان‌دهنده خطر شوری بالا و خطر قلیائی بودن پایین می‌باشد. نمونه‌ها از لحاظ دسته‌بندی در هر دو فصل در دسته‌های مشابهی قرار داشتند، با این تفاوت که در فصل کم‌آبی نمونه‌های آب بیشتری دارای کیفیت خیلی خوب برای آبیاری بودند.

نتایج بیانگر این مطلب می‌باشد که مقدار بالای نمک‌ها یکی از مشکلات آبی است که در این منطقه برای آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. غلظت بالای نمک در آب آبیاری می‌تواند رشد محصولات را کاهش داده و یا حتی از رشد برخی محصولات جلوگیری کند که نتیجه آن تجزیه خاک و آلودگی آب زیرزمینی می‌باشد. در چنین آبی رشد گیاهان و کیفیت آن‌ها با افزایش آبیاری برای شستشو و یا استفاده متناوب از آب با شوری کم و زه کشی خوب بهبود خواهد یافت. بررسی کیفیت آب آبیاری بر اساس خطر شوری بیانگر طبقه‌بندی آب در دو دسته مناسب و مجاز برای آبیاری و بر اساس کیفیت همه نمونه‌ها از نوع آب شیرین بودند.

در بررسی شاخص کیفی سدیم بیکربنات باقی مانده، بیشترین غلظت مجاز بی‌کربنات آب آبیاری ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر است که بر اساس آن ۱۰۰ درصد نمونه‌های آب زیرزمینی در فصل پرآبی و ۷۷ درصد در فصل کم‌آبی برای آبیاری نامناسب بودند. میانگین غلظت سدیم‌کربنات باقی‌مانده در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب در دو فصل کم‌آبی و پرآبی ۰/۶۶- و ۰/۷۷- می‌باشد. بررسی داده‌های مربوط به دو فصل نشان داد که ۹۲ درصد از نمونه‌ها با داشتن مقدار سدیم‌کربنات باقی‌مانده کمتر از ۱/۲۵، برای آبیاری مناسب در نظر گرفته می‌شوند که بر اساس نتایج ارائه‌شده در جدول شماره ۱ تمامی نمونه‌ها در فصل کم‌آبی با دامنه ۷۲/۲-۲۹/۱ و در فصل پرآبی با دامنه ۶۹/۶-۳۲/۶ با قرار گرفتن در دسته دوم، برای اهداف آبیاری مناسب می‌باشند. این امر بیانگر نفوذپذیری بالای آب آبیاری بوده که باعث افزایش شستشوی خاک و کاهش اثرات شوری آب بر خاک می‌گردد.

رخساره‌های هیدروشیمیایی

مطابق شکل شماره ۲، نمودار پایپر نشان می‌دهد که اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی در طول فصل کم‌آبی و پرآبی از نوع $NaHCO_3$ بودند. دو نوع رخساره دیگر که در نمونه‌ها مشاهده گردید بر حسب فراوانی به‌ترتیب $CaHCO_3$ و $MgHCO_3$ بودند. نتایج حاصل از رخساره‌های هیدروشیمیایی در نمودار Piper در دو فصل نشان داد که نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بیشتر از نوع سدیک و کلسیک بی‌کربناته می‌باشند که در دسته آب‌های سخت و کاملاً سخت قرار می‌گیرند. غلظت قلیایی‌ها (Na^+، K^+) بیش از قلیایی‌های خاکی (Ca^{2+}، Mg^{2+}) و غلظت آنیون‌های اسیدی ضعیف (HCO_3^-) بیش از آنیون اسیدهای قوی (SO_4^{2-}، Cl^-) می‌باشد. با توجه به تیپ آب چاه‌های منطقه، این احتمال می‌رود که وجود یون کلسیم به‌دلیل وجود انحلال کانی‌های کربناته در زمین‌شناسی منطقه باشد. بالا بودن میانگین غلظت آن در فصل پرآبی نیز می‌تواند نشان‌دهنده انحلال بیشتر آن در آب می‌باشد. همچنین انحلال کانی‌های کربناته از جمله دولومیت و کلسیت و کانی‌های حاوی یون منیزیم می‌تواند دلیل افزایش منیزیم آب باشد. بررسی داده‌ها نشان داد که غلظت یون‌های کلسیم، سدیم و بی‌کربنات و کل جامدات محلول در فصل پرآبی بیشتر از کم‌آبی می‌باشد و در تمام پارامترهای

مورد بررسی چاه‌هایی که در نیمه غربی منطقه مورد مطالعه قرار داشتند، میانگین غلظت بالاتری داشتند. عموماً رودهای اصلی منطقه از شرق به غرب و شاخه‌های فرعی از جنوب به شمال جریان‌دارند؛ بنابراین غلظت در محل تخلیه بیشتر از محل تغذیه می‌باشد.

قدردانی

از شرکت آب و فاضلاب منطقه‌ای و روستایی استان گلستان و دانشکده بهداشت علوم پزشکی گلستان که در انجام این پژوهش ما را یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Madadi A, Kamali H, Farahani A. Overview on water for sustainable development in the middle east. 4th International Congress of The Islamic World Geographers (ICIWG 2010). Zahedan, Iran; 14-15 April 2010.
2. SolaimaniSardo M, Vali A, Ghazavi R, Saidi GH. Trend analysis of chemical water quality parameters; case study cham anjir river. Iran Irrig water Eng 2013; 3(12):95-106 (Persian).
3. Gholami A, Shahinzadeh N, Papan P. Hydrogeochemical parameters for assessment of groundwater quality in loor plain, khouzestan, Iran. Tech J Eng Appl Sci 2013; 3(23):3458-3461.
4. Shabani M. Study of groundwater quality variation in arsanjan plain. J phys geog 2007; 1(3):71-82 (Persian).
5. Safari N, Meftah Holghi M. Review and zoning basin groundwater quality Gorgan-Gharehsou to devote to agriculture. National Conference on Modern Agricultural Sciences & Technologies (MAST). Zanjan, Iran; September 10-12, 2011.
6. Aghazadeh N, Mogaddam AA. Assessment of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural uses in the Oshnavieh area, Northwest of Iran. J Environ Prot 2010; 1(1):30-40.
7. Hussain M, Prasad RT. Assessment of the ground water quality and its suitability for drinking and irrigation purposes: a case study of Patancheru, Andhra Pradesh, India. Arch Appl Sci Res 2013; 5(6):232-238.
8. Arumugam K, Elangovan K. Hydrochemical characteristics and groundwater quality assessment in Tirupur region, Coimbatore district, Tamil Nadu, India. Environ Geol 2009; 58(7):1509-1520.
9. Güler C, Thyne GD. Hydrologic and geologic factors controlling surface and groundwater chemistry in Indian Wells-Owens Valley area, southeastern California, USA. J Hydrol 2004; 285(1):177-198.
10. Alaya MB, Saidi S, Zemni T, Zargouni F. Suitability assessment of deep groundwater for drinking and irrigation use in the Djeffara aquifers (Northern Gabes, south-eastern Tunisia). Environ Earth Sci 2014; 71(8):3387-3421.
11. Aherpatil K. Geochemistry and assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes: a case study of Sukhana river sub basin, District Aurangabad, Maharashtra, India. Int J Rec Trend Sci Technol 2012; 4(1):45-49.
12. Ramesh K, Bhuvana Jagadeewari P. Hydrochemical characteristics of groundwater for domestic and irrigation purposes in Periyakulam Taluk of Theni District, Tamil Nadu. I. Res J Environ Sci 2012; 1:19-27.
13. Ackah M, Agyemang O, Anim AK, Osei J, Bentil NO, Kpattah L, et al. Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation: the case study of Teiman-Oyarifa Community, Ga East Municipality, Ghana. Proc Int Acad Ecol Environ Sci 2011; 1(3-4):186-194.
14. Jafar Ahamed A, Loganathan K, Ananthakrishnan S. A comparative evaluation of groundwater suitability for drinking and irrigation purposes in Pugalur area, Karur district, Tamilnadu, India. Arch Appl Sci Res 2013; 5(1):2-13.
15. Wilcox LV. The quality of water for irrigation use. US Department of Agricultural Technical Bulletin 1962. Washington, DC: US Department of Agriculture.; 1948.

16. Khodapanah L, Sulaiman WN, Khodapanah N. Groundwater quality assessment for different purposes in Eshtehard District, Tehran, Iran. Europ J sci Res 2009; 36(4):543-553.

17. Mohammadi M, Mohammadi Ghaleney M, Ebrahimi K. Spatial and temporal variations of groundwater Quality of Qazvin plain. IWRJ 2011; 5(8):41-52 (persian).

18. Peiyue L, Qian W, Jianhua W. Groundwater suitability for drinking and agricultural usage in Yinchuan Area, China. Int J Environ Sci 2011; 1(6):1241-1249.

19. Davoodi F, Seidzadeh H. Plain alluvial aquifer groundwater quality Bojnourd for drinking, agriculture and industry. 8th Conference of Iranian Association of Engineering Geology and The Environment. Mashhad, Iran; 2013.

20. Zaregarizi A, Sheykh AB, Sadoddin A, Mahini AR. Quality of surface water chemistry and its seasonal changes. First National Conference on Water Crisis Management. Marvdasht, Iran; 2008.

21. Sharifi Z, Safari Sinegani AA. Arsenic and other irrigation water quality indicators of groundwater in an agricultural area of Qorveh Plain, Kurdistan, Iran. Am Eurasian J Agric Environ Sci 2012; 12(4):548-555.

22. Kalantari N, Alijani F. Research of under ground water quality of Abbas Khuzestan plain. J Sci Shahid Chamran Univ 2008; 19:84-100 (Persian).

23. Sayyed MR, Wagh GS, Supekar A. Assessment of impact on the groundwater quality due to urbanization by hydrogeochemical facies analysis in SE part of Pune city, India. Proc Int Acad Ecol Environ Sci 2013; 3(2):148-159.

24. Statistical Centre of Iran. Statistical Year book of Golestan. Golestan: Statistical Centre of Iran. Avaliable at: URL: http://amar.org.ir/english/Iran-at-a-glance/Iran; 2009.

25. Asabere B, Bempah K. Groundwater quality assessment for drinking and irrigation purposes in Obuasi municipality of Ghana, a preliminary study. Res J Environ Earth Sci 2013; 5(1):6-17.