

تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت شوقان (خراسان شمالی)

اعظم محمدی^۱ و غلام عباس کاظمی^۲

^۱ کارشناسی ارشد، دفتر مطالعات پایه منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی، بجنورد، ایران

^۲ استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۳/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۰۹

چکیده

دشت شوقان یکی از زیرحوضه‌های کویر مرکزی در استان خراسان شمالی با آب و هوای خشک و نیمه خشک است. کیفیت آب زیرزمینی آبخوان شوقان به جز در مناطق خاوری بسیار نامطلوب بوده و حتی برای کشاورزی نیز مناسب نمی‌باشد. از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده کیفیت آب زیرزمینی این آبخوان ترکیب سنگی منطقه است که بیشتر سنگ‌های رسوبی و به‌ویژه تبخیری‌ها را دربر می‌گیرد. به منظور بررسی اثرات سنگ‌شناسی حوضه بر کیفیت آب آبخوان، ۳۱ نمونه آب از بخش‌های مختلف آبخوان شوقان در سال ۱۳۸۸ برداشت و پس از اندازه‌گیری اسیدیته، هدایت الکتریکی و یون‌های اصلی، نقشه‌های پراکندگی یون‌های اصلی رسم و بررسی‌های مجدد زمین‌شناسی صحرایی در منطقه انجام شد. نقشه‌های پراکندگی یونی به خوبی تأثیر سازندها را بر آبخوان نشان می‌دهند. مطالعه دقیق و گسترده نمودارهای ترکیبی یون‌ها و محاسبه شاخص اشباع کانی‌های ژپس، هالیت، کلسیت و دولومیت، انحلال این کانی‌ها و همچنین هوازگی کانی‌های سیلیکاتی را در منطقه اثبات می‌کنند. با توجه به بررسی تبادلات یونی انجام شده به دلیل غلظت‌های بالای سدیم در آب‌های منطقه (که افزون‌بر انحلال هالیت از هوازگی کانی‌های سیلیکاتی نیز به دست آمده‌اند)، تبادلات یونی وارون در منطقه رخ می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: سازندهای زمین‌شناسی، کیفیت آب زیرزمینی، آبخوان شوقان، خراسان شمالی

*نویسنده مسئول: اعظم محمدی

E-mail: A_mohammadi_84@yahoo.com

۱- پیش‌گفتار

یکی از عوامل مؤثر بر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی جنس خاکی است که آب از آن عبور می‌کند (Mokrik & Baublyte, 2005). آب زیرزمینی با عبور از خاک، موادی که از تجزیه خاک و سنگ به دست می‌آید را حل می‌کند و از این راه بر مقدار نمک خود می‌افزاید. کیفیت آب زیرزمینی با تغییر سنگ‌شناسی تغییر می‌کند (عبداللهی و کلاتری، ۱۳۸۲؛ قره‌چلو و همکاران، ۱۳۸۸؛ رقیمی و همکاران، ۱۳۸۷- الف و ب). مهم‌ترین سنگ‌هایی که در تماس با آب زیرزمینی دچار انحلال می‌شوند کانی‌های تبخیری هستند (غفوری، ۱۳۷۴). انحلال کانی‌های تبخیری همچون ژپس و هالیت سبب از بین رفتن کیفیت آب زیرزمینی می‌شود (محمدی بهزاد و همکاران، ۱۳۸۹). تاکنون در زمینه کیفیت آب زیرزمینی و عوامل کنترل‌کننده آن مطالعات زیادی صورت گرفته است که از آن میان می‌توان به مطالعاتی که توسط (Van der Weijden et al. (2003)؛ Sasamoto et al. (2004)؛ Jalali (2005)؛ Jalali (2007) و Montorio et al. (2002) انجام شده اشاره کرد. منطقه مورد مطالعه یکی از زیرحوضه‌های آبریز استان خراسان شمالی است و با مساحتی در حدود ۱۰۹۵ کیلومتر مربع میان‌طول‌های جغرافیایی ۲۲' ۵۶" تا ۸' ۵۷" و عرض‌های جغرافیایی ۷' ۳۷" تا ۲۷' ۳۷" قرار دارد. در شکل ۱ موقعیت حوزه آبریز شوقان نسبت به حوزه‌های خراسان شمالی نشان داده شده است. از دید آب و هوایی، این منطقه خشک و نیمه خشک و دارای تابستان‌های به نسبت گرم و زمستان‌های سرد است. میانگین بارندگی آن ۲۳۰ میلی‌متر در سال و همچنین میانگین تبخیر منطقه در دوره خشک سال ۱۷۶۴ و در دوره های مرطوب سال ۷۷۵/۴ میلی‌متر است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان شمالی، ۱۳۸۷). آب زیرزمینی در بیشتر نقاط آبخوان کیفیت خوبی ندارد به گونه‌ای که میانگین هدایت الکتریکی آن ۳۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است. منطقه مورد مطالعه ۹۲ حلقه چاه ژرف و نیمه‌ژرف، ۷۰ رشته قنات و ۱۸۷ دهنه چشمه دارد که به ترتیب دارای تخلیه سالانه ۱۱/۷۱، ۶/۴۶ و ۱۲/۵۳ میلیون متر مکعب در سال هستند. منطقه مورد مطالعه بیشتر از سنگ‌های تبخیری، کربنات‌ها، مارن‌ها، کنگلومرای نوژن و آبرفت‌های کواترن پویشیده شده است. وجود کانی‌های تبخیری فراوانی چون ژپس، دولومیت، هالیت، کلسیت و انیدریت در سازندهای رخنمون یافته در منطقه یکی از

علل اصلی کاهش کیفیت آب زیرزمینی است. از آنجا که تاکنون روی کیفیت آب زیرزمینی این آبخوان مطالعه‌ای نشده در این مقاله سعی شده است با بررسی‌های زمین‌شناسی، رسم نقشه‌های پراکندگی یون‌های اصلی و نمودارهای هیدروشیمیایی، محاسبه شاخص اشباع یونی و بررسی واکنش‌های آب و سنگ، به ارزیابی وضعیت کیفی آب زیرزمینی، توصیف فرایندهای شیمیایی کنترل‌کننده و تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان پرداخته شود.

۲- مواد و روش‌ها

۳۱ نمونه آب از چاه‌های ژرف در بخش‌های مختلف دشت در سال ۱۳۸۸ برداشت شده است. این نمونه‌ها در ظروف پلی‌اتیلن برداشت شده و هیچ ماده نگهدارنده‌ای به آنها افزوده نشده است. pH با دستگاه pH متر و EC با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی در محل اندازه‌گیری شده است. نمونه‌ها پیش از آزمایش در جای خنک و دور از نور مستقیم خورشید نگهداری شده‌اند. نمونه‌های برداشت‌شده در آزمایشگاه برای مشخص شدن غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی تجزیه شدند. کاتیون‌های Na با دستگاه فلیم فتومتر، K با روش طیف‌سنجی، کربنات و بی‌کربنات با روش تیتراسیون، کلر با روش مر-نیترا ت نقره و سولفات به روش وزنی با کلرید باریم اندازه‌گیری شده است. گفنتی است که در صورت دسترسی، استفاده از دستگاه ICP یا کروماتوگرافی یونی روش بهتری برای انجام این آزمایش‌هاست اما در آزمایش‌های صورت گرفته سعی شده است که با روش‌های موجود، جواب قابل قبولی به دست آید که مقادیر تعادل یونی (Charge Balance) پایین‌گویای این مسئله است. میانگین و انحراف معیار برای یون‌های اصلی، pH آب، TDS و EC در جدول ۱ نشان داده شده است. با استفاده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ برکه‌های سنخواست، بجنورد و رباط قره‌بیل، سازندهای رخنمون یافته در حوضه آبریز شوقان شناسایی و از دید ترکیب‌سنجی مورد بررسی قرار گرفتند. سپس با رسم نقشه‌های پراکندگی یون‌های اصلی و نمودارهای ترکیبی و محاسبه شاخص‌های اشباع یونی دولومیت، ژپس، کلسیت و هالیت، به بررسی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب آبخوان پرداخته شد.

نمودارهای هیدروشیمیایی پایپر و استیف برای تعیین تیپ و رخساره و تکامل

چهارم شامل آبرفت‌ها، مخروط افکنه‌ها، پادگانه‌های آبرفتی، واریزه و آبرفت‌های جوان حضور دارند که حاصل فعالیت نیروها و عوامل هوازدگی است.

۴- نمایش نمودارهای هیدروشیمیایی

نمودار پاپیر ۳۱ نمونه آب زیرزمینی منطقه به منظور تعیین نوع آبها، رخساره هیدروشیمیایی و تکامل هیدروژئوشیمیایی با استفاده از نرم افزار Rock work رسم و در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است بیشتر نمونه‌ها در مثلث کاتیون‌ها، به سمت ضلع $Na^+ + K^+$ و در مثلث آنیون‌ها به سمت ضلع Cl^- و بقیه نمونه‌ها در مثلث کاتیون‌ها به سمت ضلع Mg^{2+} کشیده شده و در مثلث آنیون‌ها میان ضلع Cl^- و SO_4^{2-} قرار گرفته‌اند که با توجه به مدل بالانس جرمی، انحلال هالیت و ژپس به اثبات می‌رسد. به منظور تعیین نوع آب نمونه‌ها نمودار استیف نمونه‌ها نیز رسم شده است (شکل ۴). با توجه به شکل، آنیون چیره در بیشتر نمونه‌ها کلر و کاتیون چیره در بیشتر نمونه‌ها سدیم است. در شکل ۵ نوع آب نمونه‌ها در منطقه نشان داده شده است. با توجه به این شکل نوع چیره آب در بیشتر بخش‌های آبخوان $Cl^- - Na^+$ است و بخش‌های مرکزی، جنوبی و جنوب باختری آبخوان را در بر می‌گیرد. نوع آب در بخش‌های شمال باختری آبخوان سولفاتی و در بخش‌های خاوری آبخوان کربناتی است.

۵- پراکندگی یون‌ها

به منظور بررسی اثرات زمین‌شناسی منطقه بر آب‌های زیرزمینی و شناخت تغییرات املاح آب زیرزمینی در طول مسیر حرکت آنها نقشه‌های هدایت الکتریکی و یون‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 9.3 رسم شد (شکل ۶).

هدایت الکتریکی از ۸۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر از بخش‌های خاوری و شمال باختری شروع می‌شود و به ۹۳۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر در بخش‌های مرکزی می‌رسد (شکل ۶-ا). مقدار یون بی‌کربنات در بخش‌های خاوری منطقه بیشتر از بخش‌های باختری است (شکل ۶-ب). منشأ CO_3^{2-} ، HCO_3^- موجود در آب ممکن است اتمسفر، احیای سولفات‌ها، انحلال کانی‌های کلسیت و دولومیت و یا هوازدگی سیلیکات‌ها باشد (Jalali, 2007). علت بیشتر بودن یون بی‌کربنات در بخش‌های خاوری منطقه انحلال کانی‌های کلسیت و دولومیت موجود در سازندهای آهکی مزدوران و چمن‌بید (بلندی‌های شمال خاوری) است. پراکندگی یون‌های کلسیم و منیزیم از روند هدایت الکتریکی پیروی کرده و به سمت مرکز دشت افزایش می‌یابد (شکل‌های ۶-د و ۶-ج). بی‌هنجاری‌های افزایشی یون‌های سدیم و کلر افزون بر بخش مرکزی، در جنوب باختری منطقه نیز دیده می‌شود (شکل‌های ۶-ف و ۶-گ). سازند سرخ بالایی از سازندهایی است که سبب شوری اولیه آب زیرزمینی می‌شود که این موضوع توسط قره‌چلو و همکاران (۱۳۸۸) نیز تأیید شده است. در آبخوان شوقان، سازند سرخ بالایی افزون بر رخنمون در ارتفاعات باختر و جنوب باختر، امتداد آن در زیر آبخوان، سنگ کف منطقه را تشکیل می‌دهد (شرکت آبریز خراسان، ۱۳۸۵). رخنمون سازند سرخ بالایی، در ارتفاعات باختر و جنوب باختر و همچنین بیرون زدگی این سازند در مرکز دشت، علت اصلی افزایش یون سولفات در این دشت است.

۶- نمودارهای ترکیبی

برای شناخت فرایندهای ژئوشیمیایی مؤثر در شوری آب زیرزمینی استفاده از نمودارهای ترکیبی بسیار مفید است (غیومیان و همکاران، ۱۳۸۴، و ناصری و دادروان، ۱۳۸۴). نمودارهای ترکیبی ابزار مهمی برای شناخت منشأ شوری هستند (کلاتری و همکاران، ۱۳۸۸). از نمودارهای ترکیبی می‌توان برای تعیین آمیختگی و منشأ آب‌های زیرزمینی استفاده کرد (Mazor, 1991). همچنین Jankowski & Jacobson (1990) و Jankowski & Acworth (1993) در چند

ژئوشیمیایی و نمودارهای ترکیبی به منظور تعیین منشأ یون‌ها و فعل و انفعال‌های آب و سنگ رسم شده است. برای محاسبه شاخص اشباع کلسیت، دولومیت و ژپس از کد کامپیوتری PHREEQC 2.6 استفاده شد. PHREEQC 2.6 یک کد کامپیوتری نوشته شده با زبان C است که افزون بر محاسبه شاخص اشباع کانی‌ها برای محاسبات انتقال یک بعدی و مدل‌سازی وارون نیز کاربرد دارد. برای محاسبه شاخص اشباع این کانی‌ها مقادیر سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلر و سولفات بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، آلکالیت بر حسب کربنات، pH و درجه حرارت، وارد کد کامپیوتری PHREEQC 2.6 شد. نتایج نشان داد که تقریباً همه نمونه‌ها به جز چند نمونه نسبت به کانی‌های کلسیت و دولومیت در حالت فوق اشباع و نسبت به کانی‌های ژپس و هالیت تحت اشباع هستند.

۳- زمین‌شناسی منطقه

با توجه به شکل ۲ که نقشه زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد کهن‌ترین سازند رخنمون یافته در منطقه، سازند باروت با سن کامبرین زیرین است که به علت گسترش کم تأثیر چندانی بر کیفیت و کمیت آب ندارد. نهشته‌های سازند میلا بیشتر کربناتی است و به دو بخش اصلی زیرین و بالایی تقسیم می‌شوند. بخش زیرین بیشتر از دولومیت، شیل‌های میکاسه و سنگ‌آهک تشکیل شده است. در افق‌های شیلی این سازند به ویژه در سطوح سنگ‌آهک‌های نازک لایه میکریتی که همراه آنها وجود دارد، اثراتی از قالب‌های مکعبی نمک با ابعاد بیشینه ۲ سانتی‌متر دیده می‌شود (درویش‌زاده، ۱۳۸۲). بخش بالایی بیشتر کربناتی است و از سنگ‌آهک‌های متوسط تا نازک لایه‌ای درست شده است. بیش از ۸۵ درصد حجم رسوبات سازند قلی را سنگ‌های تخریبی دانه ریز از نوع شیل‌های میکاسه و ماسه‌سنگ‌های دانه ریز تشکیل داده و ۱۵ درصد بقیه از سنگ‌های آتشفشانی، ماسه‌سنگ‌های کنگلومرایی و کمتر لایه‌هایی از سنگ‌آهک‌های ماسه‌ای تشکیل شده است. این سازند به طور گسترده در بخش‌های جنوبی منطقه رخنمون دارد. سازند نیور که گسترش محدودی در بلندی‌های جنوبی منطقه دارد بیشتر از نهشته‌های شیل، سنگ‌آهک ماسه‌ای و ماسه‌سنگ‌های کوارتزی درست شده است. روی سازند پادها ردیفی از سنگ‌آهک، شیل و ماسه‌سنگ سازند خوش ییلاق قرار دارد. در بخش‌های جنوب خاوری منطقه برش کاملی از نهشته‌های سازند شمشک رخنمون دارد که بیش از ۲۴۰۰ متر ستبرای دارد و با قاعده‌ای ماسه‌سنگی روی یک سطح فرسایشی از دولومیت‌های تریاس میانی قرار گرفته و گذر آن به رسوبات سازند چمن‌بید تدریجی است. بالاترین بخش از نهشته‌های ژوراسیک را در ارتفاعات شمالی، سنگ‌آهک‌های متوسط تا ستبر لایه زیست‌آواری و میکاریتی سازند مزدوران می‌سازد. سازند کارستی مزدوران با تغییر تدریجی رخساره به سنگ‌های سرخ‌رنگ آواری متعلق به کرتاسه زیرین (سازند شورججه) تغییر یافته که شامل ماسه‌سنگ، کنگلومرا، سیلستون و رس‌سنگ‌های گچ‌دار است. جنس سنگ‌های این سازند اثر نامطلوبی بر کیفیت آب سطحی و زیرزمینی در بخش‌های شمال باختری منطقه دارد. سنگ‌آهک‌های اربیتولین‌دار (سازند تیرگان) با لایه‌هایی از سنگ‌آهک مارنی به علت داشتن درزه و شکاف و عوارض کارستی، نفوذپذیر بوده و از نظر ذخایر آب زیرزمینی به نسبت غنی است ولی به علت گسترش کم در منطقه تأثیر زیادی بر آب‌های این منطقه ندارد. نهشته‌های سازند آبدراز در محدوده مطالعاتی از سنگ‌آهک‌های زیست‌آواری تا کمی ماسه‌ای و سیلتی با لایه‌بندی منظم تشکیل شده است. سازند سرخ بالایی متعلق به میوسن در این محدوده از نوع رسوبات کم‌ژرفا است و از کنگلومرا، مارن سرخ‌رنگ همراه با تیغه‌های ژپس و ماسه‌سنگ تشکیل شده‌اند. نهشته‌های پلیوسن شامل طبقاتی از کنگلومرا است که قله‌های پراکنده‌ای از سنگ‌آهک‌های مزوزوییک در خمیره‌ای ماسه‌ای-رسی قرار داشته و سیمان‌شدگی ضعیفی دارند و به همین علت به راحتی جدا می‌شوند. در دامنه و سطح دشت، رسوبات آبرفتی دوران

۸- تبادل‌های کاتیونی

آبخوان‌های دارای کانی‌های رسی و غلظت‌های بالای سدیم و پتاسیم با جایگزینی کلسیم و منیزیم با سدیم و پتاسیم، سبب نرم‌شدن طبیعی آب می‌شوند. در این گونه نمونه‌ها نسبت $Na^+ / Na^+ + Cl^-$ بیشتر از ۰/۵ و نسبت $Ca^{2+} / (Ca^{2+} + SO_4^{2-})$ کمتر از ۰/۵ است (Hounslow, 1995). برای بررسی وجود تبادل‌های کاتیونی، این نمودار مقادیر افزوده شده یا از دست رفته $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ را نسبت به آنچه که از انحلال کلسیت، دولومیت و ژپس به دست آمده را نشان می‌دهد. همچنین $Na^+ + K^+$ افزوده شده یا از دست رفته نسبت به آنچه که توسط نمک‌های کلریدی حاصل شده است را نشان می‌دهد. اگر تبادل‌های کاتیونی در منطقه رخ نداده باشد، باید همه نمونه‌ها در مرکز نمودار قرار گیرند؛ ولی اگر تبادل‌های یونی در هیدروشیمی نمونه‌ها مؤثر باشد، نسبت دو متغیر، خطی با شیب -۱ می‌شود و نمونه‌ها در بخش پایینی نمودار قرار می‌گیرند و در حالتی که نقاط در بخش بالایی نمودار قرار بگیرند نشان‌دهنده تبادل یونی وارون است. پس از جانمایی (پلات) نقاط همان گونه که انتظار می‌رفت همه نمونه‌ها روی یک خط با شیب ۰/۹۹- قرار گرفته‌اند. به جز چند نمونه که در بخش پایینی نمودار قرار گرفته‌اند و افزایش $Na^+ + K^+$ در برابر کاهش $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ را نشان می‌دهند، بقیه نمونه‌ها در بخش بالایی نمودار قرار گرفته‌اند و افزایش $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ را در برابر کاهش $Na^+ + K^+$ نشان می‌دهند و بیان‌کننده تبادل یونی وارون در منطقه هستند. تبادل یونی وارون زمانی رخ می‌دهد که کانی‌های رسی با کلسیم قابل مبادله (معمولاً مونت‌موریلونیت) و آب با مقادیر بالای سدیم - که بیشتر از سدیم کانی رسی کلسیم‌دار، سدیم دارد - در تماس با هم قرار گیرند. در این آب‌ها نسبت Na^+ / Cl^- کمتر از ۱ است. معادله این فرایند را می‌توان به صورت معادله ۱ نوشت. از آنجایی که مقدار کلسیم در این کانی‌ها کاهش پیدا می‌کند این فرایند خیلی ادامه نمی‌یابد.



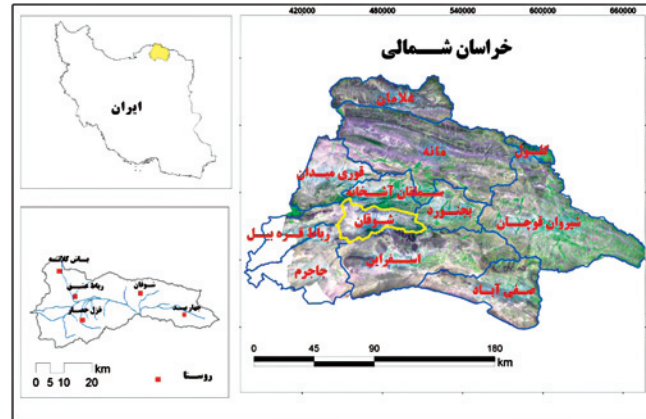
۹- نتیجه‌گیری

ارزیابی آبخوان شوقان نشان می‌دهد که کیفیت آب در سوی جریان آب زیرزمینی از بخش‌های خاوری و باختری منطقه به سمت خروجی (بخش مرکزی) به شدت کاهش می‌یابد. عمده چاه‌های بهره‌برداری منطقه که بیشترین ژرفا را نیز دارند در مرکز دشت قرار دارد. نقشه‌های پراکندگی هدایت الکتریکی و یون‌های اصلی نشان می‌دهند که محل تغذیه اصلی آبخوان، بخش‌های شمالی و شمال خاوری و سازند آهکی مزدوران است؛ بنابراین کیفیت آب در این مناطق مطلوب است. به دلیل وجود سازندهای ژپس داری مانند شوربچه و سازند سرخ بالایی که افزون بر تشکیل سنگ کف آبخوان در بلندی‌های جنوب باختری منطقه نیز رخمون دارند، علاوه بر ایجاد بی‌هنجاری یون سولفات در مرکز دشت، در جنوب باختر منطقه نیز غلظت این یون را افزایش می‌دهد. رخمون سازند میلا در بلندی‌های جنوبی که نشانگر گسترش این سازند در ژرفا هم هست، سبب افزایش غلظت یون‌های کلر و سدیم در منطقه تخلیه و در جنوب باختر آبخوان شده است. همچنین بررسی‌ها نشان دهنده تبادل‌های یونی وارون در این منطقه به دلیل غلظت بالای سدیم است. به طور کلی می‌توان گفت که علت اصلی کاهش کیفیت آب در آبخوان شوقان پایین بودن تغذیه (به دلیل پایین بودن بارندگی و بالا بودن تبخیر)، انحلال کانی‌های تبخیری چون هالیت، ژپس، دولومیت، هوازگی شیمیایی سیلیکات‌ها و برداشت بیش از حد مجاز به‌ویژه در مرکز دشت (که سبب هجوم آب‌های بی‌کیفیت از لایه‌های زیرین به طرف بخش‌های بالایی و کم ژرفای آبخوان شده است) می‌باشد. مهم‌ترین سازندهایی که باعث تخریب کیفیت آب زیرزمینی این منطقه می‌شوند سازندهای سرخ بالایی، میلا، شوربچه و کنگلومرای نوژن هستند.

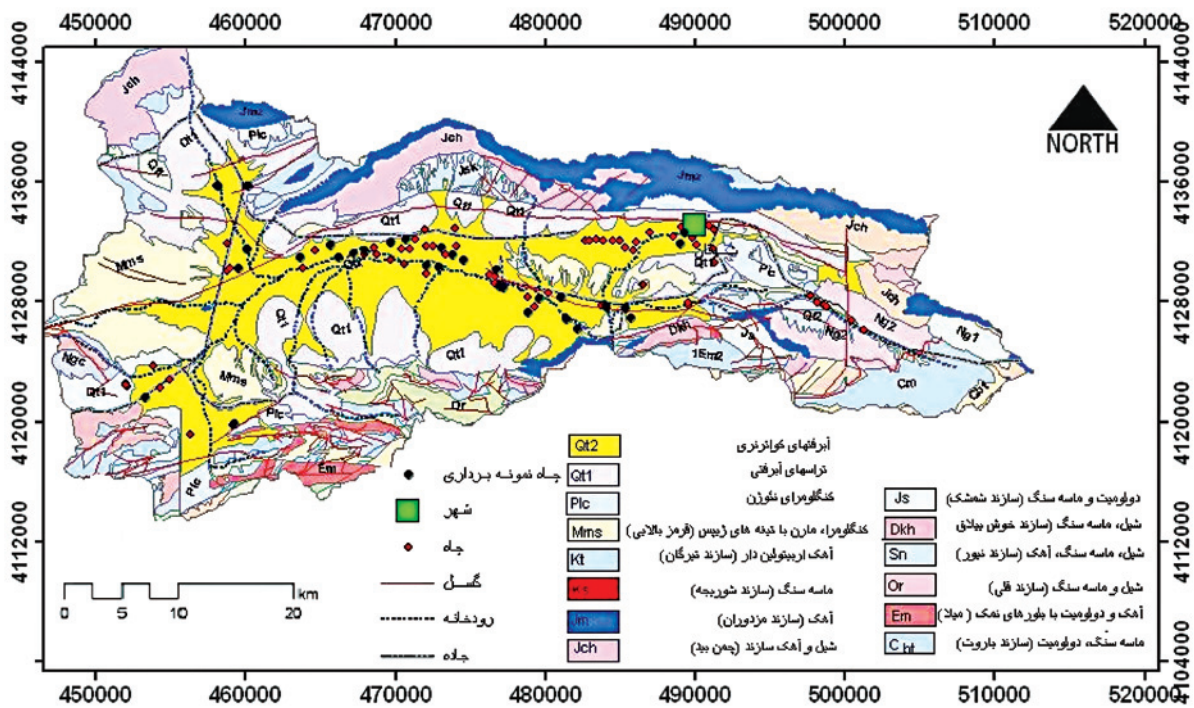
ناحیه از استرالیا از نمودارهای ترکیبی برای شناسایی فرایندهای ژئوشیمیایی در آب‌های زیرزمینی و خاک استفاده کرده‌اند که به عنوان اولین پژوهش‌ها در این زمینه و مرجع شناخته می‌شوند. غلظت یون‌های حل شده در آب‌های زیرزمینی به طور کلی به ترکیب سنگی، سرعت و مقدار جریان آب زیرزمینی، واکنش‌های ژئوشیمیایی طبیعی، قابلیت انحلال نمک‌ها و فعالیت‌های بشر بستگی دارد (Baghvand et al., 2010). در شکل ۷-a در برابر $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ رسم شده است. در همه نمونه‌ها $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ در بالای خط تعادلی قرار گرفته‌اند که این بیشتر بودن $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ نسبت به HCO_3^- ، وجود منشأ دیگری غیر از کلسیت و دولومیت را برای $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ نشان می‌دهد. کلسیم و منیزیم اضافی ممکن است از انحلال کانی‌هایی مانند ژپس، کلرید منیزیم و یا هوازگی کانی‌های سیلیکاتی مانند پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول، و مونت‌موریلونیت ایجاد شوند. رسم $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ در برابر $Cl^- + SO_4^{2-}$ نشان می‌دهد که برخی از نمونه‌ها با $Cl^- + SO_4^{2-}$ پایین، بالای خط تعادلی قرار می‌گیرند که این بیان‌کننده هوازگی کانی‌های سیلیکاتی و افزایش $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ است. نمونه‌های که در پایین خط تعادلی قرار می‌گیرند نشان‌دهنده تعادل $Cl^- + SO_4^{2-}$ با آلکالی‌ها هستند (شکل ۷-b). همچنین رسم $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ در برابر کل کاتیون‌ها نشان می‌دهد که همه نمونه‌ها در زیر خط تعادلی قرار گرفته و در همه نمونه‌ها مقدار تقریباً ثابتی دارند (شکل ۷-c). در شکل ۷-c، $Na^+ + K^+$ در برابر کل کاتیون‌ها رسم شده است؛ در این نمودار همه نمونه‌ها در زیر خط تعادلی قرار گرفته‌اند و با افزایش کل کاتیون‌ها، $Na^+ + K^+$ نیز افزایش می‌یابد. در شکل ۷-e رسم $Na^+ + K^+$ در برابر SO_4^{2-} نشان می‌دهد که همه نمونه‌ها بالای خط تعادلی قرار گرفته‌اند. سپس $Na^+ + K^+$ در برابر Cl^- رسم شد (شکل ۷-f). بیشتر نمونه‌ها با پیروی از خط تعادلی در بالای خط تعادلی قرار گرفته‌اند که نشان می‌دهد یون‌های $Na^+ + K^+$ بیشتر از یون کلر هستند. این بیشتر بودن یون‌های سدیم و پتاسیم، لزوماً باید از منبع دیگری غیر از یون کلر تأمین شده باشد. در شکل ۷-g، $Na^+ + K^+$ در برابر $Cl^- + SO_4^{2-}$ رسم شده است که باز هم بیشتر نمونه‌ها بالای خط تعادلی قرار دارند به عبارتی منشأ بیشتری یون‌های سدیم و پتاسیم نمی‌تواند تنها انحلال کانی‌های سولفاتی باشد. یکی دیگر از منابع تأمین‌کننده سدیم که باعث بیشتر شدن یون سدیم نسبت به کلر می‌شود، هوازگی کانی‌های سیلیکاتی است (شریف‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸). در شکل ۷-h، $Na^+ + K^+$ در برابر $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ رسم شده است که نشان می‌دهد تنها نمونه‌های با مولالیت پایین $Na^+ + K^+$ و $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ با هم در تعادل هستند و روی خط تعادلی قرار می‌گیرند و با افزایش مولالیت $Na^+ + K^+$ ، نقاط در پایین خط تعادلی قرار می‌گیرند.

۷- شاخص‌های اشباع یونی

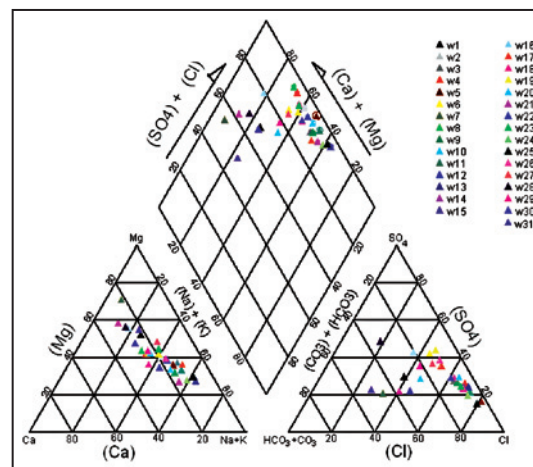
شاخص‌های اشباع برای نمونه‌های آب زیرزمینی توسط کد کامپیوتری PHREEQC 2.6 محاسبه شد. همه نمونه‌ها نسبت به کانی‌های کلسیت و دولومیت فوق اشباع و نسبت به کانی‌های ژپس و هالیت تحت اشباع هستند. در شکل ۸ شاخص‌های اشباع در برابر TDS رسم شده برای کلسیت، دولومیت، ژپس و هالیت نشان داده شده است. بررسی نقشه‌های پراکندگی شاخص‌های اشباع این کانی‌ها نشان می‌دهد که شاخص اشباع کانی‌های کلسیت و دولومیت در همه بخش‌های آبخوان به جز شمال باختری دشت نسبت به این کانی‌ها مثبت است و تنها در دامنه بلندی‌های شمال باختری تحت اشباع هستند که علت آن را می‌توان تغذیه نشدن این بخش از آبخوان توسط سازندهای آهکی دانست. همه نمونه‌ها نسبت به کانی‌های ژپس و هالیت تحت اشباع هستند و شاخص اشباع این دو کانی از بخش‌های خاوری و باختری آبخوان به سمت مرکز آبخوان افزایش می‌یابد و در بخش مرکزی آبخوان به بیشترین حد خود می‌رسد. علت این موضوع را می‌توان به تکامل هیدروشیمیایی آب در سوی حرکت تا رسیدن به محل تخلیه که همان بخش مرکزی است نسبت داد.



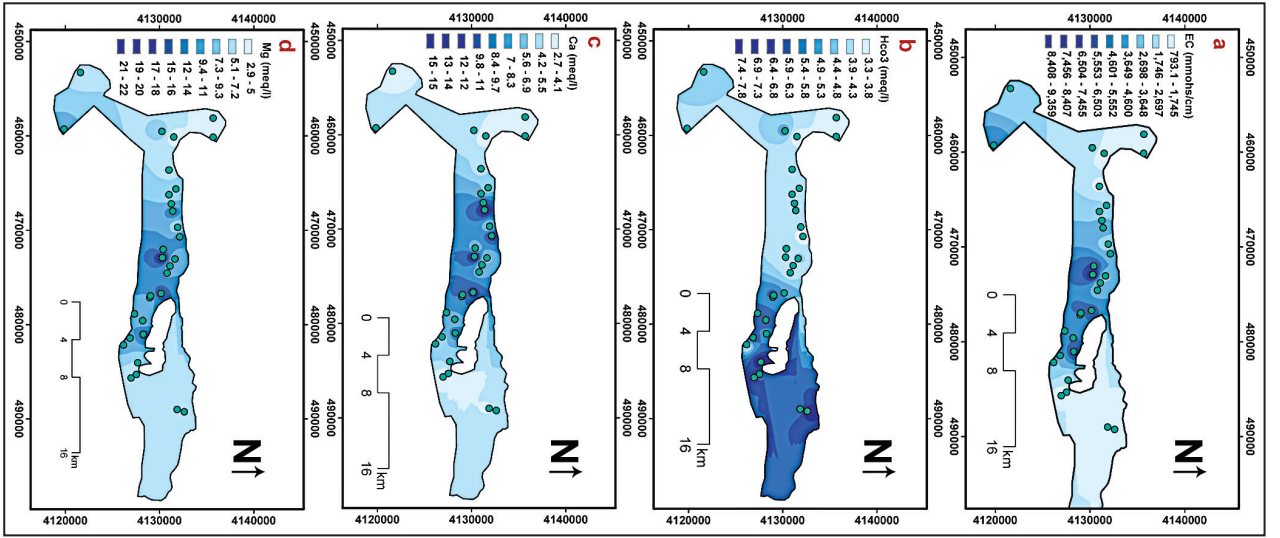
شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز شوقان در استان خراسان شمالی و بعضی از روستاهای مهم آن



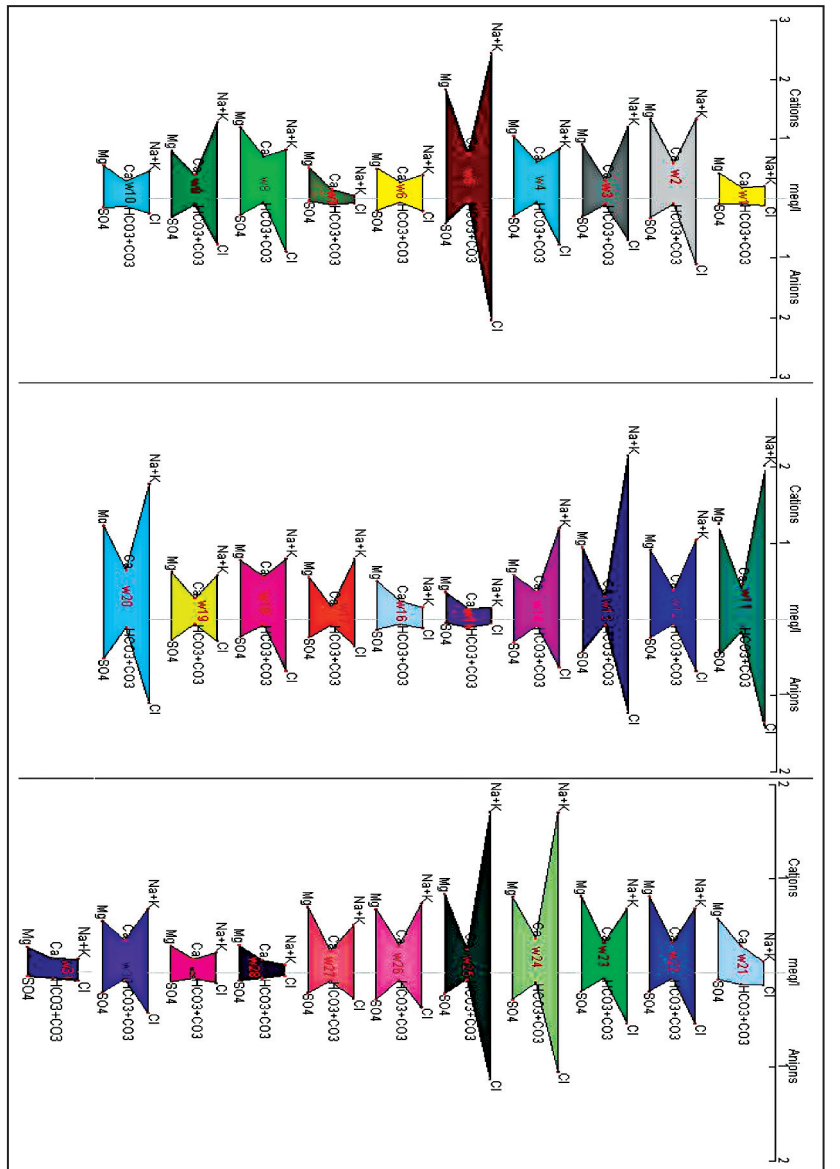
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه



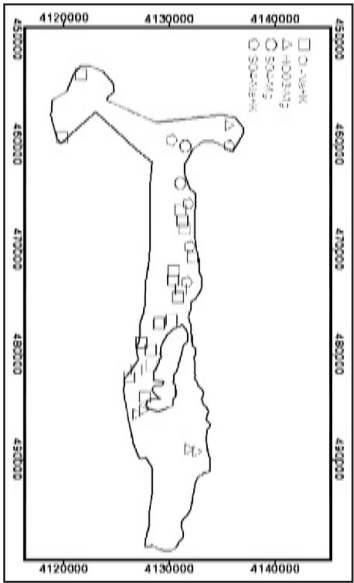
شکل ۳- نمودار پاییر نمونه‌ها



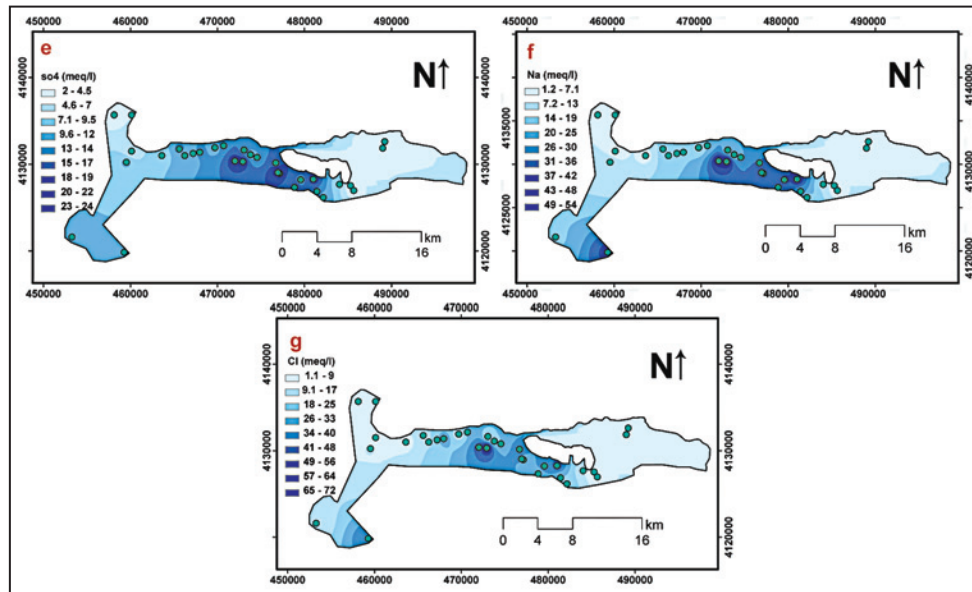
شکل ۴- پراکنده‌های پراکنده‌گی (a) هدایت الکتریکی (b) بی‌کربنات، (c) کلسیم، (d) منیزیم.



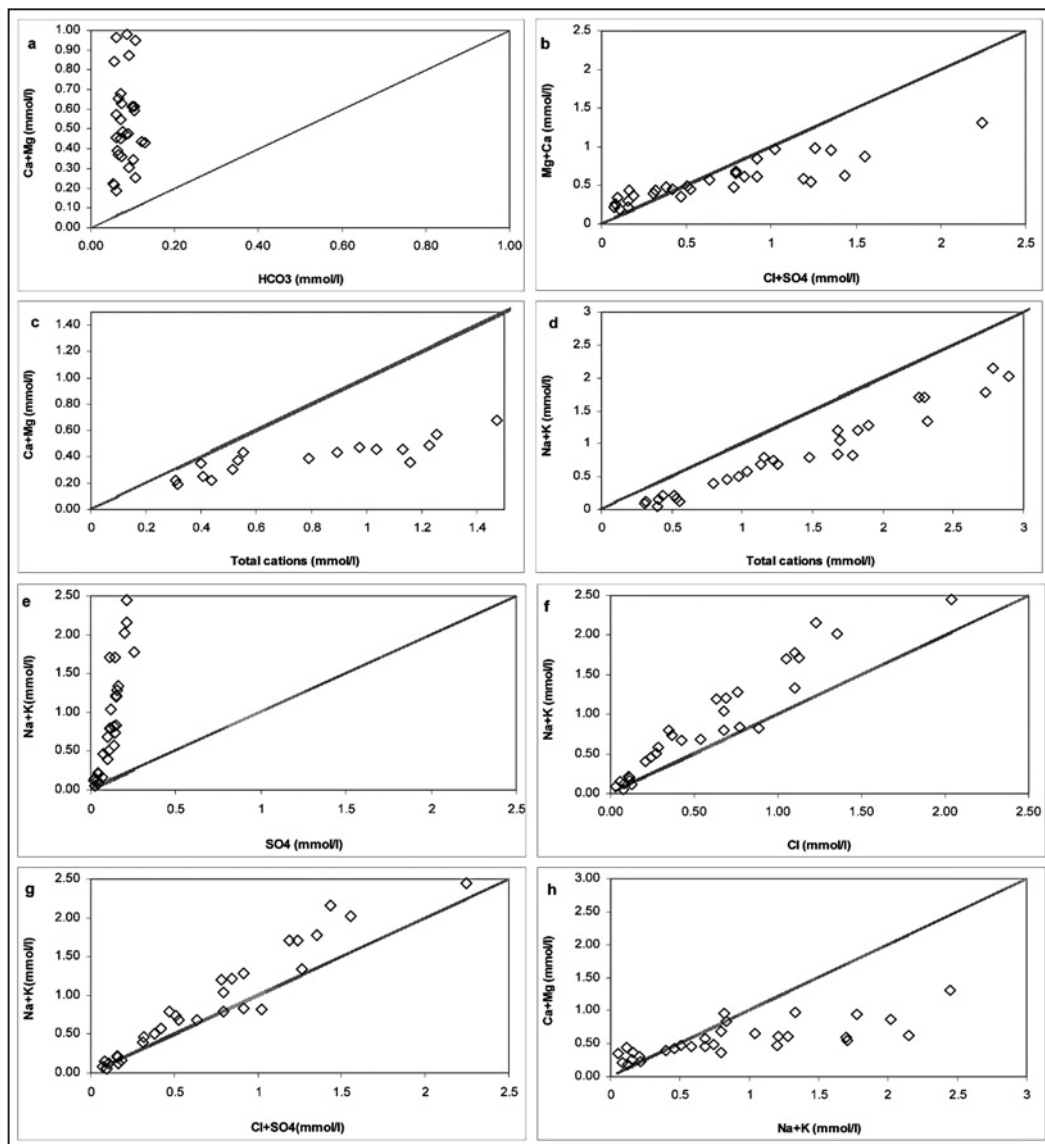
شکل ۴- نمودار استیف نمونه‌ها



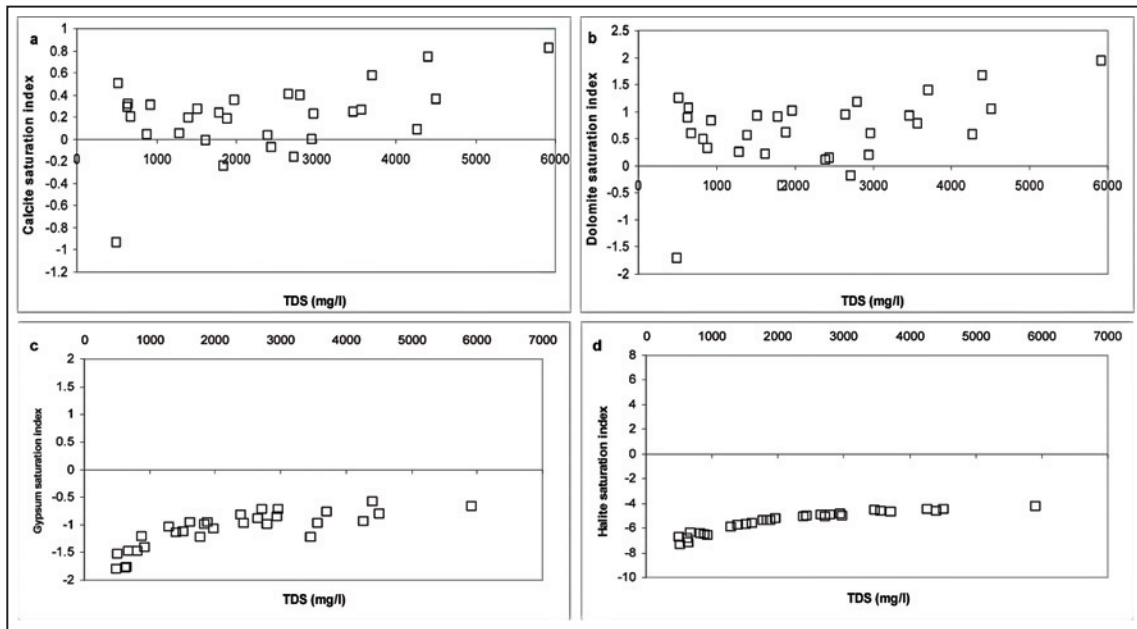
شکل ۵- پراکنده‌گی تیپ آب نمونه‌های برداشت شده در منطقه



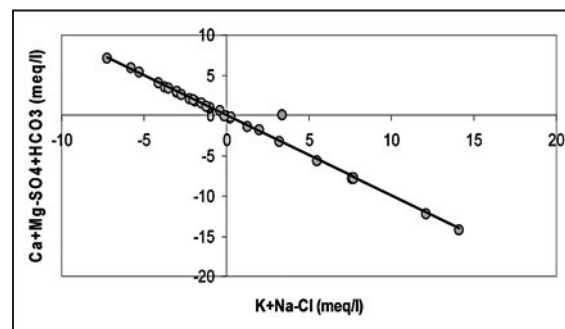
شکل ۶- (e) سولفات، (f) سدیم و (g) کلر



شکل ۷- نمودارهای ترکیبی یونها



شکل ۸- نمودارهای شاخص اشباع یونی (a) کلسیت، (b) دولومیت، (c) ژپس و (d) هالیت


 شکل ۹- جانمایی (پلات) نمونه‌ها در نمودار $Ca^{2+} + Mg^{2+} - SO_4^{2-} - HCO_3^-$ در برابر $Na^+ + K^+ - Cl^-$

جدول ۱- نتایج تجزیه نمونه‌های براشت شده شامل کاتیون‌ها، آنیون‌ها، تعادل یونی، pH، TDS و EC

شماره چاه	EC $\mu\text{mohs/cm}$	TDS mg/L	pH	آنیون‌ها (میلی اکیوالنت بر لیتر)				کاتیون‌ها (میلی اکیوالنت بر لیتر)			درصد خطا
				Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
1	1311	826	7.3	4.8	0	5.2	3.6	5.6	4.2	4	-0.73
2	5890	3711	7.5	30	1.2	16.3	12.1	5.2	15.6	39	-0.17
3	4440	2797	7.5	27.6	0.4	11	6.2	6.3	14.6	24.5	-0.22
4	4320	2722	6.9	18.9	0.5	12.8	12.4	3.4	14.1	27.3	-0.22
5	9390	5916	7.9	53.9	4.1	22.3	15.3	3.5	20	72.3	-0.10
6	2050	1292	7.3	9.2	0	6.1	5.5	3.9	9.6	7.4	-0.24
7	1024	645	7.5	1.2	0	6.4	3.2	6.1	2.2	2.6	-0.46
8	4720	2974	7.2	18.5	0.7	14.6	14.2	3.7	13	31.5	-0.21
9	4680	2948	7.0	29	0.8	9.8	8.2	6	15	27	-0.21
10	2220	1399	7.1	10.6	0	6.8	6	7.8	7.2	8.6	-0.43
11	7160	4511	7.4	44.7	3.1	15.3	9.5	5.5	19.3	48	-0.14
12	3880	2444	7.1	24	0	11.1	7.7	4	11.4	24	4.14
13	6780	4271	7.4	48	2.6	11.5	6.1	4.5	20.3	43.5	-0.07
14	4210	2652	7.5	27.4	0.3	7.1	7.3	5.4	14.3	22.4	0
15	1006	634	7.5	3.5	0	4.4	2.8	6.4	2.3	2	0
16	1403	884	7.3	3.7	0	6.1	4.7	4	6.6	4.1	-0.68
17	2830	1783	7.7	18.3	0	6.7	3.3	4.5	11.3	12.4	0.18
18	3800	2394	7.0	18.3	0	9.5	11.3	4.3	11	24	-0.26
19	2570	1619	7.3	13.3	0	7.6	5.6	3.7	13	10	-0.38
20	6990	4404	7.6	39.3	2.7	15	13	6.5	24.5	39	0
21	1477	931	7.2	2.7	0	7	5.8	7.4	3.4	4.6	0.32

شماره چاه	EC μmohs/cm	TDS mg/L	pH	آنیون‌ها (میلی اکیوالنت بر لیتر)				کاتیون‌ها (میلی اکیوالنت بر لیتر)			درصد خطا
				Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
22	3130	1972	7.6	15.7	0	9.9	6.4	3.7	9.4	19	-0.16
23	3130	1972	7.6	15.7	0	9.9	6.4	3.7	9.4	19	-0.16
24	5660	3566	7.3	38.2	1.6	9.8	7.4	6.3	13.6	37.2	-0.09
25	5500	3465	7.6	38.5	1.3	10.2	5	4.3	10.6	40	0.09
26	3000	1890	7.4	17	0	8.2	5.8	4.6	13.5	13	-0.16
27	2410	1518	7.5	11.6	0	8.5	4.7	5.1	10.1	9.7	-0.20
28	819	516	8.0	2	0	3.6	2.8	3.4	4	1.1	-0.59
29	1075	677	7.7	5	0	3.5	3	3.3	4.4	3.9	-0.43
30	2930	1846	6.9	15.6	0	6.7	7	4.3	9.8	15	0.34
31	793	500	6.5	2.9	0	2.9	2.7	3.7	2	3	-1.16

کتابنگاری

- درویش‌زاده، ع.، ۱۳۸۲- زمین‌شناسی ایران، مؤسسه انتشارات امیرکبیر، چاپ سوم، ۹۰۱ صفحه.
- رقیمی، م.، رحیمی چاکدل، ع.، قره محمودلو، م.، شاهپسندزاده، م. و سیدخادمی، س. م.، ۱۳۸۷- تأثیر عوامل زمین‌شناسی در کیفیت شیمیایی منابع تأمین آب آشامیدنی گرگان، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پانزدهم، شماره اول، صفحات ۱۸۱ تا ۱۹۲.
- رقیمی، م.، شمعیان، غ. ح.، شاکری، ع.، رحیمی چاکدل، ع. و قلی‌پور، م.، ۱۳۸۷- شواهد هیدروژئوشیمی شوری آب تالاب اینچه در بخش شمالی آق قلا، استان گلستان، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پانزدهم، شماره دوم، صفحات ۱۹۳ تا ۲۰۲.
- شرکت آبریز خراسان، ۱۳۸۵- گزارش ژئوفیزیک دشت شوقان، ۲۶ صفحه.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان شمالی، ۱۳۸۷- گزارش تمدید ممنوعیت دشت شوقان، ۳۴ صفحه.
- شریف‌زاده، ب.، محمدی، ض. و زارع، م.، ۱۳۸۸- مطالعه موردی دشت آبدان- دیر، بوشهر، کنفرانس بین‌المللی منابع آب با رویکرد منطقه‌ای، دانشگاه صنعتی شاهرود، صفحات ۶۶۴ تا ۶۷۰.
- عبداللهی، م. و کلانتری، ن.، ۱۳۸۲- بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت زیروچری و خران، چکیده مقالات بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صفحه ۷۵۳ تا ۷۵۴.
- غفوری، م. ر.، ۱۳۷۴- آب‌شناسی، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۵۰ صفحه.
- غیومیان، ج.، قاسمی، ا. ح. و وفایی، ه.، ۱۳۸۴- به‌کارگیری نسبت‌های یونی و شاخص‌های اشباع در بررسی منشأ املاح منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد، بیست و چهارمین همایش علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- قره‌چلو، س.، فیض‌نیا، س.، علوی‌پناه، س. ک. و میراخورلو، خ.، ۱۳۸۸- ارزیابی پهنه‌بندی شاخص شوری زمین‌شناسی مؤثر بر تخریب آب و خاک (بررسی موردی: حوزه آبخیز جله‌رود)، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۲، شماره ۴، صفحات ۵۲۷ تا ۵۳۷.
- کلانتری، ن.، رحیمی، م. ح. و اکبری، ا.، ۱۳۸۸- بررسی هیدروشیمی دشت میان‌آباد با استفاده از روش‌های آماری، نمودارهای هیدروشیمیایی و منطق فازی، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال سوم، شماره نهم، صفحات ۱۵ تا ۲۵.
- محمدی، بهزاد، ح. ر.، رحمانی، ر.، کلانتری، ن.، جیت‌سازان، م. و روحی، ح.، ۱۳۸۹- بررسی فرایندهای اثرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی دشت گتوند عقیلی، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه، صفحات ۱۷۳ تا ۱۸۴.
- ناصری، ح. ر. و دادروان، ف.، ۱۳۸۴- هیدروژئوشیمی سازندهای سخت بخشی از حوضه آبریز قزل‌اوزن، بیست و یکمین همایش علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور.

References

- Baghvand, A., Nasrabadi, T., Nabi Bidhendi, G., Vosoogh, A., Karbassi, A. & Mehrdadi, N., 2010- Groundwater quality degradation of an aquifer in Iran central desert. *Desalination* 260:264-275.
- Hounslow, A. W., 1995- *Water Quality Data Analysis and interpretation*. Stillwater, Oklahoma, Lewis Publishers. 397 p.
- Jalali, M., 2005- Major ion chemistry of groundwaters in the Bahar area, Hamadan, western Iran, *Environ Geol.*, 47: 763-772.
- Jalali, M., 2007- Stalinitization of groundwater in arid and semi-arid zones: an example Tajarak, western Iran. *Environ Geol*, 52:1133-1149.
- Jankowski, J. & Acworth, R. I., 1993- The hydrogeochemistry of groundwater in fractured bedrock aquifers beneath dryland salinity occurrence at Yass, New South Wales. *Journal of Australian Geology and geophysics*, 14:279-285.
- Jankowski, J. & Jacobson, G., 1990- Hydrochemical processes in ground water-discharge playas, Central Australia. *Hydrological processes*, 4:59-70.
- Mazor, E., 1991- *Applied chemical and isotopic groundwater hydrology*: New York, Halsted Press, 274 p.
- Mokrik, R. & Baublyte, A., 2005- Water geochemistry in the Sventojy-Arukula aquifer system Lithuania, *J. of Geologija.*, volume 52, pp 55-64.
- Montoroi, J. P. O., Grunberger, O. & Nasri, S., 2002- Groundwater geochemistry of a small reservoir catchment in Central Tunisia, *Applied Geochemistry*, Vol.17, P.1047-1060.
- Sasamoto, H., Yui, M. & Arthur, R. C., 2004- Hydrochemical characteristics and groundwater evolution modeling in sedimentary rocks of the Tono mine, Japan, *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol.29, P.43-54.
- Van der Weijden, A., Fernando, A. L. & Pacheco, B., 2003- Hydrochemistry, weathering and weathering rates on Madeira island, *Journal of Hydrology*, Vol.283, P.122-145.

The Impacts of Geological Formations on the Quality of Groundwater in Shoghan Plain Aquifer (North Khorasan)

A. Mohammadi ^{1*} & G. A. Kazemi ²

¹ M.Sc., Base Studies Section of Water Resources Department, North Khorasan Regional Water Company, Bojnord, Iran

² Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, University of Shahrood, Shahrood, Iran

Received: 2011 June 14

Accepted: 2012 February 28

Abstract

Shoghan plain is one of the sub-catchments of the central Kavir, in North Khorasan Province which experiences semi-arid to arid climate. With the exception of its eastern part, the quality of water in Shoghan aquifer is very low, unacceptable even for agricultural use. One of the main factors that deteriorate the quality of groundwater is local geology which comprises mostly sedimentary rocks and in particular evaporites. In order to study the effects of geological formations on the quality of groundwater, 31 water samples were collected from different parts of the aquifer in 2009 and were analyzed for acidity, electrical conductivity and major ions. In the second step, ion distribution maps were prepared and geological characteristics were rechecked in the field. These show that geology plays a significant role in the distribution of ions. A combination of ions cross plots and saturation indices of gypsum, halite, calcite and dolomite minerals show that the dissolution of these minerals and weathering of silicate minerals is commonplace in the aquifer. Due to high concentrations of sodium in the groundwater of the area, reverse ion exchange is one of the chemical processes controlling the chemical composition of groundwater.

Keywords: Geological Formations, Quality of Groundwater, Shoghan Aquifer, North Khorasan

For Persian Version see pages 55 to 62

*Corresponding author: A. Mohammadi; A_mohammadi_84@yahoo.com