

بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان سملقان بر اساس تغییرات تحت الارضی رخساره‌های آبرفتی و سنگی

حمیدرضا عجم^۱، حسین محمدزاده^{۲*}، غلامحسین کرمی^۳، رمضان کاظمی گلپان^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آب‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، مرکز تحقیقات آب زیرزمینی (متاب)، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، مرکز تحقیقات آب زیرزمینی (متاب)، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۴- رمضان کاظمی گلپان، کارشناس آب زیرزمینی، شرکت مهندسین مشاور سیمای آب خاوران، مشهد، ایران

*پست الکترونیک: mohammadzadeh@um.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۱

چکیده

دشت سملقان در پهنه کپه‌داغ قرار دارد و دارای آب و هوای نیمه‌خشک می‌باشد. به دلیل اهمیت نقش رخساره‌های آبرفتی و رخساره سنگی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی، در این مقاله ضمن بررسی تحت‌الارضی رخساره‌های آبرفتی دشت سملقان، تأثیر آن بر کیفیت منابع آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور لاگ حفاری ۱۵ حلقه چاه و نتایج آنالیز کیفی نمونه‌های آب ۱۵ حلقه چاه بهره‌برداری مربوط به مناطق مختلف دشت در دو فصل تر و خشک سال ۱۳۹۲ مورد ارزیابی قرار گرفته است. به کارگیری تکنیک‌های مختلف هیدروژئوشیمیایی (نمودارهای ترکیبی، شاخص‌های اشباع یونی، نمودار گیبس و ...) نشان می‌دهد که فراوانی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در نمونه‌های آب به ترتیب $Na+ > Mg^{2+} > Ca^{2+} > K$ و $Cl^{-} > HCO_3^{-} > SO_4^{2-}$ بوده و الگوی آب از بی‌کربناته در جنوب به کلروره در شمال دشت تغییر می‌کند. نمودارهای ترکیبی یک و دو متغیره نیز تأثیر انحلال کانی‌های تبخیری بر کاهش کیفیت آب زیرزمینی را تأیید می‌کنند. به طور کلی، در دشت سملقان عوامل زمین‌شناسی و انسانی بر شیمی آب زیرزمینی تأثیر گزارند، اما عوامل زمین‌شناسی نقش مؤثرتری را دارا می‌باشند. قرار گرفتن نمونه‌های آب در منطقه واکنش آب - سنگ بر روی نمودار گیبس، تأییدی بر اهمیت سازندهای منطقه (رخساره‌های آبرفتی و سنگی) در تعیین شیمی آب است. شاخص اشباع کانی‌های ژپس، هالیت، کلسیت و دولومیت، حاکی از انحلال این کانی‌ها در منطقه است. نهشته‌های توژن از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده کیفیت آب زیرزمینی این آبخوان هستند. منابع آب از نظر مصارف شرب در وضعیت خوب تا نامطبوع، از نظر کشاورزی مناسب تا نامناسب و از نظر صنعتی خورنده و رسوب‌گذار است.

واژه‌های کلیدی: رخساره‌های آبرفتی؛ بررسی تحت‌الارضی؛ سملقان؛ نمودار گیبس؛ شاخص اشباع؛ نمودارهای ترکیبی.

مقدمه

آب تغذیه‌کننده، شیب هیدرولوژیکی، زمان اقامت زیرزمینی، اثرات فعالیت‌های انسانی و فعل و انفعالات سنگ و آب می‌باشد (Kumar et al., 2012). با توجه به این فرآیند، ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی با توجه به

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع اصلی تأمین آب شیرین در بسیاری از کشورها است و حدود ۲۰٪ ذخایر جهان آب شیرین می‌باشد. به طور کلی، مواد شیمیایی آب‌های زیرزمینی بستگی به عوامل بسیاری دارد که شامل ماهیت

بوده و می‌توان به کمک علم هیدروشیمی واکنش‌هایی که مسئول تغییرات مکانی و زمانی شیمی آب هستند را پیش‌بینی نمود (Sen, 2015). مهم‌ترین هدف این مقاله بررسی تحت‌الارضی نهشته‌های آبرفتی و سازندهای زمین‌شناسی (رخساره‌های آبرفتی و سنگی) و تأثیر آن‌ها بر کیفیت و ویژگی‌های شیمیایی آب و تعیین کیفیت منابع آبی برای مصارف مختلف (شرب، کشاورزی و صنعت) در دشت سملقان می‌باشد. مطالعات شیمیایی آب زیرزمینی و بررسی تحت‌الارضی رسوبات حاصل از سازندهای زمین‌شناسی و تشکیل دهنده آبخوان آبرفتی، برای اولین بار در دشت سملقان انجام می‌شود.

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

دشت مورد مطالعه در طول جغرافیایی $57^{\circ} 14'$ تا $56^{\circ} 11'$ شرقی و عرض جغرافیایی $37^{\circ} 44'$ تا $37^{\circ} 21'$ شمالی، در استان خراسان شمالی و گستره شهرستان مانه و سملقان قرار گرفته است. این دشت ۴۱ کیلومتر طول و ۲۱ کیلومتر عرض دارد. محدوده مطالعاتی در فاصله تقریبی ۳۵ کیلومتری شهرستان بجنورد واقع شده است. منطقه مورد مطالعه بخشی از پهنه رسوبی - ساختمانی کپه‌داغ می‌باشد. سازندهای دارای رخنمون در منطقه از قدیم به جدید به ترتیب شامل سازندهای چمن‌بید، مزدوران، تیرگان، سرچشمه، سنگانه، آبدراز و کلات مربوط به دوران مزوزوئیک و نهشته‌های دوران سنوزوئیک شامل طبقات سرخ رنگ نئوژن، کنگلومرای پلیوسن و نهشته‌های آبرفتی کواترنری می‌باشند (شکل ۱). این سازندها محدوده سنی کرتاسه کپه‌داغ را شامل می‌شوند (افشارحرب، ۱۳۷۳). سازندهای رخنمون یافته در منطقه عمدتاً از سنگ آهک، مارن، شیل، ماسه‌سنگ و سنگ‌های تخریبی - تبخیری تشکیل شده‌اند. سازند تیرگان و رسوبات نئوژن در دشت سملقان از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین طبقات منطقه

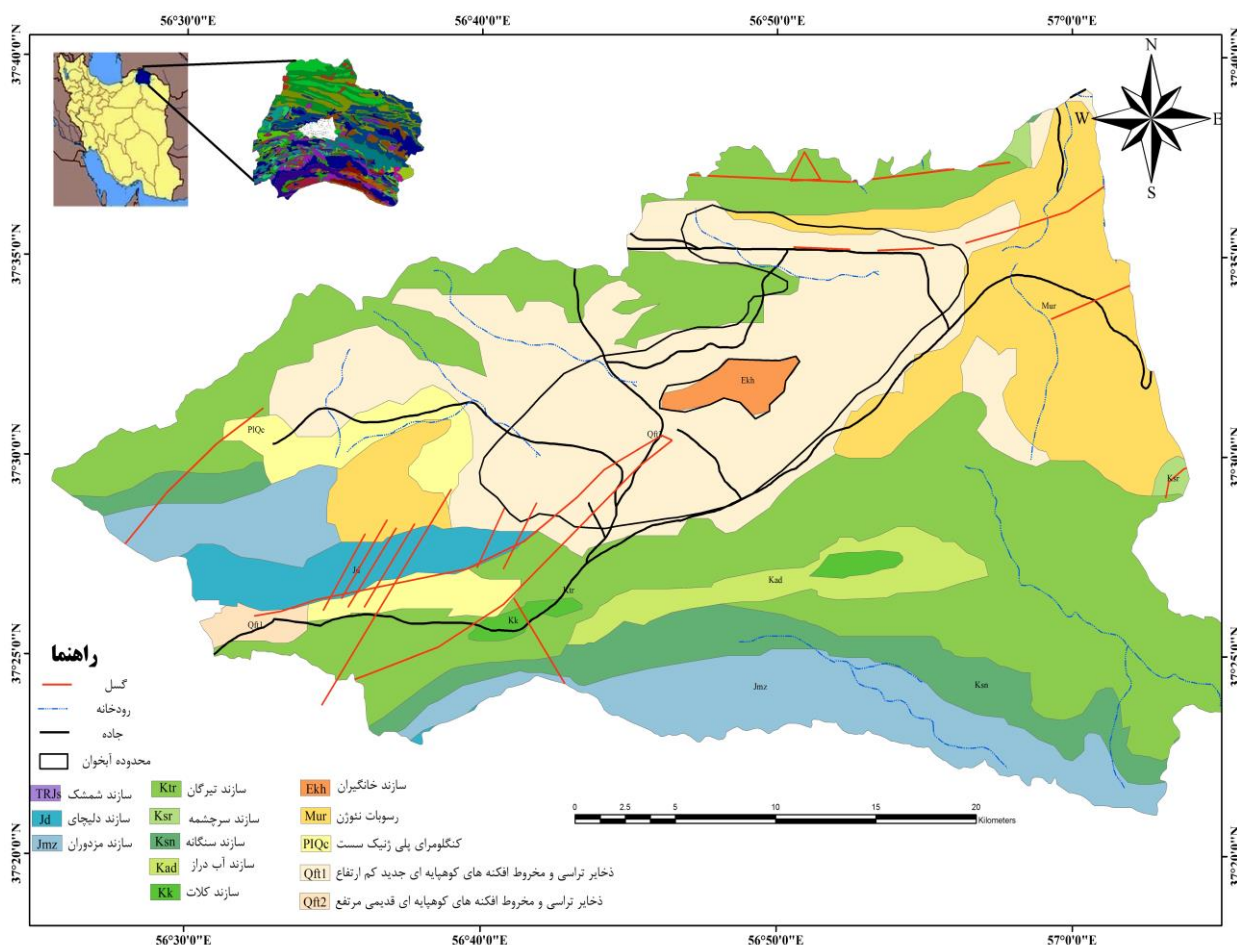
مکان و زمان، غلظت گونه‌های شیمیایی را در طول مسیر جریان آب زیرزمینی افزایش می‌دهد (Rattan et al., 2005؛ Sharif et al., 2007؛ Suma et al., 2014). بر اساس ترکیب شیمیایی و فرآیند هیدرولوژیکی، کیفیت آب‌های زیرزمینی برای شرب، صنعت و کشاورزی، طبقه‌بندی می‌شود (Subramani et al., 2005). شدت تعامل آب و سنگ و واکنش‌های شیمیایی (انحلال، بارش، فرآیندهای تبادل یونی، اکسیداسیون و کاهش) آب‌های زیرزمینی در محل تخلیه تعیین می‌شود (Elgano & Kannan, 2007). ارزیابی کیفیت و آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، به ویژه در مناطق وابسته به منابع آب زیرزمینی برای آشامیدن، بسیار بااهمیت است (علیزاده، ۱۳۷۸). ژئوشیمی آب به طور گسترده‌ای به ترکیب شیمیایی رخساره‌های آبرفتی و سنگی وابسته است (Clark, 2015). آب زیرزمینی حاوی مواد معدنی محلول مختلفی است که نتیجه واکنش‌های شیمیایی با مواد زمین‌شناسی (رخساره‌های آبرفتی و سنگی) می‌باشد. کانی‌های تبخیری (مثل ژپس و هالیت)، مهم‌ترین کانی‌ها هستند که در تماس با آب زیرزمینی دچار انحلال و سبب از بین رفتن کیفیت آب زیرزمینی می‌شوند (محمدی بهزاد و همکاران، ۱۳۸۹). رخساره‌های آبرفتی و سنگی مختلف تأثیر متفاوتی بر کیفیت منابع آبی دارند. کانی‌ها و سنگ‌های رسوبی، به خصوص کانی‌های موجود در سازندهای تبخیری باعث تخریب کیفیت آب‌ها می‌شود (Özmen et al., 2011؛ Redwan؛ Jagadeshan et al., 2014؛ Choi et al., 2013؛ et al., 2016). سنگ‌های آذرین و دگرگونی برخلاف انحلال کم، باعث کاهش کیفیت آب‌ها و تخریب کیفی می‌شوند (Van der Weijden et al., 2002؛ Montorio et al., 2003؛ Hosono et al., 2004؛ Saravanan et al., 2009؛ Rouabhia et al., 2009). از این رو، شناسایی علل تغییر کیفی منابع آب مهم

در سال آبی ۹۳-۱۳۹۲ صورت گرفته است. برای ترسیم لاگ‌ها و تطابق بین آن‌ها ابتدا اطلاعات لاگ چاه‌ها شامل جنس، عمق، مختصات چاه و ارتفاع از سطح مینا به نرم‌افزار RockWorks14 وارد شد و سپس مقطع لاگ‌ها در دو راستا ترسیم گردید. برای رسم نمودارهای ترکیبی، بررسی واکنش‌های آب و سنگ (نمودار گیبس) از نرم‌افزار Microsoft Office Excel و برای رسم نمودار پایپر و دور از نرم‌افزار Aq.QA استفاده شد و شاخص اشباع برای نمونه‌های آب زیرزمینی توسط کد کامپیوتری PHREEQC 2.6 محاسبه گردید. همچنین برای رسم نقشه‌های زمین‌شناسی منابع آب و نمودار دایره‌ای از نرم‌افزار Arc GIS (10.1) استفاده شده است (شکل ۲).

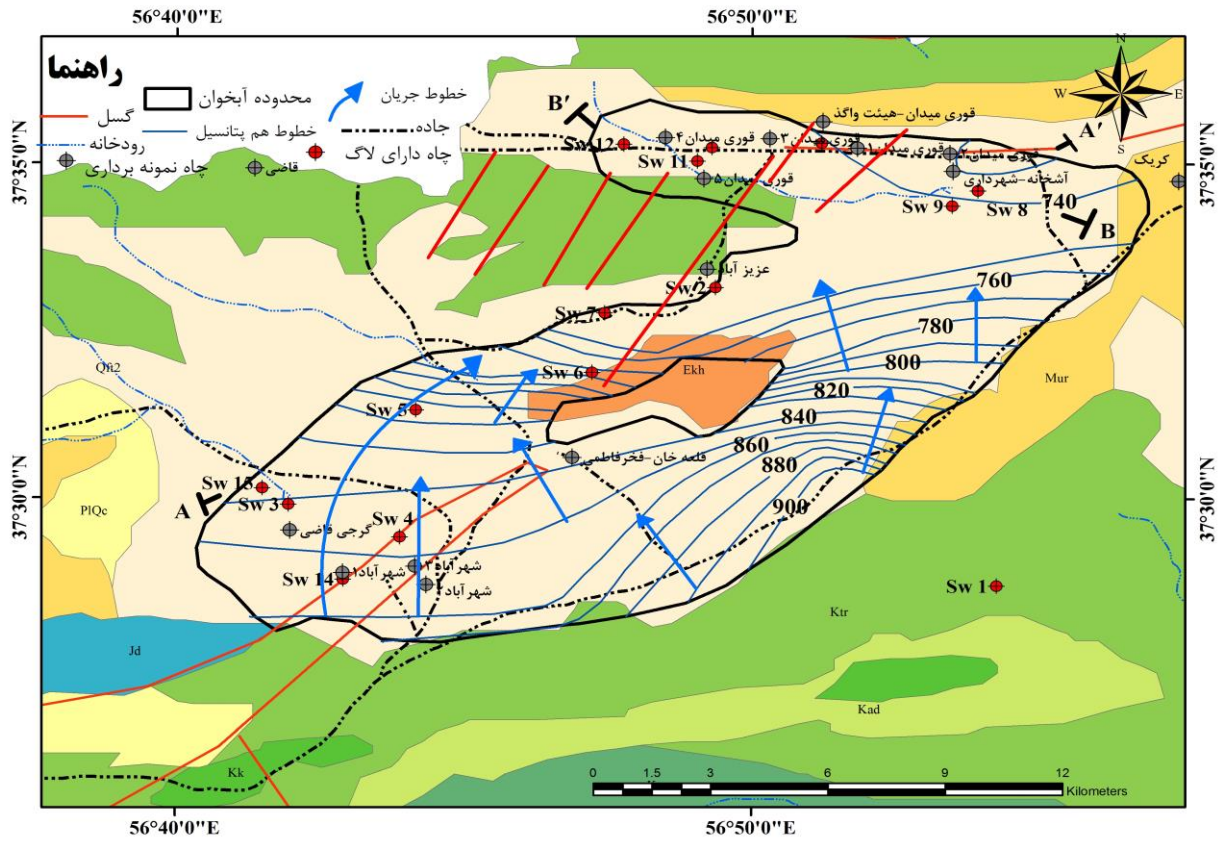
می‌باشند. سازند تیرگان بیشترین آبدهی را در منطقه دارد و نیز تغذیه کننده دشت می‌باشد و از نظر کیفیت، منابع آبی موجود در این سازند کیفیت خوبی دارند. رسوبات نئوزن به خاطر وجود تبخیری‌ها کیفیت منابع آبی موجود در این رسوبات را کاهش داده است.

روش مطالعه

برای بررسی زمین‌شناسی تحت‌الارضی و تأثیر آن بر کیفیت منابع آبی دشت سملقان، از داده‌ها و اطلاعات حفاری ۱۵ حلقه چاه (جدول ۱) بهره‌برداری در پرونده حفاظت در شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی، استفاده شده است. نمونه‌برداری از چاه‌های عمیق در قسمت‌های مختلف دشت برای بررسی کیفی در دو فصل تر و خشک



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی دشت مورد مطالعه (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کوه کورخورد؛ سهیلی، ۱۳۶۴)



شکل ۲: محل چاه‌های نمونه‌برداری و دارای لاگ حفاری

جدول ۱: مشخصات چاه‌ها (برگرفته از پرونده چاه‌ها؛ آب منطقه‌ای خراسان شمالی)

نام محل	علامت اختصاری	Utm X	Utm Y	عمق چاه (m)	عمق آب (m)	قطر چاه (inch)	دبی (lit/s)
آشخانه	SW1	۴۹۱۵۳۲	۴۱۴۷۹۴۳	۲۵	۴	۱۶	۵
عزیزآباد	SW2	۴۸۴۳۴۴	۴۱۵۶۱۹۳	۵۰	۳۶	۱۲	۵۰
قاضی ۱	SW3	۴۷۳۴۱۲	۴۱۵۰۲۱۴	۱۲۵	۶۰	۱۶	۱۵
قاضی ۲	SW4	۴۷۶۲۶۰	۴۱۴۹۳۰۷	۹۰	۲۳/۵	۲۰	۵
قاضی ۳	SW5	۴۷۶۶۷۸	۴۱۵۲۸۲۱	۱۱۹	۳۶/۵	۱۲	۷
لنگر ۱	SW6	۴۸۱۱۸۷	۴۱۵۳۸۵۳	۱۲۰	۶۷	۱۶	۴۸
لنگر ۲	SW7	۴۸۱۵۱۴	۴۱۵۵۴۹۲	۵۷	-	۱۴	فاقد آبدهی
نجف	SW8	۴۹۱۰۶۰	۴۱۵۸۸۶۱	۱۰۵	۸/۵	۲۰	۱۴
نجف علیا	SW9	۴۹۰۴۰۳	۴۱۵۸۴۳۵	۸۰	۱۳/۵	۱۴	۱۷
قوری میدان ۱	SW10	۴۸۴۲۵۹	۴۱۶۰۰۵۶	۸۰	۴۹	۱۶	۲۱
قوری میدان ۲	SW11	۴۸۳۸۸۵	۴۱۵۹۶۸۲	۸۰	۳۸	-	۸
قوری میدان ۳	SW12	۴۸۲۰۰۱	۴۱۶۰۱۵۴	۷۰	۵۰	۱۴	-
قوری میدان ۴	SW13	۴۸۷۰۷۰	۴۱۶۰۱۷۴	۷۵	۵۱	۱۶	۱/۲
شهرآباد	SW14	۴۷۴۸۱۱	۴۱۴۸۱۳۷	۸۵	۲۲	۱۴	۲۹
دهنه دلبر	SW15	۴۷۲۷۴۷	۴۱۵۰۶۶۹	۱۴۰	۱۰۰	۱۴	۳۴

بحث

بررسی لاگ حفاری و رخساره‌های آبرفتی و سنگی تحت الارضی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از اطلاعات لاگ حفاری چاه‌های موجود (شکل ۲)، در دو راستای AA' و BB' لایه‌های زمین‌شناسی تحت الارضی تشکیل دهنده محدوده دشت سملقان مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۲ الف). در این ناحیه رخساره‌های آبرفتی گراولی، ماسه‌ای و گلی مشاهده می‌شود و تغییر توپوگرافی سطح زمین ۱۱۰ متر می‌باشد. با توجه به گسترش رسوبات دانه درشت در شمال شرق دشت، عمق سطح ایستابی از شمال شرقی به سمت جنوب غربی دشت افزایش پیدا می‌کند. با توجه به لاگ‌های حفاری (شکل ۲ الف) روند تغییرات رخساره‌ها در این راستا از گراولی در جنوب غربی دشت به گلی و ماسه‌ای در مرکز و به گراولی در شمال شرقی دشت تغییر می‌کند، به طوری که در شمال شرقی با عمق سطح ایستابی ۸/۵ کمترین و در جنوب غربی با عمق سطح ایستابی ۱۰۰ متر بیشترین عمق سطح ایستابی را دارا می‌باشد. با توجه به ضخامت زیاد آبرفت، عمق سنگ کف در این راستا افزایش می‌یابد و فقط در چاه عزیزآباد که در میانه دشت و در نزدیکی سنگ آهک‌های سازند تیرگان قرار دارد، سنگ کف قابل مشاهده است. با توجه به این که رسوبات نئوژن حاوی کانی‌های تبخیری هستند و گسترش عمقی و سطحی در بخش شرقی دشت دارند، کیفیت آب در چاه‌های این راستا را تحت تأثیر قرار داده که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد. در راستای BB' امتداد شرقی - غربی و در شمال دشت و در نزدیکی سازند تیرگان و رسوبات نئوژن که نقش مهمی در کیفیت منابع آبی دشت دارند (شکل ۲ ب)، تغییر توپوگرافی سطح زمین ۶۰ متر می‌باشد. با توجه به رسوبات به دست آمده، این چاه‌ها تا سنگ کف حفر نشده و در رسوبات نئوژن حفاری

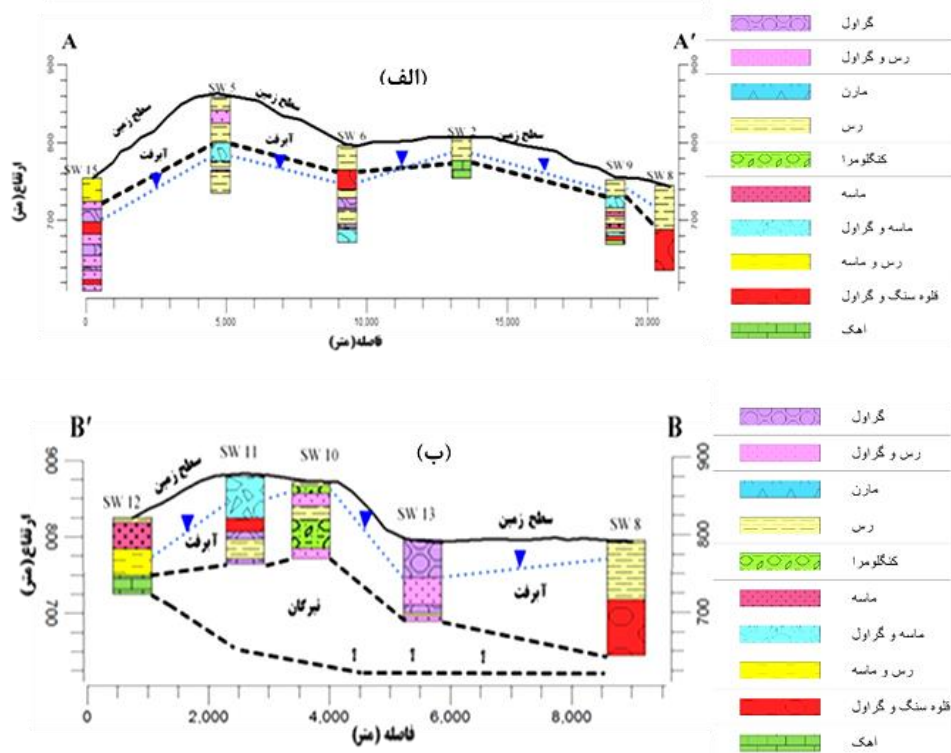
شده است، به استثنای چاه غربی که به سنگ آهک برخورد کرده است. با توجه به رخنمون سطحی سازند تیرگان در شمال دشت، باید شاهد گسترش عمقی این سازند بود. با توجه به این که چاه‌های موجود در این امتداد در قسمت آبرفتی دشت حفاری شده‌اند و عمق حفاری این چاه‌ها در حدود ۷۰ متر است، سازند تیرگان قابل مشاهده نیست، اما در چاه غربی که در نزدیکی این سنگ آهک‌ها حفر شده قابل مشاهده است. با این توضیحات، با افزایش عمق حفاری چاه باید شاهد گسترش عمقی سنگ آهک‌های سازند تیرگان در این راستا بود. در حاشیه دشت (جنوب و شرق دشت)

رخساره‌های سنگی سازند تیرگان مشاهده می‌شود. از دیدگاه ریزرخساره‌ای، لایه‌های سنگ آهکی آن دارای ۱۰٪ تا ۵۰٪ ذرات اسکلتی بوده که در یک خمیره میکریتی قرار گرفته‌اند. انواع دانه‌های اسکلتی شامل روزن‌داران اوریتولینیدی (با اندازه ماسه درشت تا حداکثر ۳ میلی‌متر)، شکم‌پایان و خارپوستان می‌باشند (شرکت مهندسی مشاور سیمای آب خاوران، ۱۳۹۴). آزمایش پمپاژ چاه آهکی که در منطقه وجود دارد (شکل ۳) نشان می‌دهد که رخساره سنگی سازند تیرگان قابلیت انتقال بالایی در حدود ۱۳۴ متر مربع بر روز را دارد (محمدزاده و کاظمی گلیان، ۱۳۹۵). در ادامه بحث به اثر تحت الارضی این سازندها در کیفیت منابع آبی دشت پرداخته خواهد شد.

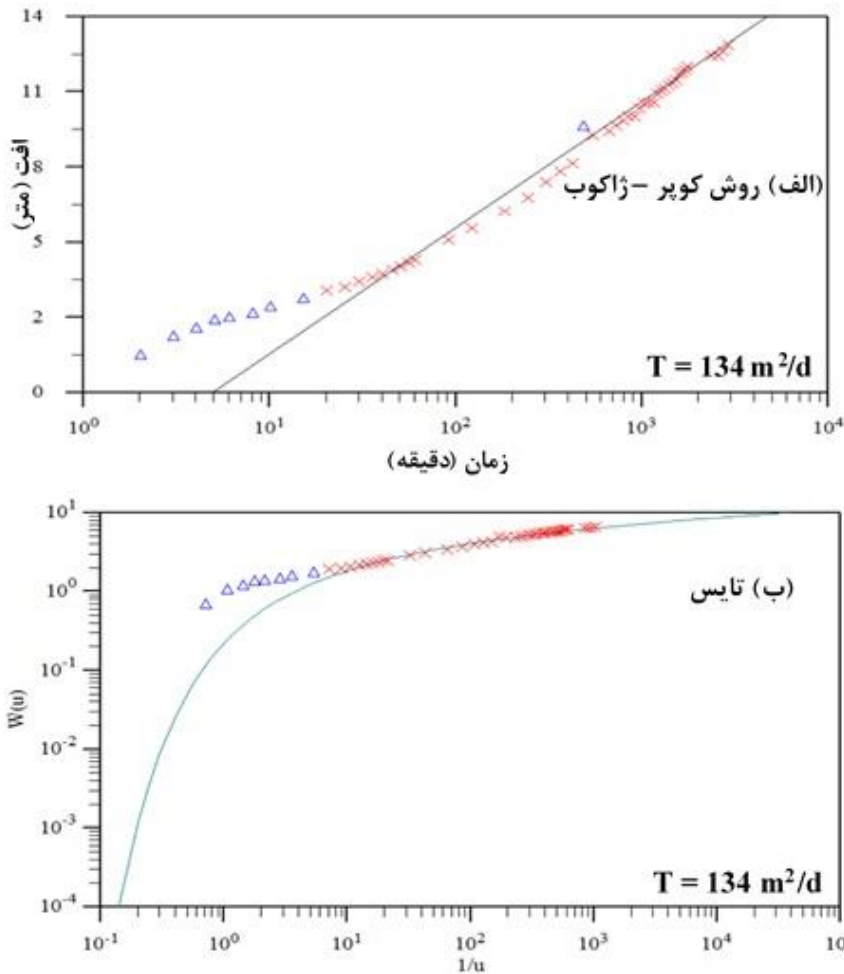
عوامل مؤثر بر کیفیت آب و تکامل هیدروژئوشیمیایی

تغییرات کیفی و تیپ آب‌های منطقه

نتایج اندازه‌گیری شاخصه‌های صحرایی و غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در فصل تر (فروردین ۹۳) و فصل خشک (شهریور ۹۳) در جدول ۲ ارائه شده است. عامل EC در جنوب دشت با توجه به نزدیکی به سنگ آهک‌های سازند تیرگان کمترین مقدار را دارد به طوری که



شکل ۲: الف) تطابق لاکها در راستای AA'؛ ب) تطابق لاکها در راستای BB'



شکل ۳: آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ چاه آهکی ب- استفاده از (الف) روش کوپر - ژاکوب و (ب) تائیس (×= داده‌های استفاده شده و Δ= داده‌های صرف نظر شده) (محمدزاده و کاظمی گلپیان، ۱۳۹۵)

جدول ۲: آنالیز هیدروشیمیایی دشت سملقان (غلظت یون‌ها بر حسب meq/l)

نمایه اشباع				Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	pH	TDS (mg/l)	EC (μS/cm)	محل
Halite	Gypsum	Dolomite	Calcite											
فصل تر (فروردین ۹۳)														
-۶/۷	-۱/۸	-۰/۸	-۰/۴	۲/۹	۴/۱	۱/۵	۰/۰۶	۳/۱	۲/۲	۲/۹	۷/۳	۴۶۰	۷۷۵	شهرآباد ۱
-۶/۹	-۱/۹	-۰/۵	-۰/۳	۲/۶	۴/۶	۱/۲	۰/۰۵	۲/۱	۳/۱	۳/۱	۷/۳	۴۹۵	۷۸۸	آشخانه-شهرداری
-۶/۷	-۲/۳	-۰/۴	-۰/۲	۳/۳	۵/۱	۰/۴	۰/۰۶	۲/۲	۲/۹	۳/۴	۷/۴	۵۱۰	۸۱۰	قاضی
-۶/۶	-۱/۷	-۰/۶	-۰/۳	۳/۱	۴/۳	۲/۱	۰/۰۵	۳/۳	۳/۰	۳/۲	۷/۷	۵۶۵	۸۸۷	شهرآباد ۲
-۶/۶	-۱/۷	-۰/۶	-۰/۳	۲/۹	۴/۵	۲/۱	۰/۰۶	۳/۳	۲/۹	۳/۰	۷/۷	۵۵۵	۸۹۵	شهرآباد ۳
-۶/۶	-۱/۸	-۰/۲	-۰/۲	۳/۳	۵/۸	۱/۶	۰/۰۲	۳/۱	۳/۷	۳/۴	۷/۱	۶۸۰	۹۸۵	قلعه خان- فخرفاطمی
-۶/۴	-۲/۱	-۰/۳	-۰/۲	۴/۶	۵/۶	۰/۸	۰/۰۸	۳/۸	۳/۶	۳/۴	۷/۲	۶۵۰	۱۰۶۰	عزیزآباد
-۶/۱	-۱/۶	-۰/۵	-۰/۳	۵/۱	۵/۱	۲/۸	۰/۰۶	۶/۶	۳/۵	۳/۱	۷/۳	۷۱۵	۱۱۷۴	گرچی قاضی
-۶/۱	-۱/۳	-۰/۵	-۰/۳	۵/۶	۴/۰	۴/۸	۰/۰۷	۶/۲	۴/۴	۴/۲	۷/۷	۹۱۵	۱۳۰۱	قوری میدان- هیئت واگذاری
-۶/۰	-۱/۵	-۰/۸	-۰/۴	۶/۸	۳/۸	۳/۴	۰/۰۷	۶/۹	۲/۹	۳/۶	۷/۳	۸۸۵	۱۳۷۱	قوری میدان ۱
-۶/۰	-۱/۴	-۰/۲	-۰/۲	۶/۱	۵/۳	۴/۳	۰/۰۷	۶/۸	۵/۰	۴/۰	۷/۳	۹۸۵	۱۴۷۷	قوری میدان ۲
-۵/۹	-۱/۲	-۰/۴	-۰/۳	۷/۰	۴/۴	۶/۱	۰/۰۵	۸/۱	۵/۴	۴/۱	۷/۱	۹۷۰	۱۵۷۶	کریک
-۶/۰	-۱/۱	-۰/۳	-۰/۲	۶/۷	۴/۵	۶/۲	۰/۰۸	۷/۳	۴/۴	۵/۶	۷/۵	۱۰۵۰	۱۵۸۵	قوری میدان ۳
-۵/۳	-۱/۰	-۰/۳	-۰/۳	۱۵/۰	۴/۲	۱۰/۹	۰/۰۸	۱۶/۵	۸/۵	۵/۰	۷/۲	۱۷۵۵	۲۷۷۰	قوری میدان ۴
-۵/۱	-۰/۷	-۰/۲	-۰/۱	۱۸/۹	۴/۰	۱۵/۲	۰/۰۸	۱۹/۳	۷/۸	۱۰/۴	۷/۳	۲۱۳۰	۳۴۵۰	قوری میدان ۵
فصل خشک (شهریور ۹۳)														
-۷/۳	-۱/۸	-۰/۲	-۰/۱	۱/۲	۱/۶	۱/۶	۰/۰۵	۲/۲	۲/۴	۲/۸	۷/۸	۵۶۰	۱۰۶۴	شهرآباد ۱
-۷/۲	-۱/۹	-۰/۳	-۰/۲	۰/۹	۶/۲	۰/۸	۰/۰۵	۲/۲	۲/۴	۳/۰	۷/۴	۵۳۰	۱۰۰۵	آشخانه-شهرداری
-۶/۶	-۱/۵	-۰/۷	-۰/۴	۱/۱	۶/۲	۱/۲	۰/۰۶	۲/۴	۳/۱	۳/۰	۷/۶	۵۳۰	۹۶۲	قاضی
-۷/۳	-۲/۱	-۰/۳	-۰/۲	۰/۸	۶/۷	۱/۴	۰/۱۶	۲/۲	۲/۷	۳/۰	۷/۸	۴۵۰	۸۶۸	شهرآباد ۲
-۷/۲	-۱/۸	-۰/۵	-۰/۳	۲/۹	۳/۹	۳/۴	۰/۰۶	۳/۵	۳/۵	۳/۲	۷/۳	۶۴۰	۹۹۱	شهرآباد ۳
-۷/۳	-۱/۹	-۰/۱	-۰/۱	۱/۱	۶/۸	۱/۴	۰/۰۱	۱/۹	۳/۸	۳/۰	۷/۵	۶۳۰	۱۱۹۰	قلعه خان- فخرفاطمی
-۶/۵	-۲/۶	-۱/۲	-۰/۷	۱/۰	۹/۳	۰/۲	۰/۰۶	۲/۹	۴/۵	۲/۷	۷/۳	۷۵۰	۱۲۹۶	عزیزآباد
-۷/۲	-۲/۷	۰/۱	-۰/۱	۲/۴	۳/۷	۴/۸	۰/۰۳	۵/۰	۲/۰	۳/۰	۸/۴	۸۴۰	۱۵۷۴	گرچی قاضی
-۶/۶	-۱/۴	-۱/۰	-۰/۵	۳/۱	۴/۰	۰/۴	۰/۰۴	۴/۳	۱/۷	۱/۳	۷/۷	۷۲۰	۱۲۸۹	قوری میدان- هیئت واگذاری
-۶/۹	-۱/۴	-۰/۲	-۰/۲	۹/۲	۴/۹	۰/۵	۰/۰۷	۶/۷	۵/۲	۳/۰	۷/۷	۱۱۲۰	۱۹۳۹	قوری میدان ۱
-۶/۸	-۱/۴	-۰/۵	-۰/۴	۱/۰	۴/۸	۴/۸	۰/۰۵	۵/۱	۳/۸	۳/۴	۷/۵	۹۲۰	۱۷۴۰	قوری میدان ۲
-۵/۹	-۲/۴	-۰/۳	-۰/۳	۲/۰	۸/۷	۴/۶	۰/۰۳	۵/۷	۵/۲	۴/۰	۷/۲	۱۵۴۰	۱۹۵۰	کریک
-۶/۶	-۱/۳	۰/۱	-۰/۰۴	۱/۲	۵/۶	۶/۳	۰/۰۶	۵/۴	۴/۱	۲/۳	۷/۵	۱۰۵۰	۱۷۸۷	قوری میدان ۳
-۵/۴	-۰/۹	۰/۴	۰/۲	۱۱/۷	۶/۲	۰/۶	۰/۰۷	۱۱/۹	۳/۸	۳/۰	۷/۹	۴۴۴۰	۷۰۶۰	قوری میدان ۴
-۵/۵	-۲/۳	-۰/۳	-۰/۲	۱۰/۱	۱۱/۸	۱۱/۶	۰/۰۹	۱۹/۳	۵/۹	۷/۱	۷/۲	۲۵۵۰	۴۰۲۶	قوری میدان ۵

میزان پتاسیم به طور میانگین در سطح دشت ۰/۰۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد و در جنوب (تغذیه) و شمال دشت (تخلیه) مقدار پتاسیم تقریباً یکسان است.

در بین آنیون‌ها کلر بیشترین غلظت را در سطح دشت و به ویژه در شمال دشت دارد. چاه‌های قوری میدان ۴ و قوری میدان ۵ که در خروجی دشت قرار دارند به ترتیب با غلظت ۱۸/۹ و ۱۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیشترین مقدار را در بین نمونه‌های دشت دارند و چاه‌های جنوب دشت از جمله شهرآباد ۳ و قلعه خان - فخرفاطمی به ترتیب با غلظت ۲/۹ و ۳/۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر نسبت به نمونه‌های جنوبی مقدار کمتری دارند.

یون بی‌کربنات که پس از کلر بیشترین غلظت را در بین نمونه‌ها دارد، برخلاف دیگر یون‌ها در جنوب و شمال دشت تقریباً غلظت یکسانی دارد. به عنوان مثال چاه شهرآباد ۱ در جنوب دشت با غلظت ۴/۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر با چاه قوری میدان ۵ که در شمال دشت قرار دارد، غلظت برابر ۴/۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر دارد. بیشترین غلظت یون بی‌کربنات مربوط به چاه قلعه‌خان فخرفاطمی در جنوب دشت با غلظت ۵/۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد.

یون سولفات همانند اکثر یون‌ها در نمونه‌های جنوب دشت نسبت به شمال دشت کمترین مقدار را دارد. چاه عزیزآباد با غلظت ۰/۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر کمترین و چاه قوری میدان ۵ با غلظت ۱۵/۲ بیشترین غلظت را دارا می‌باشد. با توجه به نزدیکی چاه به زمین‌های کشاورزی و استفاده از کودهای سولفات و همچنین نزدیکی به رسوبات تبخیری نئوژن و وجود کانی‌هایی مانند ژپس، این اختلاف غلظت در جنوب و شمال دشت دور از انتظار نیست. میزان EC در فصل خشک و فصل تر بیشترین مقدار خود را نمونه‌های شمال دشت دارند. در فصل تر چاه قوری میدان ۵ و در فصل خشک چاه قوری میدان ۴ به ترتیب ۳۴۵۰ و ۷۰۶۰

چاه شهرآباد ۱ با مقدار ۷۷۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر کمترین میزان را در دشت دارد و چاه‌های قاضی شهرآباد ۲، شهرآباد ۳، قلعه خان - فخرفاطمی، عزیزآباد و گرجی قاضی نسبت به چاه‌هایی که در شمال دشت از جمله قوری میدان - هیئت واگذاری، قوری میدان ۱، قوری میدان ۲، قوری میدان ۳، قوری میدان ۴ و قوری میدان ۵ قرار دارند، مقدار EC پایین‌تری دارند. کاتیون‌ها براساس فراوانی در دشت به ترتیب شامل $K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ و آنیون‌ها $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ می‌باشند. میزان کلسیم در جنوب و شمال دشت به طور میانگین ۳/۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد، فقط قوری میدان ۵ با میزان ۱۰/۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر نسبت به بقیه چاه‌های موجود در سطح دشت میزان بیشتری دارد که با توجه به نزدیکی این چاه به تبخیری‌های شمال دشت، کلسیم بیشتر نسبت به بقیه چاه‌ها از انحلال کانی‌های تبخیری تأمین می‌شود.

میزان منیزیم از جنوب به سمت شمال افزایش می‌یابد به طوری که چاه شهرآباد ۱ با مقدار منیزیم ۲/۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر کمترین و چاه قوری میدان ۴ با ۸/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیشترین منیزیم را دارد. چاه قوری میدان ۴ به خاطر وجود کانی ژپس در رسوبات تبخیری نئوژن بیشترین مقدار منیزیم را دارا می‌باشد. مقدار منیزیم چاه‌های جنوب دشت از جمله چاه‌های قاضی شهرآباد ۲، شهرآباد ۳، قلعه خان - فخرفاطمی، عزیزآباد و گرجی قاضی به طور میانگین ۳/۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است.

سدیم که بیشترین غلظت را در بین کاتیون‌های موجود در دشت دارد همانند سایر کاتیون‌ها در جنوب دشت مقدار کمتری نسبت به شمال دشت را به خود اختصاص داده است. چاه قوری میدان ۵ با مقدار سدیم ۱۹/۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیشترین مقدار را در بین نمونه‌های موجود در دشت دارد.

میلی‌اکی‌والان بر لیتر کمترین و چاه قوری میدان ۵ با مقدار ۱۸/۹ بیشترین مقدار را دارد. یون بی کربنات در نمونه‌های فصل تر تغییر چندانی ندارد، بیشترین مقدار برای چاه قلعه‌خان - فخر فاطمی ۸/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و کمترین مقدار برای چاه قوری میدان - هیئت واگذاری با ۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. کم‌ترین مقدار یون سولفات با ۰/۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در فصل تر برای چاه قاضی و بیش‌ترین با مقدار ۱۵/۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر مربوط به چاه قوری میدان ۵ می‌باشد. در فصل خشک کمترین مقدار برای چاه عزیزآباد با مقدار ۰/۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و بیشترین مقدار مربوط به قوری میدان ۵ با ۱۱/۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. چاه‌هایی که کمترین مقدار سولفات را دارند چاه-هایی هستند که درون سنگ آهک حفر شده‌اند. بنابراین کمترین مقدار سولفات را دارا می‌باشند و چاه قوری میدان ۵ که بیشترین مقدار را در هر دو فصل دارد در نزدیکی زمین‌های کشاورزی و رسوبات تبخیری نشوژن قرار دارد. شکل ۴ نمودار دایره‌ای نمونه‌های آب دشت برای هر دو فصل تر و خشک را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در هر دو فصل از جنوب به سمت شمال دشت از مقدار بی کربنات کاسته شده و به مقدار سدیم، کلر و سولفات افزوده می‌شود که ناشی از وجود رسوبات نشوژن در بخش شرقی دشت و عدم تغذیه آبخوان از بخش شمالی دشت می‌باشد. با توجه به نقشه هم‌پتانسیل دشت و جهت جریان آب‌های زیرزمینی (شکل ۲) به سمت خروجی دشت (شمال دشت) الگوی آب‌های زیرزمینی از بی کربنات به کلروره تغییر می‌یابد.

به منظور تعیین نوع آب‌ها، رخساره هیدروشیمیایی و تکامل هیدروژئوشیمیایی در آب‌های زیرزمینی دشت، نمونه‌های آب زیرزمینی هر دو فصل خشک و تر بر روی نمودار پایپرپلات شده است (شکل ۵). با توجه به این که جنوب دشت

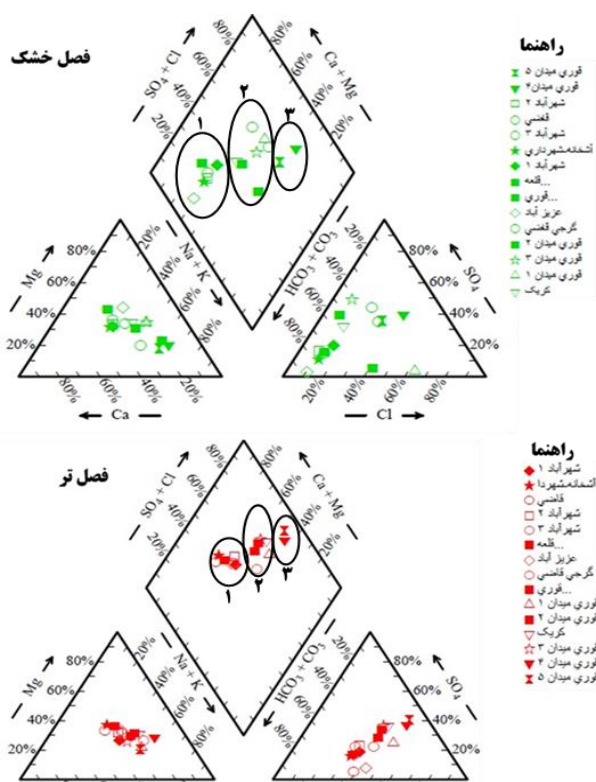
میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشند و چاه شهرآباد ۱ با ۷۷۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در فصل تر و چاه شهرآباد ۳ با مقدار ۸۶۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر کمترین مقدار را دارند. با توجه به این که چاه‌های شهرآباد ۱ و شهرآباد ۳ در ورودی دشت و در نزدیکی سنگ‌آهک‌های سازند تیرگان قرار دارد، این مقدار EC برای این چاه‌ها دور از انتظار نیست.

بیشترین مقدار سدیم در فصل تر و خشک مربوط به چاه قوری میدان ۵ با ۱۹/۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد و کمترین مقدار سدیم در فصل تر مربوط به چاه شهرداری - آشخانه با مقدار ۲/۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و در فصل خشک مربوط به چاه قلعه‌خان - فخرفاطمی با ۱/۹ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد.

در فصل تر یون منیزیم در چاه قوری میدان ۴ با غلظت ۸/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیشترین مقدار و چاه شهرآباد ۱ با غلظت ۲/۱ کمترین مقدار را دارند. کمترین غلظت منیزیم در فصل خشک مربوط به چاه قوری میدان - هیئت واگذاری با غلظت ۱/۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و بیشترین غلظت مربوط به چاه قوری میدان ۵ با مقدار ۵/۹ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد.

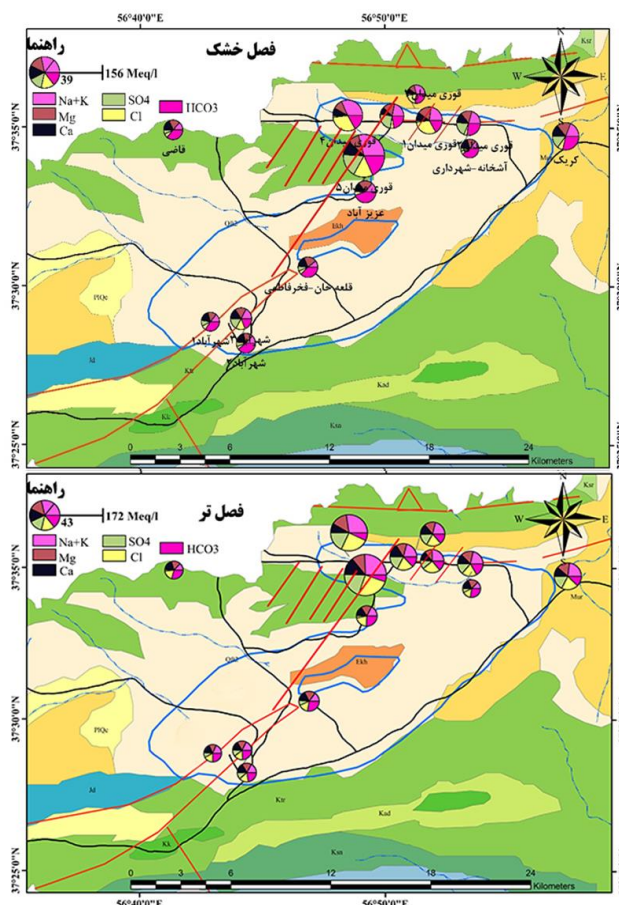
غلظت کلسیم در دو فصل تر و خشک نسبت به هم تغییر زیادی نمی‌کند. چاه شهرآباد ۱ با غلظت ۲/۹ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و چاه قوری میدان - هیئت واگذاری با غلظت ۱/۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر به ترتیب کمترین مقدار را در فصل تر و خشک دارند.

بیشترین میزان یون کلر در فصل خشک مربوطه به چاه قوری میدان ۴ با غلظت ۱۱/۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و کمترین میزان یون کلر در این فصل مربوط به چاه شهرآباد ۲ با غلظت ۰/۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد و در فصل تر، چاه شهرآباد ۱ و شهرآباد ۳ با مقدار ۲/۹



شکل ۵: نمودار پایپر نمونه‌ها

اختلاط منابع آب توسط نمودار دور و نمونه‌های آب زیرزمینی بر روی این نمودار نیز مشخص شده‌اند (شکل ۷). همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد، مقدار TDS نمونه‌های آب در قسمت‌های مختلف دشت متغیر بوده و نشان‌دهنده تأثیر عوامل مختلف بر منابع آبی است. علت افزایش TDS در نمونه‌هایی که در شمال دشت قرار دارند شامل زمان ماندگاری طولانی، سرعت بسیار کم جریان آب زیرزمینی و فرصت زیاد برای انجام تبادلات یونی با سازندها و آب است (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۲). علاوه بر آن انحلال رسوبات نشوژن، وجود رخساره‌های آبرفتی (گلی، ماسه‌ای و گراولی)، طولانی کردن زمان ماندگاری آب و فعالیت‌های کشاورزی به خاطر وجود زمین‌های کشاورزی در این منطقه به افزایش مقدار TDS منجر شده است.

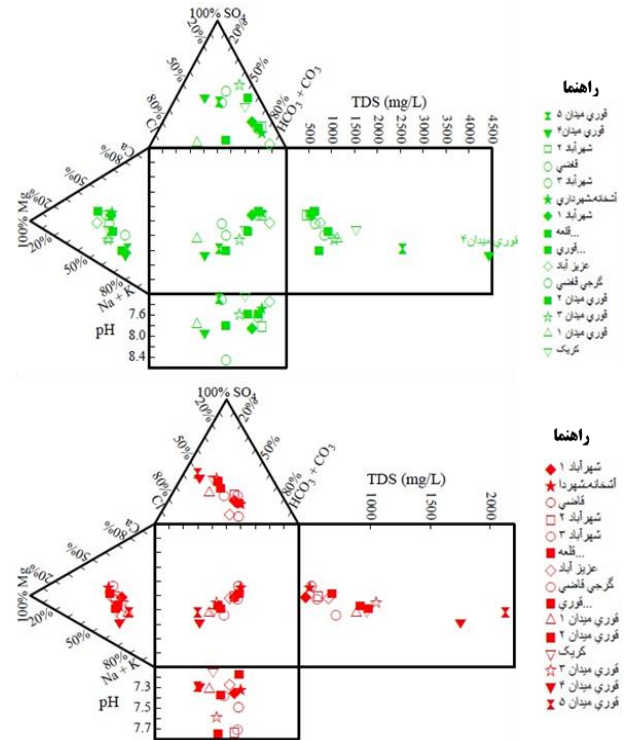


شکل ۴: نمودار دایره‌ای نمونه‌های آب دشت سملقان

رخساره‌های سنگی سازند تیرگان وجود دارند، الگو و رخساره نمونه‌های گروه ۱ که در این قسمت دشت قرار دارد در فصل خشک و تری کربناته کلسیک و منیزیک می‌باشد و با توجه به این که رسوبات نشوژن که حاوی تبخیری‌ها است و حاوی رخساره‌های گلی و گراولی است نمونه‌های گروه سه کلروره سدیک است. با توجه به نقشه هم‌پتانسیل دشت (شکل ۲) از ورودی دشت به سمت خروجی (گروه ۱) به گروه ۳) از میزان اسیدهای ضعیف (کربنات و بی‌کربنات) کاسته شده و اسیدهای قوی (سولفات و کلرید) افزایش می‌یابند. روند خطی مشاهده شده در قسمت لوزی شکل نمودار پایپر برای نمونه‌های منطقه می‌تواند بیانگر وجود اختلاط در منابع آبی منطقه باشد. با توجه به قابلیت نمایش آنیون‌ها و کاتیون‌ها، pH، کل مواد جامد محلول و تشخیص

فرآیند تبادل یونی را تأیید می‌کند. در این نمودار آب‌هایی که تبادل یونی را متحمل شده‌اند، در طول خط با شیب ۱- قرار می‌گیرند (Jalali, 2007). بیشتر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه در محدوده کمتر از (۰ و ۰) واقع شده‌اند و هم‌چنین وابستگی زیاد بین محور افقی و عمودی بیانگر وقوع فرآیند تبادل یونی است. نمونه‌هایی که در نزدیکی به صفر و روی محور X قرار می‌گیرند تحت تأثیر تبادل یونی واقع نشده‌اند. افزون بر این، اگر انحلال کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژپس به‌طور سازگار روی دهد و تبادل یونی صورت نگیرد، در آن صورت مقدار $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ مقادیر $HCO_3^- - SO_4^{2-}$ نیز نزدیک به صفر خواهد شد. بیشتر بودن مقادیر $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ نسبت به HCO_3^- در همه نمونه‌های فصل تر و بیشتر نمونه‌های فصل خشک (شکل ۸ الف)، حاکی از وجود منشأ دیگری غیر از کلسیت نسبت به دولومیت برای $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ می‌باشد. کلسیم و منیزیم اضافی ممکن است از انحلال کانی‌هایی مانند ژپس و کلرید منیزیم ایجاد شوند و با توجه به وجود لایه‌های تبخیری در رسوبات نئوژن دشت دور از انتظار نیست. هم‌چنین ترسیم $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ در برابر کل کاتیون‌ها (شکل ۸ ب) نشان می‌دهد تمامی نمونه‌های فصل تر و خشک در زیر خط تعادلی قرار گرفته و در همه نمونه‌ها مقدار کلسیم و منیزیم تقریباً مقدار ثابتی دارند.

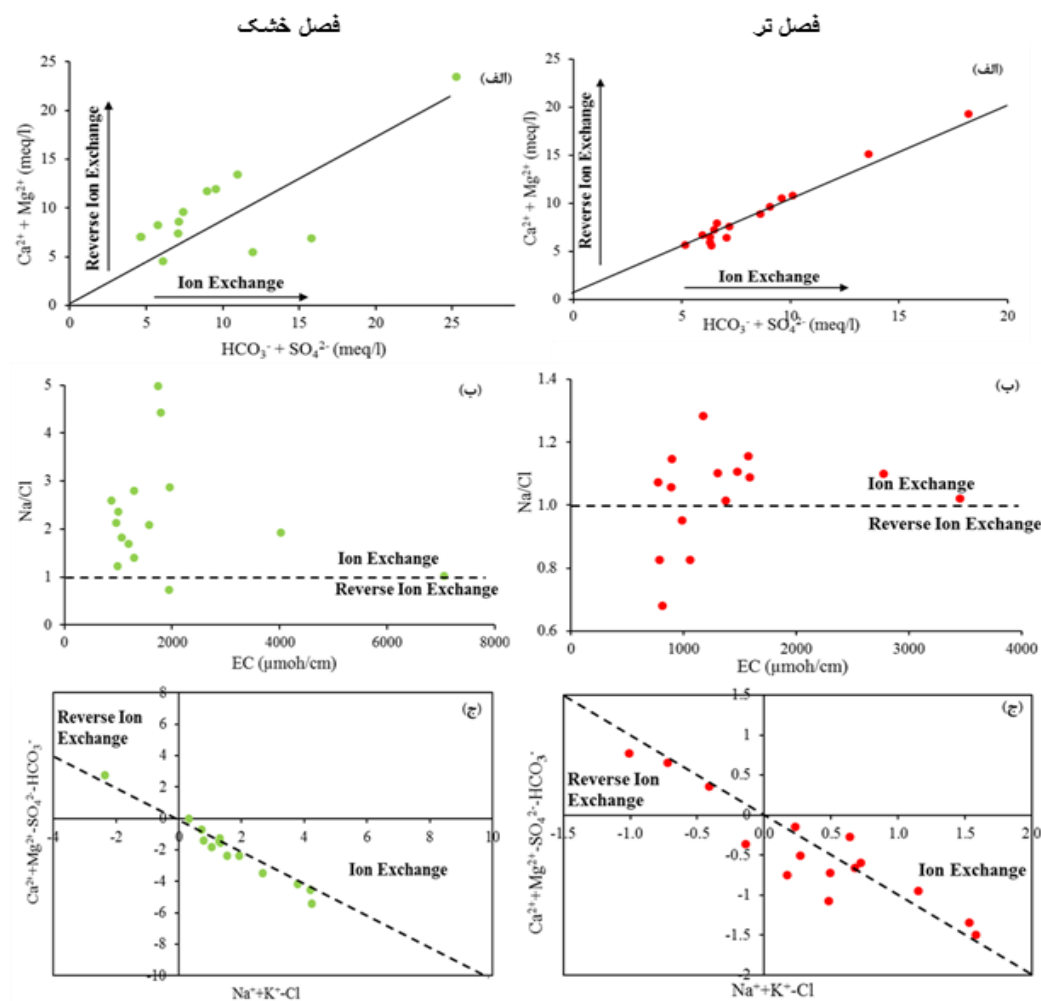
در شکل ۸ ج، مقادیر $Na^+ + K^+$ در برابر کل کاتیون‌ها برای نمونه‌های هر دو فصل تر و خشک رسم شده است. همه نمونه‌ها در زیر خط تعادلی قرار گرفته و با افزایش کل کاتیون‌ها، مقادیر $Na^+ + K^+$ نیز افزایش می‌یابد که نشان می‌دهد انحلال کانی‌های تبخیری نسبت به بقیه کاتیون‌ها بیشتر نیست و لایه‌های تبخیری زیادی در منطقه وجود ندارد. در بررسی مقادیر $Na^+ + K^+$ در برابر Cl^- (شکل ۸ د) بیشتر نمونه‌ها با پیروی از خط تعادلی در بالای خط تعادلی



شکل ۶: موقعیت نمونه‌های منابع آب دشت سملقان بر روی نمودار دورو (پایپر گسترده)

واکنش آب و سنگ و تکامل هیدروژئوشیمیایی منطقه نمودار ترکیبی یک متغیره و دو متغیره

نمودارهای ترکیبی یکی از کاربردی‌ترین تکنیک‌های بررسی ترکیب شیمیایی و تکامل هیدروژئوشیمیایی آب است که برای نمونه‌های آب دشت سملقان به کار گرفته شده است (شکل ۸). نمودار دو متغیره $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ در برابر $HCO_3^- + SO_4^{2-}$ (شکل ۸ الف)، که بیانگر رابطه بین هوازگی سیلیکات‌ها و هوازگی کربنات‌ها می‌باشد (Banoeng-Yakubo *et al.*, 2009). بیشتر نمونه‌ها در محدوده خط ۱:۱ قرار گرفته و نشان‌دهنده تأثیر انحلال ژپس هم‌زمان با پدیده تبادل کاتیونی در ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه سملقان است. با توجه به موقعیت نمونه‌های آب بر روی نمودار دو متغیره Na^+ / Cl^- در برابر EC (شکل ۸ ب)، در بیشتر نمونه‌های آب زیرزمینی رخداد فرآیند تبادل یونی دیده می‌شود. نمودار ترکیبی $Na^+ + K^+ - Cl^-$ در برابر $Ca^{2+} + Mg^{2+} - HCO_3^- - SO_4^{2-}$ (شکل ۸ ج) نیز



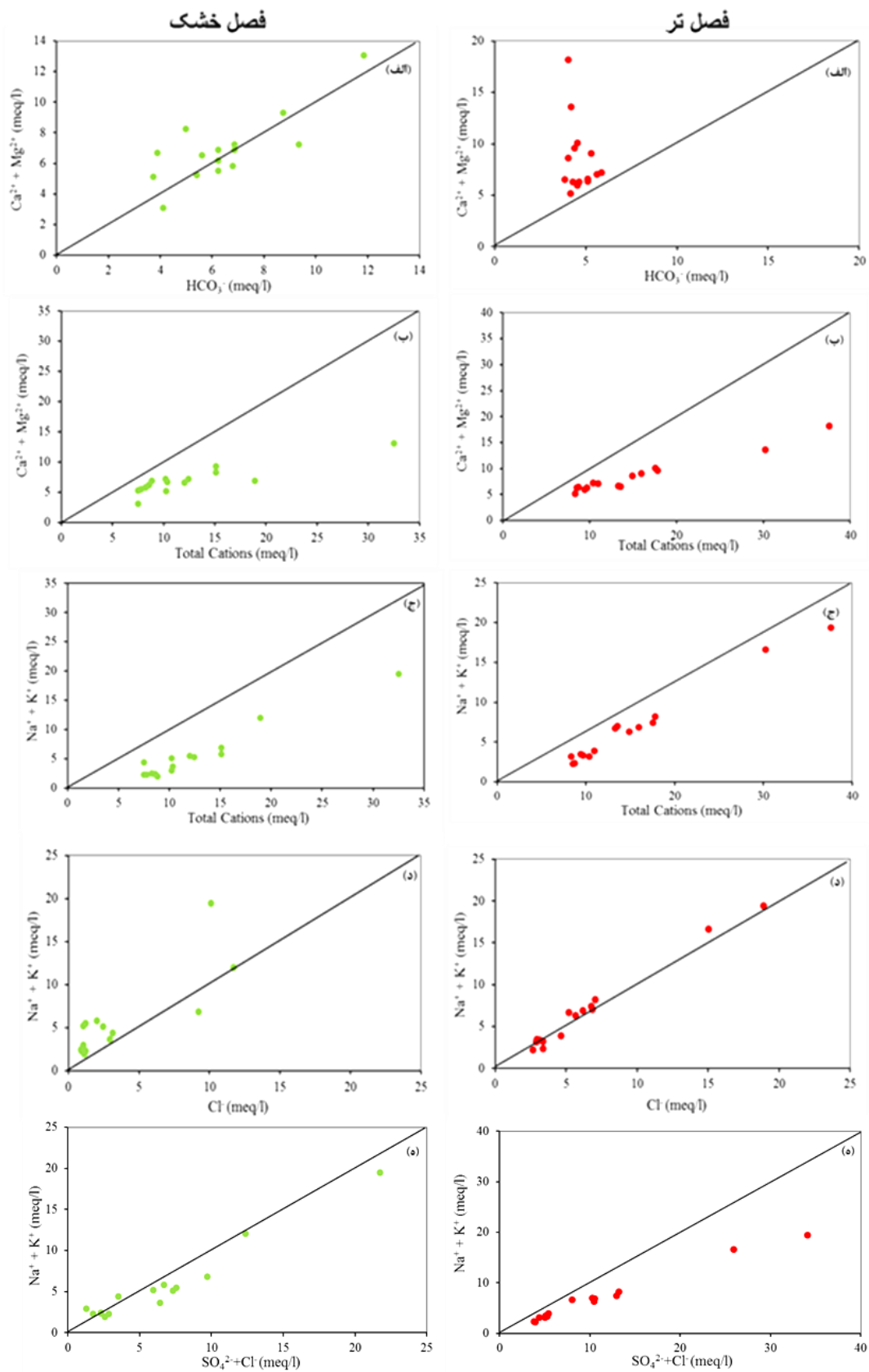
شکل ۷: نمودار مربوط با تبادل یونی در منطقه مورد مطالعه

می‌توان از نمودار گیبس استفاده نمود (Ravikumar *et al.*, 2010). موقعیت نمونه‌های دشت سملقان بر روی نمودار گیبس (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که واکنش متقابل بین آب زیرزمینی و سنگ‌های تشکیل‌دهنده منطقه بیشترین تأثیر را بر کیفیت آب دشت سملقان داشته است. برای تعیین منشأ کیفی و نوع سازند مؤثر بر کیفیت آب‌ها می‌توان از بخش مثلث آنیون‌های نمودار پایپر نیز استفاده نمود. با توجه به موقعیت نمونه‌های سملقان بر روی مثلث سه گانه آنیون‌های کلر-بی‌کربنات-سولفات (شکل ۱۱)، نمونه‌های فصل خشک و تر منطقه در محدوده آب‌های شیرین کارستی (مقادیر بالای بی‌کربنات و یون‌های کلسیم

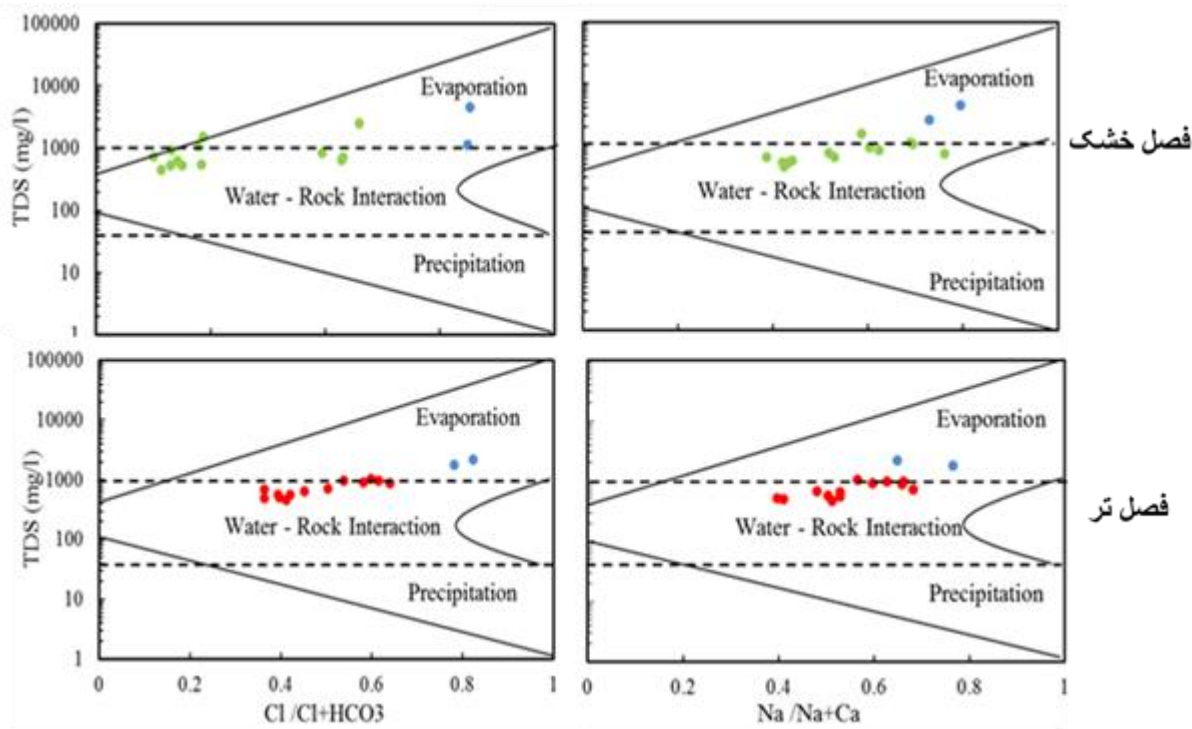
قرار گرفته‌اند که نشان می‌دهد یون‌های $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ بیشتر از یون کلر هستند و لذا انحلال تبخیری‌ها بیشتر است. در (شکل ۸) $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ در برابر $(\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-)$ ، بیشتر نمونه‌ها زیر خط تعادلی قرار دارند که نشان از انحلال بیشتر کانی‌های سولفات مثل ژپس و انیدریت نسبت به کانی‌هایی مثل هالیت است. به عبارتی منشأ بیشتر یون سولفات می‌تواند از انحلال کانی‌های سولفاتی مانند ژپس موجود در لایه‌های تبخیری رسوبات نئوژن باشد.

نمودار گیبس و مثلثی

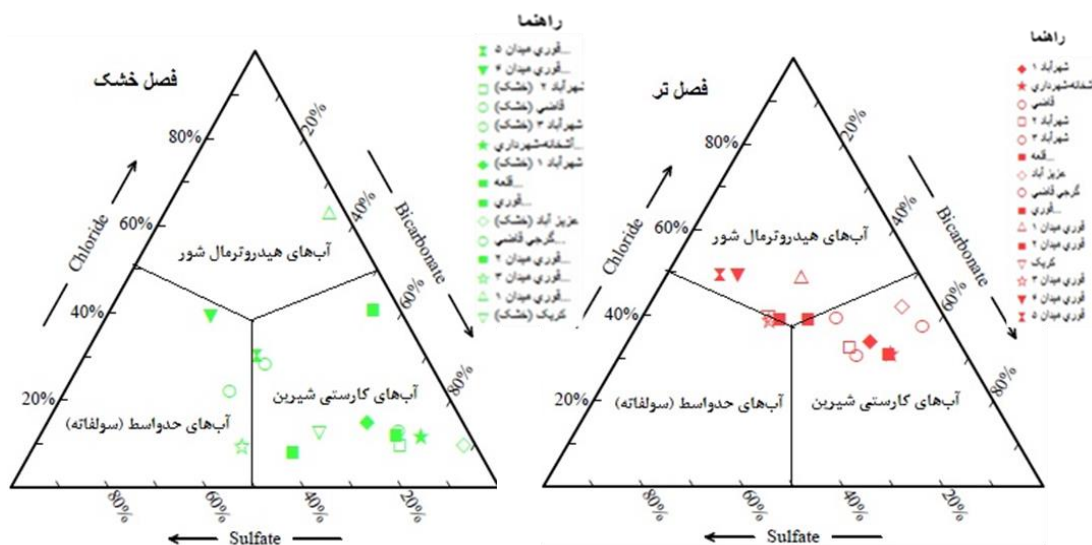
به منظور ارزیابی عامل اصلی حاکم بر کیفیت آب‌های زیرزمینی و بررسی تأثیر سنگ‌های دربرگیرنده بر منابع آب



شکل ۸: نمودارهای ترکیبی یونها



شکل ۹: موقعیت منابع آب دشت سملقان بر روی نمودار گیبس



شکل ۱۰: موقعیت نمونه‌های دشت سملقان روی نمودار مثلثی کلر-بی‌کربنات-سولفات

است. علت قرار گرفتن برخی چاه‌ها در منطقه حد واسط، می‌تواند ناشی از استفاده از کودهای شیمیایی سولفات در زمین‌های کشاورزی نزدیک این چاه باشد که موجب افزایش محتوای سولفات نمونه‌های آب شده است. برخی از نمونه‌ها در قسمت آب چشمه‌های هیدروترمالی شور قرار

و منیزیم)، آب‌های حد واسط (غنی از سولفات و محتوای بی‌کربنات بیش از کلر) و آب‌های کارستی شیرین قرار می‌گیرند. قرارگیری بیشتر نمونه‌های آب دشت سملقان در منطقه آب کارستی با توجه به رخنمون گسترده رخساره سنگی سازند تیرگان در دشت سملقان مورد انتظار

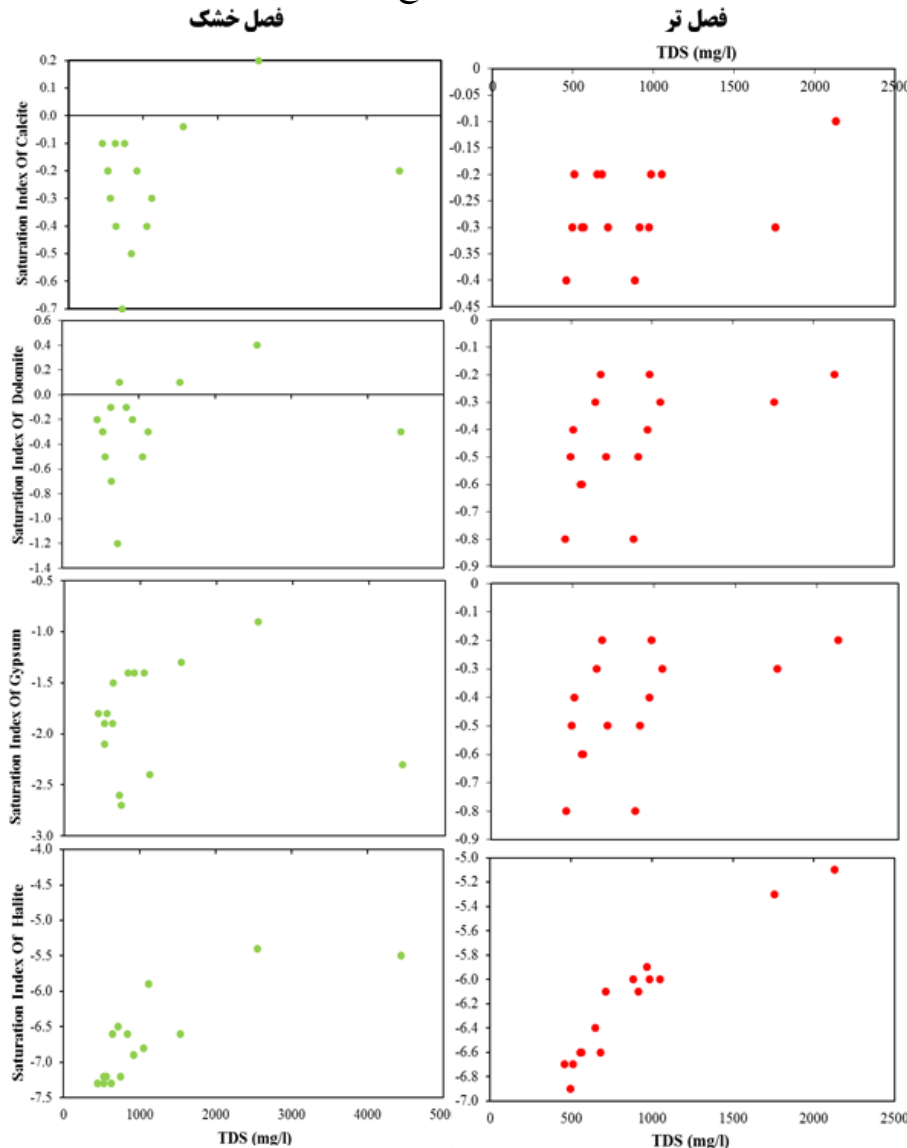
$$SI = \log\left(\frac{IAP}{K_t}\right) \quad (\text{رابطه ۱})$$

اگر میزان نمایه اشباع یک کانی بیشتر از صفر باشد حالت فوق اشباع شدگی، مساوی صفر باشد حالت تعادل و کم‌تر از صفر باشد، تحت اشباع بودن آن را در آب نشان می‌دهد. همه نمونه‌های آب دشت سملقان نسبت به کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت تحت اشباع هستند (جدول ۲). شاخص‌های اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت در برابر TDS برای کلیه نمونه‌های فصل تر و خشک (شکل ۱۱)، نشان می‌دهد که شاخص اشباع کانی‌های کلسیت و دولومیت در همه بخش‌های آبخوان نسبت به این کانی‌ها تحت اشباع هستند.

می‌گیرند که علت آن می‌تواند مسیر تکاملی هیدروژئوشیمیایی به سمت افزایش میزان کلر است.

شاخص اشباع

اشباع و یا تحت اشباع بودن آب زیرزمینی نسبت به یک کانی، به ترتیب رسوب و یا حل شدن کانی در آب، را می‌توان با محاسبه شاخص اشباع مشخص نمود (Nagarajan *et al.*, 2010). نمایه اشباع یک کانی کمیتهی است لگاریتمی و به معنای میزان انحلال آن کانی در آب بوده و از رابطه ۱ به دست می‌آید که در آن IAP قدرت یونی محصولات واکنش و K ثابت تعادل است:



شکل ۱۱: نمودارهای شاخص اشباع یونی نسبت به کلسیم، دولومیت، ژیپس و هالیت

نسبت داد. در محل تغذیه دشت رخساره سنگی سازند تیرگان و محل تخلیه دشت، رخساره‌های آبرفتی (گلی، ماسه‌ای و گراولی) گسترش دارند. علت دیگری که نمونه‌های شمال دشت نسبت به ژپیس و هالیت بیشتر تحت اشباع می‌باشند، وجود لایه‌های نازک تبخیری موجود در رسوبات نئوژن می‌باشد.

با توجه به شاخص اشباع کانی‌ها در دشت سملقان نتیجه می‌شود که در منطقه مورد مطالعه هالیت و ژپیس نسبت به کلسیت و دولومیت بیشتر مورد انحلال قرار گرفته است. علت این موضوع را می‌توان به تکامل هیدروشمیایی آب در سوی حرکت تا رسیدن به محل تخلیه که همان شمال دشت است و همچنین تغییر رخساره از محل تغذیه به تخلیه

جدول ۳: وضعیت کیفیت آب منابع آبی دشت سملقان برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت

محل	مصارف شرب	مصارف کشاورزی	مصارف صنعتی
فصل تر (فروردین ۹۳)			
شهرآباد ۱	قابل قبول	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	رسوب‌گذار
آشخانه-شهرداری	قابل قبول	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	خورنده
قاضی	قابل قبول	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	رسوب‌گذار
شهرآباد ۲	قابل قبول	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	رسوب‌گذار
شهرآباد ۳	قابل قبول	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	خورنده
قلعه خان-فخرفاطمی	قابل قبول	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	خورنده
عزیزآباد	قابل قبول	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	رسوب‌گذار
گرگی قاضی	قابل قبول	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	رسوب‌گذار
قوری میدان-هیئت واگذاری	متوسط	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	خورنده
قوری میدان ۱	متوسط	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	رسوب‌گذار
قوری میدان ۲	متوسط	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	خورنده
کریک	متوسط	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	خورنده
قوری میدان ۳	متوسط	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	رسوب‌گذار
قوری میدان ۴	نا مناسب	خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب	رسوب‌گذار
قوری میدان ۵	نا مناسب	خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب	رسوب‌گذار
فصل خشک (شهریور ۹۳)			
شهرآباد ۱	قابل قبول	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	رسوب‌گذار
آشخانه-شهرداری	قابل قبول	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	خورنده
قاضی	قابل قبول	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	رسوب‌گذار
شهرآباد ۲	قابل قبول	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	رسوب‌گذار
شهرآباد ۳	قابل قبول	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	خورنده
قلعه خان-فخرفاطمی	قابل قبول	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	خورنده
عزیزآباد	قابل قبول	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	خورنده
گرگی قاضی	متوسط	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	رسوب‌گذار
قوری میدان-هیئت واگذاری	قابل قبول	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	خورنده
قوری میدان ۱	متوسط	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	رسوب‌گذار
قوری میدان ۲	متوسط	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	رسوب‌گذار
کریک	متوسط	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	خورنده
قوری میدان ۳	متوسط	شور - قابل استفاده برای کشاورزی	رسوب‌گذار
قوری میدان ۴	کاملاً نامطوبع	خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب	رسوب‌گذار
قوری میدان ۵	نا مناسب	خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب	رسوب‌گذار

بررسی مصارف آب

نتایج بررسی منابع آبی دشت سملقان برای مصارف مختلف شرب، کشاورزی و صنعت (جدول ۳)، به ترتیب با استفاده از نمودار شولر و نمودار ویلکوکس نشان می‌دهد که منابع آب منطقه سملقان از لحاظ شرب در رده خوب تا نامطبوع، از لحاظ کشاورزی در رده مناسب تا نامناسب و از نظر صنعت در رده رسوب‌گذار و خورنده قرار می‌گیرند.

نتیجه‌گیری

بررسی زمین‌شناسی تحت‌الارضی دشت سملقان نشان می‌دهد که آبرفت در دشت سملقان، ضخامت متغیری دارد. در بخش شمالی دشت با توجه به رخنمون گسترده سنگ آهک‌های سازند تیرگان در سطح در عمق نیز قابل مشاهده می‌باشد. در بخش شرقی دشت، بر روی سازند تیرگان رسوبات نئوژن قرار دارند عمده لیتولوژی این رسوبات کنگلومرا، مارن و لایه‌های تبخیری می‌باشد. عمده چاه‌های بهره‌برداری به سبب عمق کم سطح آب زیرزمینی، در شمال دشت قرار دارد. به دلیل رخنمون سازند تیرگان در جنوب دشت کیفیت آب در این مناطق مطلوب است. در فصل خشک آب ماندگاری بیشتری دارد و زمان بیشتری درون سازند باقی می‌ماند در نتیجه میزان EC در این فصل زیاد می‌باشد در فصل تر که بارندگی رخ می‌دهد آب تازه وارد سازند می‌شود در نتیجه EC مقدار کمتری دارد. به دلیل تغییر رخساره (گلی، ماسه‌ای و گراولی) از جنوب به سمت شمال دشت از مقدار بی‌کربنات کاسته شده و به مقدار کلر، سدیم و سولفات افزوده می‌شود که به دلیل وجود رسوبات نئوژن حاوی کانی‌های تبخیری در بخش شرقی دشت و نیز رخساره آبرفتی گلی و گراولی در شمال دشت می‌باشد. تیپ آب از جنوب به سمت شمال

دشت از بی‌کربنات کلسیک و منیزیک به کلروره سدیک تغییر می‌کند. نمودارهای ترکیبی نقش سازندهای رخنمون یافته در دشت سملقان را نشان می‌دهد که این نقش توسط نمودار گیس هم تأیید می‌شود. با توجه به محاسبه شاخص اشباع کانی‌ها می‌توان گفت علت اصلی کاهش کیفیت آب در دشت سملقان انحلال کانی‌های تبخیری چون هالیت، ژپس، دولومیت از رسوبات تخریبی - تبخیری نئوژن، برگشت آب کشاورزی در نواحی با عمق کم سطح آب، برداشت زیاد آب زیرزمینی و همچنین تغییر رخساره‌رسوبی در دشت می‌باشد. از لحاظ مصارف شرب منابع آبی منطقه در رده خوب تا نامطبوع، از لحاظ کشاورزی در رده مناسب تا نامناسب و از نظر مصرف صنعتی در رده خورنده و رسوب‌گذار قرار دارد.

سپاس‌گزاری

این تحقیق با استفاده از اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی انجام شده است. بر خود لازم می‌دانیم از آقایان دکتر محمد وحیدی‌نیا، دکتر اسدالله محبوبی و دکتر محمد‌خانه‌باد، مهندس واسطه رئیس حفاظت و بهره‌برداری شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی، آقای مهندس داورپناه رئیس امور آب آشخانه، آقای مهندس کریمی رئیس بخش آرشو امور آب آشخانه و سرکار خانم مهندس بخش آبادی منشی دفتر مطالعات منابع آب، آب منطقه‌ای خراسان شمالی، از آقایان مهندس بهرامی و مهندس منیری، شرکت آبکاو شرق و آقای آبیاری حفار شرکت آبگونه یزد، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم. همچنین از زحمات آقایان مهندس محقی، سهرابی، آسمانی، اسکندری و شادمهر و همچنین خانم‌ها مهندس زندوکیلی و ولی‌زاده سپاس‌گزاریم.

منابع

- افشار حرب، ع.، ۱۳۷۳. زمین شناسی ایران: زمین شناسی کپه داغ. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۷۵ ص.
- سهیلی، م.، ۱۳۶۴. نقشه زمین شناسی کوه کورخود، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- علیزاده، الف.، ۱۳۷۸. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ بیست و هشتم. انتشارات آستان قدس رضوی، ۹۴۶ ص.
- قاسمی، ع.، لشگری پور، غ.ر.، حسنی، م.ج.، نعمت الهی، م.ج.، ۱۳۹۲. ارزیابی تأثیر سازندهای زمین شناسی بر کیفیت منابع آب حوضه آبریز شورلوک سرخس در استان خراسان رضوی. هشتمین همایش انجمن زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، صص ۱۴۰۶-۱۴۱۶.
- محمدی بهزاد، ح.ر.، رحمانی، ر.، کلانتری، ن.، چیت سازان، م. روحی، ح.، ۱۳۸۹. بررسی فرآیندهای اثرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی دشت گتوند عقیلی. نخستین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، صص ۱۷۳ تا ۱۸۴.
- محمدزاده، ح.، ۱۳۷۹. بررسی عوامل طبیعی مؤثر در کاهش کیفیت آب های زیرزمینی (بررسی موردی علل شوری آب های زیرزمینی دشت های کربال، گرگان و بیرجند). پنجمین کنفرانس بین المللی عمران.
- محمدزاده، ح.، کاظمی گلیان، ر.، ۱۳۹۵. بهره برداری آب زیرزمینی آبخوان سازندی در مسیر گسل آب بر (KNW93181). وزارت نیرو، شرکت آب منطقه ای خراسان شمالی.
- شرکت مهندسی مشاور سیمای آب خاوران. ۱۳۹۴. پروژه مطالعات شناسایی سازند سخت و کارست محدوده مطالعاتی سملقان (جلد دوم). خراسان شمالی، سازمان آب منطقه ای.
- Banoeng-Yakubo, B., Yidana, S.M., Emmanuel, N., Akabzaa, T., & Asiedu, D., 2009. Analysis of - groundwater quality using water quality index and conventional graphical methods: the Volta region, Ghana. *Environmental Earth Sciences*, 59: 867-879.
- Choi, B.Y., Yun, S.T., Kim, K.H., & Choh, S.J., 2013. Geologically controlled agricultural contamination and water-rock interaction in an alluvial aquifer: results from a hydrochemical study. *Environmental Earth Sciences*, 68: 203-217.
- Clark, I. 2015. Groundwater Geochemistry and Isotopes. *CRC Press*, Florida, 456 p.
- Elgano, L., & Kannan, R., 2007. Rock-water interaction and its control on chemical composition of groundwater. In: Sarkar, D., Datta, R., Hannigan, R., (eds.), *Developments in environmental science*, 5 (Chapter 11): 229-243.
- Hosono, T., Ikawa, R., Shimada, J., Nakano, T., Saito, M., Onodera, S., Lee, K., & Taniguchi, M., 2009. Human impacts on groundwater flow and contamination deduced by multiple isotopes in Seoul City, South Korea. *Science of The Total Environment*, 407: 3189-3197.
- Jagadeshan, G., Kalpana, L., & Elango, L., 2014. Hydrogeochemistry of high fluoride groundwater- in hard rock aquifer in a part of Dharmapuri District, Tamil Nadu, and India. *Geochemistry International*, 53: 554564

- Jalali, M., 2007. Hydrochemical identification of groundwater resources and their changes under the impacts of human activity in the Chah Basin in Western Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 130: 347–364.
- Kumar, S.K., Chandrasekar, N., Seralathan, P., Godson, P.S., & Magesh, N.S., 2012. Hydrogeochemical study of shallow carbonate aquifers, Rameswaram Island, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184: 4127-4138.
- Marie, A., & Vengosh, A., 2001. Sources of salinity in ground water from Jericho area, Jordan Valley. *Ground Water*, 39: 240-248.
- Montoroi, J.P.O., Grunberger, O., & Nasri, S., 2002. Groundwater geochemistry of a small reservoir catchment in Central Tunisia. *Applied Geochemistry*, 17: 1047-1060.
- 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: 289-308.
- Özmen, Ö., Koç, S., & Celik, M., 2011. Evaluation of Groundwater Quality and Contamination around Fluorite Mineralization, Kaman Region, Central Anatolia, Turkey. *Geochemistry International*, 2011, 49: 76–89.
- Rattan, R.K., Datta, S.P., Chhonkar, P.K., Suribabu, K., & Singh, A.K., 2005. Longterm impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater a case study. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 109: 310-322.
- Ravinkumar, P., Venkatesharaju, K., Prakash, K.L., & Somashekar, R.K., 2010. Geochemistry of groundwater and groundwater prospects evaluation, Anekal Taluk, Bangalore Urban District, Karnataka, India. Springer Science. *Environmental Monitoring and Assessment*, 179: 93-112.
- Redwan, M., Abdel Moneim, A., & Abo Amra, M., 2016. Effect of water–rock interaction-processes on the hydrogeochemistry of groundwater west of Sohag area, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, 9: 111.
- Rouabhia, A., Fehdi, Ch., Baali, F., Djabri, L., & Rouabhi, R., 2009. Impact of human activities on quality and geochemistry of groundwater in the Merdja area, Tebessa, Algeria. *Environmental Geology*, 56:1259–1268.
- Saravanan, K., Srinivasamoorthy, K., Gopinath, S., Prakash, R., & Suma, C.S., 2016. Investigation of hydrogeochemical processes and groundwater quality in Upper Vellar sub-basin Tamilnadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 9: 372.
- 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*, 29: 43-54.
- Sen, Z., 2015. Practical and applied hydrogeology. *Elsevier*, Istanbul, 424 p.
- Sharif, M.U., Davis, R.K., Steele, K.F., Kim, B., Kresse, T.M., & Fazio, J.A., 2007. Inverse geochemical modeling of groundwater evolution with emphasis on arsenic in the Mississippi River Valley alluvial aquifer, Arkansas (USA). *Journal of Hydrology*, 350: 41–55.
- Subramani, T., Elango, L., & Damodarasamy, S.R., 2005. Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use Chithar River Basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Geology*, 47: 1099-1110.
- Suma, C.S., Srinivasamoorthy, K., Saravanan, K., Faizalkhan, A., Prakash, R., & Gopinath, S., 2014. Geochemical modeling of groundwater in Chinnar River basin: a source identification perspective. *Aquatic Procedia*, 4: 986-992.

Van der Weijden, A., Fernando, A.L., & Pacheco, B., 2003. Hydrochemistry, weathering and weathering rates on Madeira Island. *Journal of Hydrology*, 283: 122-145.

Investigating of Samalqan aquifer groundwater quality base on underground variations of alluvial and rock facies

Ajam, H.R.¹, Mohammadzadeh, H.^{2*}, Karami, Q.H.³, Kazemi-Gelian R.⁴

1- M.Sc. Student of Hydrogeology, Groundwater Research Center (GRC), Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Associate Professor, Groundwater Research Center (GRC), Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Industrial University of Shahroud, Shahroud, Iran

4- Hydrogeologist, Simay-e- ab Khavaran consulting engineer Firm, Mashhad, Iran

*E-mail: mohammadzadeh@um.ac.ir

Introduction

Generally, the groundwater chemistry depends on many factors, including the quality of the recharged water, the hydrogeological conditions, water-rock interactions, human activities etc (Kumar et al., 2012). According to these processes, the chemical composition of groundwater varies with respect to space and time and the concentrations of chemical species increase in groundwater flow path (Sharif et al., 2007; Suma et al., 2014; Rattan et al., 2005). The water-rock interaction and the types of chemical reactions (dissolution, precipitation, ion exchange processes, redox etc.), which effected on groundwater quality, usually is determined in the discharge point. Based on chemical composition, the quality of groundwater is classified to drinking, industrial, and agricultural categories (Elgano and Kannan, 2007, Subramani et al., 2005). Assessing the quality of groundwater and surface water resources, especially in areas related to groundwater for drinking, is very important. Rocky and alluvial facies have different effects on the quality of water resources (Clark, 2015). Sedimentary rocks and minerals, especially minerals in evaporite formations damage the water quality (Jagadeshan et al., 201; Ozman et al., 2011; Redwan et al., 2016; Choi et al., 2013). The most important aim of this paper is to investigate the subsurface alluvial deposits and geological formations (rocky and alluvial facies) and their effect on the chemical characteristics of water and the water quality for various uses (drinking, agriculture, and industry) in Samalqan plain.

Materials and Methods

The collected drilling data of 15 exploitation wells from North Khorasan Regional Water Company, has been used for the purposes of this study. Sampling from deep wells in different parts of the plains has been done to assess the water quality in both wet and dry seasons in Year 1392-93. Arc GIS (10.1), PHREEQC 2.6, Aq.QA, Excel, and RockWorks14 software's were used to generate required maps and diagrams.

Discussion

Using the available drilling logs information in both AA' and BB' directions, the geological layers of sediments were investigated in the Samalqan plain. Based on dfistribution of coarse sediments in the North East of the plain (in AA' cross section), the water table depth increases from the northeast to the southwest. As drilling logs show, the geological facies changes in this direction and it shift from gravel in the southwest to muddy and sandy in central part of the plain and finally to gravelly in the northeastern parts of the plain. In BB' trend, along the east - west and north of the plain, the Tirgan Formation facies and the Neogene sediments have an important role in the quality of water resources. The drilling logs in this direction indicate that the gravelly sandy and muddy facies is visible and it changes from muddy to sandy and gravelly from East to West. Due to the proximity to facies changing to the limestone of Tirgan Formation, the electrical conductivity (EC) of water shows minimum values in the southern part of the plain. The abundance of cations and anions facies are like $Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+} > K^+$ and $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-}$, respectively. According to the Pie chart in both dry and wet seasons, the concentration of bicarbonate is reduced however, the concentrations of sodium, chloride, and sulfate are increase from south to the north of the plain, which is due to the existence of Neogene sediments in the eastern part of the plain and to the lack of aquifer recharge

from northern part of the plain. The groundwater equipotential map show that the direction of groundwater flow is toward northern (the output of the catchment) and the type of groundwater changes from bicarbonate to chlorine in this direction. Saturation indexes of minerals indicate more dissolution of halite and gypsum with respect to calcite and dolomite in Samalqan plain. Samalqan water resources have good to unpleasant quality for drinking, and its water is appropriate to un- appropriate in terms of agricultural usages and it is corrosive sedimentational in industry point of view.

Acknowledgement

We need to appreciate the efforts of Dr. Mohammad Vahidinia, Dr. Asadullah Mahbuobi and Dr. Mohammad Khanehbad, from Ferdowsi University of Mashhad, Mr. Davarpanah, head of Ashkhane water affairs, Mr Karimi, head of Ashkhaneh water affairs archives, Mrs. Bakhshabadi, secretary of water resources studies of North Khorasan Regional Water, Mr. Bahrami and Mr. Moniri, East Abkav company, Mr. Abyari, digger of Yazd Abgune company. As well as we thanks the efforts of Mr. Moheghi, Mr. Sohrabi, Mr. Asemani, Mr. Eskandari, Mr. Shadmehr, Mrs Zandvakili and Mrs Valizadeh.

Keywords: Alluvium facies; Underground investigation; Samalqan; Gibbs plot; Saturation Index; Composition diagram.

References

- Choi, B.Y., Yun, S.T., Kim, K.H., & Choh, S.J., 2013. Geologically controlled agricultural contamination and water–rock interaction in an alluvial aquifer: results from a hydrochemical study. *Environmental Earth Sciences*, 68: 203–217.
- Clark, I. 2015. Groundwater Geochemistry and Isotopes. *CRC Press*, Florida, 456 p.
- Elgano, L., & Kannan, R., 2007. Rock–water interaction and its control on chemical composition of groundwater. In: Sarkar, D., Datta, R., Hannigan, R., (eds.), *Developments in environmental science*, 5 (Chapter 11): 229–243.
- Jagadeshan, G., Kalpana, L., & Elango, L., 2014. Hydrogeochemistry of high fluoride groundwater- in hard rock aquifer in a part of Dharmapuri District, Tamil Nadu, and India. *Geochemistry International*, 53: 554–564
- Kumar, S.K., Chandrasekar, N., Seralathan, P., Godson, P.S., & Magesh, N.S., 2012. Hydrogeochemical study of shallow carbonate aquifers, Rameswaram Island, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184: 4127–4138.
- Özmen, Ö., Koç, S., & Celik, M., 2011. Evaluation of Groundwater Quality and Contamination around Fluorite Mineralization, Kaman Region, Central Anatolia, Turkey. *Geochemistry International*, 2011, 49: 76–89.
- Rattan, R.K., Datta, S.P., Chhonkar, P.K., Suribabu, K., & Singh, A.K., 2005. Longterm impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater a case study. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 109: 310–322.
- Redwan, M., Abdel Moneim, A., & Abo Amra, M., 2016. Effect of water–rock interaction-processes on the hydrogeochemistry of groundwater west of Sohag area, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, 9: 111.
- Sharif, M.U., Davis, R.K., Steele, K.F., Kim, B., Kresse, T.M., & Fazio, J.A., 2007. Inverse geochemical modeling of groundwater evolution with emphasis on arsenic in the Mississippi River Valley alluvial aquifer, Arkansas (USA). *Journal of Hydrology*, 350: 41–55.
- Subramani, T., Elango, L., & Damodarasamy, S.R., 2005. Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use Chithar River Basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Geology*, 47: 1099–1110.
- Suma, C.S., Srinivasamoorthy, K., Saravanan, K., Faizalkhan, A., Prakash, R., & Gopinath, S., 2014. Geochemical modeling of groundwater in Chinnar River basin: a source identification perspective. *Aquatic Procedia*, 4: 986–992.