

بررسی هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی آبخوان جنوب شرق مشکان، استان خراسان

رضوی

محمد ابراهیم فاضل ولی پور^{*}

۱-استادیارگروه زمین شناسی و مهندسی نفت، واحد مشهد، دانشگاه آزاداسلامی، مشهد، ایران،

dr.ef.valipour@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۴

چکیده

آگاهی از میزان تغییرات شیمیایی آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی آن‌ها نقش مهمی در مدیریت بهینه آب‌های زیرزمینی یک منطقه ایفا می‌کند. هدف از این مطالعه بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی جنوب مشکان در سال ۹۹ بود. جهت دستیابی به این هدف، ۱۰ نمونه آب از چاه‌های منطقه برداشت گردید. آنالیز هیدروژئوشیمیایی داده‌ها در آزمایشگاه به روش پلاسمای القایی صورت گرفت و تجزیه و تحلیل‌های آماری در محیط نرم افزارها ArcGIS, Excle, AqQA, انجام شد. به منظور تعیین منشأ یون‌ها در آبخوان مطالعه شده از نسبت‌های یونی ژئوشیمیایی و نمودارهای ترکیبی استفاده شد. نمودارهای ژئوشیمیایی ضمن تأیید فعال بودن واکنش‌های آب-سنگ در آبخوان مطالعه شده، فرآیند تبادل یونی طبیعی را در بیشتر منابع نشان دادند. بر اساس نتایج بدست آمده در تمام چاه‌ها نسبت $Ca / Ca + SO_4 < 0.5$ ، $Mg / Mg + Ca < 0.5$ ، $Cl / \text{Sum anions} > 0.8$ ، است. در اکثر چاه‌ها نسبت $Na / Cl > 1$ ، $Na / Na + Cl > 0.5$ و $SO_4 / HCO_3 < 1$ می‌باشد. در بیشتر چاه‌ها $Ca / Mg < 3$ است. با توجه به نتایج استفاده از روش کریچینگ برای پهنه‌بندی غلظت یون‌ها، غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم، سولفات و کلر در غرب و جنوب غرب و سدیم در غرب منطقه افزایش نشان می‌دهند.

کلید واژگان: مشکان، هیدروژئوشیمی، نسبت‌های یونی، نمودارهای ترکیبی.

۱-مقدمه

هیدروژئوشیمیایی هستند که ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی را کنترل می‌کنند. این فرآیندها بسته به ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی لایه‌های آبدار، به لحاظ زمانی و مکانی بسیار متفاوت‌اند (۱۹). بنابراین مطالعات هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌ها می‌تواند اطلاعات مفیدی را در زمینه تأثیر مواد متشکله آبخوان و منطقه، مسیر جریان آب، تأثیر سنگ کف، نواحی تغذیه و تخلیه، نواحی تبخیر از آب زیرزمینی و تأثیر آب‌های سطحی بر آب زیرزمینی و کیفیت آب را از لحاظ شرب، کشاورزی و صنعت در اختیار قرار می‌دهد (۶). افزایش جمعیت و بالارفتن استانداردهای زندگی در بسیاری از کشورها موجب تقاضای روز

کیفیت منابع آب تحت تأثیر شرایط محیطی و انسانی متعددی قرار دارد. توزیع مکانی کیفیت آب تا حد زیادی با ساختار منطقه در ارتباط بوده و بررسی چگونگی توزیع مقادیر متغیرها در چند سال پی در پی، روند تغییرات را روشن می‌سازد (۱۳ و ۱۸). ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی در یک منطقه متأثر از ترکیب آب‌های تغذیه‌کننده، وضعیت خشکسالی و ترسالی منطقه، ترکیب رسوبات نهشته شده و فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر لایه‌های آبداری است که در آن جریان دارد (۱ و ۶). انحلال، تبادل یونی، تبادل وارونه، تبادل آب - سنگ و رسوبگذاری از مهمترین فرآیندهای

لحاظ شرب و کشاورزی خوب تا متوسط است. صفر بیرانوند و همکاران (۷)، کیفیت آب زیرزمینی دشت لرستان را مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که تاثیر عوامل زمین شناسی بر کیفیت آب فراتر از مرز آبخوان کیفیت قرار دارد. قره محمود لو و همکاران (۸)، هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی دشت سیدان - فاروق در استان فارس را بررسی نمودند. آب از لحاظ شرب و کشاورزی مناسب بود. معتمدی و همکاران (۹) کیفیت آبخوان روئین اسفراین در استان خراسان شمالی را مطالعه نمودند. این آبخوان از لحاظ شرب و کشاورزی مناسب است. خالقی (۴)، کیفیت آب شرب منطقه هشتگرد را با استفاده از متغیرهای هیدروژئوشیمیایی بررسی نمود و آب این منطقه را از لحاظ شرب و کشاورزی مناسب توصیف نمود. هدف از پژوهش حاضر، بررسی هیدروشمی آب زیرزمینی جنوب شرق مشکان و تعیین عوامل و فرآیند غالب کنترل کننده شیمی آب زیرزمینی، بررسی تغییرات غلظت یون‌ها در آب زیرزمینی و تاثیر پذیری آن از ترکیب سنگ‌شناسی با استفاده از نسبت-های یونی و نمودارهای ترکیبی است.

۲- مواد و روش ها

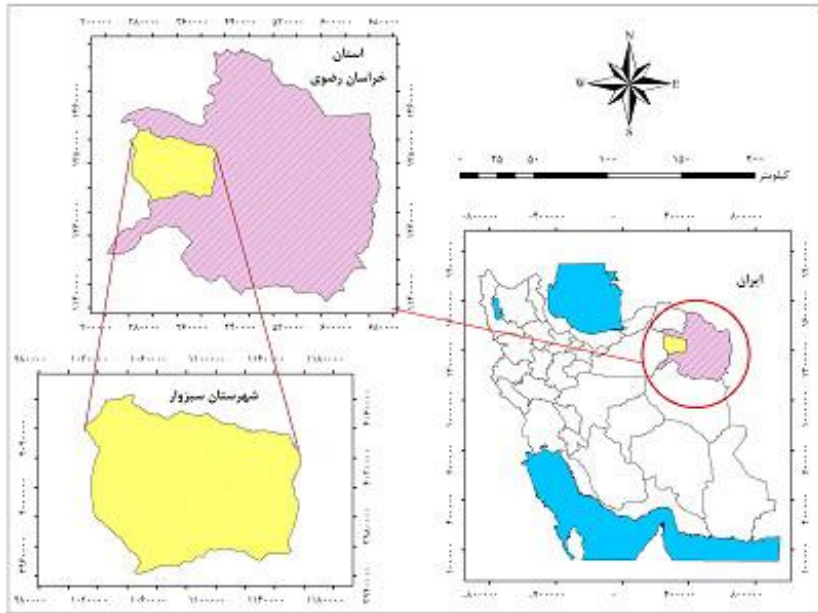
مهمترین مناطق مسکونی این محدوده محسوب می-گردند. میانگین بارندگی سالانه در منطقه ۲۷۶ میلیمتر است. بلندترین نقطه ۲۵۲۹ متر و پست‌ترین نقطه ۱۱۵۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. دارای زمستان نسبتاً سرد و تابستان معتدل تا گرم می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی و نوع لیتولوژی واحدهای سنگی متنوعی در منطقه دیده می‌شود. حجم عمده سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه، سنگ‌های آتشفشانی سنوزوئیک با سن میوسن هستند. علاوه بر سنگ‌های آتشفشانی، نهشته‌هایی می‌شوند مربوط به دوران سنوزوئیک در منطقه وجود دارد که به مجموعه‌های

افزون استفاده از آب زیرزمینی برای مصارف مختلف شهری، کشاورزی و صنعتی شده است (۱۰). بنابراین بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی به عنوان مهمترین منبع تامین کننده آب برای این مصارف اهمیت زیادی دارد. برای مطالعه ترکیب شیمیایی آب، عوامل کنترل کننده آب‌های زیرزمینی و تعیین منشأ املاح از روش-های گوناگونی در تحقیقات مختلف استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به تجزیه و تحلیل غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها، ترسیم نمودار پایپر به منظور تعیین تیپ و رخساره آب زیرزمینی، استفاده از نسبت-های یونی و نمودارهای ترکیبی اشاره نمود (۵). در خصوص بررسی کیفی آب‌های زیرزمینی و شناخت عوامل موثر بر ترکیب آب زیرزمینی پژوهش‌های فراوانی در ایران و کشورهای دیگر انجام شده است جوانبخت و همکاران (۳)، هیدروشمی آبخوان دشت جاجرمد را مطالعه نمودند و به این نتیجه رسیدند که سازندهای زمین شناسی نقش مهمی در کیفیت آب زیرزمینی داشته‌اند. ترابی و همکاران (۲)، روند تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی در بالا دست سد زاینده رود را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که به دلیل استفاده از سموم کشاورزی کیفیت آب از

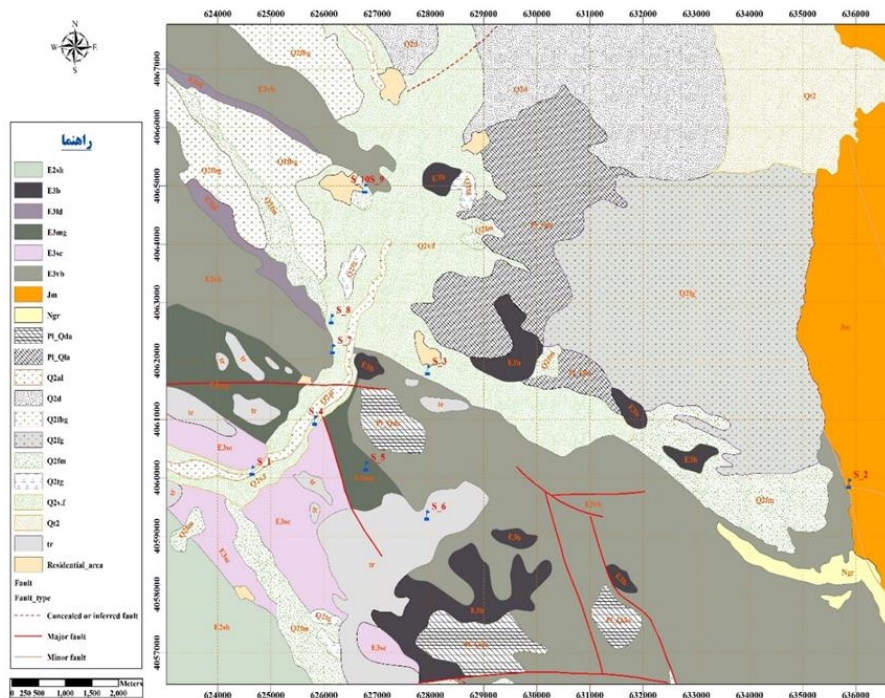
۲-۱- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مطالعه شده

منابع آب‌های زیرزمینی مورد مطالعه در منطقه‌ای کوهستانی با آب و هوای معتدل تا نیمه خشک با مختصات جغرافیایی ۵۸ درجه تا ۵۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۷ درجه عرض شمالی، در شمال شرقی شهرستان سبزوار و جنوب غربی شهرستان قوچان، در استان خراسان رضوی قراردارند (شکل ۱). جاده آسفالته سبزوار- قوچان از مهم‌ترین محورهای ارتباطی این ناحیه به شمار می-رود. روستاهای مشکان، برزنون و عبدالله گیو از

E2 و E3 تعلق دارند. (شکل ۲).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه



E2sh	شیل خاکستری، ماسه سنگ	Q2al	نهشته های عهد حاضر
E3b	الیون بازالت	Q2d	سیلت، گراول، ماسه
E3ld	آهک چرتی، دولومیت	Q2fbg	گراول عهد حاضر
E3mg	سیلت، مارن گچی، ماسه سنگ، توف	Q2fg	گراول تراس های ابرفتی
E3sc	ماسه سنگ و شیل قرمز، کنگلومرا	Q2fm	گل، سیلت، ماسه تراس های قدیمی
E3vb	بازالت اسپالیتی	Q2tg	گراول تراس های میانی
Jm	آهک و دولومیت خاکستری	Q2v.f	رس سیلتی، سیلت، ماسه
Ngr	مارن، ماسه سنگ، کنگلومرا	Qt2	تراس های ابرفتی عهد حاضر
Pl_Qda	داسیت، اندزیت	Residential_area	منطقه مسکونی
Pl_Qla	لاهار، پیروکلاستیک	Tr	تراکی اندزیت

شکل ۲. موقعیت چاه ها در نقشه زمین شناسی محدوده مطالعاتی جنوب شرق مشکان

۲-۲- روش کار

مینیزیم (Mg^{+2})، سدیم (Na^{+})، پتاسیم (K^{+}) در آزمایشگاه اندازه گیری شد (جدول ۱). نقشه های مربوط به تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در مناطق مختلف با استفاده از نرم افزار Arc Gis تهیه شده و روند تغییرات مکانی آنها در محدوده مطالعه شده تفسیر شد. برای تحلیل بهتر داده های هیدروژئوشیمیایی و نیز ترسیم نمودار پایپر از نرم افزار AqQa استفاده شد. به منظور شناسایی عوامل حاکم بر تغییر کیفیت آب زیرزمینی و نیز بررسی روابط بین متغیرها از دیاگرام گیبس، نسبت های یونی و نمودارهای ترکیبی که در محیط Excle تهیه شده بودند، استفاده گردید.

به منظور انجام پژوهش کیفی آبخوان جنوب شرق مشکان واقع در استان خراسان رضوی در شهریور ماه ۹۹ از ۱۰ حلقه چاه نمونه برداری شد (شکل ۱). در مرحله نمونه برداری، نمونه های آب در بطری هایی که قبلا اسید شویی شده و با آب مقطر شسته شده بودند، جمع آوری گردید. در هنگام نمونه برداری هر بطری چندین بار با آب چاه شست و شو داده شد. برخی از پارامترها از قبیل PH، دما و هدایت الکتریکی موقع نمونه برداری اندازه گیری شدند. پارامترهایی از جمله مواد جامد محلول، بی کربنات (HCO_3^{-})، کلرید (Cl^{-})، سولفات (SO_4^{-2})، نترات (NO_3^{-})، کلسیم (Ca^{+2})،

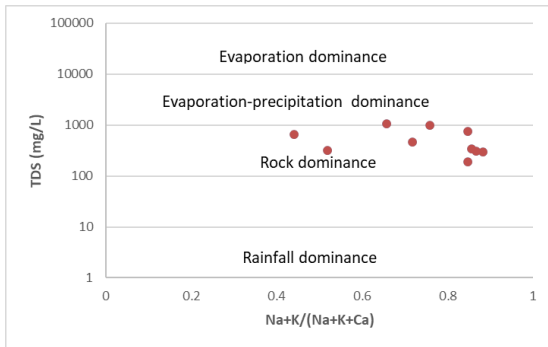
جدول ۱- نتایج پارامترهای فیزیکوشیمیایی چاه های نمونه برداری در شهریور ماه ۱۳۹۹ (غلظت آنیون ها و کاتیون ها بر حسب TDS, meq/l بر حسب mg/l و EC بر حسب میکروموس بر سانتیمتر است).

شماره چاه	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	TDS	EC	PH
۱	۲/۹۸	۱/۷۸	۴/۹۱	۰/۰۵	۳/۸۵	۲/۳۹	۲/۸۱	۱۰۸۳	۱۶۰۲	۸/۰۹
۲	۲/۴۸	۱/۳۶	۲/۲۱	۰/۰۶	۲/۸۶	۱/۴۵	۰/۹۲	۳۲۱	۴۸۲	۷/۶۶
۳	۲/۳۰	۱/۰۲	۱/۵۶	۰/۰۴	۲/۷	۱/۲۹	۰/۵۹	۶۶۶	۹۵۳	۷/۸۳
۴	۱۲/۷	۱۱/۸	۵۹/۸۲	۰/۹	۶/۵۵	۱۶/۴۵	۵۴/۹۲	۱۹۱	۲۷۳	۸/۰۷
۵	۲/۹۸	۲/۵	۸	۰/۰۹	۵/۴۱	۳/۷۵	۴/۷۳	۹۹۴	۱۱۵۰	۸/۲۱
۶	۲/۴۱	۱/۷۲	۵/۱۳	۰/۰۴	۳/۹۳	۳/۷۹	۱/۷۴	۴۷۰	۶۷۹	۸/۳۱
۷	۰/۷۳	۰/۵۳	۴/۷	۰/۰۷	۲/۷۸	۱/۲۵	۱/۲۴	۲۹۸	۴۷۹	۷/۷۰
۸	۱۰/۱۸	۱۰/۲۵	۵۲/۹۵	۰/۱۸	۶/۲۲	۲۲/۳	۳۹/۴۳	۳۴۲	۴۸۰	۷/۷۵
۹	۱/۰۴	۰/۶	۴/۹۵	۰/۰۵	۳/۱۱	۱/۶۲	۰/۸۴	۷۵۰	۵۴۸	۷/۷۷
۱۰	۰/۹۱	۰/۶۱	۵/۰۸	۰/۰۶	۳/۱۹	۱/۵۸	۱/۰۱	۳۰۶	۴۴۸	۷/۵
بیشترین	۱۲/۷	۱۱/۸	۵۹/۸۲	۰/۹	۶/۵۵	۲۲/۳	۵۴/۹۲	۱۰۸۳	۱۶۰۲	۸/۳۱
کمترین	۰/۷۳	۰/۶	۱/۵۶	۰/۰۴	۲/۷	۱/۲۵	۰/۵۹	۲۹۸	۲۷۳	۷/۵

۳- نتایج و بحث

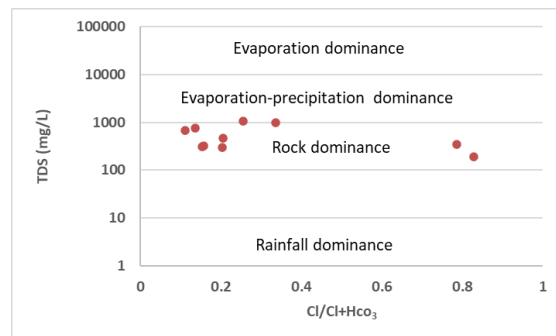
۳-۱- عوامل کنترل کننده شیمی آب زیرزمینی
به منظور تعیین وضعیت هیدرووشیمیایی آب زیرزمینی منطقه مطالعه شده از نمودارهای مواد جامد محلول

در مقابل نسبت های کاتیونی (Na+K) / (Na+K+Ca) و نسبت های آنیونی Cl/(Cl+HCO₃) استفاده شده است (شکل ۲). بر اساس نمودار گیبس، تبخیر، تبخیر- رسوبگذاری،



شکل ۲- عوامل کنترل کننده شیمی آب زیرزمینی جنوب شرق مشکان (a) بر اساس کاتیون های غالب آب زیرزمینی، (b) بر اساس آنیون های غالب آب زیرزمینی

سنگ منشأ و بارندگی از مهمترین عواملی هستند که می توانند شیمی آب را کنترل نمایند (۱۱). همان گونه که در نمودارهای گیس مشاهده می گردد، فرآیند هوازدگی سنگ ها، اثر غالب بر کیفیت آب های زیرزمینی منطقه دارد. این امر نشان دهنده تاثیر متقابل بین شیمی سنگ و شیمی آب های حاصل از بارش در منطقه است (۱۰).



این یون همچنین می تواند از طریق هوازدگی پلاژیوکلازها، کانی های رسی به آب های زیرزمینی وارد شود. تغییرات یون سدیم در منطقه بین ۱/۵۶ تا ۵۹/۸۲ میلی اکی والان گرم بر لیتر است. در بخش غربی منطقه وجود نهشته های جوان تبخیری - آواری از عوامل اصلی در افزایش یون سدیم می باشد (شکل ۳-۳c). سولفات یکی دیگر از یون های اصلی در آب است. تغییرات یون سولفات در آب های منطقه از ۱/۲۵ تا ۲۲/۲۹ میلی اکی والان گرم بر لیتر تغییر می کند. در قسمت غرب و جنوب غربی به علت وجود آبرفت های جوان دوران تبخیری - آواری دوران سوم، میزان یون سولفات افزایش یافته است (شکل ۳-۳d). منبع اصلی یون کلرید در آب زیرزمینی، سنگ های رسوبی بخصوص سنگ نمک و رسوبات رسی و شیلی می باشد. روند تغییرات یون کلر تا حد زیادی از تغییرات EC و TDS تبعیت می کند. تغییرات این

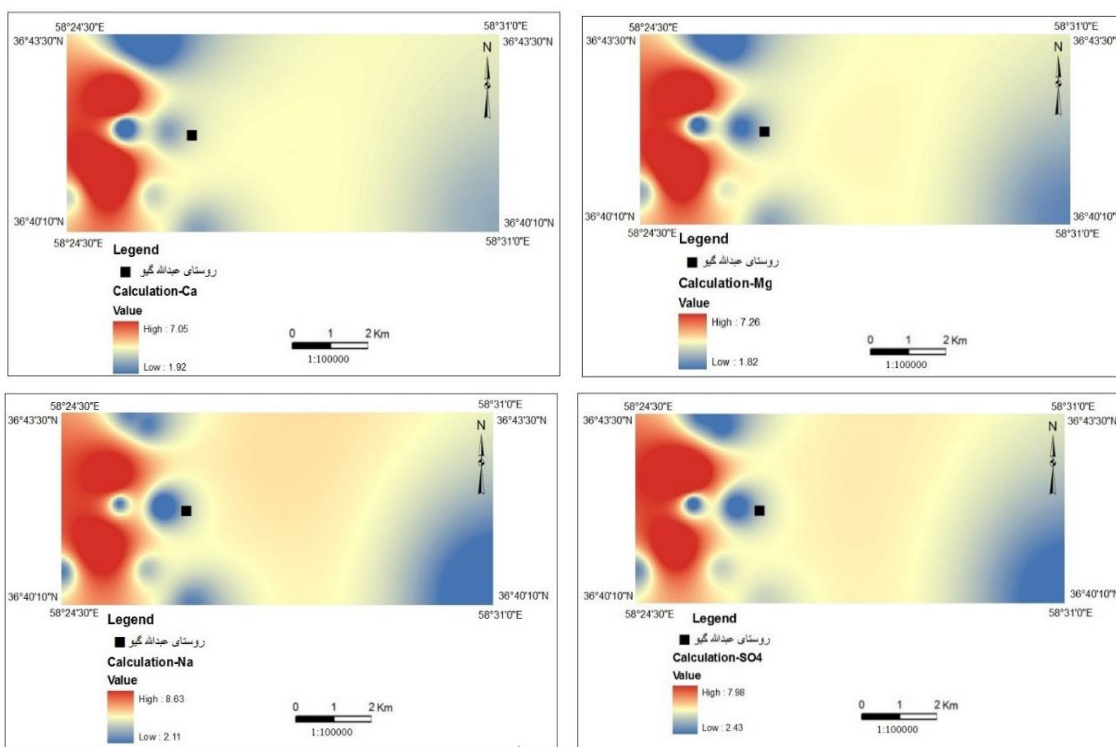
۲-۳- پهنه بندی کاتیون ها و آنیون ها
نقشه پهنه بندی غلظت یون ها با استفاده از روش کریچینگ تهیه شد. به طور کلی تغییرات یون کلسیم در منطقه ۰/۹۱ تا ۱۲/۷ میلی اکی والان گرم بر لیتر است. با توجه به نقشه پهنه بندی یون کلسیم، میزان این یون در بخش غربی و جنوب غربی منطقه به دلیل همجواری آبخوان با لایه های غنی از کلسیم که بیشتر از جنس شیل مارنی، آهک رسی و آبرفت رسی - مارنی می باشد، رو به افزایش است (شکل ۳-۳a). محدودده تغییرات یون منیزیم بین ۰/۵۳ تا ۱۱/۷۹ میلی اکی والان گرم بر لیتر می باشد. به دلیل تغذیه آبخوان توسط لایه های دولومیتی، بیشترین میزان غلظت آن همانند کلسیم در بخش غربی و جنوب غربی است (شکل ۳-۳b). انحلال هالیت مهمترین عامل در افزایش غلظت یون سدیم در آب های زیرزمینی است.

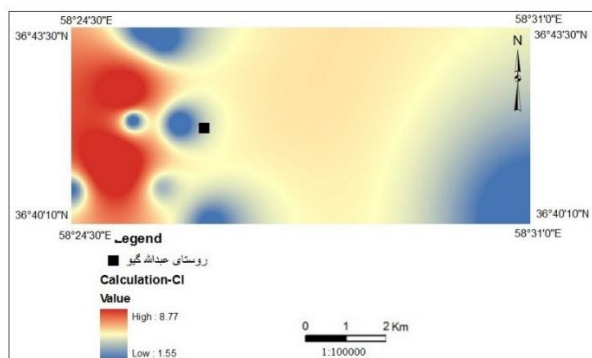
بیکربنات در دو نوع تیپ اصلی یعنی آب‌های شیرین و آب‌های ترکیبی قرار می‌گیرند (۱۶). رخساره بیکربنات سدیک و بیکربنات کلسیک به تیپ آب‌های شیرین تعلق داشته و از لحاظ سختی در رده سبک قرار می‌گیرند و قابل شرب می‌باشند. مواد جامد محلول در این نوع تیپ آب حدود ۲۱۰ تا ۷۵۵ میلی گرم بر لیتر است و مقدار بیکربنات متوسط آن بسیار بیشتر از کلرید می‌باشد. مابقی رخساره‌ها جز آب‌های ترکیبی هستند. کیفیت این نوع تیپ در مقایسه با تیپ آب شیرین بدتر است. مقدار مواد جامد محلول آب‌های ترکیبی از ۵۰۰ تا ۹۵۰ میلی گرم در لیتر تغییر می‌کند. از لحاظ سختی به آب‌های سخت تعلق داشته و مقدار بیکربنات آن‌ها مشابه آب‌های شیرین است. غلظت کلرید در آن‌ها نسبت به آب‌های شیرین افزایش می‌یابد.

یون در آب‌های منطقه از ۰/۵۹ تا ۵۴/۹۲ میلی اکی والان گرم در لیتر متغیر است. غلظت این یون نیز در حاشیه شرقی منطقه کم و به سمت غرب افزایش نشان می‌دهد. از مهمترین دلایل آن می‌توان عبور آب زیرزمینی از آهک‌های رسی و آبرفت‌های رسی - مارنی را نام برد (شکل ۳-۳e).

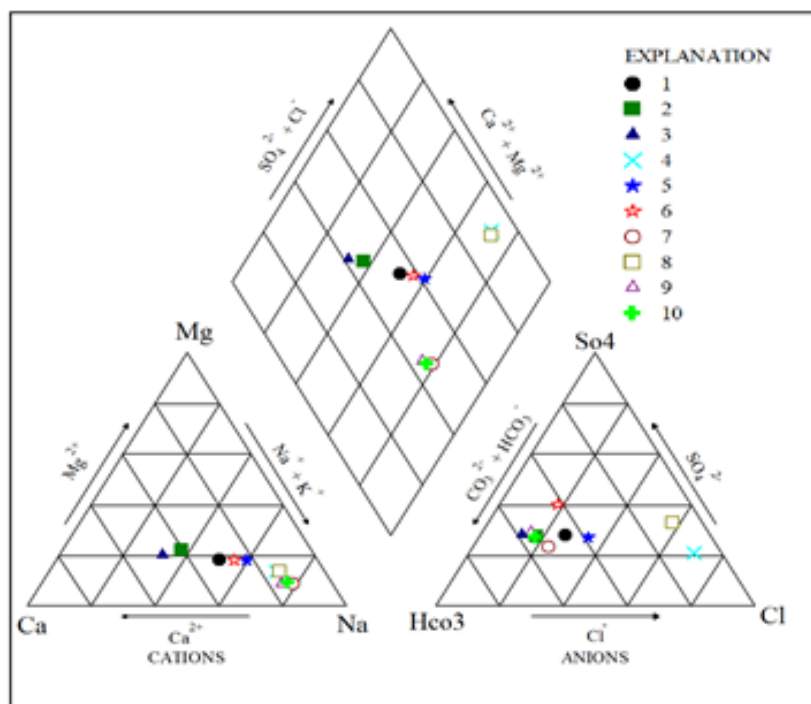
۳-۳- تیپ و رخساره هیدروژئوشیمیایی

رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی، تعیین کننده توده‌های آبی با ماهیت ژئوشیمیایی متفاوت‌اند. اساس طبقه‌بندی رخساره‌ها مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های عمده آب زیرزمینی است (۱۶). براساس نمودار پایپر (شکل ۴) آب‌های زیرزمینی منطقه سه رخساره هیدروژئوشیمیایی بیکربنات سدیک، بیکربنات کلسیک و کلرورسدیک را دارا می‌باشد. این سه رخساره بر اساس مقدار مواد جامد محلول و میزان





شکل ۳- (a) نقشه پهنه بندی غلظت عنصر کلسیم (Ca)، (b) منیزیم (Mg)، (c) سدیم (Na)، (d) سولفات، (e) کلر (Cl) در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۴- نمودار پایپر مربوط به آب زیرزمینی منطقه مطالعه شده

متأثر از ترکیب شیمیایی کانی‌های محلول در آب است و مقدار کانی انحلال یافته در درجه بعدی اهمیت قرار دارد (۸). بر اساس نتایج حاصل از محاسبه نسبت‌های یونی (جدول ۲) می‌توان این نسبت‌ها را به شرح زیر عنوان نمود:

۳-۴- تعیین منشأ املاح ورسوبات با استفاده از نسبت‌های یونی ژئوشیمیایی
 نسبت‌های یونی شاخص‌های مناسبی در ارزیابی شیمی منابع آب هستند و استفاده از آن‌ها در تعیین منشأ نمک‌ها، کمک فراوانی خواهد نمود (۱۱). در پیدایش ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، این نسبت‌ها

جدول ۲- میزان و تحلیل نسبتهای یونی چاه های نمونه برداری در محدوده مطالعه شده

شماره چاه	Na ⁺ /Cl ⁻	Na ⁺ /(Na ⁺ +Cl ⁻)	Cl ⁻ /Sum anions	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Mg ²⁺ /Mg ²⁺ +Ca ²⁺	Ca ²⁺ /Ca ²⁺ +So ₄ ²⁻	So ₄ ²⁻ /Hco ₃ ⁻
۱	۱/۳۹۵	۰/۵۸۲	۰/۱۸۷	۲/۷۸۹	۰/۲۶۳	۰/۳۴۱	۰/۴۸۹
۲	۱/۵۴۵	۰/۶۰۷	۰/۱۱۸	۳/۰۳	۰/۲۴۸	۰/۴۱۵	۰/۴۰۰
۳	۱/۷۱۴	۰/۶۳۱	۰/۰۸۴	۳/۸۹۴	۰/۲۰۴	۰/۴۳۵	۰/۳۷۵
۴	۰/۷۰۵	۰/۴۱۳	۰/۶۲۱	۱/۷۹۵	۰/۳۵۷	۰/۲۴۳	۱/۹۷۵
۵	۱/۰۹۵	۰/۵۲۲	۰/۲۴۷	۲/۹۷۶	۰/۳۳۵	۰/۲۴۸	۰/۵۴۵
۶	۱/۹۰۳	۰/۶۵۵	۰/۱۲۸	۲/۳۳۳	۰/۳۰۰	۰/۲۰۹	۰/۷۵۸
۷	۲/۴۵۴	۰/۷۱۰	۰/۱۶۰	۲/۲۸۱	۰/۳۰۴	۰/۱۹۵	۰/۳۵۲
۸	۰/۸۷۰	۰/۴۶۵	۰/۴۹۱	۱/۶۵۴	۰/۳۷۶	۰/۱۵۹	۲/۸۱۵
۹	۳/۸۰۰	۰/۷۹۱	۰/۱۰۰	۲/۸۴۹	۰/۲۵۹	۰/۲۱۰	۰/۴۱۰
۱۰	۳/۲۵	۰/۷۶۴	۰/۱۱۷	۲/۴۵۹	۰/۲۸۹	۰/۱۹۳	۰/۳۸۹

نسبت Na/Cl: مقادیر نسبت سدیم به کلر اطلاعات مفیدی در زمینه منشأ یون کلر با سدیم به دست می-دهد، به طوریکه اگر این نسبت برابر با ۱ باشد (Na=Cl)، منشأ سدیم از کانی هالیت است. در صورتی که میزان غلظت یون سدیم کمتر از کلر باشد (Na<Cl)، نشان دهنده عکس تبادلی یونی است. اگر میزان غلظت سدیم بیشتر از کلر باشد (Na>Cl)، منشأ سدیم غیر از هالیت و احتمالاً از پلاژیوکلاز آلبیت یا تبادلی یونی طبیعی است (۱۱). در بیشتر نمونه‌ها این نسبت بیشتر از ۱ است و Na>Cl بوده و نشان دهنده منشأ سدیم از تبادلی یونی طبیعی و یا پلاژیوکلاز در سنگ‌ها و رسوبات منطقه است. در نمونه‌های S4 و S8 این نسبت کمتر از ۱ می‌باشد و نشان دهنده عکس تبادلی یونی است (۱۶). (جدول ۲). نسبت Na/(Na+Cl): در صورتی که میزان این نسبت برابر با ۰/۵ باشد، نشان دهنده انحلال هالیت در آب زیرزمینی است. مقادیر بیشتر از ۰/۵ برای این نسبت، نشان دهنده افزایش غلظت سدیم و ورود آن به آب زیرزمینی از منبعی غیر از انحلال هالیت می‌باشد که این منشأ می‌تواند انحلال

پلاژیوکلاز آلبیت و یا فرآیند تبادلی کاتیونی باشد. بر اثر این فرآیند، جانشینی یون‌های دو ظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم محلول در آب زیرزمینی با سدیم موجود در رس‌ها، سبب آزاد شدن یون سدیم در آب می‌شود. در اغلب نمونه‌های آب منطقه این نسبت بیشتر از ۰/۵ می‌باشد. فقط در نمونه‌های S4 و S8 این نسبت کمتر از ۰/۵ است. این موضوع می‌تواند به دلیل وجود رس‌های غنی از کلسیم (نهشته‌های مارنی) در مسیر آب زیرزمینی از این مناطق باشد. آب زیرزمینی با شوری زیاد سبب آزاد شدن یون‌های کلسیم و منیزیم در آب و جذب سدیم توسط رس‌ها (فرآیند تبادلی یونی معکوس) می‌شود (جدول ۲). نسبت Cl/sum anions: برای تعیین منشأ کلرید در منابع آب می‌توان از این نسبت استفاده نمود. در محدوده مطالعاتی مقدار این نسبت در تمام نمونه‌ها کمتر از ۰/۸ است که نشان دهنده منشأ این یون از هوازدگی سنگ‌ها می‌باشد. با در نظر گرفتن مقدار تصحیحی و تفکیکی ۰/۵ به عنوان معیار برای این نسبت در منطقه مطالعه شده، در بخش غربی تحت

تأثیر پدیده تبخیر و نفوذ آب شور قرار گرفته است (جدول ۲).

نسبت Ca/Mg : این نسبت در شناسایی سازندهای آهکی از دولومیتی و نیز شناسایی واپاشی خاک و کاهش تدریجی عملکرد آن استفاده می‌شود. اگر این نسبت کمتر از ۱ باشد، واپاشی خاک و کاهش عملکرد آن را نشان می‌دهد. مقدار این نسبت در اغلب نمونه‌های آب منطقه بیشتر از ۱ و کمتر از ۳ است که نشان‌دهنده تغذیه آب زیرزمینی توسط سازندهای دولومیتی، دولومیت-آهک و آهک-دولومیت می‌باشد (جدول ۲).

نسبت $Mg/(Mg+Ca)$: این نسبت معرف هوازگی و انحلال سنگ‌های آهکی و دولومیتی و رسوبگذاری کلسیت است. اگر این نسبت کمتر از ۰/۵ باشد، هوازگی سنگ‌های آهکی و دولومیتی را نشان می‌دهد و اگر برابر با ۰/۵ باشد، ناشی از هوازگی سنگ‌های دولومیتی می‌باشد و اگر این نسبت بیشتر از ۰/۵ باشد، نشان‌دهنده انحلال دولومیت یا خارج شدن کلسیم بر اثر رسوبگذاری کلسیت است. در این حالت نقش هوازگی کانی‌های فرومینیزین را به عنوان منشأ غلظت‌های بالای منیزیم در آب زیرزمینی در نظر می‌گیرند (۱۱). مقدار این نسبت در محدوده مطالعاتی در تمام نمونه‌ها کمتر از ۰/۵ است و نشان‌دهنده هوازگی و انحلال سنگ‌های آهکی و دولومیتی می‌باشد (جدول ۲).

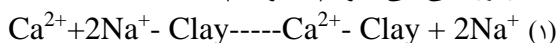
نسبت $Ca/(Ca+So_4)$: از این نسبت در تعیین منشأ کلسیم، انحلال ژپس، تعویض یونی و رسوبگذاری کلسیت استفاده می‌شود. مقدار کمتر از ۰/۵ در PH کمتر از ۵/۵، برای این نسبت، نشان‌دهنده اکسایش پیریت، مقدار کمتر از ۰/۵ برای نسبت فوق در PH خنثی، به دلیل کاهش غلظت یون کلسیم بر اثر فرآیند تبادل یونی یا رسوب کلسیت است و نسبت بیشتر از

۰/۵ نشان‌دهنده انحلال ژپس می‌باشد. محاسبه این نسبت نشان داد که منشأ یون کلسیم در تمام نمونه‌ها کمتر از ۰/۵ است و نشان‌دهنده حذف کلسیم بر اثر تبادل یونی یا ته‌نشینی کلسیت است (جدول ۲).

نسبت So_4/Hco_3 : با استفاده از این نسبت می‌توان به منشأ کربناته یا سولفات آب پی برد. اگر این نسبت کمتر از ۱ باشد، آب منشأ کربناته دارد و اگر این نسبت بیشتر از ۱ باشد، آب منشأ سولفات خواهد داشت. به جز نمونه‌های S4 و S8 که تغذیه آب از رسوبات تبخیری-آواری و آب‌رفت‌های جوان صورت می‌گیرد، در سایر نمونه‌ها مقدار این نسبت در آب‌های منطقه کمتر از ۱ می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که ترکیبات کربناته نسبت به ترکیبات سولفات تأثیر بیشتری بر کیفیت کل آبخوان دارند (جدول ۲).

۵-۳- فرآیند تبادل یونی و عکس تبادل یونی آبخوان

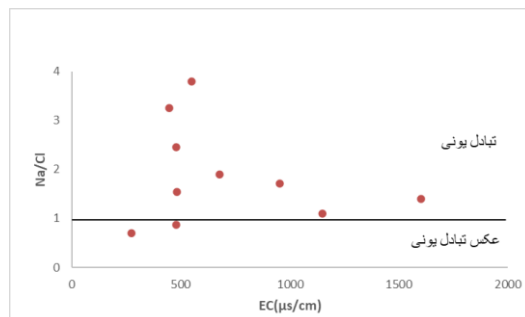
فرآیندهای تبادل یونی در مکان‌هایی بوجود می‌آیند که کانی رسی غنی از سدیم از قبیل مونیومیت مورینونیت بر اساس رابطه (۱) با کلسیم و منیزیم موجود در آب زیرزمینی واکنش داده و سبب ورود سدیم به آب زیرزمینی می‌شود (۱۱ و ۱۷).



از این رو می‌توان تبادل یونی برای سدیم را از عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی دانست. برای تشخیص فرآیند تبادل یونی و عکس تبادل یونی از نمودارهای ترکیبی استفاده می‌شود. در نمودار دو متغیره EC به $Na^+ + Cl^-$ ، نمونه‌هایی که در بالای خط $Na^+ / Cl^- = 1$ قرار دارد تحت تأثیر فرآیند یونی طبیعی هستند و منشأ دوگانه از سازندهای زمین-شناسی (رسوبات رسی) و نفوذ آب

نمودارهای ترکیبی یا دو متغیره استفاده می‌شود (۱۲) و (۱۴). مباحث تکمیلی این نمودارها و انواع الگوهای تشکیل یافته در آن توسط مازور (۱۵) ارائه شده است. نمودارهای دو متغیره کل یون‌های محلول در مقابل سایر یون‌های عمده برای آبخوان منطقه مورد مطالعه در شکل (۶) نشان داده شده است. از آنجا که در هیچ یک از نمودارهای ترکیبی الگوی خطی دیده نمی‌شود و پراکندگی نمونه‌ها بیشتر در دو منطقه است، می‌توان نتیجه گرفت که حداقل دو منبع تغذیه کننده در سفره وجود دارد. با توجه به وجود سنگ‌های آهکی در منطقه منبع نخست می‌تواند تغذیه آبخوان توسط این تشکیلات باشد. منبع دوم را که فقط دو نمونه در آن جای دارد و میزان کل یون‌های محلول در آنها زیاد است می‌توان به تغذیه آبخوان توسط نهشته‌های مارنی - رسی و تبخیری - آواری مربوط دانست.

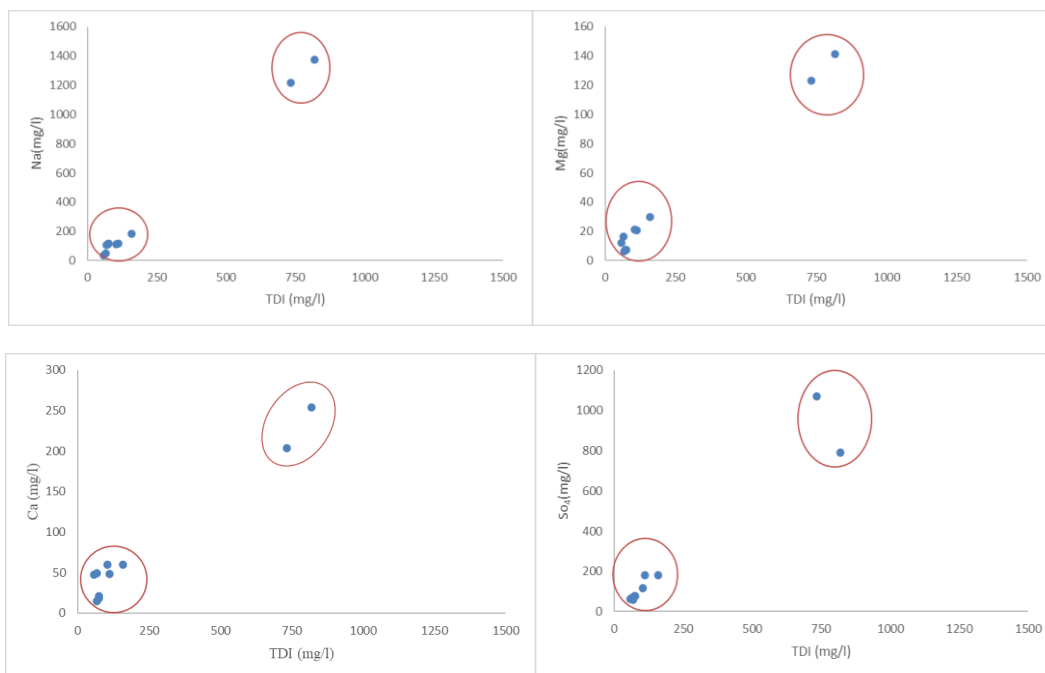
شور دارند (شکل ۵). در محدوده مطالعه شده به جز دو نمونه، سایر نمونه‌ها تحت تاثیر فرآیندهای تبادل یونی طبیعی قرار دارند.

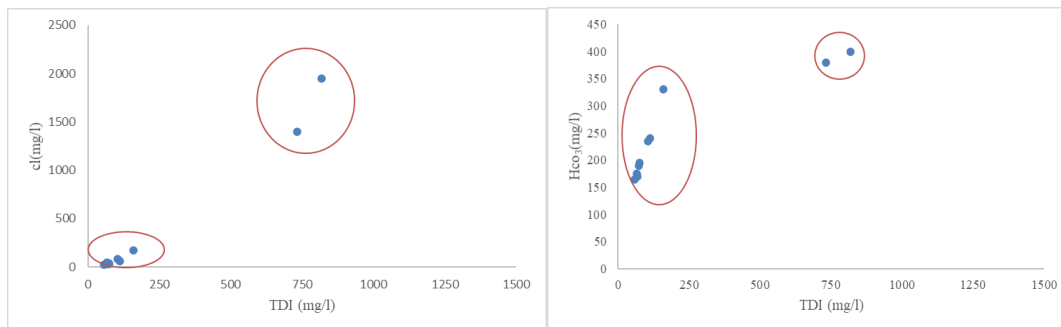


شکل ۵- نمودار فرآیند تبادل یونی و عکس تبادل یونی در منطقه مطالعه شده

۳-۶- نمودارهای ترکیبی

در مطالعات هیدروژئوشیمی برای تشخیص نوع فرآیندهای شیمیایی و تعیین منشأ و اختلاط آب‌ها از





شکل ۶- نمودار ترکیبی بین یون‌های اصلی و کل یون‌های محلول (TDI) در منطقه مطالعه شده

تبادل کاتیونی می‌باشد. در منطقه مطالعه شده مقدار نسبت یون Cl به مجموع آنیون‌ها در تمامی چاه‌ها کمتر از ۰/۸ است و غالب بودن فرآیند هوازدگی را در سنگ‌ها نشان می‌دهد.

میزان نسبت $Mg/Mg+Ca$ در آبخوان مطالعه‌شده در تمامی نمونه‌ها کمتر از ۰/۵ است و هوازدگی سنگ‌های آهکی و دولومیتی را نشان می‌دهد. مقدار نسبت Ca/Mg در اکثر نمونه‌ها بیشتر از یک و کمتر از ۳ است و نشان‌دهنده تغذیه آب زیرزمینی توسط سازندهای دولومیتی، دولومیت-آهکی و آهک-دولومیتی می‌باشد. براساس نمودارهای دو متغیره غیر از دو نمونه، سایر نمونه‌ها تحت تاثیر فرآیندهای تبادل یونی طبیعی قرار گرفته‌اند. با توجه به نمودارهای ترکیبی بین یون‌های اصلی و TDI حداقل دو منبع تغذیه کننده در سفره وجود دارد. منبع نخست می‌تواند تغذیه آبخوان توسط تشکیلات آهکی و منبع دیگر را می‌توان به تغذیه آبخوان توسط تشکیلات رسی و مارنی و نیز نهشته‌های تبخیری-آواری جوان مربوط دانست که بیشتر در غرب منطقه گسترش دارند.

۴- نتیجه گیری

پژوهش حاضر به بررسی فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی و تاثیر سازندهای زمین شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان جنوب شرق مشکان واقع در استان خراسان رضوی پرداخته است. وضعیت هیدروژئوشیمیایی آب‌های منطقه نشان دهنده تاثیر بیشتر تشکیلات کربناته بر روی محتوی ژئوشیمیایی آب‌ها داشته است. براساس نمودار گیس، واکنش آب - سنگ عامل اصلی در تغییر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی منطقه است. گرچه در چاه‌های S4 و S8 تبخیر- ته نشینی تاثیر زیادی در تغییر ترکیب شیمیایی این دوچاه دارد. از آنجا که نسبت $Ca/Ca+So4$ در تمامی نمونه‌ها کمتر از ۰/۵ می‌باشد، حاکی از حذف کلسیم بر اثر تبادل یونی یا ته نشینی کلسیت است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در بیشتر نمونه‌ها نسبت $Na/Na + Cl$ بیشتر از ۰/۵ است. این امر نشان دهنده افزایش غلظت سدیم و ورود آن به آب زیرزمینی از منبعی غیر از انحلال هالیت از قبیل انحلال پلاژیوکلاز آلبیت و یا فرآیند

۶- مراجع

۱. تاجبخشیان، م.، محمودی قرایی، م. ح.، محبوبی، ا.، موسوی حرمی، س. ر.، (۱۳۹۹)، مطالعه خوردگی و رسوبگذاری منابع آب و پساب پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد، مجله محیط زیست و مهندسی آب، ۱(۶) ۳۰-۱۳.
۲. ترابی پوده، ح.، یونسی، ح.، آزاده، ا.، (۱۳۹۹)، بررسی روند تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی و ارزیابی شاخص IRWQIGC در بالا دست سد زاینده رود، مجله علوم آب و خاک، ۲۴(۲)، ۲۷-۴۰.
۳. جوانبخت، م.، اسدی، و.، دبیری، ر.، (۱۳۹۹)، ارزیابی ویژگی های هیدروژئوشیمیایی و روند تکامل آبهای زیرزمینی دشت جازم شمال شرق ایران مجله محیط زیست و مهندسی آب، ۳(۶)، ۲۱۸-۲۰۶.
۴. خالقی، ف.، (۱۳۹۹)، ارزیابی کیفیت آب شرب منطقه هشترود با استفاده از متغیرهای هیدرووشیمیایی و نگرش زیست محیطی، فصلنامه زمین شناسی محیط زیست، ۵۱(۱۴)، ۴۵-۵۶.
۵. دولتی، ج.، لشکری پور، غ.، حافظی مقدس، ن.، (۱۳۹۳)، بررسی عوامل موثر بر هیدروژئوشیمی آبخوان زاهدان با استفاده از روش های تحلیل عاملی، نمایه های اشباع و نمودارهای ترکیبی، مجله آب و خاک، ۴(۲۸) ۶۷۹-۶۹۴.
۶. رضایی، م.، (۱۳۹۰)، مطالعه عوامل کنترل کننده شوری در آبخوان آبرفتی دشت مند، استان بوشهر، مجله محیط شناسی، ۵۸(۳۷)، ۱۰۵-۱۱۶.
۷. صفریبرائوند، م.، امانی پور، ح.، بطالب لوئی، ص.، غانمی، ک.، ابراهیمی، ب.، (۱۳۹۸). بررسی آب زمین شیمی منابع آب زیرزمینی دشت مرکزی لرستان، مجله مهندسی منابع آب، ۱۲۶۰-۵۱.
۸. قره محمودلو، م.، حشمت پور، ع.، جندقی، ن.، زارع، ع.، مهرابی، ح.، (۱۳۹۷)، بررسی هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی دشت سیدان - فاروق استان فارس، مجله اکوهیدرولوژی، ۴(۵۹)، ۱۲۴۱-۱۲۵۳.
۹. معتمدی راد، م.، گلی مختاری، ل.، بهرامی، ش.، زنگنه اسدی، م. ع.، (۱۴۰۰)، ارزیابی کیفیت منابع آبی از نظر شرب، کشاورزی و صنعت در آبخوان کارستی روئین اسفراین استان خراسان شمالی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۶۲(۲۱)، ۷۳-۹۳.
۱۰. تخی، م.، ودیعی، م.، صابری نصر، ا.، (۱۳۹۰)، ارزیابی تحولات هیدروژئوشیمیایی دشت تربت حیدریه، پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ۵ صفحه.
11. Gibbs, R.J., (1970), Mechanism controlling world water chemistry. Science, 170: 1088- 1090.
12. Honslow, A., (1995), Water quality data: analysis and interpretation. CRC Press.
13. Kim, J., Kim, B.W., Kwon, J.S and Koh, Yk., (2015), Geochemical evolution of mixing zone with freshwater and seawater near the coast area during underground space construction. Journal of Soil and Groundwater Environment., 20(7): 90-10۲
14. Koponen, S., Pulliainen, J., Kallio, K and Hallikainen, M., (2002), Lake water quality classification with airborne hyperspectral spectrometer and simulated MERIS data. Remote Sens. Environ. 79: 51-59.
15. Mazor, E., (1991), Applied chemical and isotopic groundwater hydrology. John Wiley & Sons, New York.

16. Nwankwoala, HO and Udom, GJ. (2011), Hydrochemical facies and ionic ratios of groundwater in Port Harcourt, Southern Nigeria. *Research Journal of Chemical Sciences*, 1(3): 87-101.
17. Sikdar, PK., Sarkar, SS and palchoudhury S., (2001), Geochemical evolution of groundwater in the Quaternary aquifer of Calcutta and Howrah, India. *Journal of Asian Earth Science*, 19: 579-594.
18. Yang, Q., Li, Z., Ma, H., Wang, L and Martin., (2016), JD. Identification of the hydrogeochemical processes and assessment of groundwater quality using classic integrated geochemical methods in the Southeastern part of Ordos basin, China. *Environmental Pollution*, 218: 879-888.
19. Zhao, C., Qiao, X., Shao, Q., Hassan, M., Ma, Z and Yao, L., (2020) Synergistic effect of hydrogen peroxide and ammonia on lignin. *Indust. Crops Product*, 146: 112-177.
- 20.

Hydrogeochemical study of groundwater in the southeast of Mashkan aquifer, Khorasan Razavi province

Mohammad Ebrahim Fazel Valipour^{1*}

1-Mohammad Ebrahim Fazel Valipour, Assistant professor, Department of Geology and Petroleum Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran dr.ef.valipour@gmail.com.

Abstract

Understanding chemical changes in groundwater and their mapping play a substantial role in optimal management of groundwater in an area. The aim of this study was to investigate hydrogeochemical characteristics of groundwater resources of south Mashkan in 2020. To achieve this goal, 10 water samples were taken from the region wells. The hydrogeochemical analysis was carried out in the laboratory through induction plasma method and statistical analysis were performed in ArcGis, AqQA and Excle software environment. Geochemical ion ratios were used to determine the source of ions and combination diagram in the studied aquifer. Geochemical diagram confirmed the activity of water- rock reactions in the studied aquifer and showed the natural ion exchange process in most resources. Based on the results obtained in all wells, the ratio is $Cl/Sum\ anions > 0.8$, $Mg/Mg+Ca < 0.5$, $Ca/Ca+So_4 < 0.5$. In most wells, the ratio is $Na/Cl > 1$, $Na/Na+Cl > 0.5$, and $So_4/Hco_3 < 1$. In most wells, is $1 < Ca/Mg < 3$ According to the results of using Kriging sulfur method zoning the concentration of ions, the concentration of calcium, magnesium, and chlorin ions increase in the west and southwest and sodium in the west of the region.

Keywords: *Mashkan, Hydrogeochemical, Ions ratios, Combination diagrams*