

ارزیابی اختلاط منابع آبی آبخوان‌های کارستی، مطالعه موردی چشمه کارستی گرو واقع در شرق خوزستان

منوچهر چیت‌سازان

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

سحر شاجری

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

سید یحیی میرزایی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

سید طارق عبودی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۶/۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۴/۱۱

chitsazan_m@scu.ac.ir

چکیده

اختلاط یکی از عوامل مهم در تغییر کیفیت منابع آب زیرزمینی به شمار می‌رود. در پهنه زاگرس وجود مؤلفه‌های مختلفی چون شورابه‌های نفتی، آب‌های متأثر از سازندهای تبخیری همچون گچساران سبب شده است که فرآیند اختلاط نقشی اساسی در کیفیت این منابع آبی داشته باشد. چشمه گرو در محدوده مسجده سلیمان می‌تواند شاخصی برای بررسی مکانیسم اختلاط منابع آب زیرزمینی در پهنه زاگرس باشد. تخلیه بخش عمده‌ای از آلودگی‌های آسماری از این چشمه صورت می‌گیرد، ولی متأسفانه به دلیل اختلاط با آب شور در دماغه شمال غربی آلودگی‌های آسماری باعث زوال کیفیت این منبع عظیم آب شیرین منطقه گردیده است. در این تحقیق سعی شده است تا با مطالعات هیدروشیمیایی و استفاده از روش‌ها و نمودارهای ترکیبی هیدروژئوشیمیایی، اختلاط آب‌های شور و شیرین بررسی گردد. نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر اصلی از ۲۰ نمونه آب سطحی و زیرزمینی و ۱۰ نمونه تعیین TOC مورد بررسی قرار گرفت. نسبت Br/Cl و دیاگرام‌های ترکیبی که وجود روند خطی واضحی را بین عناصر سدیم و کلر نشان می‌دهند حاکی از اختلاط آب شیرین و شور می‌باشد. همچنین مقادیر TOC نشان‌دهنده آلودگی چشمه شور کارستی گرو به مواد آلی می‌باشد. نتایج استفاده از نرم‌افزار Phreeqc برای تعیین درصد اختلاط در منطقه نشان می‌دهد که دلایل شوری در آبخوان آلودگی‌های آسماری و چشمه شور کارستی گرو مختلف بوده، و شامل انحلال سازند تبخیری گچساران و شورابه میادین نفتی در منطقه می‌باشد. علت اصلی شوری چشمه کارستی گرو و آبخوان کارستی آسماری در فصل مرطوب ورود حجم بالای آب رودخانه شور تمبی و در فصل خشک اختلاط با شورابه نفتی می‌باشد.

کلمات کلیدی: منشأ شوری، چشمه گرو، شورابه نفتی، سازند گچساران

مقدمه

آنکه همانند کلر در واکنش‌ها شرکت نمی‌کند و اختلاف زیادی بین نسبت وزنی Br/Cl در شورابه‌های هالیتی و نفتی وجود دارد، برای تعیین ماهیت آب‌شور حوزه نفتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Freeman, 2007). این مواد نه تنها برای تشخیص منشأ مختلف شوری بلکه برای تخمین نسبت اختلاط نیز قابل استفاده می‌باشند. TOC (Total Organic Carbon) شاخصی برای آلودگی آب‌های زیرزمینی با ترکیبات آلی می‌باشد. آلودگی آب‌های زیرزمینی به شورابه‌های نفتی سبب افزایش بیش از ۲ میلی‌گرم بر لیتر TOC در آب زیرزمینی می‌گردد.

محققان زیادی در زمینه بررسی منشأ شوری آب زیرزمینی به مطالعه و بررسی پرداخته‌اند که می‌توان به مطالعات منشأ شوری آب زیرزمینی دشت شاهرخت (نخعی و همکاران، ۱۳۸۸)، تشخیص منشأ شوری آب زیرزمینی با

یکی از مهم‌ترین مشکلات موجود در ایران، شوری منابع آب‌و خاک است، از آنجاکه آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب شیرین محسوب می‌شود لذا شناسایی منابع مختلف شوری آب امری ضروری و غیرقابل اجتناب می‌باشد. منابع شوری آب زیرزمینی به عوامل متعددی از جمله اختلاط با آبی باکیفیت پایین، آلودگی نفتی، نفوذ آب دریا، انحلال کانی‌های تبخیری بستگی دارد. هر یک از این موارد ذکر شده دارای معرفه‌هایی جهت تفکیک و شناسایی هستند. نسبت مولی ترکیبات شیمیایی اصلی مانند نسبت Mg/Cl و Ca/Cl ، Na/Cl می‌توانند برای تمایز یک‌روند تبخیری (با شیب ۱:۱) از یک‌روند مخلوط (که عموماً دارای شیب ۱:۱ نیست) استفاده شوند. ید و برم از عناصر مهم شورابه‌های نفتی هستند. برم به دلیل

زاگرس چین خورده است که در بخش فروافتادگی دزفول قرار گرفته است. تاقدیس دو سو مایل آسماری، با رخنمون بسیار گسترده آهک‌های سازند آسماری، به صورت رشته کوه مرتفعی در قسمت شرق دشت گلگیر قرار دارد (شکل ۱). سازند پابده با سن ائوسن-الیگوسن قدیمی‌ترین سازندی است که در منطقه رخنمون دارد و بر روی آن، به ترتیب سازند آهکی آسماری، سازند گچی و مارنی گچساران، سازند آهکی-مارنی میشان، سازند ماسه‌سنگی-مارنی آغاجری همراه با بخش لهبری، سازند کنگلومرایی بختیاری و در نهایت نهشته‌های کواترنری قرار می‌گیرند.

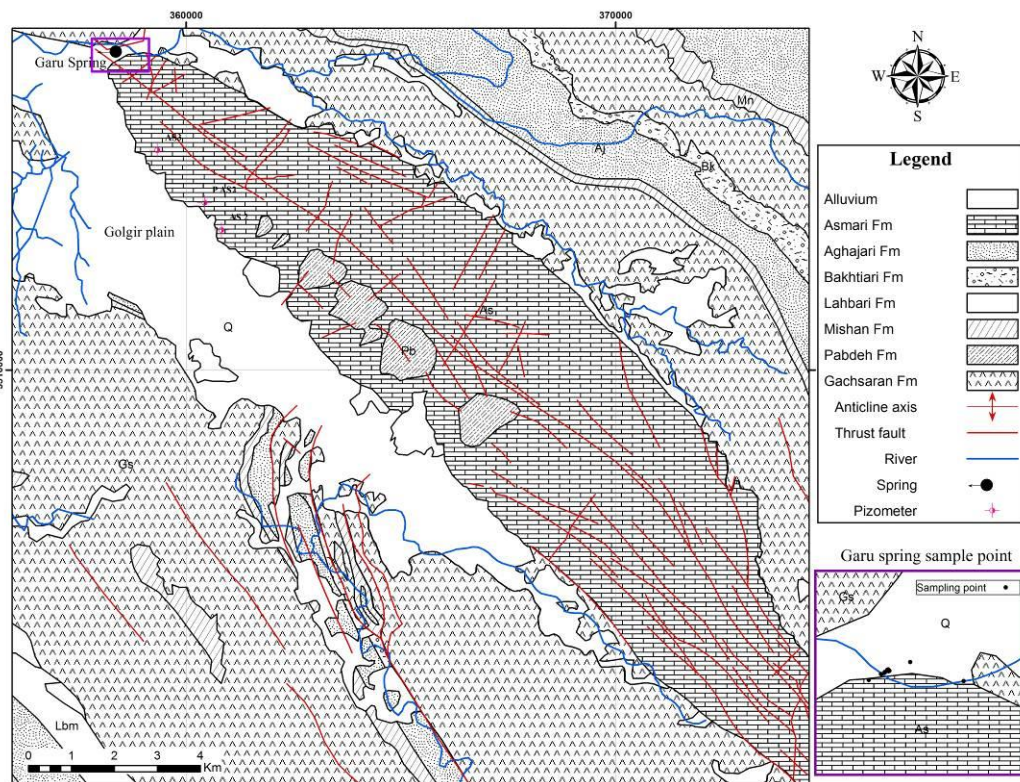
تاقدیس آسماری یک تاقدیس نامتقارن است که بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، دو سیستم آبخوان بیکرناتنه کلسیک کم‌عمق و کلروره سدیک عمقی برای آن در نظر گرفته شده است (ناصری و علیجانی، ۱۳۸۴). در منطقه آسماری برون زد سازند آسماری بدون پوش سنگ سازند گچساران در محدوده تاقدیس، پتانسیل این بیرون زده آهکی را برای تبدیل شدن به یک مخزن نفتی را گرفته و آهک در تماس با بارش‌های منطقه تبدیل به یک مخزن ذخیره آب شده است. طبق بررسی‌های انجام‌شده تغذیه آبخوان کارستی آسماری از طریق آب حاصل از بارندگی و نفوذ آب از آبخوان‌های سازند گچساران مجاور، تحت سیستم نابرجا روی می‌دهد (زرآسوندی و میرزایی، ۱۳۸۷). خروجی اصلی این آبخوان توسط چشمه گرو واقع در دماغه شمال غربی آن صورت می‌گیرد. خروج لکه‌های نفت و گاز سولفید هیدروژن محلول در این چشمه مشاهده می‌شود.

استفاده از تکنیک‌های ژئوشیمیایی (Richter and Kreitler, 1991) و تشخیص منشأ شوری با استفاده از تکنیک‌های هیدرو شیمیایی و ایزوتوپی در گنبد نمکی کنار سیاه (Zarei et al., 2012) همچنین آلودگی شورابه نفتی حوضه رودخانه گرین واقع در کنتاکی، با افزایش میزان کلر پس‌زمینه از کمتر از ۱۰ به بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌توان اشاره کرد (Krieger and Hendrickson, 1960).

چشمه شور گوگردی گرو گلگیر با دبی ۴۰۰ لیتر بر ثانیه در حاشیه زاگرس، جنوب شرقی شهر مسجدسلیمان واقع شده است. با توجه به وضعیت عمومی منطقه و شواهد موجود در مشاهدات زمینی دو عامل اصلی می‌تواند باعث کاهش کیفیت و شوری شدید آب چشمه گرو گردد، این منابع عبارتند از: انحلال سازند گچساران (میان لایه‌های هالیتی و ژپسی) در مجاورت سازند آسماری و اختلاط شورابه‌های عمیق نفتی. در این مقاله سعی گردیده تا با استفاده از مطالعات هیدرو شیمیایی، ترسیم دیاگرام‌های ترکیبی دو متغیره و بررسی میزان آلودگی آب زیرزمینی منطقه به ترکیبات آلی، منابع مختلف شوری در چشمه گرو و پیرومترهای تاقدیس کارستی آسماری شناسایی گردد.

زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی منطقه

منطقه گلگیر با مساحتی ۱۷۰ کیلومتر مربع، بین طول جغرافیایی ۲۰" ۴۳' تا ۲۰" ۴۹' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸' ۳۱" تا ۳۱' ۱۷" شمالی، جنوب شرق مسجدسلیمان، شمال شرق اهواز و در حوضه کارون میانی واقع شده است. این منطقه از نظر جایگاه زمین‌شناسی بخشی از



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی روند تکاملی آب و تشخیص فرایندهای مؤثر بر شوری آبخوان تاقدیس آسماری و چشمه گرو، از نتایج آنالیز شیمیایی ۱۸ نمونه آب دهانه‌های مختلف چشمه گرو و پیژومترهای تاقدیس آسماری در دو فصل مرطوب و خشک جهت آنالیز عناصر اصلی و برم و ۱۰ نمونه جهت آنالیز TOC استفاده گردید. نمونه‌های آب در بطری‌های پلی‌اتیلنی به حجم ml ۲۵۰ که قبلاً توسط اسید نیتریک ۵٪ و آب دو بار تقطیر کاملاً تمیز شده بودند نگهداری و برای تثبیت کاتیون‌ها از اسید نیتریک ۶۵٪ استفاده شد. نمونه‌ها تا زمان آنالیز در دمای °C ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. میزان هدایت الکتریکی (EC)، pH و دمای آب با استفاده از دستگاه Hach HQ40 در محل اندازه‌گیری شد. میزان کاتیون‌ها و آنیون‌ها نیز با روش یون کروماتوگرافی، بیکربنات نیز به روش تیتراسیون پتانسیومتری، برم به روش اسپکتوفتومتر در آزمایشگاه آب دانشگاه شهید چمران اندازه‌گیری گردید، قبل از آنالیز، نمونه‌های آب توسط کاغذ صافی ۴۵µm فیلتر شد. میزان TOC نیز توسط دستگاه Shimadzu-v-csh در سازمان محیط‌زیست کل استان خوزستان اندازه‌گیری شد. درصد خطای واکنش نمونه‌های آنالیز شده، کمتر از ۵٪ بوده است. مشخصه آماری نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه در (جدول ۱) نشان داده شده است.

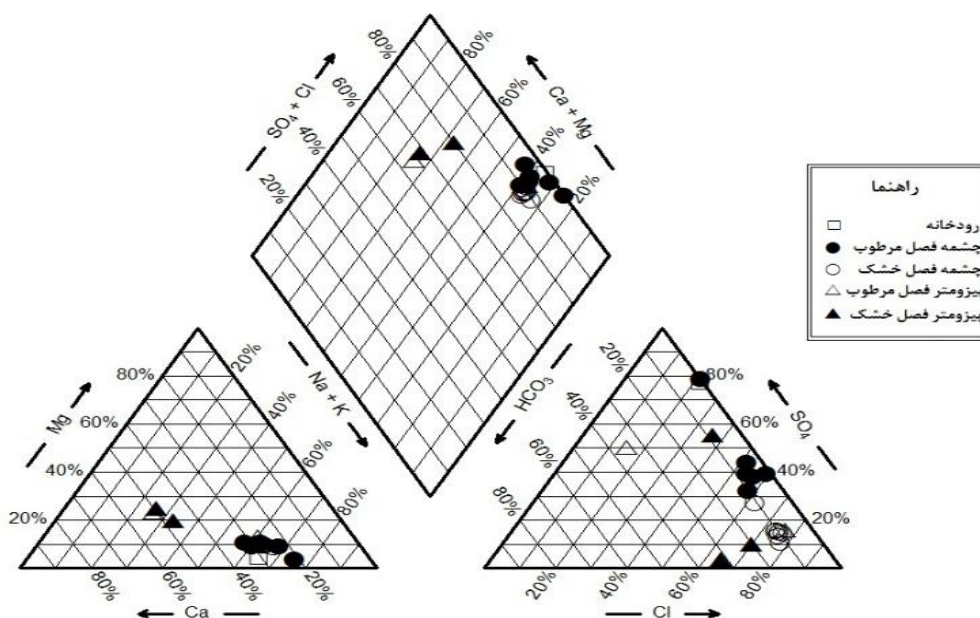
نتایج و بحث

به منظور بررسی اختلاط شورابه میادین نفتی و آب شیرین، نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه با استفاده از نرم‌افزار RockWare AqQa ترسیم گردید (شکل ۲). نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه

نشان‌دهنده آن است که تیپ آب‌های چشمه شور گوگردی گرو در هر دو فصل، کلروره سدیک و پیژومتر AS2 و AS3 در فصل مرطوب به ترتیب سولفات کلسیک، کلروره سدیک و در فصل خشک کلروره کلسیک و سولفات سدیک می‌باشد. به لحاظ هیدروژئوشیمیایی رخساره کلروره سدیک در ارتباط با انحلال کانی تبخیری هالیت می‌باشد، البته در چشمه مورد مطالعه، نفت و شورابه نفتی شیمی آب‌ها را نیز تحت تأثیر قرار داده است؛ با این وجود در چشمه مورد مطالعه انحلال هالیت نیز رخ می‌دهد که می‌توان آن را به انحلال هالیت موجود در سازند گچساران که بیشترین رخنمون را در منطقه دارد، نسبت داد. همچنین با توجه به میزان بالای سولفات، انحلال ژپس و انیدریت نیز صورت می‌گیرد. میزان کلر در پیژومترهای EXP-AS2 و P-AS2 کمتر از ۴۰۰ میلی‌گرم است، بنابراین جزء آب‌های شیرین به حساب می‌آیند. نمونه‌های آب این دو پیژومتر به علت تأثیر گرفتن از عضو کلهر سازند آسماری در فصل مرطوب دارای تیپ سولفات سدیک و در فصل خشک به دلیل زمان ماندگاری بیشتر، تیپ کلروره کلسیک نشان می‌دهند (زرآسوندی و میرزایی، ۱۳۸۷، GENE COLLING, 1975). برای بررسی روند تکاملی منابع آب، نمودار دروو ترسیم گردید (شکل ۳).

با توجه به قسمت مستطیل نمودار دروو، میزان کل مواد جامد محلول در آب از تاقدیس آسماری به سمت چشمه افزایش چشمگیری دارد، این افزایش غیرطبیعی کل مواد جامد محلول نشان از اختلاط آب چشمه با منبع آبی دیگر دارد که از کیفیت نسبتاً پایینی برخوردار می‌باشد. همچنین کاهش ناگهانی کل جامدات محلول (به بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در فصل خشک در تمامی دهانه‌های چشمه شور گوگردی گرو امری غیرطبیعی است.

Piper Diagram of Garu and Asmari

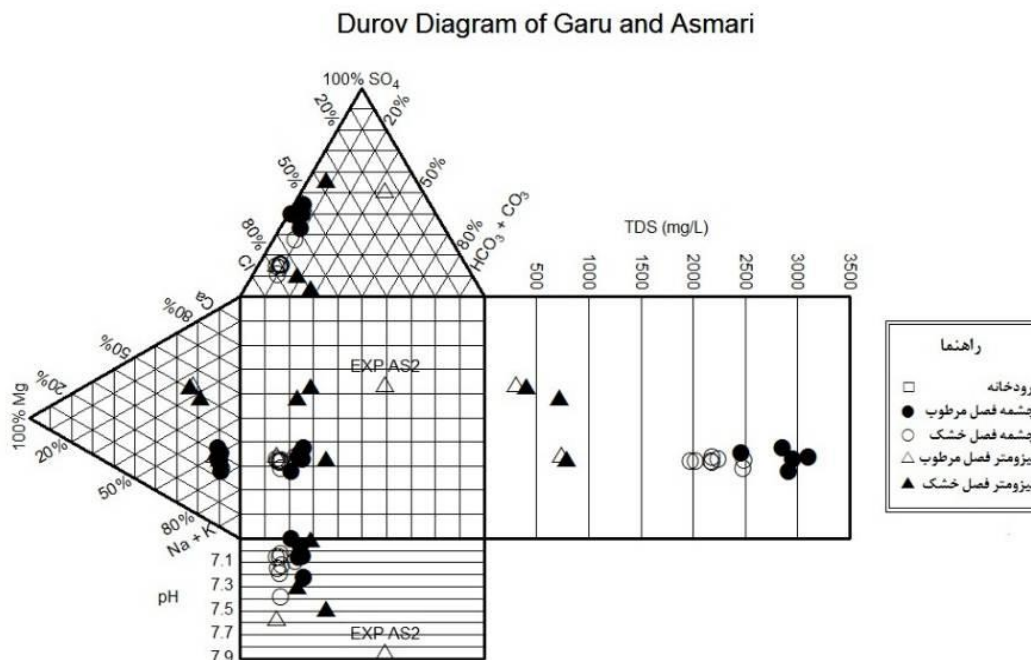


شکل ۲. نمونه پایپر نمونه‌های دوره مرطوب و خشک

جدول ۱. نتایج سنجش‌های فیزیکی - شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی و رودخانه تمی در منطقه

شناسه	Meq/l							TOC	Br/Cl	EC ($\mu\text{mol/cm}$)	TDS	T (C°)	pH	Eh (volt)	Depth
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻								
R ₁	۷۳/۵۱	۹/۲۹	۱۵۵/۹	۰/۱۳	۱/۹۵	۱۸۰	۵۲/۹۷	۳/۱	-	۱۶۰۲۰۰	۹۶۱۲۰	۲۰/۱	۸/۰۲	-۵۳/۵	
R ₂ *	۶۵/۲۷	۹/۶۸	۳۱۰/۹	۰/۷	۱/۸	۹۴/۴۶	۲۸۱/۷	-	-	۳۴۱۰۰	۲۰۴۶۰	۲۶/۹	۷/۴۴	-۲۳	
SP ₁	۱۹/۳۵	۶/۹	۴۲/۱۳	۰/۲۲	۳/۹	۲۵/۱	۳۷/۸۴	-	۱/۴	۵۱۸۰	۳۱۰۸	۲۷/۶	۷/۰۷	-۴/۱	
SP ₂	۲۰/۸۷	۶/۸۵	۳۷/۷۳	۰/۲	۲/۹	۲۷/۱	۳۲/۳۸	۲/۴	۱/۷۸	۴۷۷۰	۲۸۶۲	۲۷/۴	۷/۲۴	-۱۳/۹	
SP ₃	۱۴/۵۶	۵/۶۱	۴۲/۹۴	۰/۳۵	۱/۰۴	۲۴/۳	۳۷/۰۶	۱/۶	۳/۶۴	۴۹۲۰	۲۹۱۶	۲۷/۶	۶,۹۱	۹/۶	
SP ₄	۱۸/۰۸	۶/۹۷	۴۱/۰۲	۰/۶۳	۴/۵۵	۲۵/۴۳	۳۵/۴۲	۲/۰۳	۲/۴	۴۸۶۰	۲۹۵۲	۲۷/۴	۷/۰۵	-۳/۴	
SP ₅	۱۵/۵۳	۴/۴۲	۳۰/۶۷	۰/۱۳	۵/۲	۱۵/۹۸	۲۹/۲۵	-	۱/۵	۴۱۱۰	۲۴۶۶	۲۷/۸	۶/۹۷	۶/۲	
SP ₆ *	۹/۶۴	۳/۴۴	۲۲/۵۳	۰/۲۹	۳/۹۹	۴/۶۴	۲۷/۰۱	-	۲۰۶/۶۶	۳۳۰۰	۱۹۸۰	۲۹/۴	۷/۰۶	-۱/۱	
SP ₇ *	۹/۵۹	۳/۴۳	۲۲/۳۵	۰/۲۲	۴/۰۸	۳/۵۱	۲۶/۸۵	-	۴۱/۱	۳۳۸۰	۲۰۲۸	۲۸/۹	۷/۱۶	-۶/۵	
SP ₈ *	۱۰/۸	۳/۶۹	۲۵/۲۸	۰/۲۱	۳/۹۶	۵/۸۴	۲۹/۸۲	-	۲۳/۶۵	۳۶۲۰	۲۱۷۲	۲۹/۱	۷/۳۹	-۲۰/۳	
SP ₉ *	۱۰/۲۱	۳/۵۷	۲۴/۴۴	۰/۲۱	۳/۷۸	۵/۴۳	۲۸/۱	۳۲/۹	۴۵/۷	۳۶۴۰	۲۱۸۴	۲۹/۴	۷/۲	-۹	
SP ₁₀ *	۱۰/۶۹	۳/۶۳	۲۴/۴۸	۰/۱۸	۴/۱۲	۵/۵۷	۲۷/۷۹	۳۱/۸	۱۶۲/۴	۴۱۶۰	۲۴۹۶	۲۸/۹	۷/۱۳	-۴/۹	
SP ₁₁ *	۱۱/۳۵	۳/۷۳	۲۴/۵۶	۰/۱۷	۴/۰۴	۱۰/۳۱	۲۴/۰۴	-	۳۸/۴	۳۶۴۰	۲۱۸۴	۲۸/۴	۷/۱	-۳/۴	
SP ₁₂ *	۱۰/۹۳	۳/۶۸	۲۹/۶۶	۰/۲۵	۴/۴۲	۶/۵۱	۳۱/۶۹	۲۶	۹۷/۸۶	۴۱۴۰	۲۴۸۴	۲۸/۴	۷/۰۴	۰/۲	
SP ₁₃ *	۱۱/۲۶	۳/۹۵	۲۵/۴۵	۰/۱۵	۳/۵۹	۵/۶۶	۳۰/۴۵	-	۴۰/۸	۳۷۴۰	۲۲۴۴	۲۹/۱	۷/۰۶	-۱	
AS3	۳/۹۲	۱/۷۴	۸/۵۳	۰/۲	۱/۲	۱۰۶	۱۰/۹۹	۲۴/۶	۳۵۹/۲	۱۲۳۶	۷۴۱/۶	۲۷/۴	۷/۵۹	-۳۱/۲	
EXP AS 2	۳/۹۳	۱/۷	۱/۶۸	۰/۳۶	۲/۷۳	۳/۸۱	۱/۲۱	-	۲۱۸/۶	۵۱۴	۳۰۸/۴	۲۵/۷	۷/۸۷	-۴۵/۷	
AS3*	۹/۶۴	۳/۴۴	۲۲/۵۳	۰/۲۹	۲/۹۹	۱۸/۷	۱۲/۸	۵/۶	۲۸۶/۴	۱۳۱۵	۷۸۹	۳۰/۹	۷/۵۱	-۲۷/۸	۲۰۱
EXPAS2*	۴/۰۵	۱/۹۳	۲/۰۷	۰/۰۷	۲/۸	۰/۲۳	۵/۶۸	۱/۳	۱۰۹/۲	۶۷۸	۴۰۶/۸	۳۰/۶	۶/۹۴	۶/۳	۲۸۴
P AS2*	۶/۱۴	۲/۳۹	۴/۱۲	۰/۲۵	۲/۸	۱/۲	۹/۶	-	-	۱۲۰۹	۷۲۵/۴	۲۹/۹	۷/۳۳	-۱۴	۲۵۰

*نمونه‌برداری دوره خشک



شکل ۳. نمودار دروو نمونه‌های آب منطقه (بهمن، شهریور ۹۴-۹۳)

تبادلات یونی

برای شناخت بهتر منشأ کاهش کیفیت آب زیرزمینی، نمودارهای ترکیبی متفاوتی با استفاده از داده‌های شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۴)، که از نسبت‌های یونی و ارتباط بین آن‌ها استفاده گردیده است.

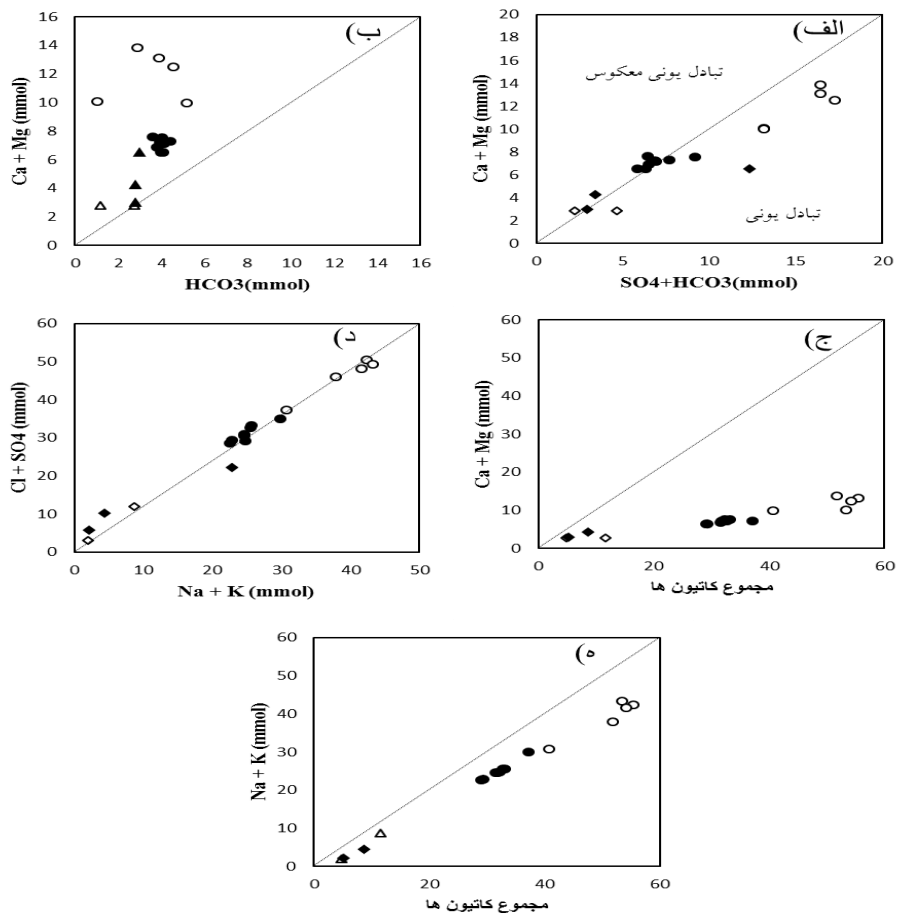
یون‌های Ca ، Mg و HCO_3 موجود در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه، از آب ورودی از رودخانه تمبی و انحلال کلسیت موجود در مواد آبخوان کارستی نشأت می‌گیرند. نمودار $(\text{Mg}+\text{Ca})$ در مقابل $(\text{SO}_4+\text{HCO}_3)$ نشان می‌دهد که نمونه‌های چشمه در فصل مرطوب و پیزومتر AS3 در فصل خشک تحت تأثیر تبادل یونی عادی می‌باشند (شکل ۴ الف). نمودار $\text{Mg}+\text{Ca}$ در برابر HCO_3 منشأ Ca و Mg آب زیرزمینی را به ژپس و کلسیت نسبت می‌دهد (شکل ۴ ب). با افزایش شوری، اندازه یون‌های Ca و Mg نسبت به HCO_3 افزایش بیشتری را نشان می‌دهد. چنانچه کلسیم و منیزیم فقط حاصل از انحلال کربنات‌ها در آب زیرزمینی حاصل گردد، نسبت $\text{Mg}+\text{Ca}/\text{HCO}_3$ حدود ۰/۵ می‌باشد. نمودار $\text{Mg}+\text{Ca}/\text{HCO}_3$ در (شکل ۴ ب) مشخص می‌سازد که تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی در بالای خط ۱:۱ واقع شده‌اند و افزایش Ca و Mg نسبت به HCO_3 در نتیجه تبادل یونی معکوس می‌باشد. هرچند افزایش این نسبت را نمی‌توان فقط به کاهش میزان HCO_3 نسبت داد (مظفری زاده و سجادی، ۱۳۹۲).

نمودار $\text{Mg}+\text{Ca}$ در مقابل جمع کاتیون‌ها (شکل ۴ ج) نشان می‌دهد که تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی در زیرخط ۱:۱ قرار گرفته‌اند؛ بنابراین، این یون‌ها نقش کمتری را نسبت به $\text{Na}+\text{K}$ در افزایش TDS دارند. از شکل (۴ د) مشخص می‌گردد که افزایش قلیابیت مربوط به فزونی $\text{Cl}+\text{SO}_4$ و $\text{Na}+\text{K}$ است، که منشأ این یون‌ها نفوذ آب‌شور از رودخانه تمبی و شورابه‌های نفتی می‌باشد.

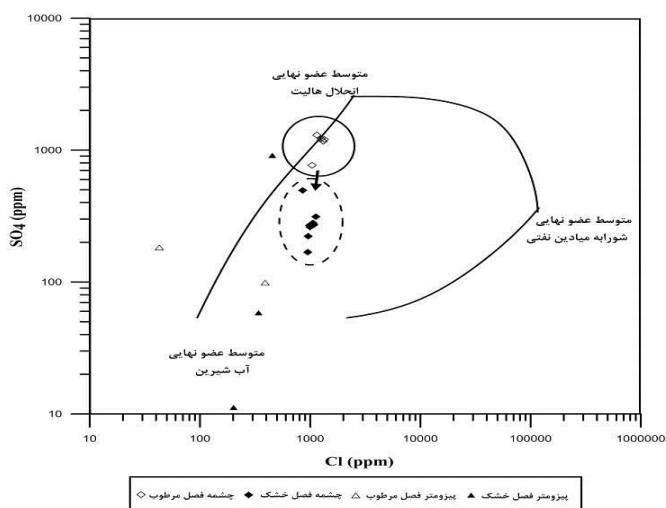
نمودار $\text{Na}+\text{K}$ در مقابل جمع کاتیون‌ها در شکل (۴ ه) نشان داده شده است. همان‌طور که از این نمودار مشخص است تمامی نمونه‌ها نزدیک به خط ۱:۱ قرار دارند، که در نهایت تأثیر این دو یون و نقش مهم آن‌ها خصوصاً سدیم را در افزایش کاتیون‌ها نشان می‌دهد.

ارتباط هیدرولیکی چشمه گرو و اختلاط آب‌ها در منطقه نمودار $\text{SO}_4 - \text{Cl}$

نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه در دیاگرام SO_4-Cl پیشنهادی Mast (۱۹۸۲) برای تمایز اختلاط آب شیرین با آب‌های زیرزمینی شور و شورابه‌های نفتی ترسیم گردید (شکل ۵). در فصل مرطوب، نمونه‌ها بر روی خط اختلاط دو منشأ (هالیتی و آب شیرین کارست) و در فصل خشک نمونه‌ها در منطقه سه منشأیی واقع شده‌اند.



شکل ۴. نمودارهای پراکندگی یون‌ها در آب زیرزمینی منطقه الف) نمودار (ب) $SO_4+HCO_3-Mg+Ca$ (mmol) نمودار (ج) $HCO_3-Mg+Ca$ (mmol) نمودار (د) $Ca+Mg$ مجموع کاتیون‌ها (e) $Na+K - Cl+SO_4$ (mmol) نمودار مجموع کاتیون‌ها- $Na+K$ (mmol)

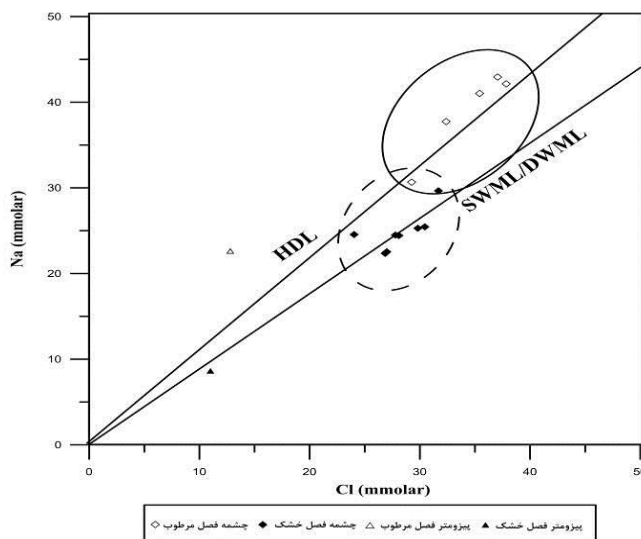


شکل ۵. دیاگرام اختلاط برای تمایز آب شیرین از شور (Mast, 1982)

نمودار Na-Cl

مرطوب در نزدیکی خط HDL (Halite Dissolution Line) قرار دارند که نشان‌دهنده غالب بودن منشأ شوری هالیتی می‌باشد. در فصل خشک اغلب آن‌ها بر روی خط DWML (Deep saline Water Mixing) واقع هستند، که نشان‌دهنده غالب بودن شوری حاصل از شورابه نفتی است (Khaska et al., 2013). پیژومتر AS3 نیز در فصل مرطوب بر روی خط DWML، و در فصل خشک در نزدیکی خط HDL است.

به‌طور کلی شوری، محدوده غلظت و ترکیبات شیمیایی حاصل از میادین نفتی، با شوری حاصل از انحلال نمک بسیار متفاوت است. همان‌طور که در بسیاری از شورابه‌های طبیعی دیده می‌شود، ارتباط قوی بین سدیم و کلر وجود دارد. بدین سبب از نمودار Na نسبت به Cl برای تعیین نوع اختلاط شورابه منطقه استفاده شد (شکل ۶). دهانه‌های مختلف چشمه گرو در فصل



شکل ۶. نمودار ترکیبی سدیم و کلر (Khaska et al., 2013)

اختلاط آب‌ها

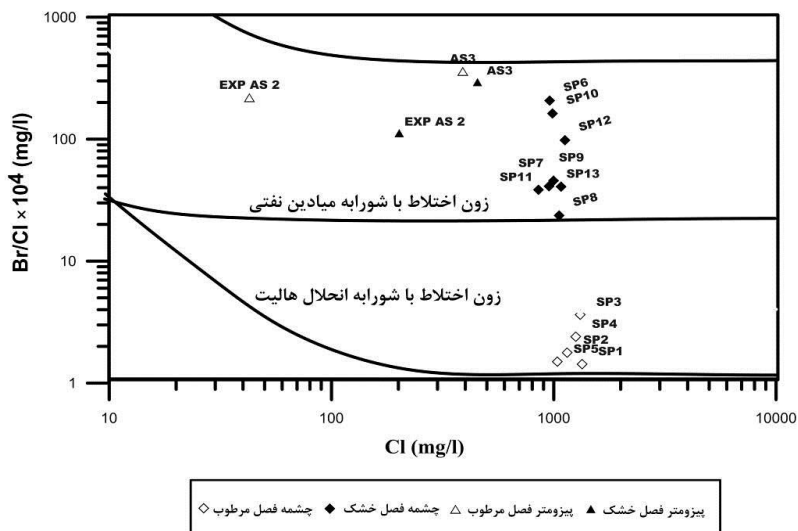
در منطقه دو میدان نفتی مسجدسلیمان در جنوب غربی و میدان نفتی هفتگل در جنوب تاقدیس آسماری وجود دارد. عدم آلودگی آبخوان تاقدیس آسماری در قسمت جنوبی و آلودگی این آبخوان در نزدیکی دماغه و همچنین نتایج آنالیز نفتی (GC) انجام‌شده (زراسوندی و میرزایی، ۱۳۸۷) نشان می‌دهد آلودگی چشمه به مواد آلی در ارتباط با میدان نفتی مسجدسلیمان می‌باشد. پس از بررسی‌های میدانی منطقه، گسلی در دماغه تاقدیس آسماری مشاهده گردید که در (شکل ۸) ترسیم گردیده است. به نظر می‌رسد که آلودگی نفتی از میدان مسجدسلیمان از طریق این گسل وارد چشمه گردیده و باعث آلودگی آب چشمه به مواد آلی و همچنین شورابه نفتی شده است. جهت نمایش سیستم آبخوان کارستی تاقدیس آسماری با تأکید بر بخش‌های مجاور چشمه گرو مدل مفهومی کارست منطقه ارائه گردید (شکل ۹) (زراسوندی و میرزایی، ۱۳۸۷).

نمودار نسبت یونی Br/Cl

به دلیل تغییر ترکیب شیمیایی عناصر اصلی به‌وسیله رقیق‌شدگی حاصل از اختلاط آب‌ها، از نسبت وزنی Br/Cl (Whittemore and Pollock, 1979) برای تعیین نوع اختلاط شورابه موجود در منطقه استفاده گردید (شکل ۷). نمونه‌های چشمه در دوره مرطوب در محدوده اختلاط با شورابه هالیتی و در فصل خشک در محدوده اختلاط با شورابه میادین نفتی قرار می‌گیرند. نمونه‌های پیژومترها نیز در هر دو فصل خشک و تر در محدوده اختلاط با شورابه میادین نفتی قرار دارند.

بررسی TOC

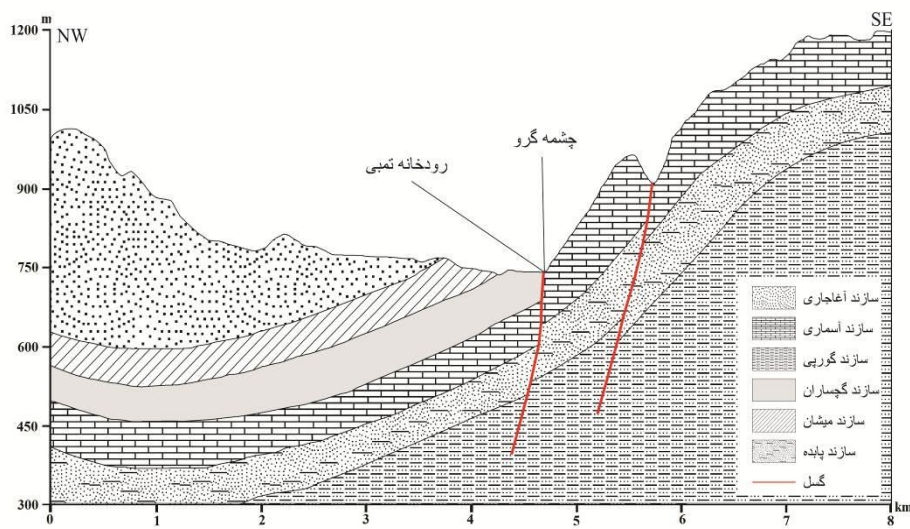
برای بررسی بیشتر آلودگی نفتی در منطقه، میزان کل کربن آلی موردبررسی قرار گرفت که نتایج آن در (جدول ۲) آورده شده است. مطابق (جدول ۲) میزان TOC در چشمه حاکی از آن است که چشمه در فصل مرطوب فاقد آلودگی، لیکن در فصل خشک میزان آلودگی به بیش از ۱۵ برابر حد مجاز می‌رسد. آلودگی به مواد آلی در آبخوان تاقدیس آسماری نیز در پیژومتر AS3 دیده می‌شود.



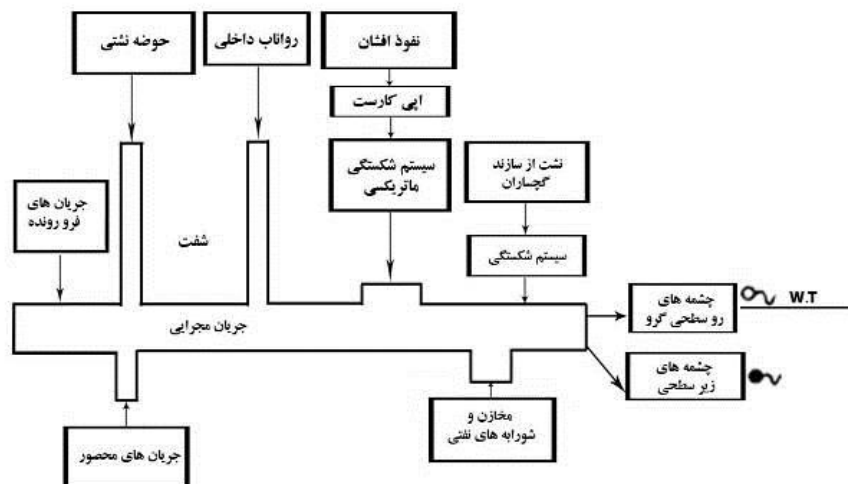
شکل ۷. تمایز شورابه میادین نفتی از شورابه هالیتی $Br \times 10^{-4}$ نسبت به Cl (Whittemore, 1984)

جدول ۲. میزان کل کربن آلی موجود در آب زیرزمینی منطقه

میانگین TOC		نمونه
دوره خشک	دوره مرطوب	
۳۱.۵	۲	چشمه
۳.۵	۲۴.۵	پیزومتر AS3
۱.۳۲	۰.۴۶	پیزومتر Exp AS2
۳.۹	۲.۱	رودخانه تمبی



شکل ۸. طرح شماتیک سیستم اختلاط چشمه گرو



شکل ۹. مدل مفهومی آبخوان کارستی آسماری (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۴)

همان گونه که در (جدول ۳) نشان داده شده است، اختلاط آب شیرین کارست با چشمه شور گوگردی گرو در فصل خشک بیشتر از فصل مرطوب می باشد، همچنین میزان اختلاط آب شورابه‌هالیتهی در فصل مرطوب بیشتر از فصل خشک است. در طول دوره مرطوب و خشک میزان اختلاط شورابه نفتی تغییراتی قابل توجهی را نشان نمی‌دهد.

نتیجه‌گیری

طبق نمودار پایپر تیپ آب چشمه گرو کلروره-سدیک و پیژومترهای AS3 و EXP AS2 به ترتیب دارای تیپ کلروره-سدیک و سولفات-کلسیک در فصل مرطوب و سولفات-سدیک و کلروره-کلسیک در فصل خشک می‌باشند. با توجه به نسبت‌های یونی و نمودارهای ترکیبی مشخص شد علت اصلی شوری آب چشمه گرو ارتباط هیدرولیکی چشمه توسط گسل موجود در دماغه با رودخانه شور تمبی و شورابه نفتی میدان مسجدهسلیمان می‌باشد. طبق بررسی‌های انجام شده و تعیین درصد اختلاط آب چشمه، علت اصلی شوری چشمه گرو در فصل مرطوب، سهم تغذیه بیشتر چشمه توسط رودخانه تمبی (به‌طور میانگین ۱۳٫۵ درصد) می‌باشد. هرچند که میزان دبی چشمه در فصل مرطوب زیاد است ولی نسبت حجم ورودی آب رودخانه به چشمه افزایش و سبب شوری چشمه می‌گردد، لیکن شوری حاصل از ورود حجم ثابت شورابه نفتی به چشمه به نسبت متوسط ۰٫۵ درصد به دلیل رقیق‌شدگی به‌خوبی قابل تشخیص نیست. در فصل خشک به دلیل کاهش ۱۰ درصدی سهم تغذیه‌ای رودخانه شور تمبی، شوری چشمه شور گوگردی گرو بیشتر تحت تأثیر شورابه نفتی است. به‌طور کلی چشمه شور گوگردی گرو در فصل مرطوب تحت تأثیر تغذیه توسط ورودی حاصل از انحلال سازند گچساران (رودخانه تمبی) و در فصل خشک تحت تأثیر شورابه نفتی موجود در غرب تاقدیس می‌باشد. از آنجاکه سهم تغذیه‌ای رودخانه شور تمبی در مقایسه با شورابه نفتی بسیار بیشتر است، به همین دلیل میزان شوری و مواد جامد محلول در آب در فصل مرطوب برخلاف تصور، افزایش چشمگیری نسبت به فصل خشک از خود نشان می‌دهد.

تعیین درصد اختلاط آب‌ها

برای تعیین درصد اختلاط نمونه‌های برداشت‌شده از منطقه از روابط ریاضی (۱)، (۲) و (۳) استفاده شد (Mast, 1982). معادله ذکر شده توسط نرم‌افزار اکسل محاسبه گردید. از آنجاکه شورابه‌های نفتی دارای سولفات کم و کلر بالای نسبت به شورابه‌های هالیتهی می‌باشد، به همین دلیل از این دو آنیون جهت تعیین میزان اختلاط استفاده گردید. در صورتی که کلرید بون غالب باشد همین نسبت را می‌توان برای TDS نیز می‌توان به کاربرد (روحی، ۱۳۹۱).

$$C_{1f} \cdot P_f + C_{1o} \cdot P_o + C_{1w} \cdot P_w = C_{1a} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$C_{2f} \cdot P_f + C_{2o} \cdot P_o + C_{2w} \cdot P_w = C_{2a} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$P_f + P_o + P_w = 1 \quad (\text{رابطه ۳})$$

این پارامترها شامل:

C_{1f} : غلظت اجزا (کلر، سولفات و مواد جامد محلول) در آب شیرین

P_f : نسبت (درصد) آب شیرین در آب مخلوط

C_{1o} : غلظت اجزا در شورابه نفتی

P_o : نسبت (درصد) شورابه نفتی در آب مخلوط

C_{1w} : غلظت اجزا در آب شورابه‌هالیتهی

P_w : نسبت (درصد) شورابه‌هالیتهی در آب مخلوط

C_{1a} : غلظت اجزا در نمونه آب مجهول

مقدار عناصر نمونه آب پیژومتر EXP AS2 تاقدیس آسماری به‌عنوان آب شیرین (C_{nf})، مقدار عناصر نمونه آب رودخانه شور تمبی به‌عنوان آب شورابه‌هالیتهی (C_{nw}) و نمونه‌های چشمه شور گوگردی گرو و پیژومتر PAS2 به‌عنوان نمونه‌های مجهول در نظر گرفته شد. پس از حل معادله، درصد‌های به‌دست‌آمده بر اساس میزان CI و TDS، توسط نرم‌افزار Phreeqc مورد صحت سنجی قرار گرفته شد (جدول ۳).

جدول ۳. درصد اختلاط نمونه‌های آب برداشت شده در منطقه

نسبت به TDS			نسبت به کلر			TDS	سولفات	کلر	نمونه
درصد شورابه نفتی	درصد شورابه‌هالیتی	درصد آب شیرین	درصد شورابه نفتی	درصد شورابه‌هالیتی	درصد آب شیرین				
.	۱۰۰	.	.	۱۰۰	.	۹۶۱۲۰	۸۶۴۶	۱۸۷۸	R
.	۱۵	۸۵	۰/۵۳	۱۳/۵۴	۸۵/۹۳	۳۱۰۸	۱۲۰۶	۱۳۴۱	SP1
.	۱۶	۸۴	۰/۴۱	۱۴/۷۲	۸۴/۸۸	۲۸۶۲	۱۳۰۲	۱۱۴۸	SP2
.	۱۶	۸۴	۰/۵۲	۱۳/۰۹	۸۶/۳۹	۲۹۱۶	۱۱۶۷	۱۳۱۴	SP3
.	۱۷	۸۳	۰/۴۸	۱۳/۷۴	۸۵/۷۸	۲۹۵۲	۱۲۲۱	۱۲۵۶	SP4
.	۱۰	۹۰	۰/۴	۸/۵۳	۹۱/۰۷	۲۴۶۶	۷۶۷/۶	۱۰۳۷	SP5
.	۱۳	۸۷	۰/۰۵	۱۰/۲۵	۸۹/۷۱	۷۸۹	۸۹۸/۲	۴۵۳/۹	AS3
.	.	۱۰۰	.	.	۱۰۰	۴۰۶/۸	۱۱/۰۵	۲۰/۱۵	EXP AS 2
.	۰/۱۵	۹۹/۵	۰/۰۸	۰/۵	۹۹/۴۳	۷۲۵/۴	۵۷/۶۴	۳۴۰/۴	P AS2
.	۲/۳۴	۹۷/۶۶	۰/۴۲	۲/۲۱	۹۷/۳۷	۱۹۸۰	۲۲۲/۸	۹۵۷/۶	SP6
.	۱/۸	۹۸/۲	۰/۴۲	۱/۵۹	۹۸	۲۰۲۸	۱۶۸/۶	۹۵۲/۱	SP7
.	۳/۹	۹۶/۱	۰/۴۷	۲/۸۵	۹۶/۶۸	۲۱۷۲	۲۸۰/۶	۱۰۵۷	SP8
.	۳	۹۷	۰/۴۴	۲/۶۵	۹۶/۹۲	۲۱۸۴	۲۶۰/۹	۹۹۶/۳	SP9
.	۳	۹۷	۰/۴۳	۲/۷۳	۹۶/۸۵	۲۴۹۶	۲۶۷/۶	۹۸۵/۳	SP10
.	۶	۹۴	۰/۳۲	۵/۴۲	۹۴/۳۵	۲۱۸۴	۴۹۵/۳	۵۸۲/۴	SP11
.	۴	۹۶	۰/۵	۳/۲۱	۹۶/۲۹	۲۴۸۴	۳۱۲/۸	۱۱۲۴	SP12
.	۳	۹۷	۰/۴۸	۲/۷۵	۹۶/۷۷	۲۲۴۴	۲۷۲	۱۰۷۹	SP13

منابع

- روحی، ح.، کلانتری، ن.، محمدی بهزاد، ح.، دانشیان، ح.، پاییز ۹۲، شماره ۹. بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی منطقه الباجی. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، ۹-۱.
- زرآسوندی، ع.، و میرزایی، ی. (۱۳۸۷). بررسی آلودگی های نفتی چشمه های آب میدان نفتی مسجدسلیمان. گزارش سازمان آب و برق خوزستان. مظفری زاده، ج.، و سجادی، ز. سال ششم، بهار ۱۳۹۲. بررسی علل شوری و نفوذ آب شور رودهای دالکی. حله به آبخوان برازجان. مجله مهندسی منابع آب، ۶۹-۷۸
- میرزایی، س.، زرآسوندی، ع.، اورنگ، م. زمستان ۹۴، شماره ۱۸. تأثیر زمین شیمیایی مخازن نفتی آسماری بر منابع آب کارستی مسجدسلیمان. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، ۱۴-۱.
- ناصری، ح.، و علیجانی، ف. (۱۳۸۴). عدم تطابق ژئومورفولوژی و هیدروژئولوژی کارست تاقدیس آسماری. مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۸۰-۷۱.
- نخعی، م.، ودیعی، م.، و میر عربی، ع. (۱۳۸۸). منشأ شوری آب زیرزمینی دشت شاهرخت خراسان جنوبی. (مجموعه مقالات دومین کنفرانس آب ایران، دانشگاه آزاد اسلامی بیهقان).
- Zarei M, Raeisi EJ, Merkel B, Kummer NA (2012) Identifying sources of salinization using hydrochemical and isotopic techniques, Konarsiah, Iran, Environmental earth science, volume 70, Issue 2, 587-604 p.
- Krieger RA, Hendrickson GE (1960) Effects of Greensburg oil-field brines on the streams, wells, and springs of the Upper Green River: Kentucky Geological Survey, Series X, Report of Investigations No.2,36 p.
- Freeman J (2007) The use of bromin and chloride mass ratios to differentiate salt dissolution and formation brines in shallow groundwater of the Western Canadian Sedimentary Basin, Hydrogeology Journal, 15: 1377-1385 p.
- GENE COLLING, A. (1975). Geochemistry of Oilfield Water. Oklahoma, U.S.A.: ELSEVIER Scientific Publishing Company.
- Khaska, M., Le Gal La Salle, C., Lancelot, J., team, A., & Mohamad, A. (2013). Origin of groundwater salinity (current seawater vs. saline deep water) in a coastal karst aquifer based on Sr and Cl isotopes. Case study of the La. Applied Geochemistry, 212-227 p.
- Mast VA (1982) The use of ionic mixing curves in differentiating oil-field brine in a fresh-water aquifer: presented at the American Water Resources Association, The University of Texas at Austin, December 3, 1982, 16 p.
- Whittemore DO, Pollock LM (1979) Determination of salinity sources in water resources of Kansas by minor alkali metal and halide chemistry: Kansas Water Resources Research Institute, Consultant's report to Office of Water Research and Technology, U.S. Department of the Interior, Washington, D.C., 37 p.
- Whittemore DO (1984) Geochemical identification of salinity sources, in French, R. H., Salinity in watercourses and reservoirs: Proceedings of the 1983 International Symposium on State-of-the-Art Control of Salinity, Salt Lake City, Utah, 505-514 p.
- Richter BC, Kreidler C (1991) Identification of sources of groundwater salinization using geochemical techniques, U.S. Environmental Protection Agency document no. 600/2-91/064, 259 p.