

۱- مقدمه

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. سازند پابده با سن ائوسن-لیگوسن قدیمی ترین 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 کنگلومرای بختیاری و در نهایت نهشته‌های کواترنری قرار می‌گیرند (شکل ۱).

۲-۲- نمونه برداری

به منظور بررسی روند تکاملی آب و تشخیص فرآیندهای مؤثر بر شوری آبخوان تاقدیس آسماری و چشمه گرو، از نتایج آنالیز شیمیایی ۲۰ نمونه آب دهانه‌های مختلف چشمه گرو و پیژومترهای تاقدیس آسماری در دو فصل مرطوب و خشک جهت آنالیز عناصر اصلی، ۱۷ نمونه جهت آنالیز عنصر برم استفاده گردید. نمونه‌های آب در بطری‌های پلی‌اتیلنی به حجم ۲۵۰ ml کاملاً تمیز شده بودند، نگهداری شد. میزان هدایت الکتریکی (EC)، pH و دمای آب با استفاده از دستگاه Hach HQ40 و موقعیت مکان‌های نمونه‌برداری توسط GPS در محل ثبت شد. قبل از آنالیز، نمونه‌های آب توسط کاغذ صافی ۴۵ μm فیلتر شده بود. 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، میزان TOC نیز توسط دستگاه Shimadzu-v-csh به روش اکسیداسیون کاتالیتیکی در سازمان محیط‌زیست کل استان خوزستان اندازه‌گیری شد. مشخصه آماری نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه در جدول ۱ نشان داده شده است.

۳- نتایج

نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه (شکل ۲) نشان دهنده آن است که در چشمه گرو و پیژومتر AS3 آنیون غالب کلر و کاتیون غالب سدیم می‌باشد؛ به عبارت دیگر، تیپ آب‌های چشمه گرو در هر دو فصل، کلروره سدیک و پیژومتر AS2 و AS3 به ترتیب سولفات کلسیک، کلروره سدیک در فصل مرطوب و در فصل خشک کلروره کلسیک و سولفات سدیک می‌باشد. میزان کلر در پیژومترهای EXP-AS2 و P-AS2 کمتر از ۴۰۰ میلی‌گرم است، بنابراین، جزء آب‌های شیرین به حساب می‌آیند. نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه در دیاگرام SO_4 -Cl پیشنهادی (Mast 1982) (شکل ۳) نشان دهنده آن است که در فصل مرطوب، نمونه‌ها بر روی خط اختلاط دو منشأ (هالییتی و آب

آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب شیرین در ایران محسوب می‌شود. از آنجا که آب‌های زیرزمینی محدودند؛ لذا تعیین منشأ شوری آب زیرزمینی به منظور حفظ و مدیریت این منابع عظیم بسیار حائز اهمیت است. عوامل شوری آب زیرزمینی می‌تواند ناشی از ۱- آب‌های زیرزمینی طبیعی شور، ۲- انحلال کانی‌های تبخیری در آب، ۳- نفوذ آب دریا به آب‌های شیرین، ۴- وارد شدن شورابه‌های نفتی و گازی به آب‌های زیرزمینی و ۵- نمک‌های بکار رفته برای ذوب برف جاده‌ها باشد. مطالعات متعددی در رابطه با منشأ شوری صورت گرفته است. (Ayers et al. 2016) با استفاده از تکنیک‌های ژئوشیمیایی منشأ شوری آب زیرزمینی جنوب غربی بنگلادش را حاصل از جذر و مد دانسته‌اند. (Rezaei et al. 2009) منشأ شوری منطقه دشت کرمان را با استفاده از دیاگرام ترکیبی و اندیس اشباع، حاصل از تأثیر عوامل لیتولوژی و فرآیند انحلال هالییت دانستند. (Zarei et al. 2012) با استفاده از تکنیک‌های هیدروشیمیایی و ایزوتوپ در گنبد نمکی کنار سیاه عامل اصلی منشأ شوری را انحلال هالییت تشخیص دادند، و (Nzibavuga Nyarubakula Muzuka et al. 2017) شور شدن آب پشت سد Hombolo در تانزانیا را حاصل لیتولوژی و حوضه رودخانه Kinyasungwe دانسته‌اند. علاوه بر آن، میتوان تحقیقات متعددی پیرامون کنترل شوری انجام شده که میتوان به کنترل شوری در خور رودخانه‌ای ارون اشاره کرد (Etemad Shahidi et al., 2011).

با توجه به وضعیت عمومی منطقه و شواهد موجود در مشاهدات صحرایی دو عامل اصلی می‌تواند باعث کاهش کیفیت و شوری شدید آب چشمه گرو گردد، این منابع عبارت‌اند از: انحلال سازند گچساران (میان لایه‌های هالییتی و ژیبسی) در مجاورت سازند آسماری و اختلاط شورابه‌های عمیق. هدف از انجام این تحقیق بررسی منشأ شوری آب زیرزمینی با استفاده از مطالعات هیدروشیمیایی و ترسیم دیاگرام‌های ترکیبی دومتغیره است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه پژوهش

منطقه گلگیر با مساحتی ۱۷۰ کیلومترمربع، بین طول جغرافیایی ۲۰" ۴۳' ۴۹° تا ۲۰" ۲۵' ۴۹° شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸' ۴۸' ۳۱° تا ۳۶' 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 زاگرس چین‌خورده است که در بخش

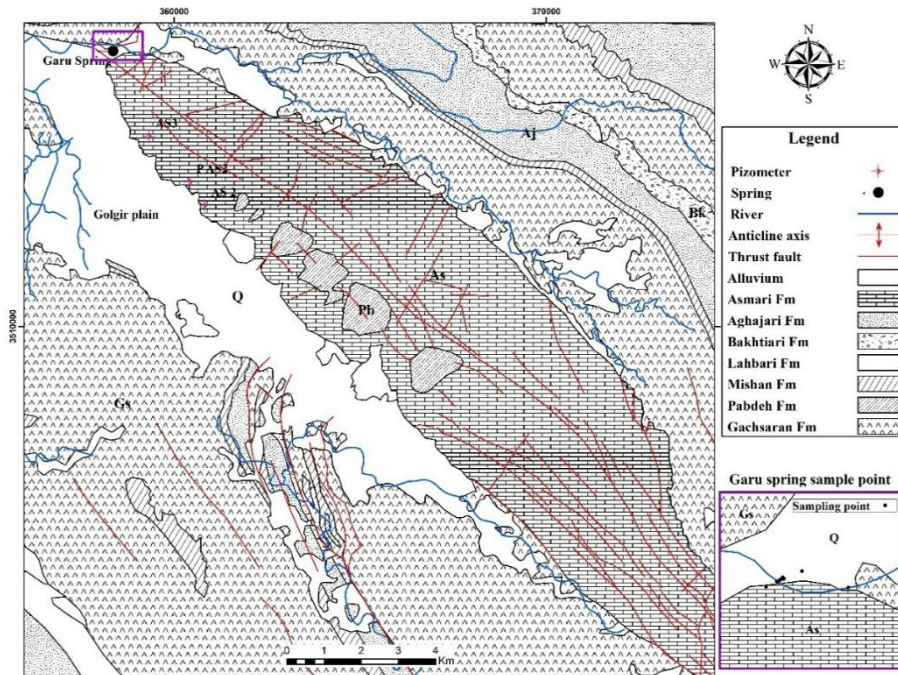


Fig 1- Geological map of region
 شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه

Table 1- Statistical characteristics of the samples from the study area

جدول ۱- مشخصه‌های آماری نمونه‌های منطقه

Parameters	EC	T.D.S.	pH	Mg/l							Na/Cl	Br/Cl
				Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄ ²⁻		
number of samples	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Arithmetic mean	3245.1	1947.1	7.2	223.2	48	552	9.5	210.5	826.7	510.7	0.62	90.1
SD	1544.3	926.6	0.25	100.6	20.2	298.5	4.7	66.2	396.7	451.4	0.2	101.1
CV (percent)	0.48	0.48	0.03	0.45	0.42	0.54	0.49	0.31	0.45	0.88	0.33	1.1
Maximum	5180	3108	7.8	418.2	84.69	978.1	24.5	317.3	1341	1302	1.14	286.4
Minimum	514	308.4	6.9	78.5	20.7	38.5	2.7	63.5	42.8	11	0.24	1.15
Variations	4667	2800.6	2	340.7	65	949.6	22.8	254.8	1299.2	1292	1.9	286.2

کاهش نسبت ورودی رودخانه به آب شیرین کارست، حجم ثابت شورابه نفتی اثر خود را به خوبی نشان می‌دهد. نمونه‌ها در فصل خشک در منطقه سه منشایی قرار می‌گیرند.

از نمودار و نسبت Cl/Br به کلر، برای تعیین نوع اختلاط شورابه منطقه استفاده شد (Leonard & Ward, 1962; Freeman, 2007) (شکل ۴). مطابق شکل ۴، نمونه‌ها به خوبی اختلاط چشمه و پیزومتر ناقدیس آسماری به شوری حاصل از انحلال هالیت در فصل مرطوب و شورابه میادین نفتی در فصل خشک را نشان می‌دهد.

شیرین کارست) و در فصل خشک نمونه‌ها در منطقه سه منشأ واقع شده‌اند. سهم ورودی آب رودخانه به چشمه گرو نسبت به آب شیرین کارست بیشتر است. در فصل خشک، هرچند که دبی آب چشمه در فصل مرطوب افزایش می‌یابد؛ اما نسبت آب رودخانه به آب شیرین کارست نیز در این فصل افزایش یافته و باعث شوری آب چشمه می‌شود؛ اما شوری حاصل از ورود حجم ثابت شورابه نفتی به چشمه در فصل مرطوب به دلیل رقیق‌شدگی به خوبی قابل تشخیص نیست. به همین دلیل نمونه‌ها در فصل مرطوب بر روی خط اختلاط دو منشأ (هالیتی و آب شیرین کارست) قرار می‌گیرد. در فصل خشک به دلیل

Piper Diagram of Garu and Asmari

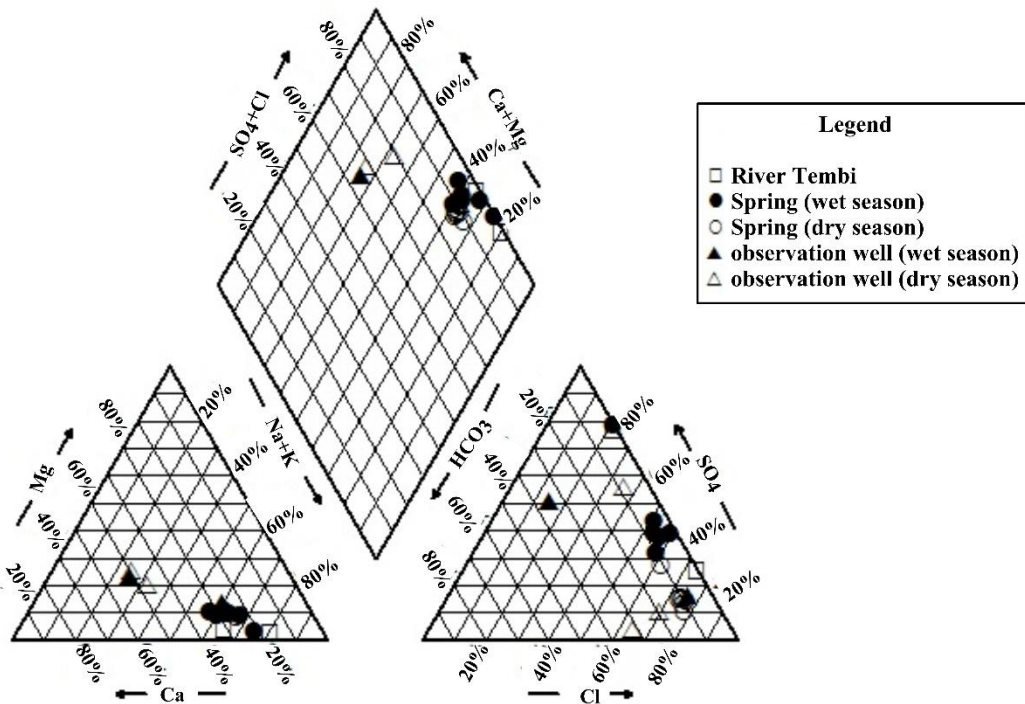


Fig. 2- Piper Diagram for samples from wet and dry periods

شکل ۲- نمودار پایپر نمونه‌های دوره مرطوب و خشک

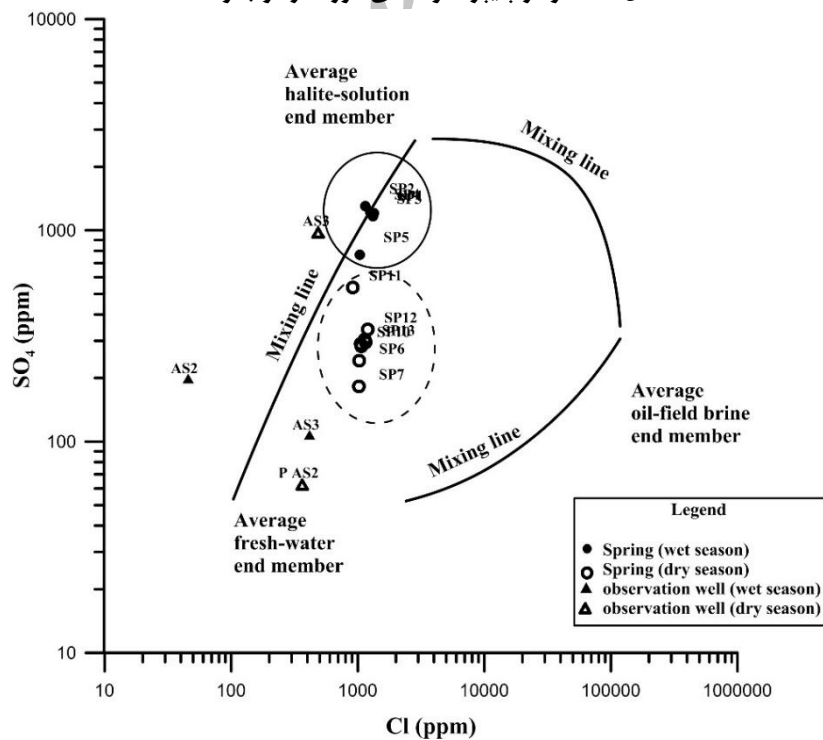


Fig. 3- The mixing diagram to distinguish fresh water from salty water (Mast, 1982)

شکل ۳- نمودار اختلاط برای تمایز آب شیرین از شور (Mast, 1982)

برای تشخیص منشأ مواد محلول در آب چشمه گرو از نمودار ترکیبی کلر نسبت به سولفات، کلسیم و سدیم استفاده گردید. رابطه بین کلر و سدیم (شکل ۶-ب) و رابطه بین سولفات و کلسیم (شکل ۶-د) به ترتیب نشان‌دهنده انحلال‌هایت و ژپیس در منطقه می‌باشند. همچنین، ارتباط بین یون‌های سولفات و کلر (شکل ۶-ج) نشان‌دهنده منشأ واحد این یون‌ها است، که می‌توان آن را به انحلال سازندهای تخییری منطقه و اختلاط با آب شیرین کارست نسبت داد. دلیل دیگر این ارتباطات می‌تواند نشت شورابه‌های نفتی به آبخوان باشد؛

با بررسی تغییرات غلظت (شکل ۵)، با افزایش TDI، غلظت کلرید به‌طور خطی افزایش می‌یابد (شکل ۵-ب). همچنین، انطباق مناسبی بین یون سدیم و کلر وجود دارد. رابطه بین یون سدیم و کلر و الگوی خطی نمودار سدیم در مقابل TDI (شکل ۵-ا) همگی نشان می‌دهند که انحلال‌هایت بخصوص در فصل مرطوب نقش مهمی در تأمین یون سدیم محلول در آب دارد.

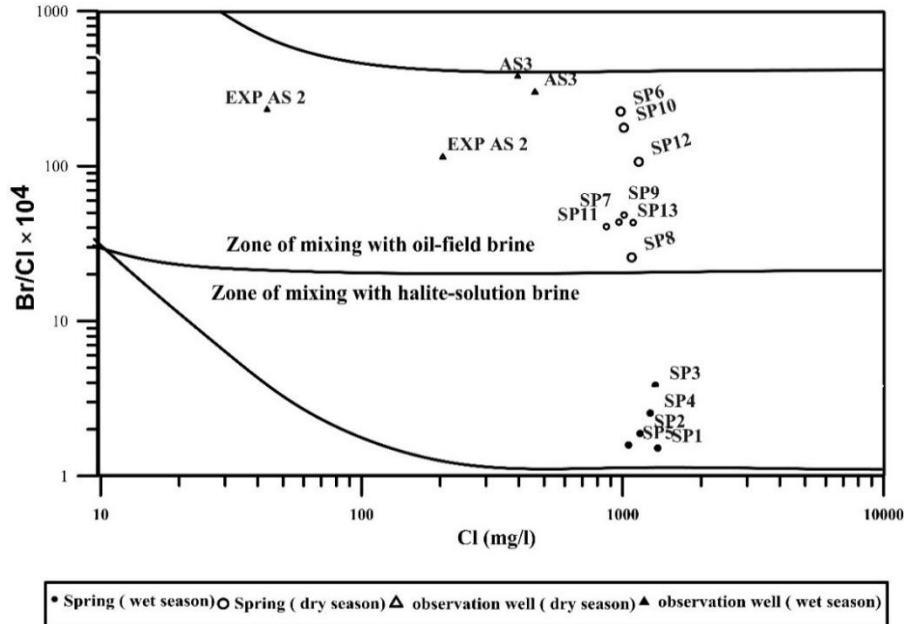


Fig. 4- Differentiating oilfield brine from the brine halite, $Br \times 10^{-4}$ vs. Cl (Whittemore, 1984, 1993; Pollock and Whittemore, 1979)

شکل ۴- تمایز شورابه میادین نفتی از شورابه هالیتی، $Br \times 10^{-4}$ نسبت به Cl (Whittemore, 1984, 1993; Pollock and Whittemore, 1979)

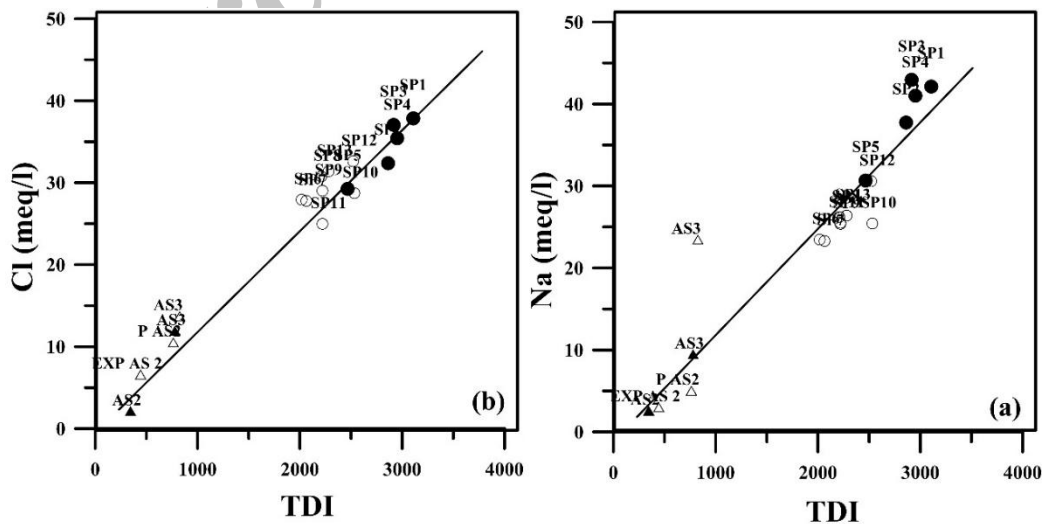


Fig. 5- combination diagrams of TDI vs. sodium (a) and TDI vs. chlorine (b)

شکل ۵- نمودار ترکیبی TDI نسبت به سدیم (a) و TDI نسبت به کلر (b)

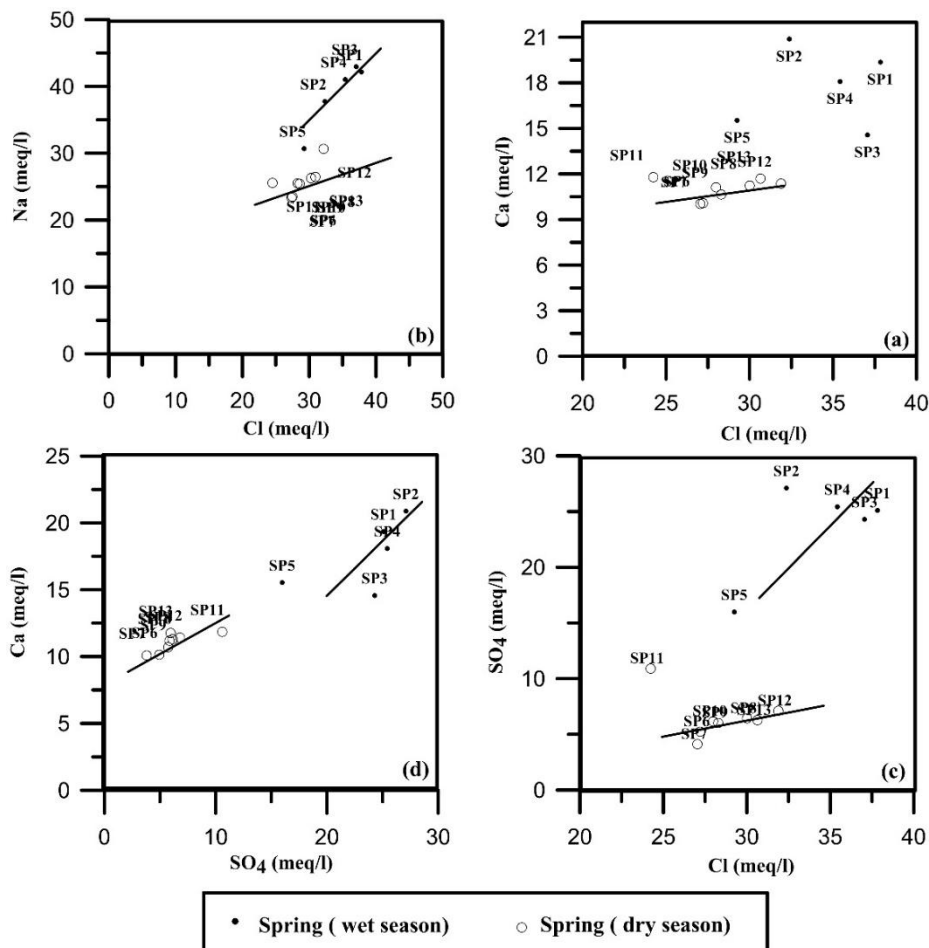


Fig. 6- Garu Spring composition diagrams; calcium vs. chlorine (a), sodium vs. chlorine (b), sulfate vs. chlorine (c) and calcium vs. sulfate (d)

شکل ۶- نمودارهای ترکیبی یون‌های چشمه گرو (بهمن و اسفند ۹۴-۹۳)، کلسیم در برابر کلر (a)، سدیم در برابر کلر (b)، سولفات در برابر کلر (c) و کلسیم در برابر سولفات (d)

ترتیب سولفات کلسیک، کلروره سدیک در فصل مرطوب و در فصل خشک کلروره کلسیک و سولفات سدیک می‌باشد. افزایش خطی سدیم و کلر نسبت به TDI نشان‌دهنده انحلال هالیت در منطقه است که منشأ آن را می‌توان به انحلال نمک و ژپس سازند گچساران موجود در اطراف چشمه توسط رودخانه تمبی، تغذیه چشمه توسط این رودخانه، مرتبط دانست. نسبت‌های یونی و نمودارهای ترکیبی نشان‌دهنده تخریب کیفیت آب چشمه گرو و در نتیجه فرآیندهای مختلف انحلال هالیت و ژپس سازند گچساران و ورود شورابه نفتی می‌باشد. در فرآیند اختلاط سه مؤلفه شورابه هالیتی، آب کارستی و شورابه‌های نفتی دخالت دارند، در فصل خشک اثر هر سه مؤلفه به خوبی دیده می‌شود، لیکن در فصل مرطوب به سبب افزایش حجم تغذیه از سوی آبخوان کارستی و همچنین شورابه هالیتی، تأثیر حجم ثابت شورابه نفتی دیده نمی‌شود و تأثیر دو عامل شورابه هالیتی و آب شیرین غالب است.

زیرا شورابه‌های نفتی علاوه بر کلر حاوی مقادیر زیادی سدیم و کلسیم می‌باشند. رابطه قوی‌تر بین یون‌های کلسیم و کلر (شکل ۶-ا) در فصل خشک نسبت به فصل مرطوب را می‌توان به عامل نفوذ شورابه‌های نفتی نسبت داد؛ زیرا در فصل خشک درصد شورابه نفتی به دلیل کاهش حجم آب شیرین افزایش می‌یابد. همچنین در فصل خشک به دلیل غالب بودن تغذیه چشمه توسط آبخوان کارستی تاقدیس آسماری و کم شدن تغذیه توسط رودخانه تمبی، یون‌های سولفات و کلسیم با یون کلر و یون کلسیم با سولفات همبستگی بالاتری را نشان می‌دهند.

۴- نتیجه‌گیری

نمودار پایپر نمونه‌های برداشت‌شده از چشمه گرو نشان‌دهنده رخساره هیدروشیمیایی نوع کلروره سدیک و آب پیرومتر AS2 و AS3 به

Nzibavuga Nyarubakula Muzuka A, Martz L, Charles Komakech H, Elisante E, Kisaka M, Ntuza C (2017) Origin and mechanisms of high salinity in Hombolo Dam and groundwater in Dodoma municipality Tanzania, revealed. *Applied Water Science*, 7(6):2883-2905

Rezaei M (2009) Application of Statistical methods, saturation indices, and the composite diagrams in the groundwater quality assessment in the Kerman plain aquifer. *Iran-Water Resources Research*, 5(3):28-38 (In Persian)

Whittemore, DO (1984) Geochemical identification of salinity sources. In: *Proc. of Salinity in Watercourses and Reservoirs*, 13-15 July, Utah, USA, 505-514

Whittemore, DO (1993) Ground-water geochemistry in the mineral intrusion area of Groundwater Management District No. 5 south-central Kansas. *Kansas Geological Survey Open-File Report*, 93-2:107

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*, Manhattan, NY, 28 p

Zarei M, Raeisi EJ, Merkel B, Kummer NA (2012) Identifying sources of salinization using hydrochemical and isotopic techniques. *Environmental earth science*, 70:587-604 (In Persian)

1- Total Dissolved Ion

۶- مراجع

Ayers J, Goodbred S, George G, Fry D, Benneyworth L, Hornberger G, Roy K, Rezaul Karim M, Akter F (2016) Sources of salinity and arsenic in groundwater in southwest Bangladesh. *Geochemical Transactions* 17:1-22

Etemad Shahidi AF, Saburi AA, Parsa J (2011) Control of salinity intrusion in Arvand estuary under different hydrological conditions. *Iran-Water Resources Research*, 7(2):50-60 (In Persian)

Freeman J (2007) The use of bromine 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

Leonard AR, Ward PE (1962) Use of Na/Cl ratios to distinguish oil-field from salt-spring brines in Western Oklahoma. *Geological Survey Professional Paper* 450-B:126-127

Mast VA (1982) The use of ionic mixing curves in differentiating oil-field brine in a fresh-water aquifer. *Ground Water Monitoring and Remediation* 5(3):65-69