



شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان

خلاصه گزارش طرح

عوامل موثر بر کیفیت و آب زمین شیمی منابع آب زیرزمینی دشت سراوان،
جنوب شرقی ایران

مجری پروژه:

رضا جهانشاهی

مقدمه

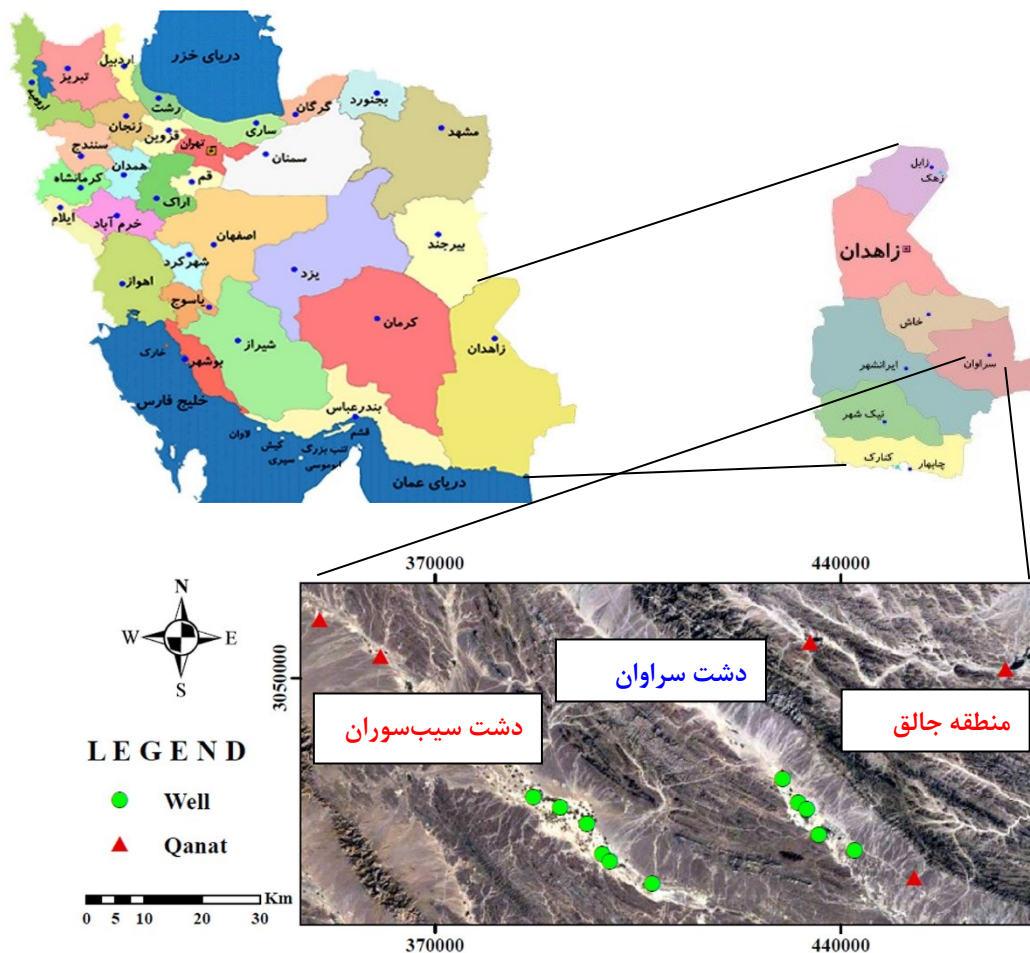
آب‌های زیرزمینی یکی از مهمترین منابع تامین آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند، با توجه به محدودیت منابع آب در کل دنیا، مطالعه کیفیت آب به شناسایی و استفاده هر چه بهتر آن کمک می‌کند. در بسیاری از دشت‌های ایران، کیفیت آب زیرزمینی به دلیل برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها در جهت توسعه کشاورزی، کاهش یافته است. از آنجایی که در منطقه سراوان توسعه شهرنشینی و کشاورزی وابسته به منابع آب زیرزمینی می‌باشد، بررسی عوامل موثر بر کیفیت منابع آب اهمیت زیادی دارد. براین اساس پژوهش بر مبنای داده‌های سطح ایستابی، کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی در دشت سراوان و مقایسه آن با مناطق مجاور (دشت سیب‌سوران و منطقه جالق) انجام شده است.

منطقه مورد مطالعه

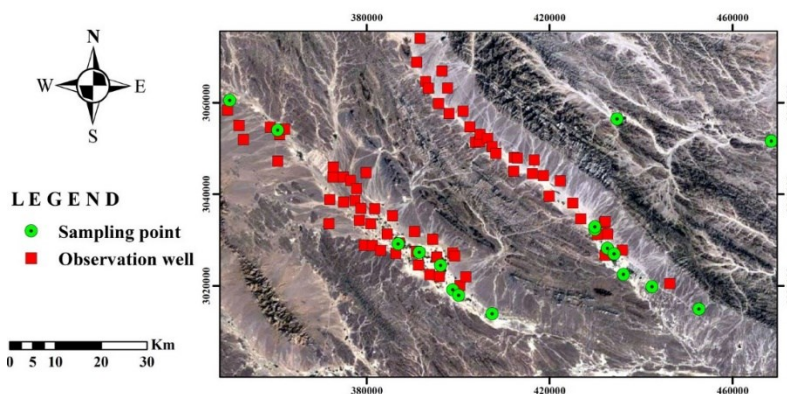
منطقه مطالعاتی در محدوده طول جغرافیایی $30^{\circ} 30' 00''$ تا $61^{\circ} 16' 48''$ و عرض جغرافیایی $27^{\circ} 08' 60''$ تا $27^{\circ} 29' 24''$ در شرق استان سیستان و بلوچستان (جنوب شرقی ایران) و در حوزه آبریز ماشکیل با وسعت تقریبی ۲۸۱۵ کیلومتر مربع قرار گرفته‌اند. رودخانه فصلی سیمیش تنها رودخانه فصلی بوده که از ارتفاعات بادامکوه (با ارتفاع حداکثر ۲۶۱۸ متر) واقع در ۳۸ کیلومتری شمال باختری سراوان سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از خط العقر دشت سراوان در جنوب خاوری آن با رودخانه روتک تلاقی نموده و پس از پیوستن شاخه اصلی ماشکیل، رودخانه ماشکیل را تشکیل می‌دهد (شکل ۱) (شرکت آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۷). آب و هوای شهرستان سراوان گرم و خشک، بیابانی، کویری و کم باران است در زمستان هوا معتدل و متوسط بارندگی در سال ۱۰۰ میلیمتر است. حوزه آبریز سراوان یا سیمیش رود از نظر زمین‌شناسی جزء حوزه فلیشی خاور ایران است و عمده نهشته‌های آن از جنس فلیش است. محدوده سراوان از دیدگاه زمین شناختی در زون مکران در جنوب فرورفتگی جازموریان قرار دارد. مرز غربی این منطقه گسل میناب، مرز جنوبی آن دریای عمان و مرز شرقی آن گسل چمن در کشور پاکستان می‌باشد. در حد شمالی آن گسل‌ها و تراست‌هایی با روند شرقی - غربی وجود دارند که گسل بشاگرد یکی از مهمترین آنها است. در امتداد این شکستگی‌ها، با بیرون‌زدگی‌های وسیع نمایان می‌باشد. قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه را آمیزه‌های رنگی تشکیل می‌دهند که به کرتاسه فوقانی پالئوسن تعلق دارند (به نقل از شرکت آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۷). روی تشکیلات زمین شناختی یاد شده، رسوبات ضخیم فلیش مانند ائوسن و الیگوسن وجود دارد که تناوبی از شیل، ماسه سنگ، مارن، فورس‌سنگ و کنگلومرا می‌باشد.

داده‌های پژوهش

جهت انجام این پژوهش در دشت سراوان، دشت سیب‌سوران و منطقه جالق از داده‌های کیفی نتایج آنالیز شیمیایی منابع آب زیرزمینی در ۱۷ محل نمونه‌برداری شده از چاه‌های نیمه‌عمیق و قنات‌های منطقه (شکل ۱)، داده کمی تراز سطح ایستابی ۵۴ حلقه چاه مشاهده‌ای (شکل ۲)، میزان برداشت و ساعت کارکرد و مقادیر بارش ایستگاه هوشک استفاده شده است. پارامترهای دما، هدایت الکتریکی و pH منابع آب در هنگام نمونه‌برداری و در محل اندازه‌گیری شدند. در زمان نمونه‌برداری از ظروف با حجم ۱ لیتری پلی‌اتیلن استفاده شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه مقادیر کاتیون و آنیون اصلی اندازه‌گیری شدند. غلظت کاتیون‌های کلسیم و منیزیم با استفاده از روش حجم‌سنجی نرمال، تعیین شد. کاتیون‌های سدیم و پتاسیم با استفاده از نورسنج شعله‌ای اندازه‌گیری شده‌اند. غلظت آنیون بیکربنات به روش حجم‌سنجی بدست آمد. میزان کلراید به روش مور از طریق حجم‌سنجی تعیین گردید. اندازه‌گیری آنیون سولفات با استفاده از کلرید باریم به وسیله دستگاه کدرسنج انجام شده است.



شکل ۱. نقشه پراکندگی محل های نمونه برداری منابع آب از چاه ها و قنات ها در منطقه مورد مطالعه

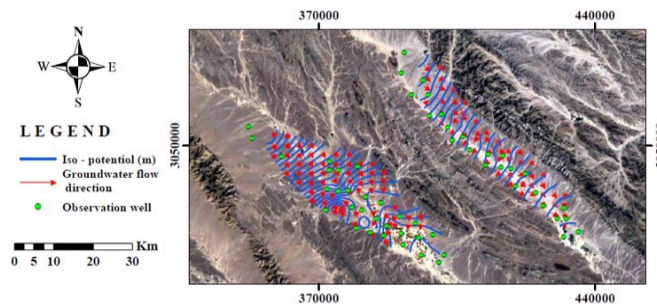


شکل ۲. نقشه پراکندگی چاه های مشاهده ای و محل های نمونه برداری در منطقه مورد مطالعه

بحث و نتایج

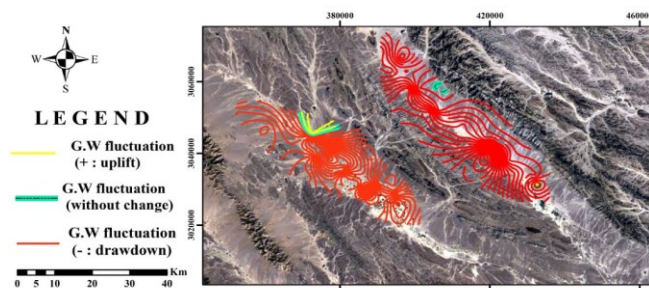
جهت جریان آب زیرزمینی

نقشه خطوط هم پتانسیل و جهت جریان آب زیرزمینی براساس متوسط سطح ایستایی چاه های مشاهده ای در دشت سراوان و دشت سیب سوران در سال ۱۳۹۹ ترسیم شده است (شکل ۳). بطور کلی در هر دو منطقه آب زیرزمینی از شمال غربی به سمت جنوب شرقی جریان دارد. این جهت جریان ها از توپوگرافی سطح زمین تبعیت کرده است.



شکل ۳. نقشه هم‌پتانسیل و خطوط جریان آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۹ در دو منطقه سراوان و سیب‌سوران

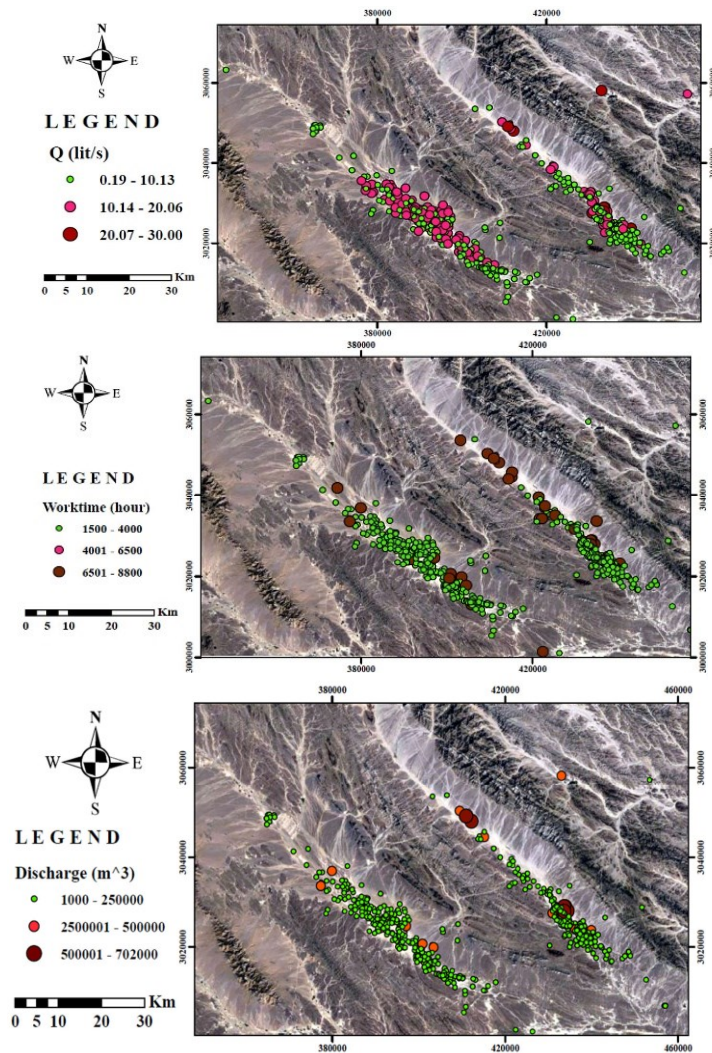
اختلاف تراز سطح ایستابی بین سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۹ در منطقه سراوان و سیب‌سوران (شکل ۴) نشان می‌دهد بطور کلی در کل منطقه افت سطح ایستابی تا $-7/88$ متر اتفاق افتاده است. بیشترین افت در دشت سیب‌سوران منطقه دیده می‌شود که بیشترین برداشت آب زیرزمینی نیز طی این سال‌ها در این قسمت از منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در قسمت شرق اختلاف افت زیاد نمی‌باشد چون برداشت آب زیرزمینی در این قسمت از منطقه کمتر بوده است.



شکل ۴. اختلاف خطوط هم‌پتانسیل سطح ایستابی بین سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹ در دشت سراوان و سیب‌سوران

میزان برداشت از آب زیرزمینی

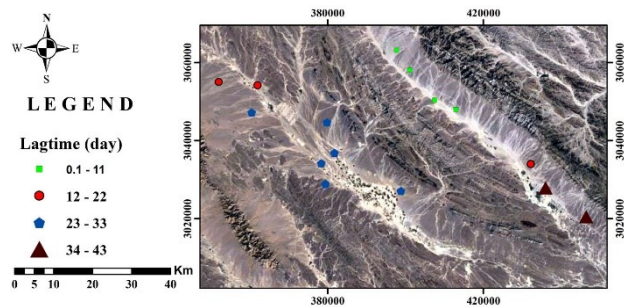
نقشه پراکندگی دبی، ساعت کارکرد و تخلیه سالانه از چاه‌های بهره‌برداری در منطقه مورد مطالعه در شکل ۵ ارائه شده است. در قسمت دشت سراوان دبی چاه‌های بهره‌برداری از مقادیر $0/19$ تا 30 لیتر بر ثانیه و در دشت سیب‌سوران از مقادیر $10/14$ تا $20/06$ لیتر بر ثانیه متغیر می‌باشد. لذا بیشترین دبی خروجی چاه‌ها در غرب یا دشت سیب‌سوران می‌باشد. بیشتر ساعت کارکرد در سال در غرب و شرق منطقه در حدود $400-1500$ است. تخلیه سالانه در مناطق مورد مطالعه عمدتاً مقادیر $2500-1000$ مترمکعب را به خود اختصاص داده است.



شکل ۵. نقشه پراکندگی پارامترهای دبی، ساعت کارکرد و تخلیه سالانه چاه‌های بهره‌برداری در مناطق مورد مطالعه

رابطه تغییرات بارندگی و سطح ایستابی

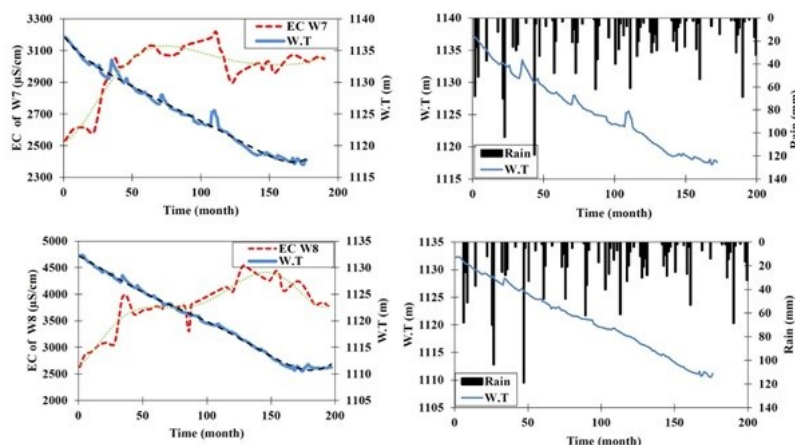
براساس روش کوهرنسی- فاز دیگرام تأخیر زمانی بین اثر بارندگی بر سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی محاسبه شده و نقشه پراکندگی آن در شکل ۶ نشان داده شده است. کمترین تأخیر زمانی (حدوداً کمتر از ۱۱ روز) در بالادست دشت سراوان دیده می‌شود و بطور کلی به سمت پایین دست مناطق مطالعاتی و همچنین در محدوده نواحی مسکونی تأخیر زمانی افزایش یافته است. این افزایش تأخیر زمانی احتمالاً به دلیل کاهش اندازه ذرات و کاهش نرخ نفوذ در پایین دست و همچنین توسعه شهرنشینی (مناطق با پوشش سیمان، آسفالت و ایزوگام) ایجاد شده است.



شکل ۶. پراکندگی تأخیر زمانی بین تغییرات بارندگی و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در مناطق مورد مطالعه

رابطه تغییرات سطح ایستابی و کیفیت آب

تغییرات زمانی، بارش، سطح ایستابی و هدایت الکتریکی آب زیرزمینی برخی از چاه‌های مشاهده‌ای منطقه مورد مطالعه از سال ۱۳۸۱ تا سال ۱۳۹۹ در شکل ۷ ترسیم شده است. در میزان تغییرات زمانی بارش روند فصلی مشاهده می‌شود اما روند کاهشی یا افزایش طی مدت دیده نمی‌شود. در حالی که به‌خوبی روند کاهشی سطح ایستابی در مناطق مورد مطالعه رخ داده است. همچنین دیده می‌شود هم‌زمان با کاهش سطح تراز آب زیرزمینی در اثر برداشت از دو آبخوان سراوان و سیب‌سوران، روند افزایش هدایت الکتریکی (افزایش شوری) و یا کاهش کیفیت آب زیرزمینی اتفاق افتاده است.



شکل ۷. نمودار تغییرات زمانی هدایت الکتریکی، بارش و سطح ایستابی در مناطق مورد مطالعه

آب‌زمین‌شیمی منابع آب زیرزمینی

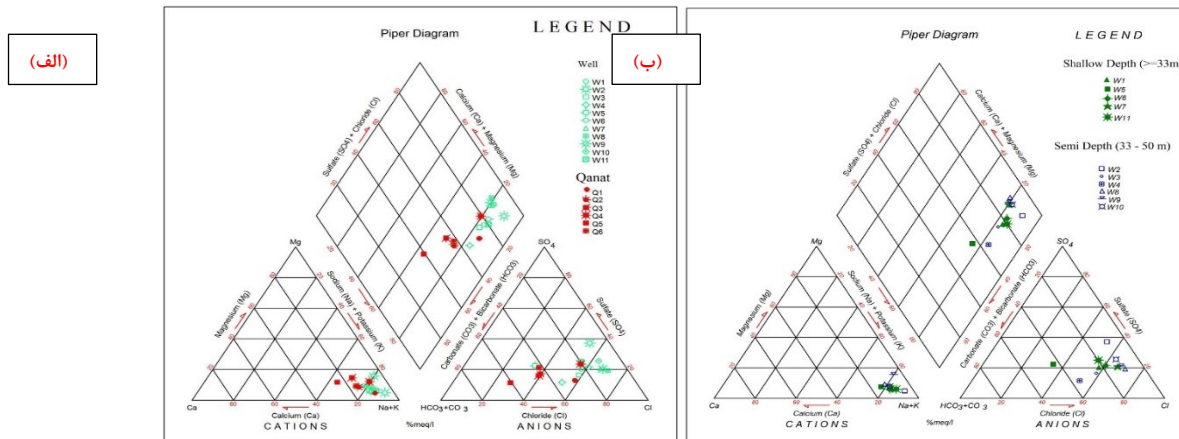
با استفاده از نمودار پاپیر (شکل ۸) مشخص است که در آب‌زیرزمینی مناطق مورد مطالعه سه رخساره آب NaCl ، NaSO_4 و $\text{NaCl}(\text{HCO}_3)$ وجود دارد. به‌طور کلی دیده می‌شود روند افزایش کلراید و سدیم از منابع آب قنات به منابع آب چاه در مناطق مورد مطالعه رخ داده است. به منظور اثر عمق چاه بر تیپ آب زیرزمینی، نوع چاه کم عمق و نیم عمیق نمونه‌های آب بر روی نمودار پاپیر در شکل ۸ مشخص شده است. بر اساس آن دیده می‌شود که افزایش عمق چاه سبب افزایش درصد کلراید و سدیم شده است. نقشه پراکندگی رخساره نمونه‌های آب در شکل ۹ نشان می‌دهد که تیپ کلروسدیک عمدتاً در محدوده سراوان و جالق و رخساره کلرو-بیکربنات سدیک در دشت سیب‌سوران گسترش یافته است.

هدایت الکتریکی آب زیرزمینی (شکل ۱۰) در مناطق مورد مطالعه حدوداً بین ۵۰۰ تا ۹۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر می‌باشد. کمترین مقدار هدایت الکتریکی در قنات Q^5 در شرق منطقه سراوان و بیشترین مقدار آن در چاه W^2 در دشت سراوان مشاهده می‌شود. مقدار pH منابع آب محدوده مطالعاتی $7/4$ تا $7/9$ متغیر است و بطور کلی از بالادست به سمت پایین دست دو دشت کاهش آن دیده می‌شود (شکل ۱۰). در آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه، کلسیم غلظتی بین $17/34$ تا $102/62$ میلی‌گرم در لیتر دارد. کمترین غلظت در قنات Q^2 و بیشترین غلظت مربوط به چاه W^{10} می‌باشد (شکل ۱۱). پراکندگی غلظت کلسیم در منطقه جالق کمتر بوده و در دو منطقه سراوان و سیب‌سوران تفاوت چندانی با هم ندارند. مقدار منیزیم از غلظت $5/86$ تا $54/91$ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. مشابه با کلسیم کمترین غلظت یون منیزیم در قنات Q^2 و بیشترین غلظت به چاه W^{10} مربوط می‌شود (شکل ۱۱). یون سدیم از غلظت $66/01$ تا $1789/4$ میلی‌گرم در لیتر در منابع آب زیرزمینی تغییر کرده است و یون پتاسیم غلظتی بین $2/48$ تا $33/63$ میلی‌گرم در لیتر دارد. نقشه پراکندگی این دو مشابه هدایت الکتریکی است و از هدایت الکتریکی پیروی می‌کند (شکل ۱۱).

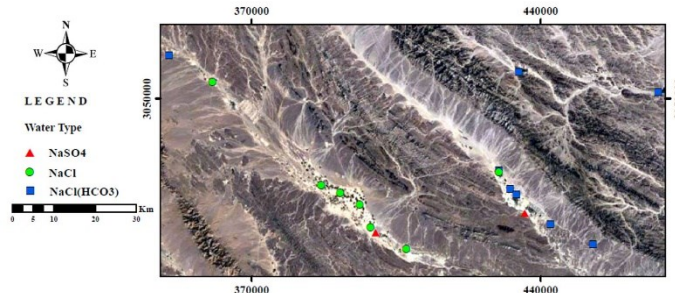
در منابع آب مناطق مطالعاتی یون کلراید از غلظت $46/05$ تا $1639/61$ میلی‌گرم در لیتر در حال تغییر است (شکل ۱۲). کمترین و بیشترین غلظت به ترتیب مربوط به قنات Q^5 و چاه W^2 در قسمت شرق و مرکز منطقه مطالعاتی می‌باشد. بطور کلی در آب زیرزمینی منطقه سیب‌سوران، کلراید بیشتری نسبت به منطقه سراوان دیده می‌شود. یون کربنات از غلظت $0/01$ میلی‌گرم تا $5/45$ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. نقشه پراکندگی یون کربنات (شکل ۱۲) نشان می‌دهد که دو دشت از شمال غرب به جنوب شرق روند افزایشی دارد و در چاه W^2 بیشترین غلظت و در چاه‌های W^1 و W^7 کمترین غلظت دیده می‌شود. در منابع آب زیرزمینی یون بی‌کربنات از غلظت $150/35$ تا $495/76$ میلی‌گرم در لیتر در حال تغییر است (شکل ۱۲). بیشترین غلظت مربوط به چاه W^1 و W^2 و کمترین غلظت مربوط به قنات

Q^۲ است. بازه مقدار یون سولفات در آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه از غلظت ۲۵/۳۱۵ تا ۱۵۵۵/۰۲ میلی گرم در لیتر تغییر یافته است. بیشترین غلظت یون سولفات در چاه W^۲ و کمترین آن در قنات Q^۵ دیده می شود (شکل ۱۲). نقشه پراکندگی این یون نشان می دهد هر چند حداکثر غلظت این یون در منطقه سراوان دیده می شود اما بطور کلی منابع آب محدوده سیب سوران سولفات بیشتری در مقایسه با منطقه سراوان دارد.

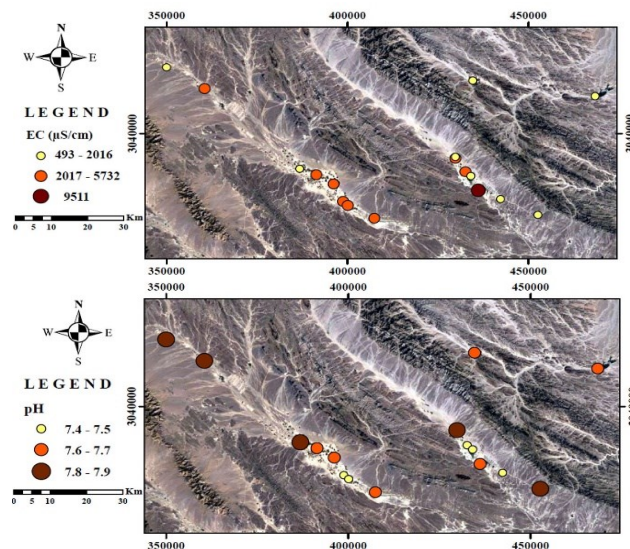
معمولا در طول مسیر حرکت آب زیرزمینی مقدار یون کلراید افزایش می یابد زیرا این یون پایستار بوده و در واکنش های شیمیایی شرکت نمی کند. براساس این ویژگی است که در مدل سازی انتقال جرم در آب زیرزمینی از یون کلراید جهت واسنجی پارامترهای پراکنش طولی و عرضی آبخوان استفاده می شود. لذا، می توان غلظت کلراید را معیاری از طول طی شده مسیر آب زیرزمینی در نظر گرفت (تاد و میز، ۲۰۰۵). براین اساس نمودارهای دو متغیره غلظت یون کلراید با غلظت یون های اصلی ترسیم شده است (شکل ۱۳). یون های سولفات، پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم روند افزایشی نسبتا خوبی با یون کلراید دارند. در حالی که برای یون کربنات روند افزایشی با شیب کم تر دیده می شود. علت آن می تواند به دو دلیل باشد: ۱- انحلال کانی های کربنات دار در طول مسیر آب زیرزمینی؛ آب نسبت به بیکربنات یا کربنات در مقایسه با کلراید زودتر به حالت اشباع می رسد و بعد از مدتی انحلال بی کربنات و کربنات رخ نمی دهد و یا حتی تمایل به رسوب دیده می شود ۲- تغییرات pH باعث تغییر در مقدار بی کربنات می شود.



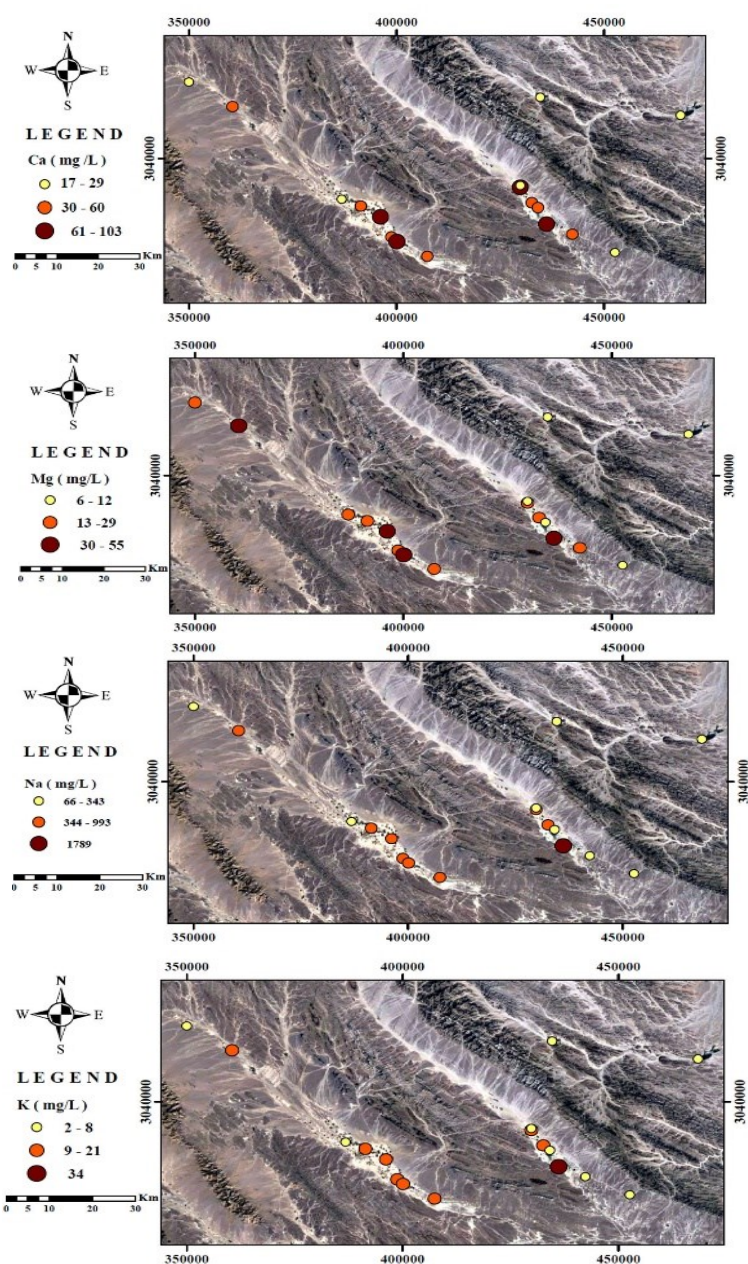
شکل ۸. نمودار پایپر نمونه های کلی آب زیرزمینی در مناطق مورد مطالعه



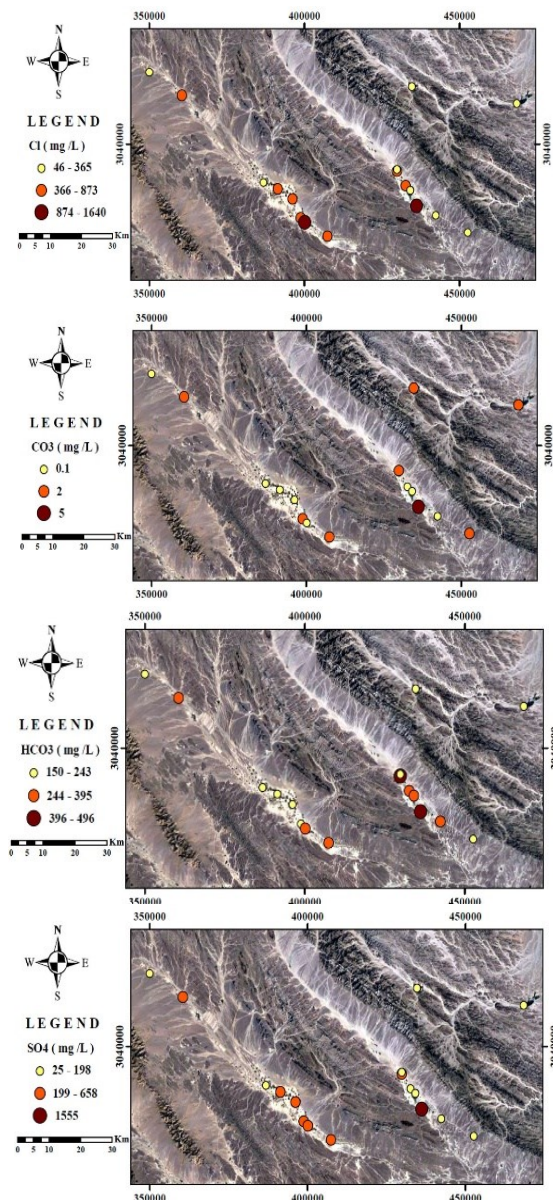
شکل ۹. نقشه پراکندگی نوع آب زیرزمینی در مناطق مورد مطالعه



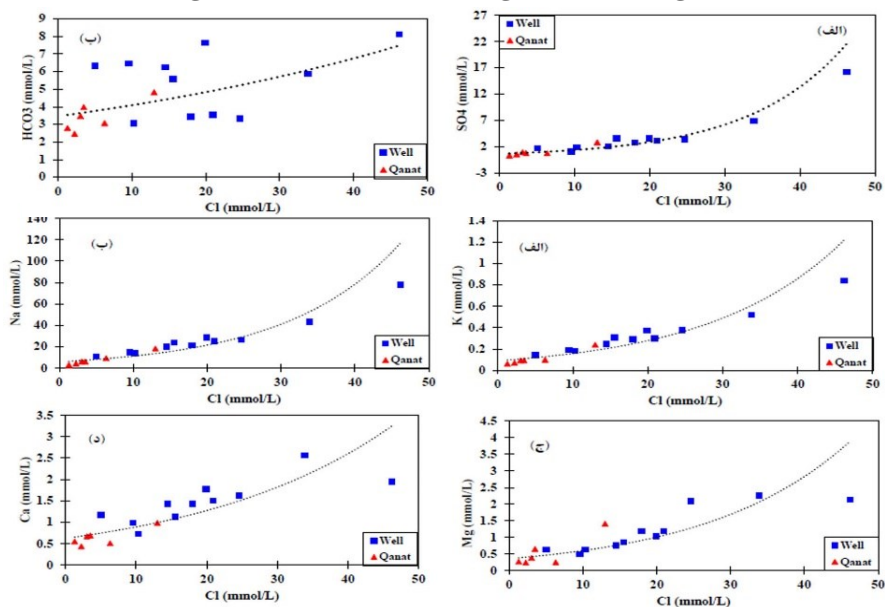
شکل ۱۰. نقشه پراکندگی EC و pH در آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه



شکل ۱۱. نقشه پراکندگی کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم در آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه



شکل ۱۲. نقشه پراکندگی کلراید، کربنات، بی کربنات و سولفات در آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه

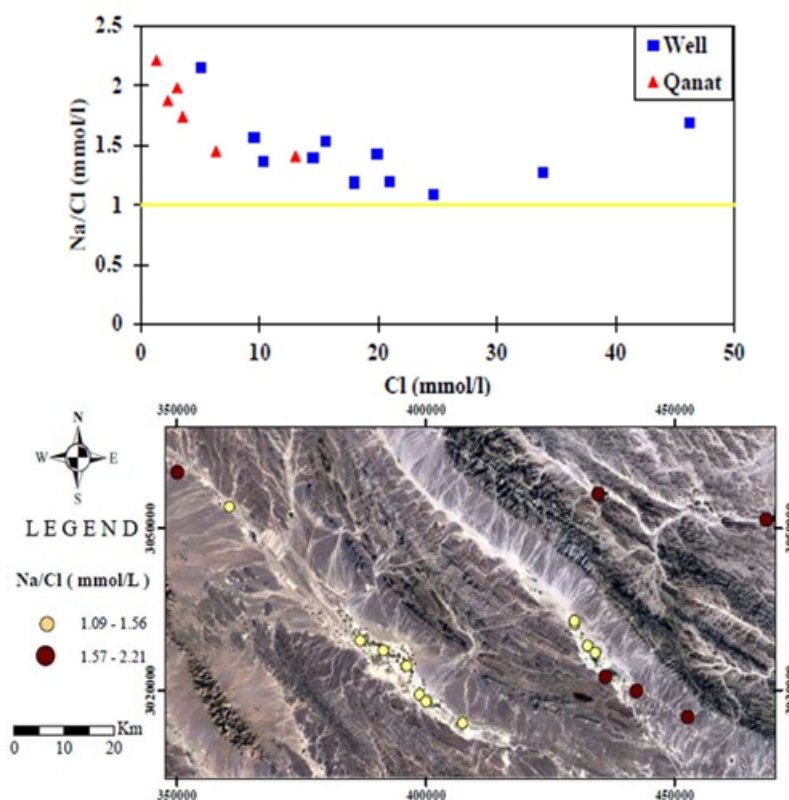


شکل ۱۳. نمودار تغییر یون‌های اصلی در برابر کلرید در منابع آب منطقه مورد مطالعه

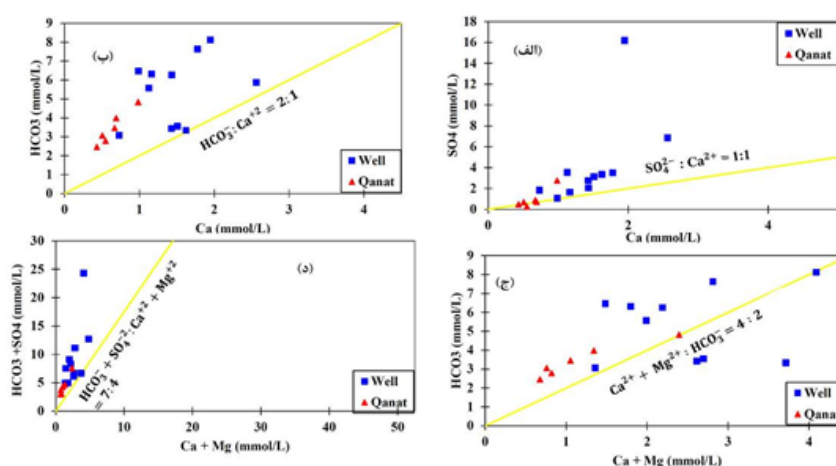
جهت فهم تأثیر فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نسبت‌های یونی مد نظر قرار گرفته است. از مقدار نسبت مولی Na/Cl می‌توان به منشأ سدیم در آب زیرزمینی منطقه پی برد. در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود که نسبت مولی Na/Cl بیشتر نمونه‌ها بالای عدد ۱ می‌باشند و این نشان می‌دهد به جز هالیت منشاهای دیگری سبب ورود سدیم به آب زیرزمینی منطقه شده است؛ که

محتمل‌ترین آن هوازدگی‌های سیلیکاته‌های سدیم‌دار می‌باشد. نقشه پراکندگی این نسبت در شکل ۱۴ بیان می‌کند در منطقه سراوان اثر هوازدگی سیلیکات‌ها بر شیمی آب زیرزمینی بیش از منطقه سیب‌سوران است.

در شکل ۱۵ الف نمودار سولفات در مقابل کلسیم نشان می‌دهد که نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بالای خط نسبت ۱:۱ قرار گرفته‌اند. لذا به جز انحلال ژپس بخشی از کلسیم در منابع دیگر به آب زیرزمینی ورود کرده است. نمودار کلسیم در مقابل بی‌کربنات در شکل ۱۵ ب و ج نیز بیان می‌کند انحلال کلیست و دولومیت نیز همه کلسیم و منیزیم آب زیرزمینی را تامین نمی‌کند. شکل ۱۵ د نشان می‌دهد انحلال هم‌زمان ژپس کلسیت و دولومیت و همچنین سیلیکات‌های کلسیم‌دار در منطقه رخ داده است



شکل ۱۴. نمودار نسبت مولی Na/Cl در مقابل Cl و نقشه پراکندگی آن

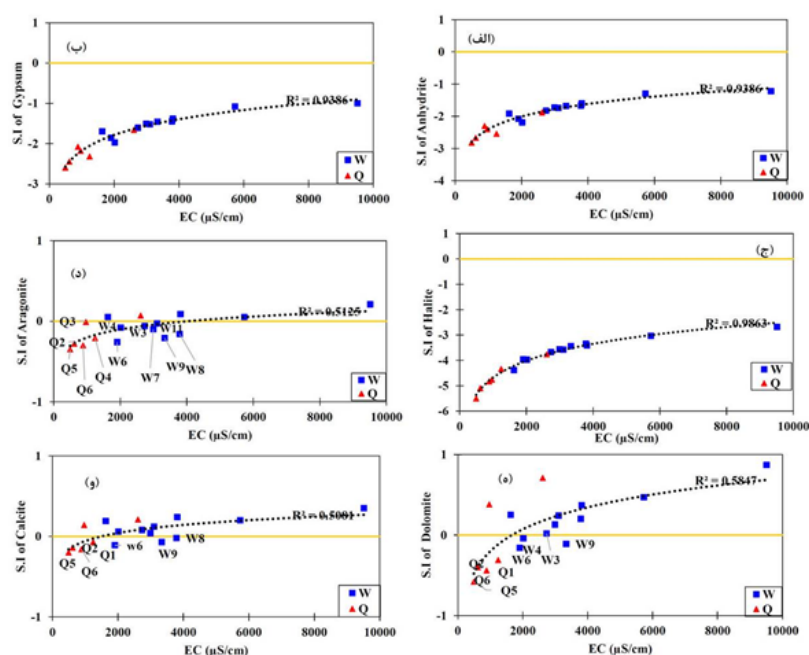


شکل ۱۵. نمودار نسبت‌های یونی یون‌های اصلی

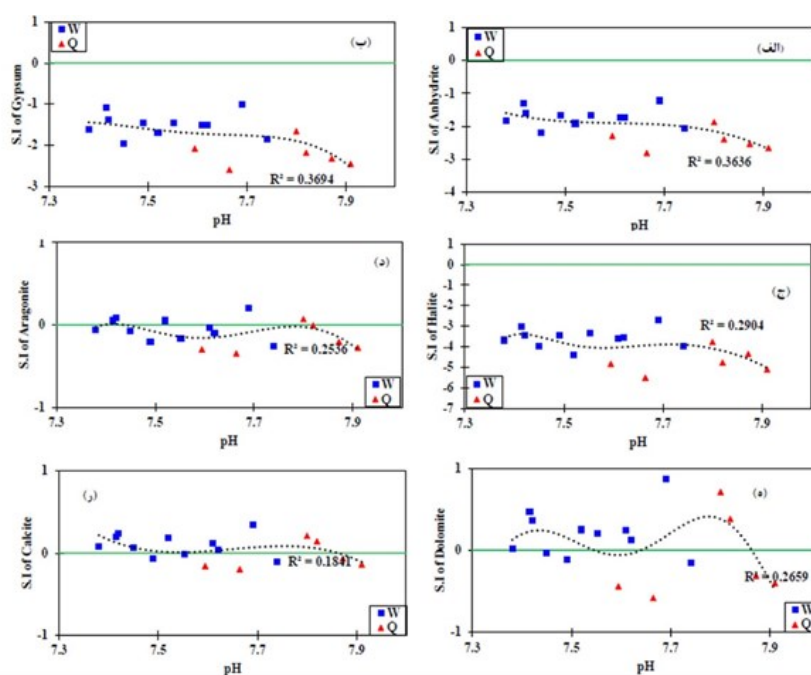
با محاسبه اندیس اشباع برخی از کانی‌های معمول موجود در واحدهای زمین‌شناسی دیده می‌شود که در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه کانی‌های انیدریت، ژپس و هالیت اندیس منفی داشته و تمایل به انحلال دارند (شکل ۱۶). در حالی که کانی‌های کربناته آراگونیت، دولومیت و کلسیت در بیشتر موارد به حالت اشباع و یا فوق اشباع هستند (شکل ۱۶). کانی آراگونیت در محل قنات‌های Q۵۴، Q۳، Q۲ و

Q^۶ و چاه‌های W^۳، W^۴، W^۶، W^۷، W^۸، W^۹ و W^{۱۱} تحت اشباع می‌باشد و لذا حل شدن این کانی در آب زیرزمینی رخ می‌دهد (شکل ۱۶). کانی دولومیت در نمونه قنات‌های Q^۱، Q^۲، Q^۵ و Q^۶ و چاه‌های W^۴، W^۶ و W^۹ حالت تحت اشباع دارند و در چاه W^۳ این کانی بصورت اشباع می‌باشد (شکل ۱۶). کانی کلسیت در نمونه‌های Q^۱، Q^۲ و Q^۶، W^۸، W^۹ و W^{۱۱} تحت اشباع دیده می‌شوند (شکل ۱۶). بطور کلی با افزایش شوری منابع آب، افزایش اندیس اشباع کانی‌ها رخ داده است و این اندیس‌ها در منابع آب چاه‌ها بیش از منابع آب قنات می‌باشد.

رابطه اندیس اشباع کانی‌ها با افزایش مقدار pH در منابع آب در شکل ۱۷ ارائه شده است. بطور کلی یک رابطه معکوس دیده می‌شود. به عبارت دیگر با افزایش قلیائیت منابع آب کاهش اندیس اشباع و یا افزایش تمایل به انحلال بیشتر شده است.



شکل ۱۶. مقادیر اندیس اشباع کانی‌های انیدریت (الف)، ژپس (ب)، هالیت (ج)، آراگونیت (د)، دولومیت (ه) و کلسیت (و) در مقابل افزایش شوری منابع آب



شکل ۱۷- اندیس اشباع در مقابل pH انیدریت (الف)، ژپس (ب)، هالیت (ج)، آراگونیت (د)، دولومیت (ه) کلسیت (و)

ضرب همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی منابع آب منطقه مورد مطالعه به روش پیرسون در جدول ۱ ارائه شده است. پارامترهایی که ضریب همبستگی آن‌ها بالای ۰/۶ است؛ دارای همبستگی نسبتاً خوبی می‌باشند. یون سولفات بیشترین ضریب همبستگی مثبت را با یون‌های Na, K, Ca, Mg, Cl, HCO^۳ و CO^۳ به ترتیب برابر با ۰/۹۷۷، ۰/۹۵۶، ۰/۶۴۹، ۰/۷۹۵، ۰/۹۱، ۰/۶۰۲ و ۰/۷۸۴ دارد. pH با همه عناصرها رابطه منفی دارند به جز یون بی‌کربنات که کمترین مقدار در بین یون‌ها را دارا می‌باشد. کلراید با همه یون‌ها رابطه مثبت دارد اما بیشترین ضریب همبستگی با یون پتاسیم می‌باشد.

برای بررسی تاثیرگذاری عوامل روی ترکیب آب زیرزمینی از روش تحلیل عاملی استفاده شده است (جدول ۲). در منطقه مورد مطالعه ۲ عامل موثر، که مقادیر ۸۸/۴۳۸ تغییرات واریانس کل آن می‌باشد، شناسایی شده‌اند. در عامل اول همه یون‌ها به جز کربنات بار بالایی دارند. لذا عامل اول انحلال کانی‌ها می‌باشد که کیفیت منابع آب را کنترل می‌کند. با توجه به بار عاملی بالای pH در عامل دوم، این مولفه عوامل کنترل کننده اسیدیته/قلیات منابع آب می‌باشد؛ که معمولاً انحلال کانی‌های کربناته را شامل می‌شود.

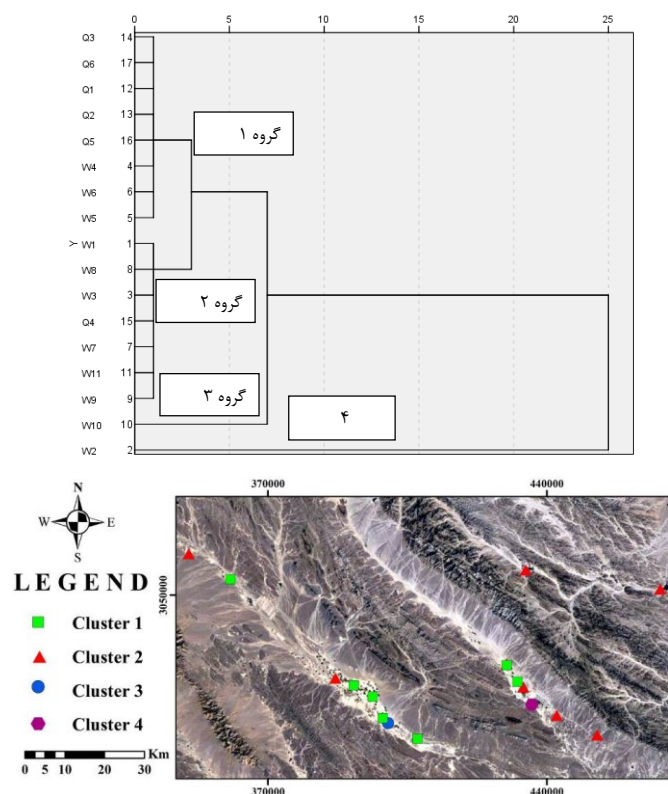
جدول ۱. ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی منابع آب منطقه مورد مطالعه

	Na	K	Ca	Mg	Cl	Hco ^۳	Co ^۳	So ^۴	pH
Na	۱								
K	۰/۹۹۴	۱							
Ca	۰/۷۶۸	۰/۸۲	۱						
Mg	۰/۸۵۶	۰/۸۸۹	۰/۸۹۱	۱					
Cl	۰/۹۷۱	۰/۹۸۵	۰/۸۷	۰/۹۲۴	۱				
Hco ^۳	۰/۶۴۶	۰/۶۳۸	۰/۵۴۸	۰/۴۵۸	۰/۵۵۶	۱			
Co ^۳	۰/۶۸۲	۰/۶۱۱	۰/۱۱۵	۰/۳۴۸	۰/۵۴۳	۰/۲۸۹	۱		
So ^۴	۰/۹۷۷	۰/۹۵۶	۰/۶۴۹	۰/۷۹۵	۰/۹۱	۰/۶۰۲	۰/۷۸۴	۱	
pH	-۰/۲۷۸	-۰/۳۲۲	-۰/۶۵۱	-۰/۳۲۱	-۰/۳۵۶	-۰/۵۴۹	۰/۲۸	-۰/۱۳۴	۱

جدول ۲. ضرایب تحلیل عاملی

	Component	
	۱	۲
Na	۰/۹۸۶	۰/۱۵۲
K	۰/۹۹۲	۰/۰۷۹
Ca	۰/۸۵۵	-۰/۴۳۳
Mg	۰/۹۰۱	-۰/۰۸۳
Cl	۰/۹۸۰	۰/۰۱۸
HCO ^۳	۰/۶۸۷	-۰/۲۶۸
CO ^۳	۰/۵۷۴	۰/۷۴۴
SO ^۴	۰/۹۴۰	۰/۳۱۲
pH	-۰/۴۰۱	۰/۸۴۰

در تحلیل خوشه‌ای طبقه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی از طریق شباهت‌ها با توجه به ویژگی‌های هیدروشیمیایی انجام شده است (شکل ۱۸) گروه اول چاه‌های W^۴، W^۶، W^۵ و قنات‌های Q^۱، Q^۲، Q^۳، Q^۶ و Q^۵ با تیپ آب NaCl (HCO^۳)، گروه دوم شامل چاه‌های W^۹، W^۱، W^۷، Q^۴، W^۸ و W^{۱۱} با تیپ آب NaCl، گروه سوم چاه W^۲ و گروه چهارم چاه W^{۱۰} با تیپ آب NaSO^۴ تشخیص داده شده است.



شکل ۱۸. نمودار خوشه‌ای برمبنای یون‌های اصلی و نقشه پراکندگی آن در منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

در دو منطقه سراوان و سیب‌سوران حرکت و جهت جریان آب زیرزمینی از توپوگرافی سطح زمین پیروی کرده و از طرف شمال‌غربی به سوی جنوب‌شرقی است. در مناطق مورد مطالعه برداشت آب، تخلیه سالانه و دبی در مرکز و قسمت شهرنشینی بیشتر می‌باشد و دلیل حفر چاه‌های زیاد در منطقه، افت سطح ایستابی رخ داده است. میزان دبی چاه‌های بهره‌برداری، ساعت کارکرد و برداشت سالیانه در آبخوان سیب‌سوران بیش از دشت سراوان می‌باشد و به همین دلیل در دشت سیب‌سوران بیشترین تغییرات زمانی و مکانی سطح ایستابی ایجاد شده است. رخساره کلزوره بیشترین گسترش را آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه دارد و کاهش کیفیت آب زیرزمینی در منطقه بیشتر در مرکز قسمت شهرنشینی دو دشت می‌باشد و در قنات‌ها کیفیت آب بهتر از چاه‌های منطقه می‌باشد. زیرا از یک طرف مادر چاه قنات در بالاست آبخوان و درون مخروط افکنه که آب زیرزمینی کیفیت بهتری دارد، حفر شده اند و از طرف دیگر سیستم زهکشی قنات به نحوی است که فقط آب زیرزمینی مازاد بالاتر از تراز دهنه قنات خارج می‌شود و آب‌های زیرزمینی عمیق‌تر آبخوان که شوری بیشتری دارد را خارج نمی‌کند. بر اساس نمودارهای دو متغیره غلظت یون کلراید در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه با غلظت یون‌های سولفات، پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم روند افزایشی نسبتاً خوبی با یون کلراید دارند. در حالیکه برای یون کربنات روند افزایشی با شیب کم‌تر دیده می‌شود. در نهایت عامل اصلی کنترل‌کننده کیفیت منابع آب زیرزمینی در مناطق مطالعاتی تاثیر واحدهای زمین‌شناسی می‌باشد که در ادامه بر اثر عوامل انسانی (برداشت آب زیرزمینی) نرخ کاهش کیفیت آب زیرزمینی را تشدید کرده است. لذا پیشنهاد می‌گردد به منظور کاهش اثرات نامطلوب برداشت از منابع آب در مناطق مورد مطالعه، محدودیت عدم پمپاژ آب زیرزمینی از چاه W^۲ اعمال گردد و مطالعات و طرح‌های آبخیزداری در بالادست این دو منطقه، جهت مهار سیلاب‌ها و نفوذ آن به آبخوان مورد بررسی قرار گیرد.