

بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی در محدوده‌ی حسن آباد - ده‌چاه، شمال شرق نی‌ریز، استان فارس

مهديه سادات حسینی^۱، رضا جهانشاهی^{۲*}، ناصر اسدی^۳، محمد علی نصیری^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آب‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۴- کارشناس ارشد آب‌شناسی، بخش مدیریت انرژی، شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر

* نویسنده مسئول: jahanshahireza@science.usb.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۰۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۳۰

چکیده

هیدرو شیمی و کیفی منابع آب زیرزمینی آبخوان حسن آباد - ده‌چاه در شمال شرقی شهر ستان نی‌ریز در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفته است. سطح آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه در طول دوره آماری ۱۳۹۶ - ۱۳۸۴ حدود پنج متر کاهش داشته است و جهت حرکت آب زیرزمینی از غرب به سمت شمال شرقی و شرق منطقه مورد مطالعه است. با توجه به نقشه‌های هم‌ارزش هدایت الکتریکی، کاهش کیفیت آب زیرزمینی در چاه‌های شمال و شمال غربی منطقه مورد مطالعه مشهود است. با توجه به نمودار شولر و ویلکوکس بیشتر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه در ردیف آب‌های خوب و قابل قبول جهت مصارف آشامیدن و کشاورزی هستند. با توجه به بررسی تغییرات پارامترهای کیفی و ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم، بیشترین مقادیر یون‌های اصلی و هدایت الکتریکی، در آب زیرزمینی چاه‌های دهانه گشاد منطقه دیده می‌شود. با توجه به کاهش نزولات جوی و برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی، سطح ایستابی کاهش یافته است و به دلیل کاهش بارش، زمان ماندگاری بیشتر آب زیرزمینی موجود در اعماق بیشتر، و احتمالاً وجود آب زیرزمینی با مواد محلول بیشتر در عمق آبخوان، افزایش هدایت الکتریکی رخ داده است. همچنین نمودار EFe-D در ارزیابی رخساره‌های هیدروشیمیایی در طی اختلاط آب لب‌شور (چاه W10) و آب شیرین (قنات Q2) در منطقه نشان می‌دهد آب زیرزمینی لب‌شور بین ۲/۷ تا ۵۰ درصد به درون آب شیرین منطقه نفوذ کرده است. در این حالت تبادل کاتیونی معکوس رخ داده است و سدیم آب لب‌شور به وسیله ذرات آبخوان جذب شده و از محیط آبی خارج، و به وسیله کلسیم و منیزیم جایگزین شده است.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، اندیس اشباع، ایزوتوپ، هیدروژئوشیمی.

مقدمه

کشاورزی به زمین از مهم‌ترین مشکلات موجود در نواحی کشاورزی است که با زوال کیفیت آب و تأثیر بر کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی می‌تواند باعث متروکه شدن مزارع شود. از این رو پایش کیفی منابع آب زیرزمینی اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. در رابطه با مطالعات هیدروشیمی و کیفیت منابع آب

کیفیت و کمیت اجزای تشکیل‌دهنده آب زیرزمینی به پارامترهای زمین‌شناختی و محیطی بستگی داشته و دائماً در اثر فرایندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی، تغییر می‌کند. افت سطح آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق آب و نفوذ پساب‌های

تحقیقات گوناگونی در سطح ایران و جهان انجام شده است. برزگران و ملازاده (۱۳۹۵) به بررسی کیفیت آب دشت سریشه واقع در استان خراسان جنوبی از جهات کشاورزی، شرب و صنعت پرداختند. بر اساس نمودار ویلکاکس، ۷ نقطه از نقاط نمونه برداری شده برای کشاورزی مناسب نبوده و شور هستند؛ بقیه نقاط قابل استفاده برای کشاورزی هستند. بر اساس نمودار شولر، در اکثر نقاط نمونه گیری شده، میزان TDS آب در وضعیت مطلوبی قرار ندارد؛ اما در محدوده غیر قابل شرب واقع نمی شود. جهانشاهی و زارع (۲۰۱۶) با استفاده از تکنیک های هیدروژئوشیمیایی اثرات نفوذ آب شور از دریاچه مهارلو به آبخوان ساحلی را بررسی کردند. در دشت ساحلی بهره برداری زیاد از آبخوان باعث افت سطح ایستابی شده است و در نتیجه شیب هیدرولیکی از دریاچه به سمت آبخوان تغییر یافته است. در پی این پدیده، مهاجرت آب شور دریاچه به داخل آبخوان و مخلوط شدن آب شور و شیرین رخ داده است و باعث تخریب و تقلیل کیفیت آب زیرزمینی چاه های کشاورزی منطقه شده است. احمدی و همکاران (۱۳۹۶) ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی منطقه معدنی اردستان، استان اصفهان را انجام دادند؛ طبق نمودار شولر و ویلکوکس، کیفیت آب زیرزمینی در بیشتر مناطق برای کشاورزی و آشامیدن مناسب است؛ اما، با توجه به پتانسیل تولید زهاب اسیدی در اثر اکسایش کانی هایی همانند پیریت در هنگام استخراج ماده معدنی در آینده، ممکن است کیفیت منابع آب اردستان تحت تأثیر قرار گیرد. عسکری و همکاران (۱۳۹۶) هیدروشیمی منابع آب زیرزمینی در مناطق بزمان، ایرانشهر و اسپکه، جنوب شرق ایران را بررسی کردند. اکثر نمونه های آب چاه ها و بیشتر نمونه های آب چشمه ها، از نظر شرب در ردیف آب های خوب و قابل قبول هستند. در حالی که بر اساس نمودار ویلکوکس، بیشتر نمونه های آب زیرزمینی برای کشاورزی مناسب نیست، دلیل این امر، نسبت بالای جذب سدیم در آب های با هدایت الکتریکی پایین است، که سبب تخریب بافت خاک می شود. پازند و همکاران (۲۰۱۸) شناسایی

فرایندهای هیدروژئوشیمیایی و ارزیابی آب های زیرزمینی در منطقه نیمه خشک دشت اردستان در ایران مرکزی را با استفاده از شیمی یون های اصلی انجام دادند. نتایج نشان می دهد که تیپ غالب آب های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه سدیم کلراید است. نمودارهای توازن و نسبت های یونی نشان می دهد که هوازگی کانی های سیلیکاته، تبادل یونی و تبخیر، عوامل مهمی برای کنترل شیمی آب در منطقه مطالعاتی هستند. قائدامینی و ریاحی پور (۱۳۸۸) نشان دادند که کیفیت آب های زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ همدان عمدتاً تحت تأثیر انحلال کانی های کلسیت، ژپس، اکسیداسیون پیریت و تبادل یونی آب با رس های سدیم دار است. سلیمانی و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی در منطقه سر پل ذهاب در استان کرمانشاه از نظر شرب و آبیاری پرداختند؛ ۳۰ نمونه از آب های زیرزمینی در این منطقه جمع آوری شد و مشخص شد که این آب ها مناسب آشامیدن و کشاورزی هستند؛ طبق نمودار پایپر تیپ آب در این منطقه از نوع Ca-HCO_3 است. کیفیت آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی دشت حسن آباد- ده چاه در شهرستان نیریز، استان فارس، وابسته به نیازهای آبی منطقه می باشد. محصولات عمده کشاورزی و باغی که در این دشت کشت می شود؛ شامل گندم، جو، پنبه، چغندر قند، کنجد، ذرت، انار و غیره است. از آنجا که رشد این محصولات، وابسته به کودهای شیمیایی، حیوانی و آفت کش ها می باشد؛ ممکن است بر اثر نزولات جوی و آبیاری، آب نفوذ یافته به محیط غیر اشباع و در نهایت آب زیرزمینی حاوی غلظت بالایی از نیترات، فسفات و فلزات سنگین باشد. همچنین وجود واحدهای تبخیری در بین سازندهای زمین شناسی منطقه، باعث سوق یافتن آب زیرزمینی به کیفیت نامطلوب، به خصوص در نواحی شمالی و خروجی فلات ده چاه شده است (سازمان آب منطقه ای فارس، ۱۳۸۸). لذا در این پژوهش به بررسی عوامل تقلیل دهنده کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه از نظر هیدروژئوشیمی پرداخته می شود.

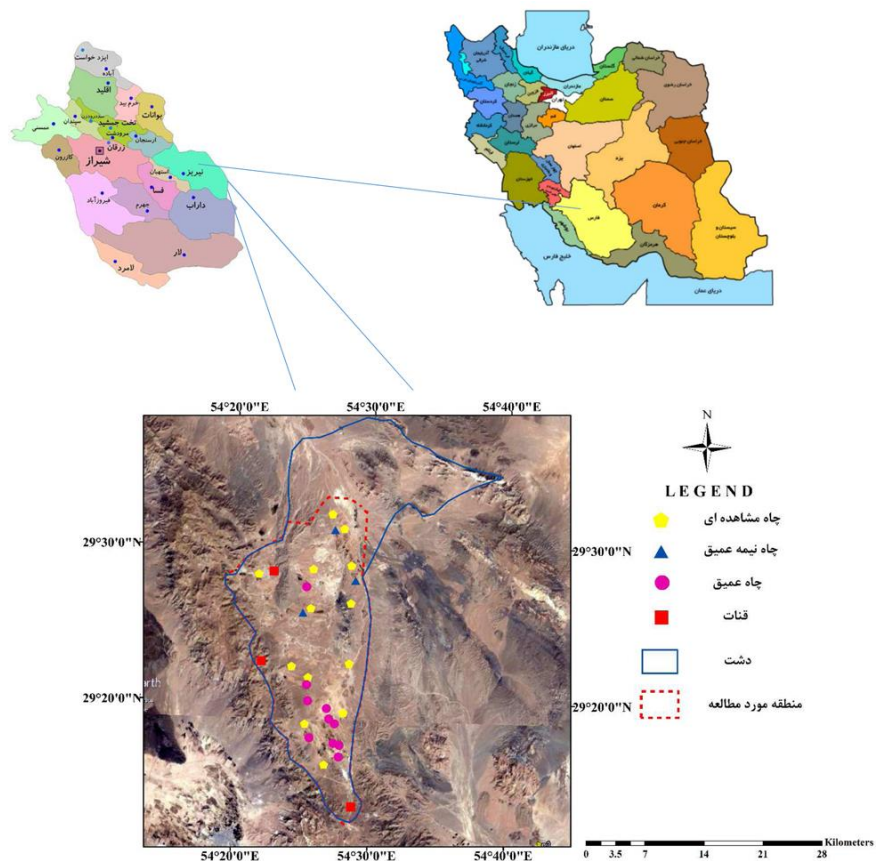
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

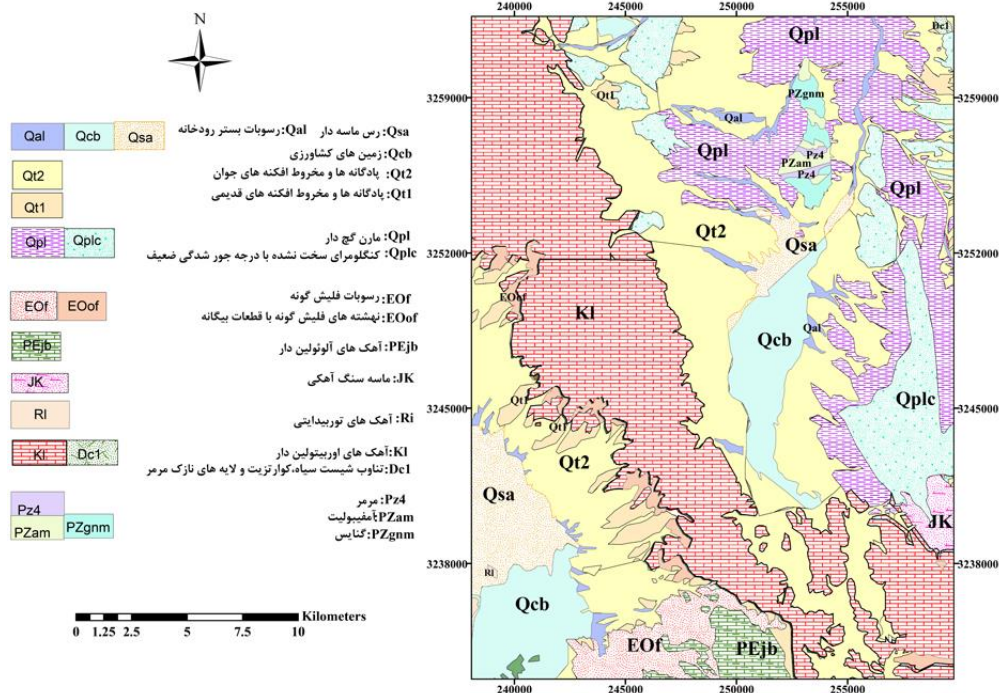
دشت حسن آباد - ده‌چاه در شرق استان فارس و در محدوده طول‌های جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی، و ۲۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و در ۲۶۵ کیلومتری جنوب شرقی شیراز و در شمال شرقی شهرستان نیریز قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه مورد مطالعه از سطح دریا برابر ۲۰۵۵/۱۲ متر است این محدوده، از نظر فیزیوگرافی، در حوزه آبریز حسن آباد (به وسعت ۸۱۸/۲۴ کیلومترمربع) قرار دارد (سازمان آب منطقه‌ای فارس، ۱۳۸۸). قدیمی‌ترین برون‌زد واحدهای سنگی منطقه، به پالئوزوئیک پایینی (کامبرین بالایی) تعلق دارد. سری سنگ‌های دونین بالایی، قدیمی‌ترین سنگ‌های پالئوزوئیک بالایی را در منطقه تشکیل می‌دهد. ارتفاعات جنوب غربی و جنوبی منطقه، اساساً از آهک‌های اوریتولین‌دار به سن کرتاسه تشکیل شده و به‌عنوان عامل تغذیه‌کننده فلات ده‌چاه نقش مهمی در پتانسیل آبی منطقه داشته است. رسوبات پیلوستوسن زیرین شامل مارن، سیلت و مارن‌های گچ‌دار است و مهم‌ترین محدوده گسترش آن فلات ده‌چاه در قسمت مرکزی و در قسمت کوچکی از شمال منطقه نیز وجود دارد (آقانباتی، ۱۳۸۳) (شکل ۲).

روش کار

به‌منظور بررسی هیدروژئوشیمی سفره‌ی آب زیرزمینی در محدوده دشت حسن آباد - ده‌چاه، تغییرات سطح ایستابی در ۱۳ چاه مشاهده‌ای و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ۱۶ نمونه آب زیرزمینی قنات، چاه کم‌عمق دهانه گشاد و چاه‌های عمیق (جدول ۱) مورد استفاده قرار گرفته است. بدین منظور نمودار هیدروگراف میانگین سطح ایستابی دشت، نقشه‌های هم‌ارزش سطح ایستابی، هدایت الکتریکی، نمودارهای پایپر، استیف، شولر، ویلکوکس، نسبت‌های یونی، اندیس اشباع کانی‌ها، ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم و تداخل آب شیرین و شور مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا از نرم‌افزارهای PHREEQC, Excel, Aq.QA, Auto CAD, Rock Works و Arc GIS استفاده شده است. به منظور تعیین نوسانات سطح آب زیرزمینی، با استفاده از موقعیت و ارتفاع سطح تراز آب، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار GIS شبکه تیسن از چاه‌های مشاهده‌ای ترسیم گردید؛ سپس بر اساس داده‌های ماهانه سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای موجود در دشت، سری زمانی هیدروگراف میانگین آبخوان دشت حسن آباد - ده‌چاه برای ۱۳ سال آبی (۱۳۸۴_۱۳۹۶) محاسبه و رسم شد (Error! Reference source not found.).



شکل ۱- موقعیت محدوده‌ی مطالعاتی حسن آباد-ده‌چاه و منابع آبی موجود در منطقه مورد مطالعه (بر گرفته از تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث).

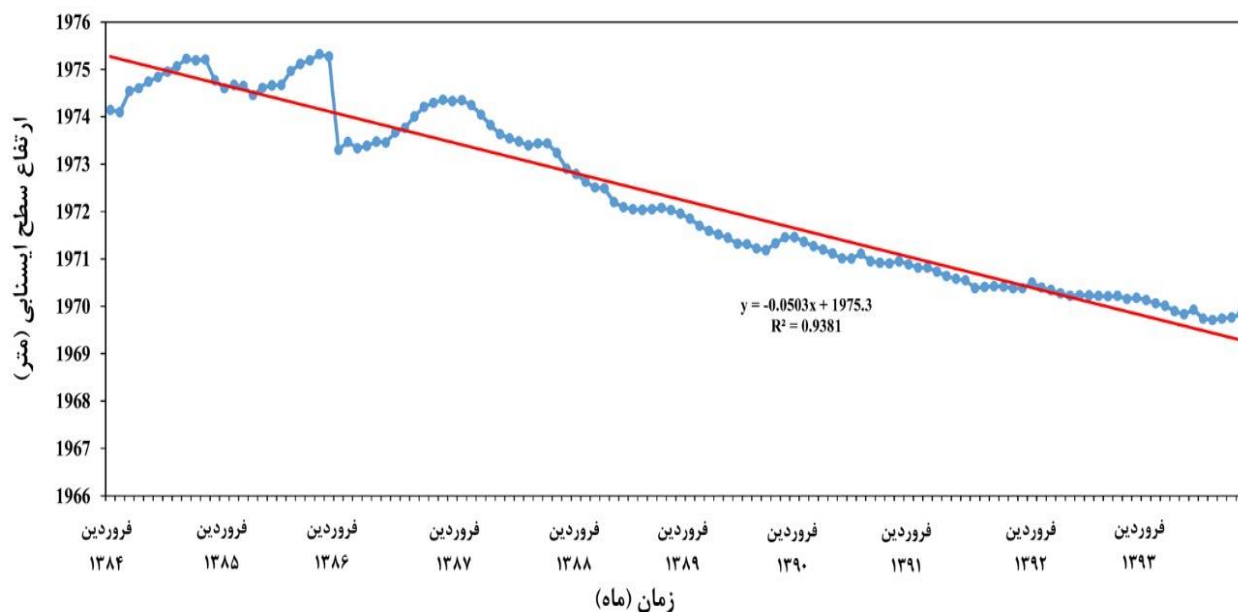


شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

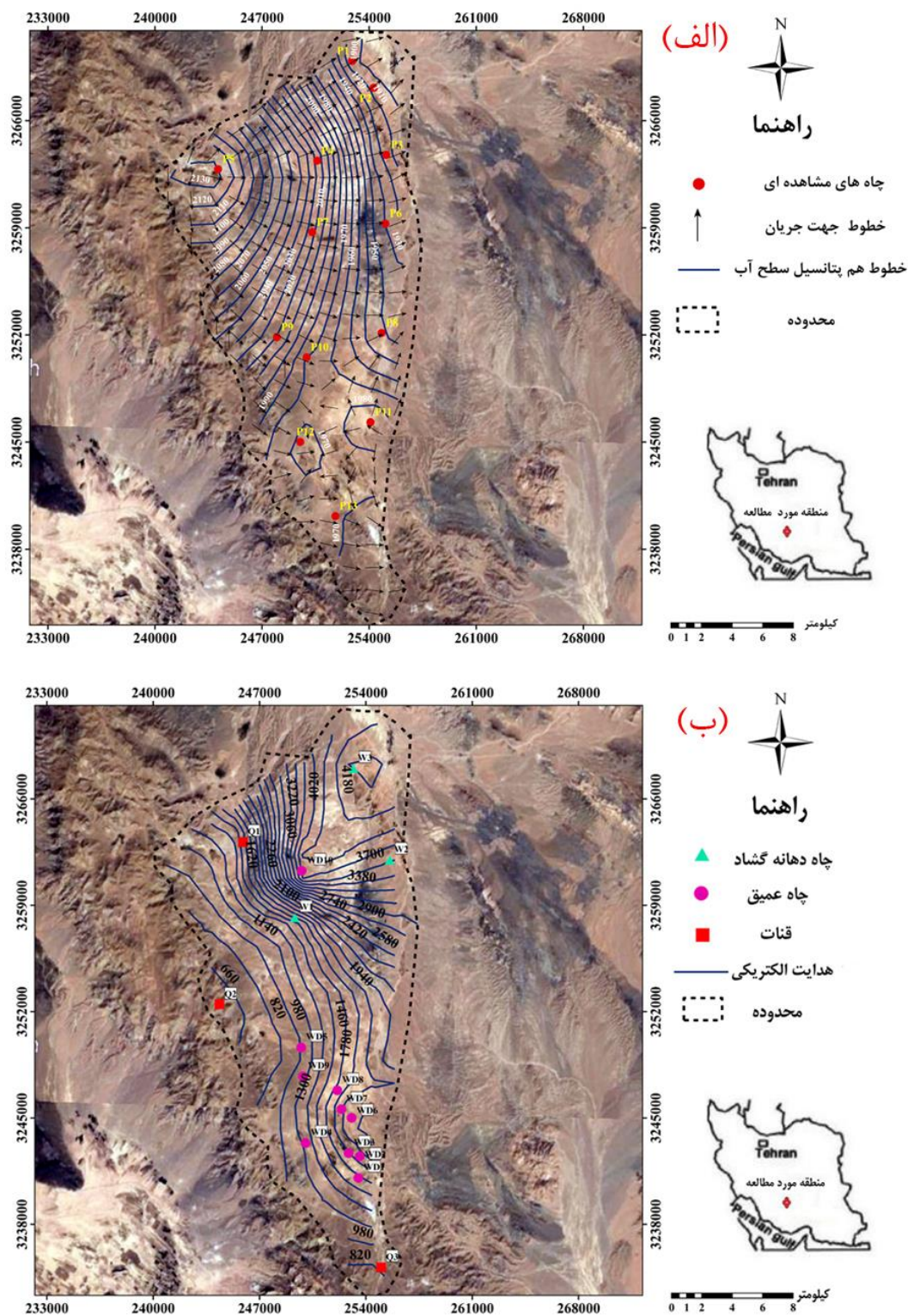
نتایج و بحث

چاه است. همان‌طور که در نقشه هم ارزش هدایت الکتریکی محدوده مورد مطالعه (شکل ۴) مشاهده می‌شود در جهت جریان آب زیرزمینی، مقدار هدایت الکتریکی به سمت شمال شرقی افزایش یافته است. با انتقال نتایج آنالیز یون‌های اصلی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بر روی نمودار پایپر (شکل ۵) هفت تیپ آب NaHCO_3 ، CaHCO_3 ، CaCl_2 ، NaCl ، MgSO_4 ، NaSO_4 و CaSO_4 شناسایی شد. با توجه به محل قرارگیری تیپ منابع آب در نمودار استیف (شکل ۵) مشاهده می‌شود از قسمت غربی منطقه به سمت شمال شرقی، در جهت جریان آب زیرزمینی، میزان کلسیم و بیکربنات افزایش می‌یابد؛ در حالی که به سمت جنوب شرقی منطقه میزان سدیم، کلراید و سولفات افزایش یافته است.

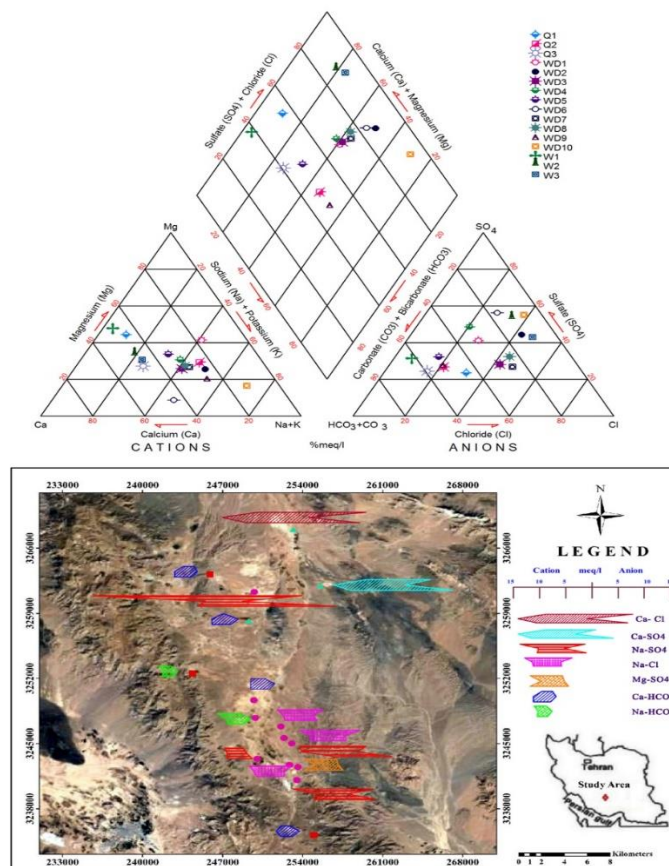
با توجه به هیدروگراف میانگین دشت (شکل ۳)، سطح آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه در طول ۱۳ سال، حدود پنج متر کاهش را نشان می‌دهد. همچنین نقشه‌ی هم‌پتانسیل و جهت جریان آب زیرزمینی در محدوده‌ی دشت نشان می‌دهد جهت حرکت آب از غرب به سمت شمال شرقی و شرق منطقه مورد مطالعه است (شکل ۴الف). هدایت الکتریکی در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بین ۵۴۰ تا ۵۷۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر است (جدول ۱) و بیشترین آن در چاه عمیق WD10 دیده می‌شود که با متوسط هدایت الکتریکی آب زیرزمینی منطقه فاصله زیادی دارد و علت آن ناشی از عمق زیاد و برداشت بیش از حد آب زیرزمینی از این



شکل ۳- هیدروگراف میانگین ماهانه دراز مدت (سیزده ساله) دشت حسن‌آباد - ده‌چاه (ترسیم شده بر اساس داده‌های اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای استان فارس از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶).



شکل ۴- نقشه تراز و جهت جریان آب زیرزمینی (الف) و نقشه هم ارزش هدایت الکتریکی (ب) در منطقه مورد مطالعه.



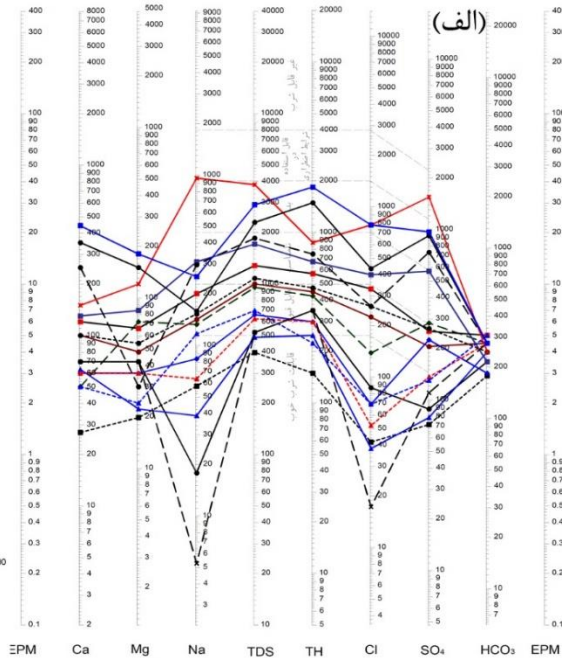
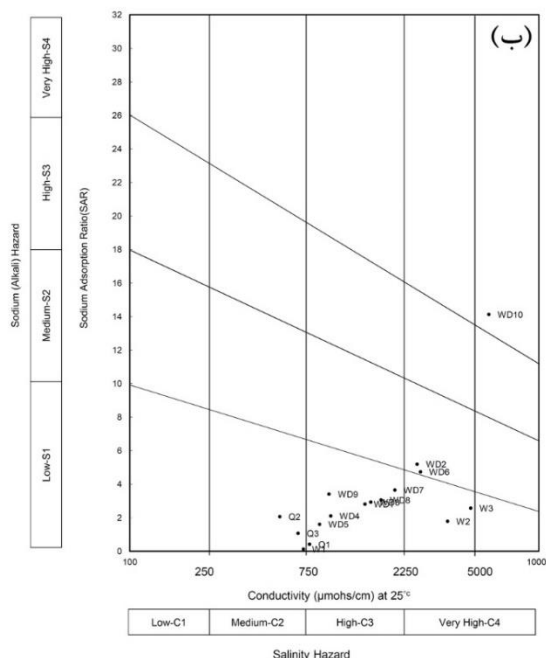
شکل ۵- موقعیت انواع آب‌های منطقه بر روی دیاگرام پایپر (پایپر، ۱۹۵۳) (الف) و بر روی دیاگرام استیف (ب).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی، هدایت الکتریکی بر اساس میکروموس بر سانتی‌متر، غلظت یون‌ها بر مبنای میلی‌گرم در لیتر و ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دتریم بر حسب VSMOW ‰.

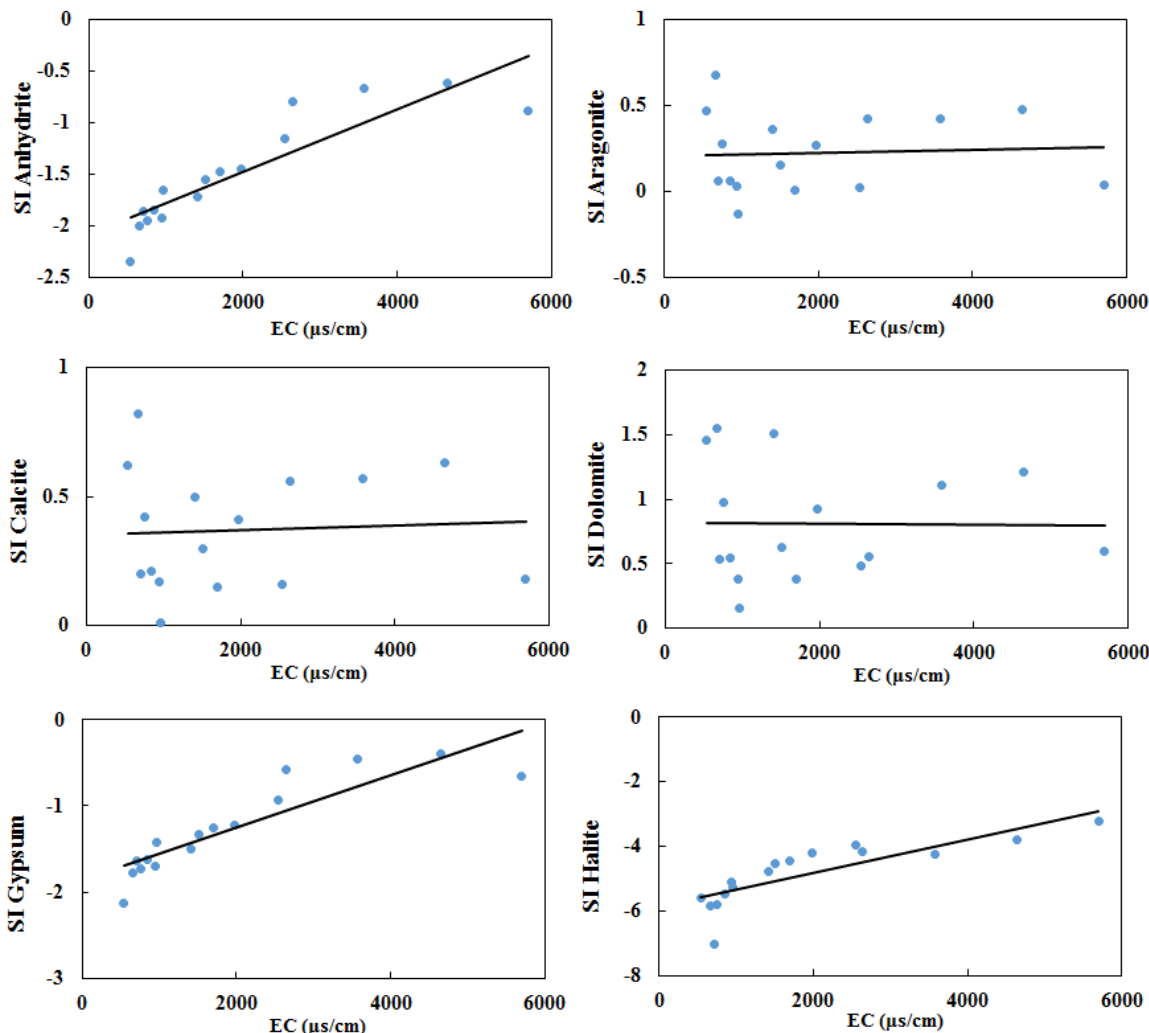
محل	EC	Na	Ca	Mg	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
۱Q	۷۵۷	۱۷/۹۴	۷۰/۰۰	۴۲/۰۰	۱/۵۶	۲۱۳/۵	۸۷/۵	۸۸/۸	-۳۶/۰۳	-۶/۸۰
۲Q	۵۴۱	۵۷/۹۶	۲۷/۰۰	۱۹/۸	۱/۱۷	۱۷۶/۹	۴۲/۰۰	۷۲/۰۰	-۳۶/۴۴	-۶/۶۱
۳Q	۶۶۵	۳۸/۸۷	۶۳/۰۰	۲۲/۲	۱/۱۷	۲۴۴/۰۰	۳۸/۵	۷۹/۲	-۳۷/۸۱	-۶/۹۷
۱WD	۱۴۱۳	۱۳۳/۱	۵۰/۰۰	۷۲/۰۰	۲/۷۳	۲۷۴/۵	۱۴۰/۰۰	۲۸۳/۲	-	-
۲WD	۲۵۴۴	۳۱۰/۲	۱۳/۰۰	۴۸/۰۰	۴/۶۸	۲۱۳/۵	۴۰۲/۵	۵۷۰/۷۲	-۳۲/۸۵	-۶/۳۱
۳WD	۱۵۰۸	۱۴۲/۶	۱۰/۰۰	۴۸/۰۰	۳/۱۲	۲۷۴/۵	۲۲۷/۵	۲۰۶/۴	-	-
۴WD	۹۶۱	۸۳/۷۲	۶۰/۰۰	۳۶/۰۰	۱/۵۶	۱۸۳/۰۰	۷۰/۰۰	۲۲۶/۰۸	-	-
۵WD	۸۴۸	۶۳/۹۴	۶۰/۰۰	۳۶/۰۰	۱/۵۶	۲۷۴/۵	۵۲/۵	۱۳۶/۸	-۳۲/۴۴	-۵/۵۷
۶WD	۲۶۳۸	۲۹۸/۳	۲۵/۰۰	۳۰/۰۰	۵/۴۶	۲۷۴/۵	۲۶۲/۵	۷۳۷/۲۸	-	-
۷WD	۱۹۷۹	۲۰۱/۷	۱۲۰/۰	۶۶/۰۰	۳/۵۱	۳۰۵/۰۰	۳۳۲/۵	۲۵۳/۹۲	-	-
۸WD	۱۹۶۹	۱۵۳/۴	۱۰۰/۰	۵۴/۰۰	۳/۱۲	۲۴۴/۰۰	۲۶۲/۵	۲۶۳/۰۴	-۳۰/۲۷	-۵/۸۹
۹WD	۹۴۲	۱۱۷/۵	۵۰/۰۰	۲۴/۰۰	۱/۹۵	۳۰۵/۰۰	۷۰/۰۰	۱۳۰/۵۶	-	-
۱۰WD	۵۷۰۰	۹۶۱/۱	۱۵۰/۰	۱۲۰/۰۰	۱۰/۱۴	۲۴۴/۰۰	۷۸۷/۵	۱۵۵۱/۳۶	-۳۰/۵۱	-۵/۹۱
۱W	۷۰۷	۵/۲۹	۷۰/۰۰	۴۲/۰۰	۱/۵۶	۲۷۴/۵	۱۷/۵	۱۱۰/۴	-۳۴/۷۹	-۵/۶۴
۲W	۳۵۸۰	۱۵۹/۳	۳۵۰/۰	۱۵۰/۰۰	۷/۰۲	۲۷۴/۵	۴۳۷/۵	۹۲۱/۱	-۳۲/۷۰	-۴/۸۵
۳W	۴۶۴۴	۲۵۴/۳	۴۴۰/۰	۱۸۰/۰۰	۱۰/۱۴	۲۷۴/۵	۷۸۷/۵	۹۷۰/۵	-۲۸/۸۸	-۴/۵۹

کانی‌های انیدریت، آراگونیت، کلسیت، دولومیت، ژپس و هالیت در مقابل هدایت الکتریکی ترسیم شده است. اندیس اشباع انیدریت، ژپس و هالیت آب زیرزمینی در همه نقاط نمونه‌برداری منفی می‌باشند و نشانگر این است که این سه کانی تحت اشباع هستند و آب زیرزمینی تمایل به حل کردن این سه کانی دارد. اندیس اشباع آراگونیت در اکثر نقاط به جز یک نقطه مثبت می‌باشد؛ و بیانگر این است که آب زیرزمینی منطقه نسبت به این کانی فوق اشباع است و تمایل به ته‌نشست دارد؛ حداقل و حداکثر مقدار اندیس اشباع این کانی به ترتیب ۰/۱۳- و ۰/۶۸ می‌باشد. اندیس اشباع کلسیت و دولومیت در تمام نقاط نمونه‌برداری مثبت می‌باشد؛ و نشان می‌دهد که آب زیرزمینی نسبت به این کانی‌ها فوق اشباع است و تمایل به ته‌نشست دارند. با افزایش هدایت الکتریکی، اندیس اشباع کانی‌های انیدریت، هالیت و ژپس افزایش یافته است؛ درحالی‌که اندیس‌های اشباع کانی‌های آراگونیت، کلسیت و دولومیت با افزایش هدایت الکتریکی روند ثابتی دارند که به نظر می‌آید به دلیل ته‌نشست رسوبات کربناته در منطقه باشد.

جهت بررسی قابلیت شرب منابع انتخابی محدوده مطالعاتی از دیاگرام شولر استفاده شده است مطابق شکل ۶ الف به جز چاه WD10 که دارای TDS بالای ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر است و در ردیف آب‌های بد قرار دارد، نمونه‌های دیگر در ردیف آب‌های خوب و قابل قبول هستند. با توجه به زمین‌شناسی منطقه و جهت جریان آب زیرزمینی از غرب به سمت مرکز و سپس به سمت شمال شرقی و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه و با عبور از لایه‌های مارنی گچ‌دار (شکل ۲) و به دلیل برداشت بیش از حد و عمیق بودن چاه پمپاژ، در مرکز دشت میزان TDS افزایش می‌یابد؛ و این امر در نامطلوب شدن کیفیت آب زیرزمینی منطقه تأثیر بسزایی دارد. از نظر آبیاری کشاورزی نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه طبق شکل ۶ب بیشتر در کلاس‌های آبیاری C3S1 و ندرتاً در کلاس‌های C4S1 و C4S2 قرار می‌گیرند، لذا بیشتر نمونه‌ها دارای کیفیت نسبتاً مطلوبی هستند و در مجموع از کیفیت خوبی جهت کشاورزی برخوردارند. جهت شناسایی عوامل مؤثر بر هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی از مقادیر نمایه‌های اشباع کانی‌های مختلف استفاده می‌شود. در شکل ۷ نمودارهای اندیس اشباع محاسباتی



شکل ۶ - موقعیت منابع آب‌های مورد مطالعه در نمودار شولر (الف) و نمودار ویلکوکس (ب)



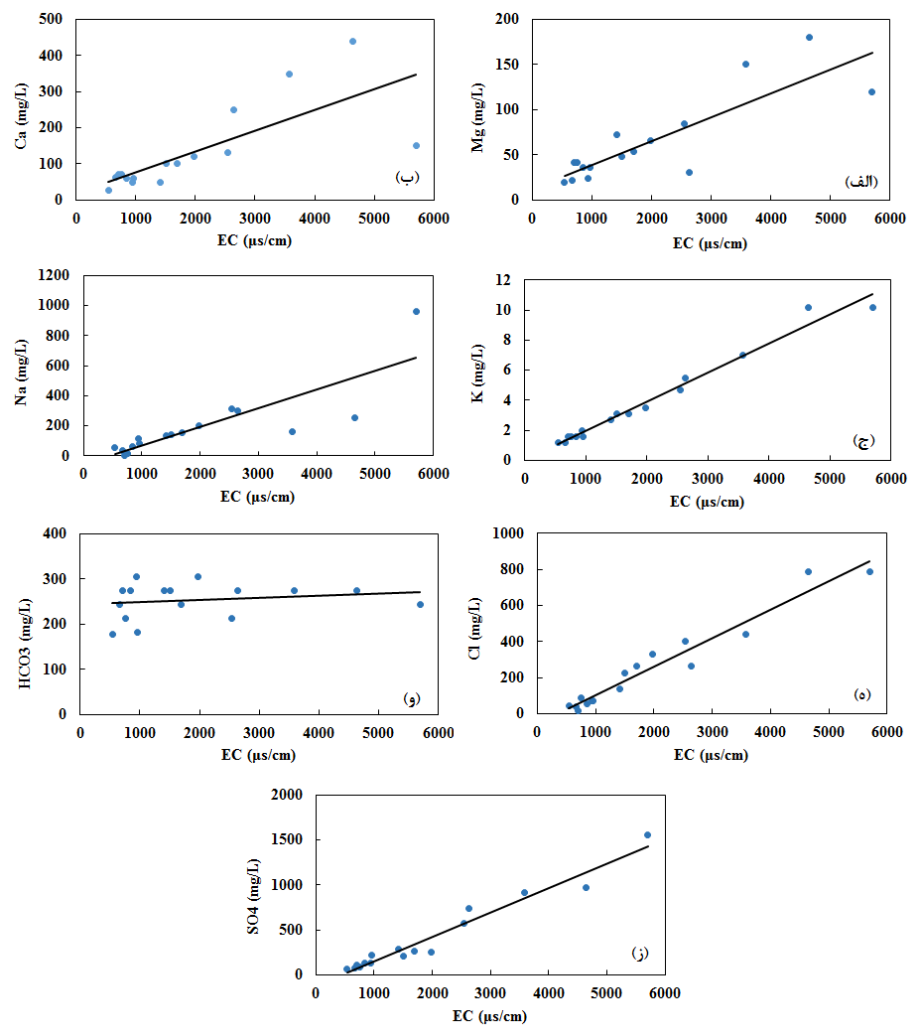
شکل ۷- تغییرات اندیس اشباع کانی آراگونیت، انیدریت، دولومیت، کلسیت، هالیت و ژپس منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه نسبت به هدایت الکتریکی

بی کربنات روند ثابتی در مقابل هدایت الکتریکی دارد. به دلیل انحلال پذیری کمتر یون کربنات در مقایسه با دیگر یون ها، در طول مسیر حرکت آب زیرزمینی، آب نسبت به بی کربنات زودتر به حالت اشباع می رسد و غلظت این یون در آب های با شوری بالا، دیگر افزایش نمی یابد. جهت شناخت فرایندهای ژئوشیمیایی مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی، نمودارهای نسبت های یونی مختلفی تهیه شده است. نسبت مولی $\text{Ca} + \text{Mg}$ و Ca در برابر HCO_3 در **Error! Reference source not found.** الف و ب نشان داده شده است. در **Error! Reference source not found.** الف بیشتر نمونه ها بالای خط انحلال کلسیت قرار گرفته اند. همچنین در **Error!**

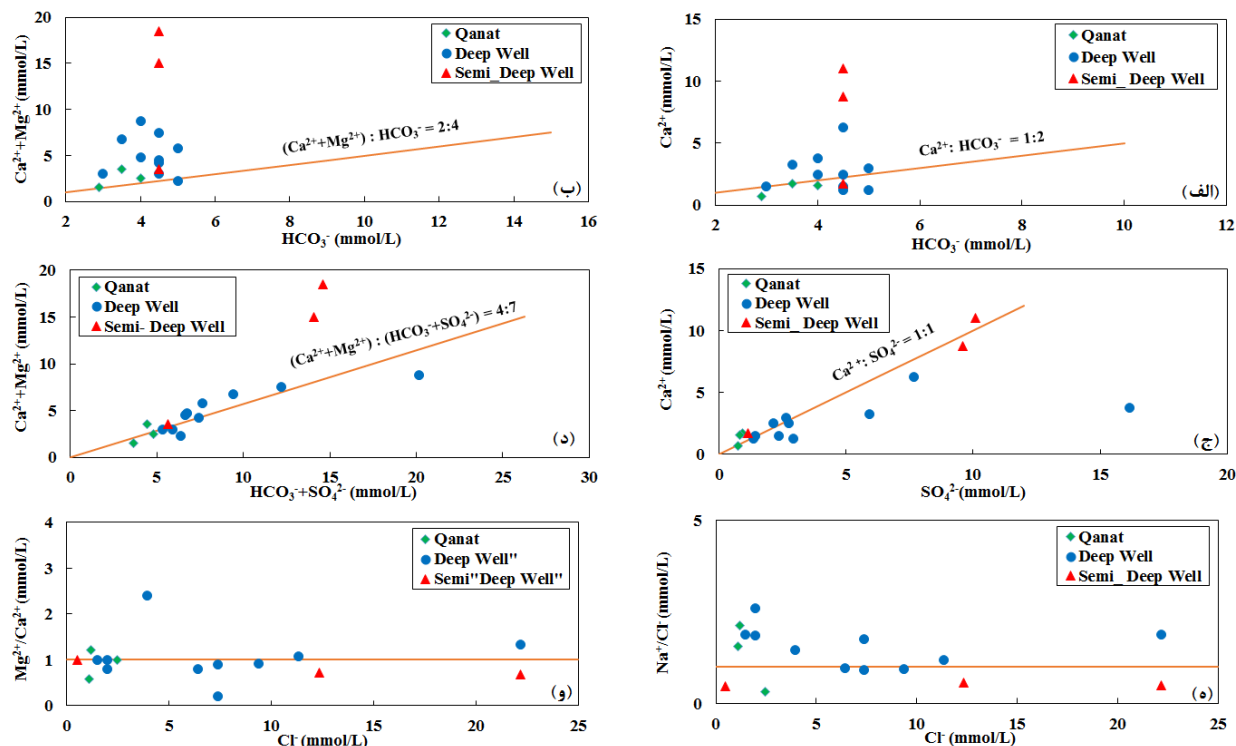
در **Error! Reference source not found.** تغییرات یون های اصلی نسبت به هدایت الکتریکی ترسیم شده است، یون پتاسیم بیشترین روند افزایشی را با افزایش هدایت الکتریکی نشان می دهد، که می تواند بیانگر اثر فعالیت های کشاورزی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه باشد؛ با افزایش هدایت الکتریکی یون سولفات و کلر نیز افزایش چشمگیری داشته اند؛ که علت این امر وجود رسوبات مارنی و مارن های گچ دار در قسمت مرکزی و وجود واحدهای تبخیری در بین سازندهای زمین شناسی منطقه، به خصوص نواحی شمالی منطقه مورد مطالعه است. یون منیزیم، سدیم و کلسیم نیز روند افزایشی در مقابل هدایت الکتریکی داشته اند در حالی که غلظت

کانی‌های فرعی حاوی یون‌های مذکور و تبادل یونی در کنترل غلظت یون‌های اصلی نقش بازی می‌کنند. رابطه نسبت مولی Na/Cl در برابر Cl (**Error! Reference source not found.**) در منابع آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد این نسبت در اکثر نقاط بیشتر از یک است و توسط عواملی مثل انحلال کانی‌های سدیم‌دار و یا فرایند تبادل یونی بین سدیم و کلسیم یا منیزیم در اثر نفوذ آب شور به درون آب شیرین می‌تواند تغییر کند و از مقدار یک بیشتر شود. رابطه نسبت مولی $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ در برابر کلراید (**Error! Reference source not found.**) در منابع آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه، نشان می‌دهد که این نسبت در اکثر نقاط کمتر از یک می‌باشد و انحلال کلیست بیشتر از دولومیت در منطقه در حال رخ دادن است.

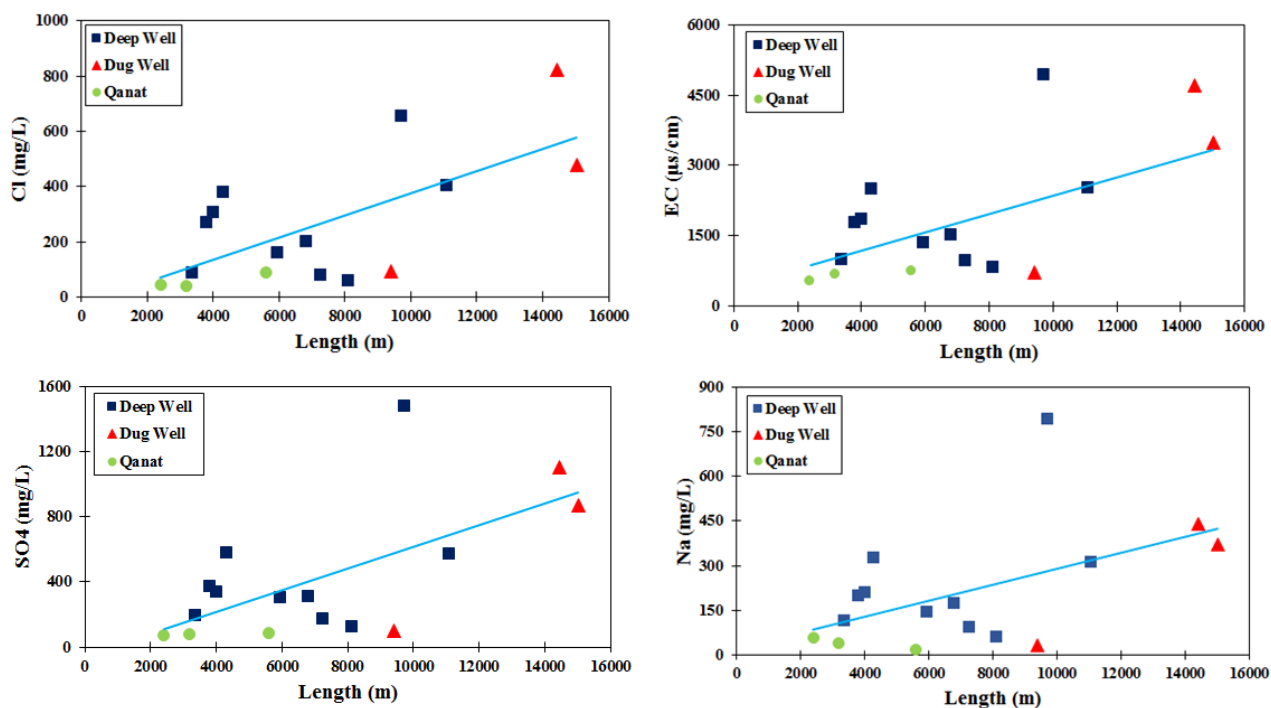
Reference source not found. آب مشاهده می‌شود که به جز یک قنات و یک چاه نیمه عمیق، همه‌ی نمونه‌ها بالای خط ۲:۴ (خط انحلال دولومیت) واقع شده‌اند. بر اساس رابطه غلظت مولی بین Ca و SO_4 در **Error! Reference source not found.** ج، بیشتر نمونه‌ها روی خط و یا پایین خط انحلال ژپس قرار می‌گیرند و نشان می‌دهد افزایش سولفات می‌تواند در نتیجه انحلال کانی‌های سولفات‌دار و یا کاهش کلسیم به علت تبادل کاتیونی مستقیم، دولومیتی شدن و یا ته‌نشست کلسیت باشد. حال اگر فرایند انحلال کلسیت، دولومیت و ژپس هم‌زمان رخ دهد، (شکل ۹د) نسبت مولی دومتغیره Ca+Mg و HCO_3+SO_4 برابر با ۴:۷ است (جهانشاهی و زارع ۲۰۱۷). در **Error! Reference source not found.** ۹د اکثر نمونه‌ها روی خط ۴:۷ قرار می‌گیرند. برای نمونه‌هایی که روی این خط قرار نگرفته‌اند علاوه بر این سه کانی، عواملی دیگری مانند انحلال



شکل ۸- تغییرات غلظت یون‌های اصلی منابع آب زیرزمینی نسبت به هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۹- نمودارهای ترکیبی نسبت‌های یونی در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۰- تغییر هدایت الکتریکی و برخی از یون‌های اصلی نسبت به طول مسیر حرکت آب زیرزمینی در سه گروه قنوات، چاه‌های کم‌عمق دهانه گشاد و چاه‌های عمیق.

میانگین مقادیر هدایت الکتریکی و یون‌های اصلی در طی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۶ در منابع آب قنات، چاه‌های عمیق و چاه‌های دهانه‌گشاد، در مقابل طول مسیر حرکت آب زیرزمینی (با استفاده از نقشه جهت جریان) در **Error! Reference source not found.** ۱۰ ارائه شده است. از منظر طول مسیر آب و میزان شوری، منابع آب در چاه‌های دهانه‌گشاد بیشترین شوری و طولانی‌ترین مسیر حرکت آب را دارند و در مرتبه دوم چاه‌های عمیق و در مرتبه سوم قنات قرار دارند. کمترین مقادیر ذکر شده در مورد قنات را می‌توان به نزدیک بودن مادر چاه قنات به سازندهای آهکی تغذیه‌کننده آبخوان منطقه نسبت داد. از آنجایی که معمولاً در آبخوان‌ها با افزایش عمق، افزایش شوری در آب زیرزمینی رخ می‌دهد، انتظار می‌رود آب زیرزمینی پمپاژ شده از چاه‌های عمیق شوری بالاتری داشته باشند. در حالی که مشاهده می‌شود که چاه‌های دهانه‌گشاد با داشتن عمق کم، بیشترین شوری را دارند. علت این رخ داد می‌تواند به سه دلیل باشد: ۱- با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی (چاه‌های دهانه **Error! Reference source not found.** ۴) چاه‌های دهانه‌گشاد منطقه تقریباً انتهای مسیر حرکت آب زیرزمینی در دشت واقع شده‌اند و به دلیل طی کردن آب زیرزمینی در مسافت بیشتر، افزایش مواد محلول طبیعی خواهد بود. ۲- چاه‌های دهانه‌گشاد عمدتاً به دلیل کم‌عمق بودن در مقایسه با چاه‌های عمیق‌تر، آب‌های زیرزمینی با عمق کمتر را خارج می‌کند و معمولاً این آب‌ها بیشتر تحت تأثیر آب‌های برگشتی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی هستند و ۳- به دلیل عمق کم و دهانه بزرگ چاه‌های دهانه‌گشاد در فصول خاموشی چاه‌ها، تبخیر از ذخیره چاه، کم و بیش می‌تواند سبب افزایش شوری آب درون چاه گردد. بدین منظور ترکیب ایزوتوپی اکسیژن ۱۸ و دوتریم منابع آب زیرزمینی منطقه، مورد بررسی قرار گرفت. در نمودار شکل ۱۱ رابطه‌ی $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ ترسیم شده است و از نزدیک‌ترین خط بارش محلی (جهانشاهی و زارع ۲۰۱۷) استفاده شده است. در این نمودار نمونه‌های آب منطقه در سمت

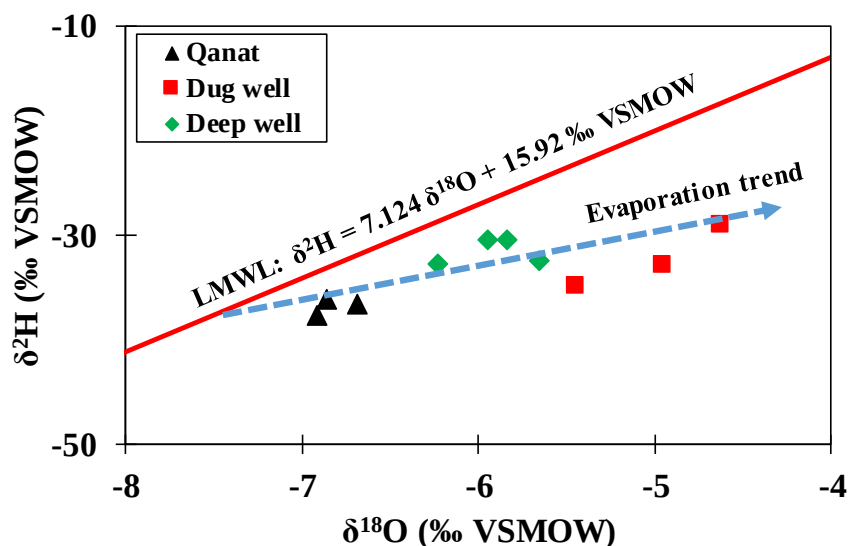
راست خط بارش محلی قرار گرفته‌اند. این غنی‌شدگی ایزوتوپی نسبت به خط بارش می‌تواند در اثر تبخیر ایجاد شده باشد. کمترین غنی‌شدگی ایزوتوپی در قنات دیده می‌شود و منابع آب زیرزمینی چاه‌های دهانه‌گشاد در مقایسه با دیگر منابع، غنی‌شدگی بیشتری برخوردارند. مشخصات ایزوتوپی تایید می‌کند که چاه‌های کم‌عمق دهانه‌گشاد بیش از قنات و چاه‌های عمیق تحت تأثیر تبخیر و آب برگشتی کشاورزی قرار گرفته‌اند. زیرا آب‌های مورد استفاده در آبیاری مزارع به دلیل قرار گرفتن در معرض تابش خورشید و هوا، در اثر تبخیر، دچار غنی‌شدگی ایزوتوپی بیشتری قرار می‌گیرند و با برگشت آب آبیاری به آب زیرزمینی محدوده‌ی مزارع سبب افزایش درصد غنی‌شدگی ایزوتوپی آب زیرزمینی می‌گردند. به منظور بررسی تغییرات سطح ایستابی با کیفیت منابع آب منطقه از سال ۱۳۹۱ تا سال ۱۳۹۶، رابطه بین سطح ایستابی نزدیک‌ترین چاه‌های مشاهده‌ای به محل‌های نمونه‌برداری نسبت به هدایت الکتریکی و همچنین رابطه بین سطح ایستابی و هدایت الکتریکی با زمان، مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عنوان نمونه اشکال ۱۲ الف و ج تغییرات سطح ایستابی نزدیک‌ترین چاه‌های مشاهده‌ای نسبت به هدایت الکتریکی به ترتیب در قنات Q2 و چاه عمیق WD8، و اشکال ۱۳ ب و د تغییرات سطح ایستابی و هدایت الکتریکی با زمان به ترتیب در قنات Q2 و چاه عمیق WD8 را نشان می‌دهند. با کاهش سطح ایستابی، هدایت الکتریکی آب خروجی در قنات Q2 و چاه عمیق WD8 افزایش یافته است. این نمودارها نشان می‌دهد با برداشت آب زیرزمینی سطح ایستابی کاهش یافته است و به دلیل کاهش تغذیه آبخوان از طریق بارش در دوران خشک‌سالی، زمان ماندگاری بیشتر آب زیرزمینی موجود در اعماق بیشتر و احتمالاً وجود آب زیرزمینی با مواد محلول بیشتر در عمق آبخوان، افزایش هدایت الکتریکی آب پمپاژ شده یا خروجی از قنات رخ داده است. نمودار تغییرات زمانی سطح ایستابی و هدایت الکتریکی در دو منبع آب قنات Q2 و چاه عمیق WD8 (شکل

(۱)

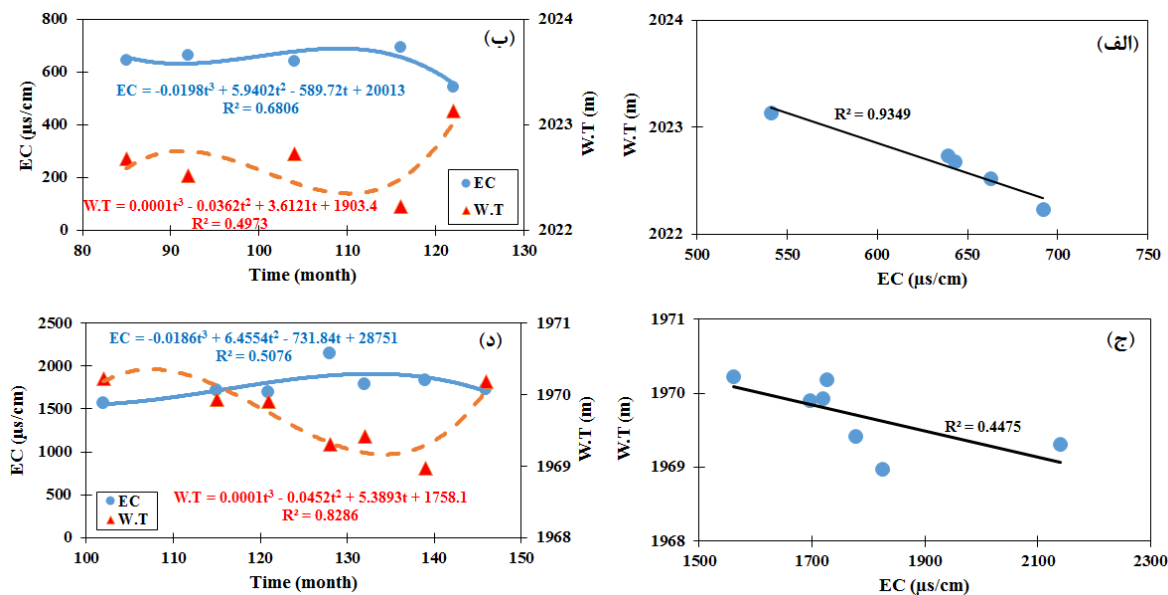
$$\text{غلظت کلراید نمونه آب} - \text{غلظت کلراید آب شیرین} = \text{درصد آب لب شور} \times \text{غلظت کلراید آب لب شور} - \text{غلظت کلراید آب شیرین}$$

محاسبه نشان می‌دهد آب لب‌شور بین ۲/۷ تا ۵۰ درصد با میانگین ۲۰/۲۶ درصد در آب شیرین منطقه، نفوذ کرده است. در این حالت تبادل کاتیونی معکوس رخ می‌دهد. نفوذ آب لب‌شور به درون آب شیرین منجر به یک تبادل کاتیونی بین سدیم و کلسیم یا منیزیم شده است. همچنین در شکل ۱۳ آب دیده می‌شود غلظت‌های واقعی سدیم نمونه‌های آب زیرزمینی پایین‌تر از خط اختلاط، قرار گرفته‌اند. در حالی که غلظت‌های کلسیم در بالای این خط اختلاط واقع شده‌اند. در این حالت سدیم آب شور سریع به وسیله ذرات آبخوان جذب شده و از محیط آبی خارج می‌شود و به وسیله کلسیم و منیزیم جایگزین می‌شود.

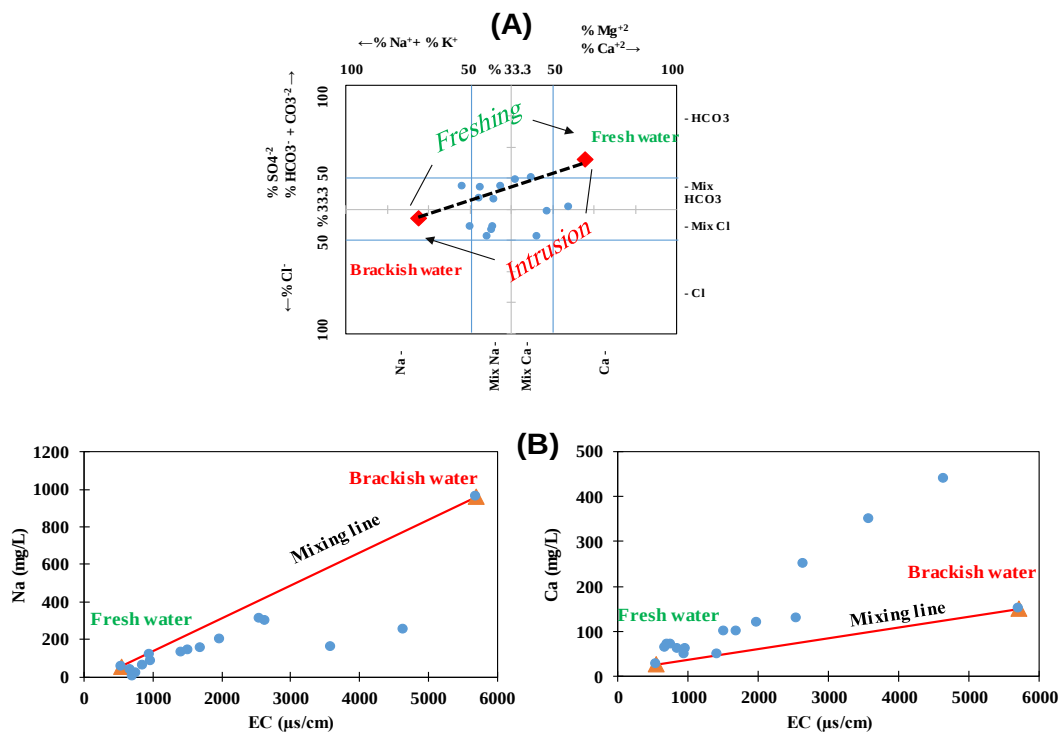
۱۲ ب د) نیز گویای همبستگی تقریباً بالای افزایش هدایت الکتریکی آب آبخوان و کاهش سطح ایستابی نسبت به زمان است. جهت تعیین تشخیص رخ داد نفوذ آب شور یا نفوذ آب شیرین در آبخوان و همچنین ارزیابی رخساره‌های هیدروشیمیایی در طی اختلاط آب لب‌شور (چاه W10) و آب شیرین (قنات Q2) در منطقه، دیاگرام EFE-D (گیمنز، ۲۰۱۰) در مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۱۳ الف). این شکل نشان می‌دهد نمونه‌های آب زیرزمینی نزدیک خط اختلاط پایستار در بخش نفوذ آب لب‌شور به درون آب شیرین قرار گرفته‌اند. بنابراین در این ناحیه آب زیرزمینی لب‌شور در حال نفوذ به درون آب شیرین منطقه است. به منظور تعیین میزان درصد اختلاط آب لب‌شور در هر نمونه آب زیرزمینی منطقه، رابطه (۱) (اپلو و پستما، ۲۰۰۵) مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱۱- موقعیت منابع آب منطقه مورد مطالعه بر روی نمودار مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ و مقایسه با ترکیب ایزوتوپی خط بارش محلی (جهانشاهی و زارع ۲۰۱۷)



شکل ۱۲ - نمودار تغییرات سطح ایستابی نزدیک‌ترین چاه مشاهده‌ای به قنات Q2 در مقابل هدایت الکتریکی خروجی از قنات (الف) نمودار تغییرات زمانی هدایت الکتریکی قنات Q2 و سطح ایستابی نزدیک‌ترین چاه مشاهده‌ای به قنات (ب) نمودار تغییرات سطح ایستابی نزدیک‌ترین چاه مشاهده‌ای به چاه عمیق WD8 در مقابل هدایت الکتریکی آب پمپاژ شده از چاه (ج) نمودار تغییرات زمانی هدایت الکتریکی چاه عمیق WD8 و سطح ایستابی نزدیک‌ترین چاه مشاهده‌ای به چاه (د).



شکل ۱۳ - دیگرام ارزیابی رخساره هیدروژئوشیمیایی (گیمنز، ۲۰۱۰) نمونه‌های آب زیرزمینی (الف) غلظت واقعی سدیم و کلسیم در مقایسه با غلظت مورد انتظار در اختلاط پایستار بین آب شیرین و آب لب‌شور در منطقه مورد مطالعه (ب)

نتیجه گیری

در این پژوهش به مطالعه هیدروشیمی و کیفیت منابع آب آبخوان حسن آباد-ده چاه پرداخته شده است. و در آن ترکیب شیمیایی، تیپ و ویژگی های آب های زیرزمینی از نظر مصارف شرب و کشاورزی بررسی شده است. کاهش کیفیت آب زیرزمینی در چاه های شمال و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه مشهود است. در حالی که به سمت جنوب منطقه، آب چاه ها از کیفیت بهتری برخوردار هستند. تیپ آب زیرزمینی ورودی دشت (قسمت جنوبی منطقه)، از نوع بی کربنات کلسیم است؛ در حالی که آب زیرزمینی در چاه های موجود در شمال منطقه دارای تیپ غالب کلسیم کلراید، کلسیم سولفات و سدیم سولفات هستند. بیشتر نمونه های آب زیرزمینی از نظر مصرف شرب و کشاورزی در ردیف آب های خوب و قابل قبول می باشند. طبق شاخص اشباع اکثر نمونه های آب زیرزمینی، نسبت به انیدریت، ژپس و هالیت تحت اشباع هستند و آب زیرزمینی تمایل به حل کردن این سه کانی دارد و بر شیمی آب زیرزمینی تأثیر می گذارند. با بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی و هدایت الکتریکی نسبت به هم و نسبت به زمان مشخص شد با کاهش سطح ایستابی، هدایت الکتریکی آب زیرزمینی افزایش می یابد. با توجه به کاهش نزولات جوی و برداشت بی رویه آب زیرزمینی سطح ایستابی کاهش یافته است و به دلیل کاهش تغذیه آبخوان از طریق بارش، زمان ماندگاری بیشتر آب زیرزمینی موجود در اعماق، و احتمالاً وجود آب زیرزمینی با مواد محلول بیشتر در عمق آبخوان، هدایت الکتریکی آب خارج شده از چاه ها و قنوات افزایش یافته است. مناسب ترین کیفیت آب، مربوط به قنوات منطقه، به علت نزدیکی مادر چاه قنوات به سازندهای آهکی منطقه می باشد. در عین حال مشاهده می شود که چاه های دهانه گشاد با داشتن عمق کم، بیشترین شوری را به خود اختصاص داده اند. علت این رخ داد می تواند به سه دلیل باشد: ۱- با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی چاه های دهانه گشاد منطقه تقریباً در انتهای مسیر حرکت آب زیرزمینی در دشت واقع شده اند،

افزایش مواد محلول، طبیعی خواهد بود. ۲- چاه های دهانه گشاد عمدتاً به دلیل کم عمق بودن در مقایسه با چاه های عمیق تر، آب های زیرزمینی با عمق کمتر و نزدیک به سطح زمین را خارج می کنند و معمولاً این آب ها بیشتر تحت تأثیر آب های برگشتی ناشی از فعالیت های کشاورزی هستند و در نهایت ۳- به دلیل عمق کم و دهانه بزرگ چاه های دهانه گشاد، در فصول خاموشی چاه ها، تبخیر از ذخیره چاه قابل توجه است و سبب افزایش شوری آب درون چاه می گردد. در نهایت پژوهش نشان می دهد در اثر برداشت بی رویه آب زیرزمینی در این ناحیه، آب های زیرزمینی لب شور در حال نفوذ به درون آب شیرین منطقه هستند.

منابع

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران. وزارت صنعت و معدن و تجارت سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- احمدی، س.، جهان شاهی، ر.، معینی، و.، مالی، س.، زمستان ۱۳۹۶، ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی منطقه معدنی اردستان، استان اصفهان، فصلنامه کوآترنری ایران (علمی - پژوهشی)، دوره ۳، شماره ۴.
- برزگران، م.، ملازاده، م.، ۱۳۹۵، ارزیابی کیفیت آب های زیرزمینی دشت سربیشه به لحاظ مصارف شرب، کشاورزی و صنعت، کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، تهران، دبیرخانه دایمی کنفرانس.
- سازمان آب منطقه ای فارس، ۱۳۸۸، گزارش توجیهی تمديد ممنوعیت محدوده مطالعاتی حسن آباد-ده چاه.
- عسکری ملک آباد، ف.، جهان شاهی، ر.، مالی، س.، هیدروشیمی منابع آب زیرزمینی در مناطق بزمان، ایرانشهر و اسپکه، جنوب شرق ایران، فصلنامه کوآترنری ایران (علمی - پژوهشی)، دوره ۳، شماره ۳.
- فاندامینی، رسول.، مهدی ریاحی پور.، پاییز ۱۳۹۶، پهنه بندی کیفی و بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت آب های زیرزمینی دشت کبودرآهنگ همدان، نخستین کنفرانس سراسری آب های زیرزمینی، بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان، ۱۳۸۸.

- Pazand, K., Khosravi, D., Ghaderi, M., Rezvaniyanzadeh, M., 2018, Identification of the hydrogeochemical processes and assessment of groundwater in a semi-arid region using major ion chemistry: A case study of Ardestan basin in Central Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, pp. 245-254.
- Piper, A., 1953, A graphic procedure for the geochemical interpretation of water analysis. *USGS Groundwater* (Note no. 12).
- Soleimani, H., Abbasnia, A., Yousefi, M., Mohammadi, A., ChanganiKhorasgani, F., 2018, Data on assessment of groundwater quality for drinking and irrigation in rural area Sarpol-e Zahab city, Kermanshah province, Iran. *Data in brief*, pp.148–156.
- Appelo, C.A.J., Postma, D., 2005, *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. Seconded, Balkema, Rotterdam.
- Gimenez, E.F., 2010, Dynamic of Sea Water Interface using Hydrochemical Facies Evolution Diagram. *Groundwater* 48, 212-216.
- Jahanshahi, R., zare, M., 2016, Hydrochemical investigations for delineating salt-water intrusion into the coastal aquifer of Maharlou Lake, Iran, *Journal of African Earth Sciences*, 121, pp. 16-29.
- Jahanshahi, R., zare, M., 2017, Delineating the Origin of Groundwater in the Golgohar Mine Area of Iran Using Stable Isotopes of 2H and 18O and Hydrochemistry, *Mine Water and the Environment*, 36(4), pp. 550–563.