

## هیدروژئوشیمی، منشاء و روند تغییرات ترکیب آب چاه‌های گازدار منطقه همه‌کسی (همدان)

### منوچهر امیری

بخش تحقیقات حفاظت خاک و آب‌خیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، همدان

نویسنده مسئول: amiran1342@gmail.com\*

دریافت: ۹۶/۱۲/۲۱ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۲

### چکیده

آب تعدادی از چاه‌های کشاورزی استان همدان (از جمله در پیرامون روستای همه‌کسی)، دارای جوششی از گاز بوده و مزه ترش، گس و سوزنده دارد. شناسایی منشاء و روند تغییر ترکیب آن، برای برنامه‌ریزی و ادامه‌ی استفاده از آن مهم می‌باشد. لذا در این پژوهش، منشاء ناهنجاری و روند تغییر ترکیب آن مورد ارزیابی قرار گرفته است. به همین منظور، تعداد شش حلقه چاه آب‌گازدار شناسایی و هدایت الکتریکی آب آن‌ها، ۱۵ مرتبه در طی سه سال (هر سال پنج بار) اندازه‌گیری گردید و روند تغییرات آن توسط نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این، از هر چاه یک نمونه آب برداشت و برای تعیین مقادیر کلیات کل، هدایت الکتریکی، کاتیون‌ها و آنیون‌ها مورد تجزیه قرار گرفت. سپس شاخص‌های شیمیایی آن محاسبه و به کمک دیاگرام‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که آب تمامی چاه‌ها، جزو آب‌های تازه، کم عمق و از تیپ  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$  می‌باشد. در این آب‌ها، غلظت دی‌اکسیدکربن محلول به بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد. بنابراین، ناهنجاری شیمیایی آب چاه‌ها، ناشی از واکنش بین آب و سنگ مخزن و دخالت سیالات گرمایی گازدار است. بخشی از سنگ مخزن از آهک و بخش دیگر آن از رسوبات مارنی و تبخیری (مربوط به محیط‌های کولابی) تشکیل شده است. بررسی آماری روند تغییرات ترکیب آب چاه‌ها، نشان می‌دهد که مقدار هدایت الکتریکی آن‌ها بطور معنی‌داری با گذشت زمان کاهش می‌یابد که اولاً مهر تائیدی بر دخالت سیالات گرمایی در واکنش آب-سنگ است و ثانیاً امیدی برای بهتر شدن کیفیت آب چاه‌های کشاورزی در آتی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب نامتعارف، سیالات گرمایی، واکنش سنگ-آب، همه‌کسی، همدان

### مقدمه

بهداشت جهانی، (۲۰۰۴). هنگامی که مقدار برخی از یون‌ها و ترکیبات در آب زیرزمینی بیش از حد معینی باشد، هم برای مصارف خانگی و شرب مضر است و هم در سیستم‌های بلند مدت آبیاری به مرور زمان ترکیب خاک را تحت تاثیر قرار داده و ساختمان و بافت خاک را تخریب و نابود می‌نماید. لذا ارزیابی ژئوشیمیایی عناصر، منابع مولد و روند تغییر ترکیب آن، جهت برنامه‌ریزی و حفظ محیط‌زیست (منجمله سلامت انسان و فون‌های جانوری و فلور گیاهی) از اهمیت فراوانی برخوردار بوده و در سراسر جهان مورد توجه قرار می‌گیرد (بالوشا، ۲۰۱۰؛ دارنلی و همکاران، ۱۹۹۵؛ ادموندز و همکاران، ۲۰۰۲؛ لاهرمو و بکمن، ۱۹۹۹ و امو-ایرابور و همکاران، ۲۰۰۸). ترکیب آب زیرزمینی و تغییرات آن نسبت به زمان، علامت و نشانه‌ای از منشاء مولد آن است. بر اساس بررسی‌های انجام شده، ترکیب آب زیرزمینی یا عمدتاً حاصل فرآیند واکنش آب با سنگ مخزن در برگرفته‌ی

شناسایی منشاء ناهنجاری در ترکیب آب زیرزمینی و روند تغییر آن، برای برنامه‌ریزی جهت استفاده در کشاورزی بسیار مهم می‌باشد. ترکیب آب زیرزمینی وابسته به جنس سنگ‌ها و رسوباتی است که از میان آن‌ها عبور می‌کند و هر چند آب در هنگام عبور از لایه‌های زمین زلال، بی‌رنگ و عاری از طیف میکروبی می‌گردد (بابیکر و همکاران، ۲۰۰۷)، ولی گاهی اوقات، انحلال‌های طبیعی و یا نامتعارف همچون ورود محلول‌ها و گازهای وابسته به فعالیت‌های درونی زمین به محیط آب زیرزمینی، موجب افزایش شوری و غلظت برخی از عناصر و گازهای محلول در آن می‌گردد که توسط انسان قابل کنترل نمی‌باشد (ساستری، ۱۹۹۴). علاوه بر این، کیفیت آب زیرزمینی ممکن است بر اثر عملیات زراعی، تضعیف گردد (استاماتیس، ۲۰۱۰) و سلامت انسان و رشد گیاهان را تحت تاثیر قرار دهد (ناگ و قوش، ۲۰۱۳ و سازمان

شده است که ترکیب آن عامل اصلی ایجاد سیستم کارست‌درونی در منطقه (امیری، ۱۳۸۴a) و خوردگی تجهیزات درون چاهی (امیری و همکاران، ۱۳۸۸) است. کیفیت شیمیایی این آب‌ها برای مصارف شرب و کشاورزی نامناسب بوده (امیری و همکاران، ۱۳۹۶) و با توجه به بالا بودن مقدار دی‌اکسیدکربن موجود در آن‌ها (امیری، ۱۳۸۴b)، نتیجه‌گیری شده که آب‌های منطقه تحت تاثیر فعالیت محلول‌های نامتعارف قرار گرفته است (امیری و همکاران، ۲۰۱۶ و امیری و همکاران، ۲۰۱۷). تصور می‌شود که ترکیب آب این چاه‌ها نه تنها غیرمتعارف بوده و برای آبیاری نامناسب است بلکه با گذشت زمان، تغییر چشمگیری در آن ایجاد می‌گردد. لذا با توجه به اینکه ترکیب و روند نزولی و یا صعودی شوری آب این چاه‌ها برای شناسایی منشأ آن‌ها و برنامه‌ریزی برای کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و تا کنون مطالعه‌ای بر روی منشأ و روند تغییرات ترکیب آن‌ها انجام نشده است. بنابراین، این پژوهش با هدف فهم و شناسایی ترکیب، منشأ ترکیب آب چاه‌های گازدار منطقه و تعیین روند تغییرات ترکیب آن‌ها انجام گردیده و مسلم است که داده‌های بدست آمده از آن به عنوان پایه‌ای برای مقایسه با داده‌های آتی، مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت و وضعیت چاه‌های گازدار منطقه

در چهار منطقه از استان همدان (دشت چهاردولی، اطراف شهر لالجین، اطراف روستای همه‌کسی و اطراف روستای کوزره) آب تعدادی از چاه‌های کشاورزی با رنگی مایل به قرمز (شکل ۱)، دارای جوششی از گاز بوده و به چاه‌های گازدار معروف گردیده‌اند. چاه‌های گازدار منطقه‌ی مورد بررسی در جنوب شهر فامنین (اطراف روستای همه‌کسی) و در محدوده جغرافیایی  $35^{\circ}00'$  تا  $35^{\circ}04'$  عرض‌شمالی و  $48^{\circ}54'$  تا  $49^{\circ}00'$  طول شرقی جای گرفته‌اند (شکل ۲). در این پژوهش، با کمک عملیات صحرائی و پرسش از روستائیان، شش حلقه از این چاه‌ها شناسایی و مشخصات ظاهری آب، مدت زمان خوردگی تجهیزات و مختصات آن‌ها (توسط G.P.S) برداشت (جدول ۱) و با استفاده از آن‌ها، موقعیت چاه‌ها تعیین و ترسیم گردید (شکل ۳). این چاه‌ها پس از عبور از لایه

آن است و یا تحت تاثیر فرآیند تبخیر آب در محیط‌های کولابی است (گیپس، ۱۹۷۰). البته ناهنجاری در ترکیب آب زیرزمینی گاهی اوقات ناشی از ورود محلول‌های گرمایی به داخل سفره آب زیرزمینی است بررسی‌ها نشان می‌دهد که غلظت دی‌اکسیدکربن محلول در آب‌های طبیعی با منشأ جوی، اندک بوده و به ندرت به بیش از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد، ولی اگر آب زیرزمینی تحت تاثیر فعالیت‌های گرمایی (گازی و آبی) با منشأ درونی زمین (ماگمایی) قرار گیرد، میزان دی‌اکسیدکربن محلول در آن حتی می‌تواند به بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بالغ گردد. به هر حال، مقدار دی‌اکسیدکربن محلول در آبی که تحت تاثیر محلول‌ها و گازهای گرمایی قرار گرفته‌است همواره بیش‌تر از ۱۰ ppm در لیتر است (انجمن بهداشت عمومی امریکا، ۱۹۹۵). تسونگایی و همکاران (۱۹۹۶) در مطالعات خویش در منطقه صفحه فرو رو فیلیپین گزارش نمودند که در برخی نقاط، آب‌های موجود در رسوبات توسط جریان‌های حرارتی و گرمایی با دمای حدود ۴۰ درجه تحت تاثیر واقع شده و دمای آن‌ها حدود ۹ درجه نسبت به آب‌های پیرامون افزایش یافته و میزان گاز  $CO_2$  آن‌ها نیز افزایش یافته است. سیبت و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعات ژئوترمالی خویش در شمال آلمان اظهار نموده که آب موجود در اعماق رسوبات، دارای حرارت  $55^{\circ}$  تا  $95^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد و حدود ۳ تا ۱۰ درصد حجمی گاز می‌باشند که بیش از ۵۷ تا ۹۴ درصد آن دی‌اکسید کربن است و در این آب‌ها حدود ۱۱ تا ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر آهن وجود دارد. ورود محلول‌های گرمایی به سفره آب زیرزمینی موجب افزایش گاز دی‌اکسیدکربن (به‌صورت محلول) و اسیددیده آب می‌گردد که خود سبب انحلال بیش‌تر در سنگ‌مخزن و افزایش غلظت یون‌ها می‌شود.

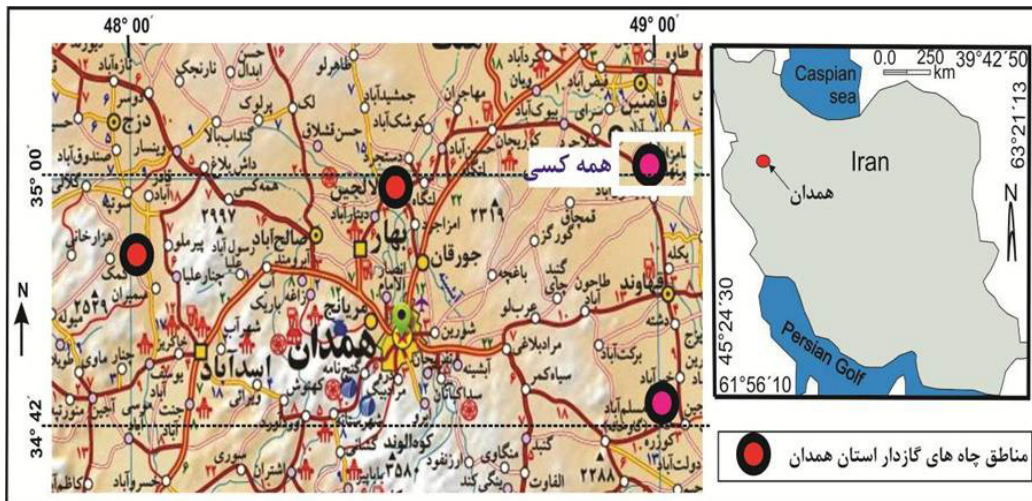
در سال‌های اخیر، در ایران که یک منطقه نیمه‌خشک و کم باران است کمیت آب‌های زیرزمینی بر اثر افزایش جمعیت و بهره‌برداری، به‌شدت کاهش یافته و کیفیت آن‌ها نیز بر اثر استفاده بی‌رویه از آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی، موادشودنده و مواد صنعتی به مخاطره افتاده است مضافاً اینکه آب در برخی نقاط شور، بد مزه و گازدار گردیده است. در چندین منطقه از استان همدان و از جمله در منطقه همه‌کسی، آب برخی از چاه‌های کشاورزی گس و ترش شده و با جوششی از گاز همراه

حفرات و مجاری آبدار است و منبع تغذیه آب چاه‌های سمت مجاری و حفرات حرکت می‌نماید که وقوع فروچاله‌های متعدد در منطقه نمودی از این سازوکار می‌باشد. عمق سطح آب در چاه‌های گازدار منطقه همه‌کسی بیش‌تر از ۷۰ متر می‌باشد و در سال‌های اخیر چندین متر افزایش یافته است.

رسوبی، وارد سنگ بستری از جنس آهک شده که دارای گازدار در منطقه محسوب می‌شود. حفرات و مجاری مذکور در بخش‌های حاشیه‌ای و حتی فوقانی با رسوبات سفره آبدار دشت کبودراهنگ- فامنین در ارتباط بوده و بنابراین با استخراج آب از این حفرات و مجاری، آب موجود در رسوبات حتی به همراه رسوبات دانه‌ریز به



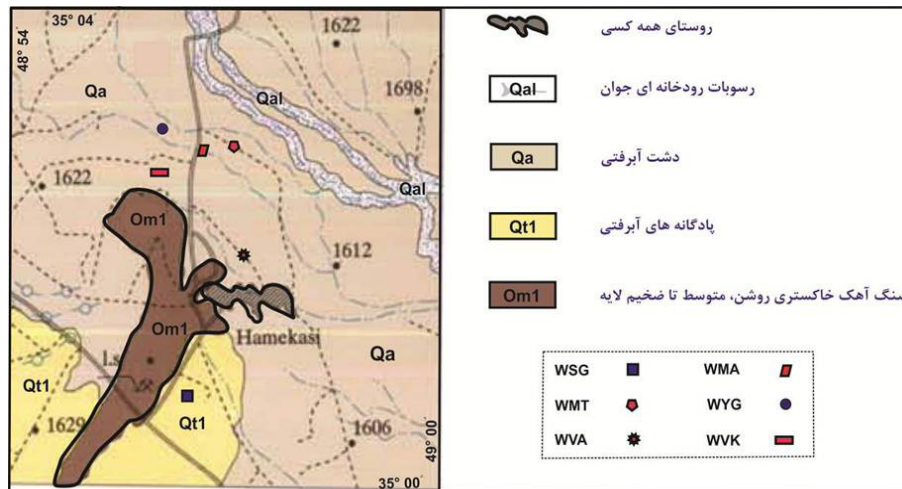
شکل ۱. تصاویر صحرایی از آب چاه ورته خلج (WVK) که در آن هیدرواکسیدهای آهن سبب تغییر رنگ آب شده است.



شکل ۲. موقعیت منطقه مورد بررسی (چاه‌های آب‌گازدار در پیرامون روستای همه‌کسی) در استان همدان

جدول ۱. مختصات جغرافیایی و مشخصات (عمق، رنگ آب و زمان خوردگی) چاه‌های گازدار منطقه همه‌کسی

نام صاحب چاه	علامت اختصاری	مختصات جغرافیایی (U.T.M)		مدت زمان خوردگی	عمق چاه (متر)	وضعیت آب
		عرض شمالی	طول شرقی			
اسمعی قره‌گوزلو	WSG	۳۱۳۹۸۷	۳۸۷۶۶۴۵	هر ۲۴ ماه	۱۳۰	جوشش گاز با رنگ شیری
ورته‌ی آقاجانی	WVA	۳۱۴۴۴۶	۳۸۷۷۹۹۳	هر ۴ ماه	۱۰۸	جوشش گاز با رنگ نارنجی
عزت اله خلج	WVK	۳۱۳۷۰۱	۳۸۷۹۰۵۲	هر ۴ ماه	۱۹۰	جوشش گاز با رنگ زرد
یداله قشلاقی	WYG	۳۱۳۹۲۸	۳۸۷۹۷۳۹	هر ۴ ماه	۱۸۵	جوشش گاز- ترش و گس
مقصودعلی امیری	WMA	۳۱۴۰۸۶	۳۸۷۹۳۸۳	هر ۲ ماه	۱۰۰	جوشش گاز با رنگ شیری
محمد طاهری	WMT	۳۱۳۶۶۷	۳۸۷۹۷۴۵	هر ۶ ماه	۱۶۰	جوشش گاز با رنگ شیری



شکل ۳. موقعیت چاه‌های گازدار منطقه همه‌کسی بر روی بخشی از نقشه زمین‌شناسی کبودر آهنگ به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (شفیعی و همکاران، ۲۰۰۴). اختصارات همانند جدول ۱

### وضعیت زمین‌شناسی منطقه

بخش عمده استان همدان در زون دگرگونه و ماگماتیسمی سنندج- سیرجان و بخش کاملاً جنوبی آن در زون زاگروس رورانده جای گرفته است. زون سنندج- سیرجان در واقع باریکه‌ای دگرگونه با فعالیت‌های ماگمایی شدید است که ماگماتیسم آن یا حاصل تصادم قاره‌ای و از نوع S (همانند گرانیت الوند) و یا حاصل فعالیت‌های پس از تصادم و از نوع A (همانند توده‌های اسیدی الموقلاغ) است که در حضور محلول‌های فلوئور و بوردار و غنی از زیرکونیم و آهن رخ داده است (امیری و همکاران، ۲۰۱۷). شواهد نشان می‌دهد که در بخش‌هایی از این زون فعالیت‌های حرارتی و هیدروترمالی شدیدی رخ داده است. از جمله‌ی این نوع شواهد می‌توان به تشکیل کانی‌های پنوماتولیتی چون تورمالین‌های نوع اسکورلیتی، کانی‌های آمفیبول سدیک با بافت توپوتاکسی، اسکارن‌های حرارتی و پنوماتولیتی شبیه به ولاستونیت، پریکلاز، اسکاپولیت و هم‌چنین هورنفلس‌های حرارت بالا، چشمه‌های آب گرم معدنی و... اشاره نمود (امیری و همکاران، ۲۰۱۷). علاوه بر رخساره‌های فوق‌الذکر، در برخی از نقاط استان بر اثر پیشروی دریا، نهشته‌های مارنی و آهکی (تشکیلات قم) نیز تشکیل گردیده است.

روستای همه‌کسی در حاشیه دشت فامنین- قهاوند جای گرفته است. ضخامت رسوبات سفره آبدار دشت مذکور به انحلال‌پذیری در مقایسه با سایر سنگ‌های کربناتی برخورداری هستند. وجود حفره‌های انحلالی بزرگ، سیستم

حدود ۷۰-۱۰۰ متر می‌رسد و بهره‌برداری از آن بیش از ظرفیت سفره بوده و سالیانه حدود ۳-۲/۵ متر افت در سطح آب این سفره وجود دارد. در اطراف روستای همه‌کسی ضخامت آبرفت کاهش یافته و در غرب روستا، سنگ بستر در سطح زمین رخنمون دارد. چاه‌های گازدار پیرامون روستای همه‌کسی (شکل ۳) با عبور از آبرفت، وارد سنگ بستر گردیده و آب آن‌ها از همین سنگ تامین می‌گردد. براساس حفاری‌ها و بیرون‌زدگی‌های موجود در اطراف روستا، سنگ بستر با سن الیگومیوسن شامل آهک میکروکریستالین، آهک ماسه‌ای، آهک با میان لایه‌های نازک مارنی و مارن است. آهک‌ها، ضخیم لایه و دانه‌ریز بوده و دارای کربنات کلسیم بالا و میکروفسیل فراوان می‌باشند و در برخی نقاط در آن‌ها ساخت استیلولیت و میان لایه‌هایی از رس و کنکرسپون کربناتی وجود دارد. درز و شکاف‌های موجود در این تشکیلات در اطراف روستای همه‌کسی در سه امتداد N130E، N50E و E و N160 و شکستگی‌های بزرگ منطقه در عکس‌های هوایی در دو امتداد N50E و N160E مشاهده می‌شوند. تشکیلاتی با این مشخصات دارای بهترین استعداد برای انحلال و توسعه کارست می‌باشد. حیدری و همکاران (۱۳۸۲) با بررسی میکروسکوپی مقاطع نازک و آزمایش انحلال‌پذیری، میانگین ثابت سرعت انحلال سنگ‌های این منطقه را حدود  $10^{-4} \times 1/28$  برآورد نموده و اظهار داشته که این تشکیلات از استعداد بالایی برای درز و شکاف وسیع در سنگ بستر و پمپاژ آب از آن‌ها، نشانه‌ای از انحلال و وجود سیستم کارست‌درونی در این

آزاد محلول، اندیس اشباع، اسیدیته تئوری و برخی نسبت‌ها از جمله  $Na/(Na+Cl)$ ،  $Cl/(Cl+HCO_3)$ ،  $Na/Ca$  و  $Mg/Ca$  محاسبه و برآورد گردید (جدول ۳). پارامتر کل نمک‌های محلول در آب، شامل کلیه یون‌ها، مولکول‌ها و ذرات معلق است که از یک صافی با منافذ ۱/۵ میکرو متر عبور می‌کنند (همیلتون و ژانگ، ۱۹۷۲) و مقدار آن در تمامی مناطق برای آب‌هایی با هدایت الکتریکی (EC) کمتر و یا مساوی ۰/۷۱۷۵ دسی‌زیمنس بر متر از رابطه ۱ و برای آب‌هایی با EC بین ۰/۷۱۷۵ تا ۱۱۱/۹ دسی‌زیمنس بر متر از رابطه ۲ و با دقت زیاد برآورد می‌گردد (کمیاسوفت، ۲۰۱۷). در این پژوهش با توجه به مقادیر EC اندازه‌گیری شده، مقدار TDS از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$TDS_{mg/L(ppm)} = 0.00000003351240016Ec^3 + 0.000049948901244919Ec^2 + 0.500944688449521Ec - 0.00823364899058809 \quad (1)$$

$$TDS_{mg/L(ppm)} = -0.000000000005886729Ec^3 + 0.000001573823009374Ec^2 + 0.564100864596031Ec - 2.0598990943585 \quad (2)$$

برای تعیین مقدار  $CO_2$  آزاد محلول در آب، سه روش نوموگرافی (B)  $(4500-CO_2)$ ، تیترومتری (C)  $(4500-CO_2)$  و محاسباتی (D)  $(4500-CO_2)$  در روش‌های استاندارد (انجمن بهداشت عمومی آمریکا، ۱۹۹۵) ارائه شده است. در این پژوهش به کمک روش محاسباتی و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی (قلیائیت کل و اسیدیته)، ابتدا قلیائیت بی‌کربناتی از رابطه ۳ محاسبه و سپس مقدار دی‌اکسیدکربن محلول در آب توسط رابطه ۴ برآورد گردید. در این روابط علامت ALK نشانه‌ی مقدار قلیائیت کل بر حسب mg/L است.

$$[HCO_3^-] = \frac{ALK_T - (5 \times 10^{(pH-10)})}{1 + (0.94 \times 10^{(pH-10)})} \quad (3)$$

$$CO_2 - free_{(aq)} = 2 \times [HCO_3^-] \times 10^{(6-pH)} \quad (4)$$

به کمک روش محاسبه شاخص اشباع (SI)، که برای سیستم بسته در رابطه ۵ (لانچیر، ۱۹۳۶) ارائه شده است می‌توان میزان تمایل آب برای ترسیب کربنات-کلسیم در سیستم باز را محاسبه و برآورد نمود (باور و همکاران، ۱۹۶۵).

$$SI = pH_a - pH_c \quad (5)$$

در این فرمول  $pH_a$  اسیدیته واقعی و  $pH_c$  اسیدیته تئوری آب است که از روش محاسبه (غلامعلی‌زاده آهنگر،

سنگ‌ها است. از آنجایی که بخش‌هایی از این تشکیلات از مارن و رسوبات کولابی تشکیل گردیده است بنابراین این رخساره می‌تواند منبع و مولد برخی از یون‌ها و ترکیبات موجود در آب چاه‌های‌گازدار منطقه در نظر گرفته شود.

### اندازه‌گیری‌های صحرایی

جهت بررسی روند تغییرات شوری آب در چاه‌های‌گازدار، میزان هدایت الکتریکی آب آن‌ها توسط یک دستگاه سنجنده قابل حمل (مدل SENSO DIRECT CON200) متعلق به شرکت لوبوند از کشور آلمان، اندازه‌گیری گردید (شکل ۴). این دستگاه هدایت الکتریکی را تا ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و با دقت  $\pm 0.5$  سنجش می‌نماید. در این پژوهش مقدار هدایت الکتریکی آب چاه‌های‌گازدار در طی سه سال (از ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶) و هر سال در پنج نوبت در ماه‌های فعالیت چاه‌ها (از خرداد تا مهر ماه) اندازه‌گیری گردید. قبل از اندازه‌گیری، دستگاه مذکور به کمک محلول استاندارد (مربوط به کارخانه‌ی سازنده) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد واسنجی گردید.

### نمونه‌برداری و آزمایش‌های آزمایشگاهی

جهت انجام آزمایش‌های هیدروشیمی، از هر چاه یک نمونه آب (جمعاً شش نمونه) در تیر ماه ۱۳۹۶ برداشت گردید. برای تهیه هر نمونه، ابتدا چاه آب مورد نظر حداقل به مدت ۲۰ دقیقه پمپاژ و بطری‌های نمونه‌برداری چندین بار با آب چاه شسته شد و بعد از نمونه‌گیری، تمامی نمونه‌ها سریعاً به آزمایشگاه منتقل گردید. سپس مقدار قلیائیت کل، pH، یون‌های اصلی و هدایت الکتریکی (EC) آن به روش‌های استاندارد در آب و فاضلاب (رایس و همکاران، ۲۰۱۲) اندازه‌گیری شد (جدول ۲). در این سنجش‌ها، مقادیر هدایت الکتریکی به کمک هدایت‌سنج الکتریکی، سولفات به روش کلریمتری، نیترات و نیتريت توسط اسپکتروفوتومتر و مقادیر سدیم و پتاسیم توسط فلیم‌فوتومتر تعیین گردید. هم‌چنین مقادیر کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات و کلراید به روش حجم‌سنجی اندازه‌گیری شدند.

### محاسبه پارامترها و شاخص‌ها

جهت ارزیابی منشأ ترکیبات آب چاه‌های‌گازدار، پارامترهای کل نمک‌های محلول (TDS)، دی‌اکسیدکربن

کلسیم را دارد. باور و ماسلند (۱۹۶۳) شاخص ترسیب را  $8.4 - PH_c$  در نظر گرفته و فرمول شاخص اشباع را بصورت مثبت بوده و آب تمایل به ترسیب کربنات کلسیم را دارد و وقتی که مقدار  $PH_c$  بیش‌تر از  $8.4$  است مقدار شاخص اشباع منفی بوده و آب تمایل به انحلال کربنات

برآورد می‌گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که عموماً وقتی که مقدار  $PH_c$  کمتر از  $7.59$  است مقدار شاخص اشباع مثبت بوده و آب تمایل به ترسیب کربنات کلسیم را دارد و وقتی که مقدار  $PH_c$  بیش‌تر از  $8.4$  است مقدار شاخص اشباع منفی بوده و آب تمایل به انحلال کربنات



شکل ۴. دستگاه سنجنده دما و هدایت الکتریکی (سمت چپ) و محلول استاندارد آن (سمت راست)

جدول ۲. مقادیر هدایت الکتریکی و یون‌های اصلی اندازه‌گیری شده از آب شش حلقه چاه گازدار در منطقه همه‌کسی

EC (dS/m)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)	Cl (mg/l)	NO <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>2</sub> (mg/l)	صاحب چاه
۲/۹۶۰	۳۲۴/۸	۸۱/۵	۳۴۳	۳/۷	۱۲۱۸/۵	۲۷۸/۸	۲۷۷/۲	۳۳/۹	۰/۰۷	اسمعلی قره‌گوزلو
۲/۴۰۰	۵۱۵/۲	۳۳	۴۲۰	۳/۶	۱۶۱۶/۷	۴۲۳/۶	۲۴۳	۱۶/۲	۰/۰۴	ورثه آقاجانی
۶/۰۷۰	۵۸۵	۲۳۶/۴	۴۵۰	۳/۱	۳۰۴۴/۶	۱۹۹/۶	۶۹۴/۱	≤۰/۶۵	۰/۰۳	ورثه خلج
۳/۳۶۰	۳۶۴/۲	۹۶/۲	۴۵۰	۳/۹	۱۶۰۰/۶	۳۶۲/۴	۲۳۶/۲	۱۶/۶	۰/۰۵	یداله قشلاقی
۳/۴۲۰	۴۶۴	۳۰/۵	۴۵۰	۳/۵	۱۵۷۳/۳	۳۴۲/۸	۲۶۰/۴۶	۲۵/۹	۰/۰۴	مقصودعلی امیری
۳/۴۴۰	۴۴۷/۷	۷۷/۶	۴۰۰	۳/۵	۱۶۳۹/۷	۳۰۸	۲۶۴/۸	۳۰/۳	۰/۰۲	محمد طاهری
۳/۷۷۵	۴۴۹/۶	۹۱/۴	۴۱۸/۹	۸/۲	۱۸۱۴	۳۱۸/۷	۳۲۹/۷	۲۰/۵۹	۰/۰۴	میانگین حسایی
۶/۰۷۰	۵۸۵	۲۳۳/۵	۴۵۰	۳/۵	۳۰۴۴/۶	۴۲۳/۶	۶۹۴/۱	۳۳/۹	۰/۰۵	حداکثر
۲/۹۶۰	۳۲۴/۸	۳۰/۲	۳۴۳	۳/۱	۱۲۱۸/۵	۱۹۹/۶	۲۳۶/۲	≤۰/۶۵	۰/۰۲	حداقل
۱/۱۳۹	۹۵/۷	۷۴/۵	۴۲/۶	۱۶/۵	۶۳۳/۳	۷۶/۶	۱۷۹/۶	-	-	انحراف معیار

جدول ۳. مقادیر پارامترهای محاسبه شده، جهت ارزیابی منشأ ناهنجاری ترکیب آب چاه‌های گازدار منطقه همه‌کسی

حدود داده‌ها			چاه‌ها						پارامتر
میانگین	حداقل	حداکثر	WSG	WVA	WVK	WYG	WMA	WMT	
۲۱۱۵	۱۶۱۵	۳۴۴۹	۱۶۱۵	۱۹۰۴	۳۴۴۹	۱۸۸۱	۱۹۱۵	۱۹۲۷	TDS
۵/۸۴	۵/۴۱	۶/۰۸	۶/۰۸	۵/۸۲	۵/۴۱	۵/۹۴	۵/۹۳	۵/۸۷	pHc
۲/۵۶	۲/۳۲	۲/۹۹	۲/۳۲	۲/۵۸	۲/۹۹	۲/۴۶	۲/۴۷	۲/۵۳	SI
۰/۸۳۳	۰/۷۱۰	۱/۰۸۰	۰/۹۱۹	۰/۷۱۰	۰/۶۶۹	۱/۰۸۰	۰/۸۴۵	۰/۷۷۸	Na/ca
۰/۳۳۶	۰/۱۰۶	۰/۶۶۵	۰/۴۱۷	۰/۱۰۶	۰/۶۶۵	۰/۴۳۶	۰/۱۰۸	۰/۲۸۶	Mg/Ca
۲۲/۶۷	۱۳/۴۸	۴۱/۰۵	۲۱/۱۴	۲۱/۷۷	۴۱/۰۵	۱۴/۰۴	۱۳/۴۸	۲۴/۵۷	(Ca+Mg)-(Na+K)
۳۰/۸۲	۱۶/۹۸	۳۷/۶۳	۱۶/۹۸	۳۷/۶۳	۳۵/۵۸	۳۴/۷۲	۲۸/۱۱	۳۱/۹۲	HCO <sub>3</sub> -(SO <sub>4</sub> +Cl)
۰/۷۰۷	۰/۵۰۰	۰/۹۰۸	۰/۶۵۶	۰/۹۰۸	۰/۵۰۰	۰/۷۴۶	۰/۷۳۴	۰/۶۹۹	Na/(Na+Cl)
۰/۲۱۲	۰/۰۵۹	۰/۲۹۰	۰/۲۹۰	۰/۰۵۹	۰/۲۸۲	۰/۲۰۲	۰/۲۲۲	۰/۲۱۷	Cl/(Cl+HCO <sub>3</sub> )

## تجزیه و تحلیل آماری

تغییرات زمانی و مکانی مقادیر هدایت الکتریکی آب (به عنوان متغیر وابسته) به کمک نرم‌افزار spss (افشانی و همکاران، ۱۳۸۴؛ افشین‌نیا، ۱۳۷۸ و زرگر، ۱۳۸۴) شرح روش‌های ذیل مورد ارزیابی قرار گرفت.

## الف- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی آب

برای جهت سنجش تغییرات زمانی هدایت الکتریکی آب در هر چاه، مقادیر این پارامتر در هر سال در یک ستون به‌عنوان یک سطح از متغیر (پنج مورد در هر سطح) در صفحه داده‌های نرم‌افزار SPSS درج گردید. با توجه به طول مدت اندازه‌گیری‌ها (سه سال)، سه سطح از متغیر وابسته در سه ستون جای داده شد. علاوه بر این، جهت سنجش تغییرات زمانی هدایت الکتریکی آب در کل منطقه، میانگین هدایت الکتریکی تمام چاه‌ها در هر نوبت از اندازه‌گیری به‌عنوان یک مشاهده (مورد) در نظر گرفته شد و سه ستون به‌عنوان سه سطح از متغیر هدایت الکتریکی چاه‌ها (با تعداد موارد معادل نوبت‌های اندازه‌گیری در هر سال) تشکیل گردید (جدول ۴). پس از تنظیم داده‌ها با توجه به اینکه داده‌ها برای بررسی‌های آماری نوع پارامتریک، بایستی نرمال باشند. لذا برای بررسی وضعیت نرمالیت آن‌ها، از آنالیز اکتشافی استفاده شد که دستورالعمل اجرای آن به‌صورت *Analyze → Descriptive Statistics → Explore* (زرگر، ۱۳۸۴). با اجرای این دستورالعمل، وضعیت نرمالیت داده‌های هر سطح از متغیر به کمک آماره‌های کولموگوروف-اسیمرونوف و شاپیرو-ویلک با سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها، متغیر استاندارد برای هر سطح از متغیر ساخته شد و داده‌های پرت شناسایی و در صفحه‌ی درج داده‌ها، نامعتبر (*Missing*) گردید. پس از حذف مقادیر پرت، آنالیز واریانس به‌روش تکرار مشاهدات بر روی داده‌ها با دستورالعمل *Analyze → General Repeated measures → linear model* انجام گردید. علاوه بر نرمال بودن داده‌ها، همسان بودن کواریانس داده‌ها نیز پیش شرط اساسی این نوع بررسی آماری تلقی می‌شود، لذا این شرط توسط آزمون کرویت مورد بررسی قرار گرفت و در مواردی که فرضیه همسانی کواریانس توسط مقدار  $P$  در این آزمون رد نگردد (مقدار  $P <$

۰/۰۵)، برای تشخیص تفاوت بین میانگین‌ها، مستقیماً از آماره  $F$  استفاده گردید و در مواردی که فرض کرویت داده‌ها بر اساس آزمون کرویت رد گردید، برای تشخیص معنی‌داری تفاوت بین میانگین داده‌ها، از آماره‌های تصحیح شده و به‌ویژه از آماره *Huynh- feldt Epsilon* استفاده گردید.

## ب- تغییرات مکانی هدایت الکتریکی آب

توسط آنالیز واریانس یک طرفه ANOVA، تفاوت در مقدار هدایت الکتریکی آب بین چاه‌ها (تغییرات مکانی) مورد بررسی قرار گرفت. در این آنالیز، هم میانگین سالیانه و هم میانگین کل اندازه‌گیری‌ها (میانگین سه‌ساله) مورد مقایسه قرار گرفت. برای اجرای این آنالیز، داده‌ها طوری چینش و تنظیم شدند که دو متغیر وابسته و مستقل تشکیل گردید. متغیر وابسته همان مقدار هدایت الکتریکی آب می‌باشد و متغیر مستقل عبارت از گروه‌هایی است که صاحبان چاه‌ها را شامل می‌شود. در این چینش برای موارد هر گروه یک کد در نظر گرفته شد. بطور کلی مراحل انجام این پژوهش (روش تحقیق) را می‌توان بصورت فلوجارت شکل ۵ نمایش و ارائه نمود.

## نتایج و بحث

## شیمی و رخساره‌های هیدروشیمیایی

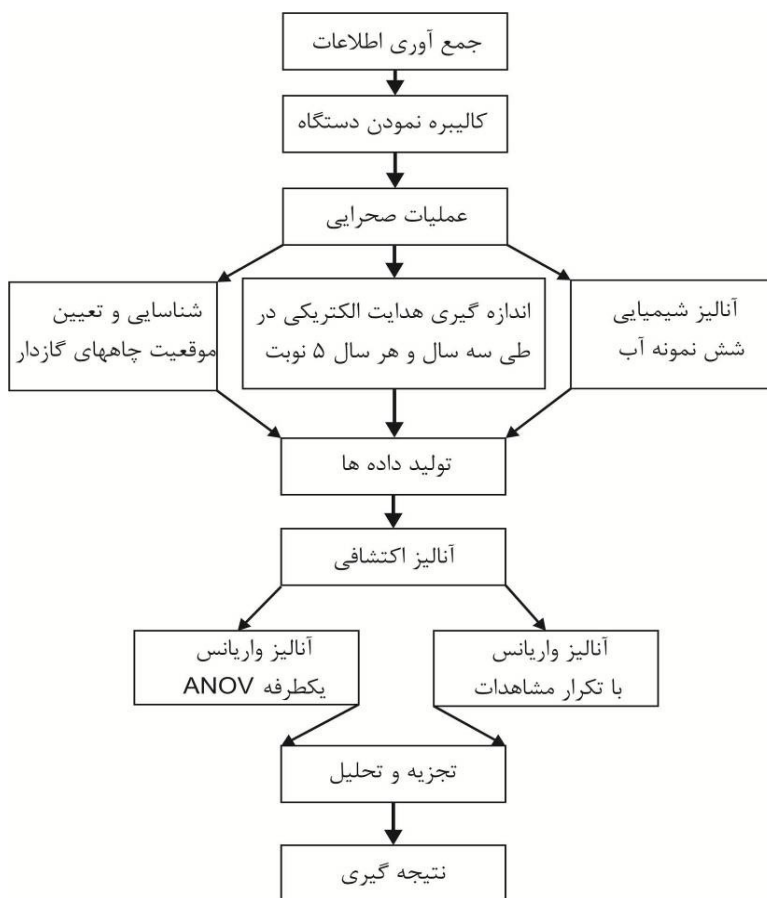
ترکیب آب زیرزمینی از واکنش آب با مواد زمین‌شناسی که آب در بین اجزاء آن جریان دارد حاصل می‌شود (آپلو و پوستما، ۱۹۹۶). آب چاه‌های گازدار منطقه با هدایت الکتریکی ۲/۹۶ تا ۶/۰۷ دسی‌زیمنس بر متر (میانگین ۳/۷۷۵) و باقی‌مانده خشک ۱۶۱۵ تا ۳۴۴۹ میلی‌گرم بر لیتر (میانگین ۲۱۱۵) به‌شدت شور است که این شوری حاصل انحلال سنگ مخزن و یا فرآیند تبخیر آب در محیط کولابی می‌باشد. کلسیم با میانگین ۴۴۹/۶ میلی‌گرم بر لیتر و بی‌کربنات کلسیم با میانگین ۱۸۱۴ میلی‌گرم بر لیتر، به ترتیب دارای بیش‌ترین مقادیر کاتیونی (۴۶ درصد) و آنیونی (۶۳ درصد) هستند. رابطه‌ی نسبی غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در این آب‌ها به‌ترتیب به صورت  $\text{NO}_2 > \text{NO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$  و  $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}$  می‌باشد. بررسی نتایج آنالیز نمونه‌ها، در دیگرام‌های سه‌خطی (پایپر، ۱۹۴۴، و پایپر، ۱۹۵۵) نشان می‌دهد که نمونه‌ها در مثلث کاتیون‌ها در محدوده‌ی

نمونه‌ها در لوزی فرعی سمت چپ (محدوده ۵ از شکل ۶) قرار گرفته‌اند، آب چاه‌های گازدار منطقه از نظر منشاء جزو آب‌های تازه، کم عمق و بی‌کربنات کلسیمی است. این نوع منشاء به‌کمک دیاگرام پیشنهاد شده توسط چادها (۱۹۹۹) که در واقع نوعی از دیاگرام تعدیل یافته پایپر (۱۹۴۴) جهت سهولت نمایش داده‌های ژئوشیمیایی است تأیید می‌گردد (شکل ۷).

رخساره‌ی کلسیمی و در مثلث آنیون‌ها در محدوده‌ی رخساره‌ی کربناتی قرار گرفته (شکل ۶) و در بخش لوزی شکل دیاگرام‌های مذکور، در محدوده‌ی رخساره‌ی بی‌کربنات کلسیم- منیزیم جای می‌گیرند. این موقعیت‌ها نشان می‌دهد که در محیط آب‌زیرزمینی منطقه‌ی مورد بررسی، مقدار کاتیون‌های قلیایی‌خاکی برکاتیون‌های نوع قلیایی و آنیون‌های اسیدهای ضعیف بر آنیون‌های اسیدهای قوی غالب گردیده است و با توجه به اینکه

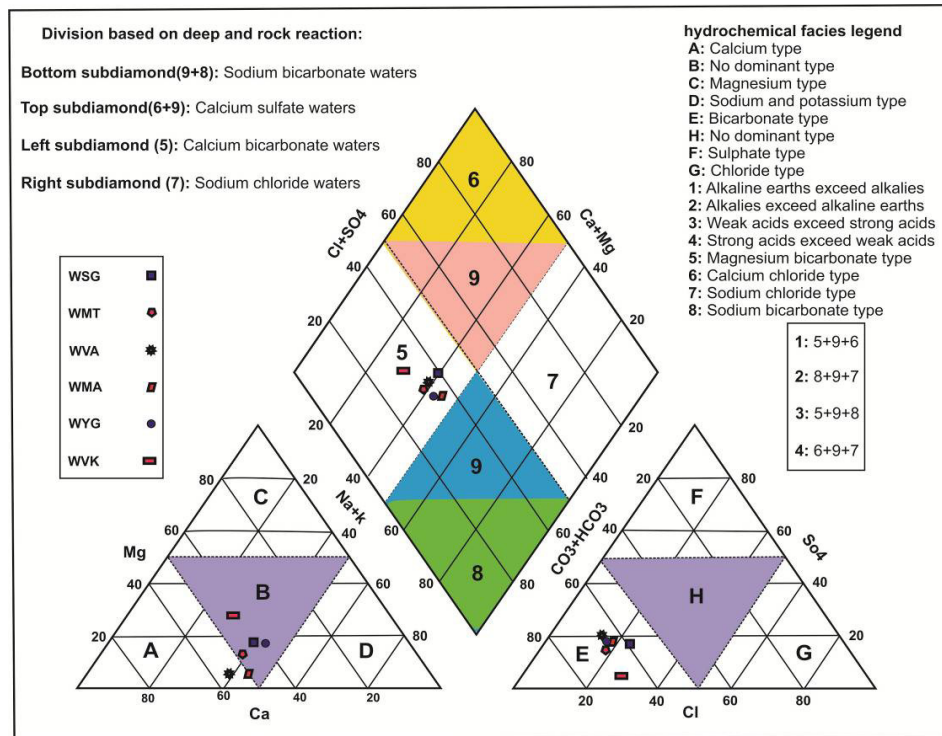
جدول ۴. طرح چینش و تنظیم میانگین هدایت الکتریکی آب (دسی‌زیمنس بر متر) در چاه‌های گازدار منطقه

سال سوم	سال دوم	سال اول	میانگین نوبت‌ها
۳/۷۹۳	۳/۸۳۷	۳/۸۹۰	میانگین نوبت اول
۳/۸۱۱	۳/۸۵۰	۳/۹۰۲	میانگین نوبت دوم
۳/۸۹۸	۳/۸۹۰	۳/۹۵۵	میانگین نوبت سوم
۳/۹۳۸	۳/۹۳۲	۳/۹۷۲	میانگین نوبت چهارم
۳/۹۵۰	۳/۹۷۲	۳/۹۷۰	میانگین نوبت پنجم

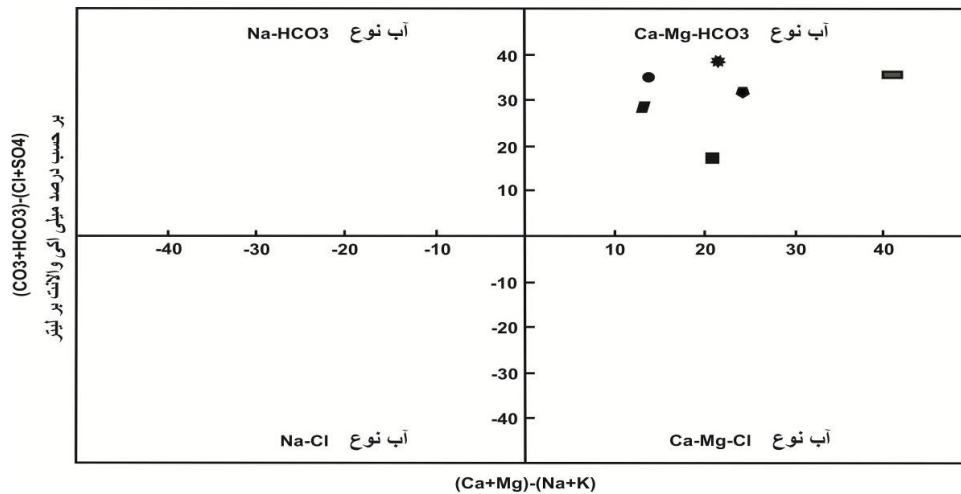


شکل ۵. فلوجارت نمایش مراحل روش بررسی





شکل ۶. رخساره‌های آب چاه‌های گازدار منطقه همه‌کسی در دیاگرام‌های نوع پایپر (۱۹۴۴ و ۱۹۵۵). علائم همانند شکل ۳ و اختصارات همانند جدول ۱



شکل ۷. طبقه‌بندی ژئوشیمیایی آب چاه‌های گازدار منطقه همه‌کسی بر مبنای دیاگرام چادها (۱۹۹۹). علائم همانند شکل ۳ و اختصارات همانند جدول ۱

در مقابل مقادیر TDS قابل شناسایی است (گیپس، ۱۹۷۰). پلات نمونه‌های منطقه در شکل ۸، نشان می‌دهد که در درجه اول فعل و انفعالات تبخیر و تبلور و در درجه دوم واکنش سنگ مخزن با آب، ترکیب آب چاه‌ها را کنترل نموده است. این وضعیت توسط دیاگرام‌های شکل ۹ نیز تأیید می‌گردد. در شکل ۹- الف، غلبه‌ی فرآیند

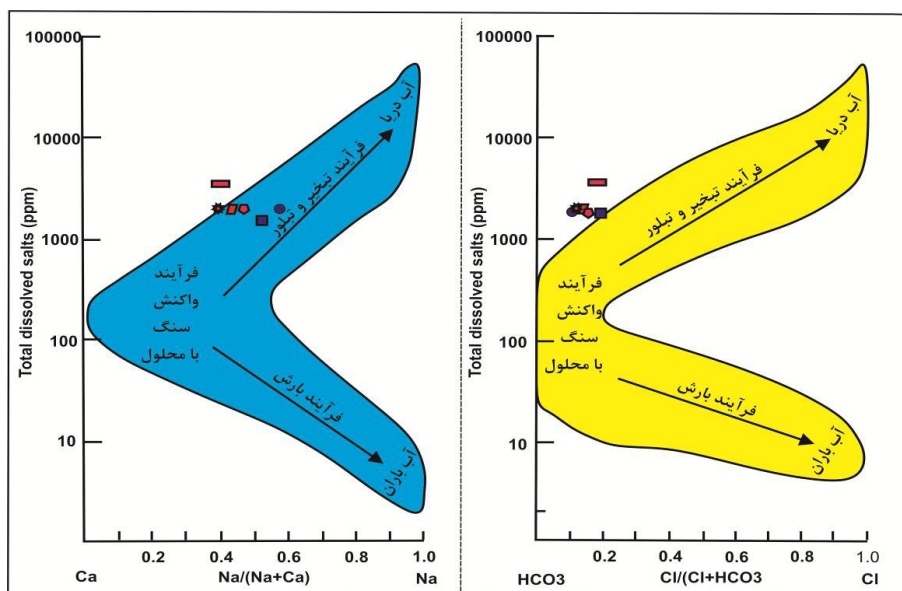
غلظت و نوع یون‌های حل شده در آب‌زیرزمینی بستگی به سنگ‌شناسی، میزان حلالیت سنگ‌مخزن، ماهیت واکنش‌های شیمیایی و حضور یا عدم حضور محلول‌های اکتیو (با منشاء ماگمایی) دارد و عاملی که غلظت یون‌های موجود در آب‌زیرزمینی را کنترل می‌نماید توسط پلات نسبت‌های  $Cl/(Cl+HCO_3)$  و  $Na/(Na+Ca)$

موجود در آب گردیده است. دیاگرام‌های شکل ۸ نشان می‌دهند که نمونه‌های آب در نزدیک خط مرزی و حتی برخی از نمونه‌ها بعلت شوری بالا در خارج از منحنی واقع شده که یک حالت غیر معمول در انحلال سنگ مخزن را نشان می‌دهد. با توجه به مقدار بالای دی‌اکسیدکربن آزاد محلول در آب چاه‌های گازدار منطقه، تصور می‌رود که ورود محلول‌های گرمایی (با منشاء ماگمایی) به سیستم درز و شکاف سنگ مخزن، عامل انحلال غیر معمول سنگ مخزن و شوری زیاد آب چاه‌های گازدار منطقه‌ی مورد مطالعه بوده است.

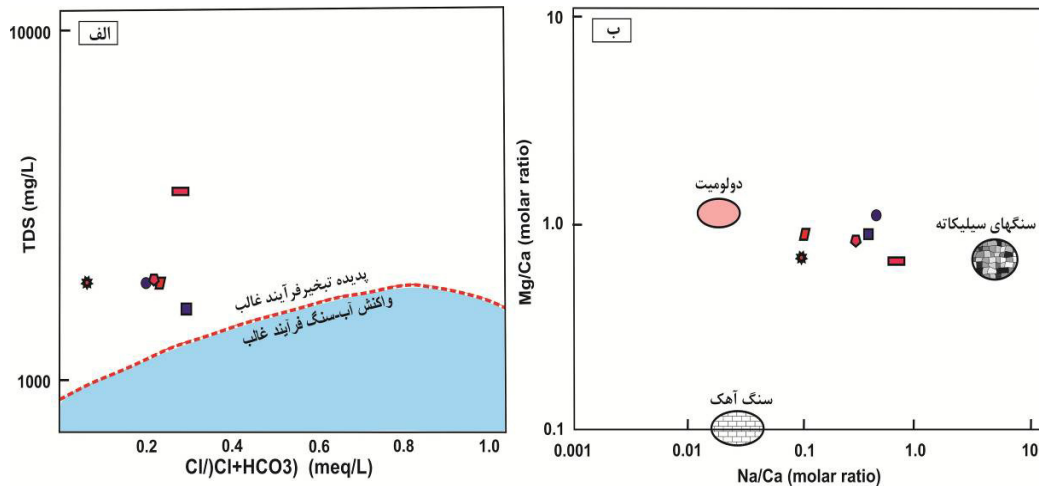
### مقادیر دی‌اکسیدکربن آزاد محلول

دی‌اکسیدکربن به دو شکل ترکیبی (کربنات و بی‌کربنات) و آزاد (محلول) در آب وجود دارد. مقدار دی‌اکسیدکربن آزاد محلول در آب‌های سطحی و زیرزمینی (منشاء اتمسفری) اندک بوده و عموماً کمتر از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر است. البته در برخی از آب‌های زیرزمینی ممکن است که غلظت آن فقط اندکی بیشتر از این حد باشد (انجمن بهداشت عمومی آمریکا، ۱۹۹۵). مقدار دی‌اکسیدکربن آزاد محلول در آب چاه‌های گازدار منطقه همه‌کسی با استفاده از روابط ۳ و ۴ (روش محاسباتی) و با کمک مقادیر pH و قلیانیت کل محاسبه و در جدول ۵ ارائه شده است.

تبخیر و تبلور بر فرآیند واکنش سنگ مخزن- آب به وضوح مشخص است و در شکل ۹- ب، ترکیب نمونه‌ها در محدوده‌ی بین سه نوع لیتولوژی (آهک، دولومیت و سیلیکات) قرار گرفته است و علی‌رغم اینکه، آب در سنگ مخزن کربناتی ذخیره شده است دارای منیزیم و سدیم نسبتاً بالایی است. این وضعیت را می‌توان به این صورت توضیح داد که همراه با آهک میکروکریستالین، رسوبات و میان‌لایه‌های مارنی و تبخیری سدیم و منیزیم‌دار مربوط به حوضه‌های تبخیری وجود دارد و تماس آب‌زیرزمینی با آن‌ها، سبب انحلال و بالا رفتن عناصر مربوط به محیط‌های تبخیری گردیده است و در واقع محیط تبخیری بر آب حاکم نبوده است بلکه بخشی از سنگ مخزن در محیط تبخیری تشکیل شده است. در دیاگرام شکل ۸ نمونه‌ها تمایل بیشتری به قطب‌های کلسیم و بی‌کربنات دارند که این موضوع نشان می‌دهد که فرآیند واکنش سنگ مخزن با آب، مهم‌ترین عامل مولد یون‌ها بوده است. این موضوع با رخساره‌ی سنگ مخزن موجود در منطقه، همخوانی دارد. همانطوری که قبلاً ذکر شد، سنگ مخزن آب چاه‌های گازدار منطقه همه‌کسی جزو رخساره‌ی تشکیلات قم است که بخشی از آن از کربنات کلسیم (آهک) و بخش دیگر آن از رسوبات محیط‌های کولابی و تبخیری تشکیل شده و حاوی ترکیبات سدیم‌دار است که انحلال آن سبب افزایش مقدار Na



شکل ۸. مکانیسم حاکم بر شیمی آب چاه‌های گازدار منطقه همه‌کسی بر مبنای دیاگرام گیپس (۱۹۷۰). علائم همانند شکل ۳ و اختصارات همانند جدول ۱



شکل ۹. مکانیسم های حاکم بر شیمی آب چاه‌های گازدار منطقه همه‌کسی. الف) Log TDS در مقابل نسبت  $Cl/(Cl+HCO_3)$ . خط مرزی بر مبنای گیپس (۱۹۷۰). ب) نسبت  $Mg/Ca$  در مقابل نسبت  $Na/Ca$ ، محدوده ترکیبات بر مبنای هان و لیو (۲۰۰۴). علائم همانند شکل ۳ و اختصارات همانند جدول ۱

جدول ۵. مقادیر دی‌اکسید کربن آزاد محلول در آب چاه‌های گازدار منطقه همه‌کسی

صاحب چاه	قلیائیت کل (mg/L)	اسیدیته (pH)	قلیائیت بی‌کربناتی (mg/L)	دی‌اکسید کربن آزاد (mg/L)
اسمعی قره‌گوزلو	۹۹۸/۸	۶/۲۵	۹۹۸/۶	۱۱۲۳
ورثه آقاجانی	۱۳۲۵/۲	۶/۲۱	۱۳۲۵	۱۶۳۴
ورثه خلج	۲۴۹۵/۴	۶/۱۵	۲۴۹۵/۱	۲۵۳۳
یداله قشلاقی	۱۳۱۲	۶/۲۷	۱۳۱۱/۸	۱۴۰۹
مقصودعلی امیری	۱۲۸۹/۶	۶/۳۰	۱۲۸۹/۴	۱۲۹۲
محمد طاهری	۱۳۴۴	۶/۲۸	۱۳۴۳/۸	۱۴۱۰

همانطوری که در جدول ۵ مشاهده می‌شود مقدار دی‌اکسید کربن آزاد محلول در آب چاه‌های گازدار منطقه بسیار زیاد بوده و از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تجاوز می‌نماید. حتی در چاه ورثه خلج، مقدار آن به بیش از ۳۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. بالا بودن اسیدیته و مزه ترش آب، خود گویای وجود مقادیر زیادی از گاز دی‌اکسید کربن محلول در آب زیرزمینی منطقه است. از بالا بودن مقدار  $CO_2$  محلول در این آب‌ها چند نکته و موضوع به شرح ذیل استنتاج می‌گردد.

۱- بخش مهمی از گاز چاه‌ها، ناشی از خروج دی‌اکسید کربن محلول در آب زیرزمینی است که با خروج این گاز، کربنات کلسیم محلول در آب بصورت لکه و قشری نازک بر سطح اراضی کشاورزی ته‌نشین می‌گردد.

#### اندیس اشباع آب

۲- فرآیندهای معمول و طبیعی همانند ورود دی‌اکسید کربن از هوا به درون آب (در هنگام بارندگی) و یا فعالیت‌های بیولوژیکی قادر به تولید مقادیر زیادی از گاز

دی‌اکسید کربن محلول در آب نمی‌باشد. فعالیت‌های بیولوژیکی عموماً به آرامی  $CO_2$  را تولید نموده و مقادیر آن کم بوده و به تدریج در محیط‌های آب‌رفتی دانه درشت حرکت و در تمامی نقاط منتشر می‌گردد. بنابراین غلظت زیاد دی‌اکسید کربن موجود در آب چاه‌های گازدار منطقه همه‌کسی (بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، خود دلیلی بر منشاء درونی و گرمایی این گاز است.

۳- بالا بودن مقدار گاز دی‌اکسید کربن محلول در آب چاه‌های گازدار منطقه‌ی همه‌کسی، می‌تواند عامل خوردگی تجهیزات درون چاهی در اثر فعالیت یون هیدروژن در نظر گرفته شود.

۱- بخش مهمی از گاز چاه‌ها، ناشی از خروج دی‌اکسید کربن محلول در آب زیرزمینی است که با خروج این گاز، کربنات کلسیم محلول در آب بصورت لکه و قشری نازک بر سطح اراضی کشاورزی ته‌نشین می‌گردد.

گذشت زمان، میزان شوری آب کاهش می‌یابد. این روند، خلاف روند مورد انتظار برای آب‌ها زیرزمینی در شرایط معمول است. این روند نزولی، ناشی از فعالیت سیالات گرمایی و محیط اسیدی ایجاد شده توسط آن در زمان گذشته است (امیری و همکاران، ۱۳۹۶) و به تدریج که این آب‌ها استخراج می‌شوند و آب سطحی و یا آب سفره آبرفتی مجاور (دشت آبرفتی کبودرآهنگ-فامنین) به آب موجود در حفرت و سیستم درز و شکاف سنگ بستر اضافه گردد، مقدار شوری آب کاهش و کیفیت شیمیایی آن بهبود می‌یابد. روند نزولی شوری آب تا زمانی ادامه می‌یابد که سیالات گازدار وارد شده به آب موجود در سیستم درز و شکاف سنگ بستر توسط پمپاژ به اتمام برسد و از آن زمان به بعد، میزان شوری آب، روند صعودی و معمول خود را همانند سایر آب‌های زیرزمینی بدست می‌آورد.

#### تغییرات مکانی شوری

بررسی داده‌ها توسط آنالیز واریانس ANOV نشان می‌دهد که یک تفاوت معنی‌دار در میانگین سالیانه هدایت الکتریکی آب بین چاه‌های گازدار منطقه همه‌کسی وجود دارد (شکل ۱۱). این تفاوت بین میانگین مجموع سه ساله نیز وجود دارد. مقدار هدایت الکتریکی آب در چاه ورثه خلج بسیار زیاد بوده و با مقادیر آن در سایر چاه‌های منطقه تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد. رنگ آب این چاه بعلت داشتن ترکیبات آهن فرو و فریک متمایل به قرمز است (شکل ۱). کمترین مقدار هدایت الکتریکی آب متعلق به چاه اسمعیلی قره‌گوزلو بوده و با هدایت الکتریکی آب در سایر چاه‌ها تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد. تفاوت در میانگین شوری آب چاه‌ها، می‌تواند ناشی از چند عامل باشد. که از جمله‌ی این عوامل می‌توان به: ۱- تفاوت در درجه زمین گرمایی و جریان‌های حرارتی و مختلف، ۲- تفاوت در جنس سنگ بستر و در نتیجه تفاوت در میزان انحلال و نوع عناصر حل شده و ۳- تفاوت در مقدار نفوذ گازها و سیالات نسبتاً گرم (هیدروترمالی) به داخل آب زیرزمینی موجود در سیستم درز و شکاف‌ها، اشاره نمود. با عنایت به اینکه، فاصله بین چاه‌های اندازه‌گیری شده اندک است و چاه‌ها به هم نزدیک هستند و سنگ بستر در این فاصله همسان و

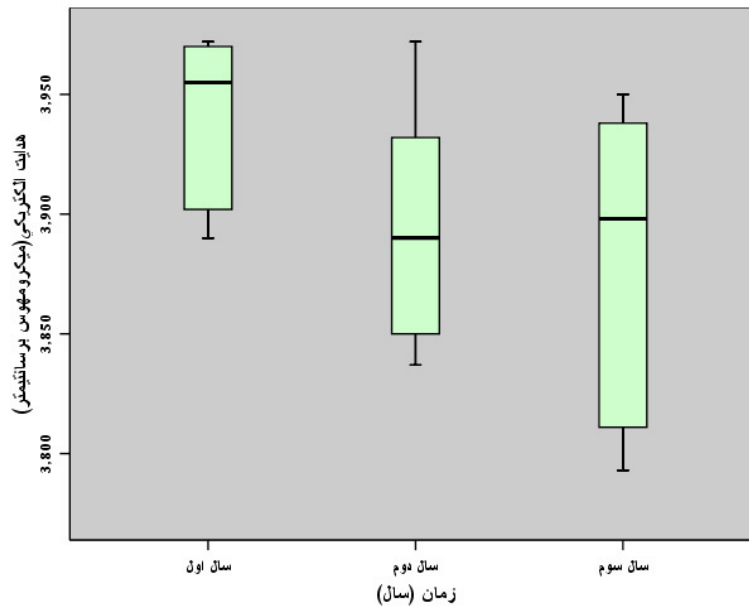
مقداری از کربنات کلسیم و منیزیم موجود در سنگ مخزن را در خود حل نموده و وقتی به سطح زمین برسد در اثر کاهش فشار و فرار گاز دی‌اکسید کربن، مقداری از کربنات کلسیم و منیزیم محلول در آب را ته‌نشین می‌نماید که این ته‌نشینی سبب کاهش یون‌های کلسیم و منیزیم و افزایش میزان نسبی سدیم در آب می‌گردد. وجود ته‌نشین‌های سفید بر روی کانال‌های آب و بر روی بوته‌های زراعی در منطقه، نشانه‌ای از تمایل آب این چاه‌ها به ترسیب کربنات کلسیم است میزان تمایل آب‌های منطقه برای ترکیب کربنات کلسیم در سیستم باز را می‌توان به کمک اسیدپتته تئوری آب (PH<sub>c</sub>) و شاخص اشباع (SI) برآورد نمود (باور و همکاران، ۱۹۶۵). مقادیر اسیدپتته تئوری و اندیس اشباع که به ترتیب با کمک روش‌های ارائه شده در منبع (غلامعلی‌زاده آهنگر، ۱۳۸۶) و رابطه ۵ برای آب چاه‌های گازدار منطقه برآورد گردیده است (جدول ۳) به ترتیب کمتر از ۷/۵۹ و مثبت بوده و نشان می‌دهد که آب تمامی چاه‌های گازدار منطقه تمایل به ترکیب کربنات کلسیم و افزایش خطر سدیم را دارا می‌باشد. وقتی مقدار سدیم در آب آبیاری زیاد می‌شود سدیم بر اثر تبادل یونی جایگزین کلسیم و منیزیم در خاک‌های رسی می‌گردد و مقدار نفوذپذیری خاک کاهش می‌یابد و در دوره مرطوب، گردش هوا و آب در خاک کاهش می‌یابد و وقتی که خاک‌ها مجدداً خشک شوند سخت و سفت می‌گردند (کولینز و جنکینس، ۱۹۹۶). وجود قشری از خاک سفت و سخت (سله‌ای) بر روی اراضی کشاورزی در برخی از نقاط منطقه، نشانه‌ای از وقوع پدیده فوق و سازوکار ذکر شده می‌باشد.

#### تغییرات زمانی شوری

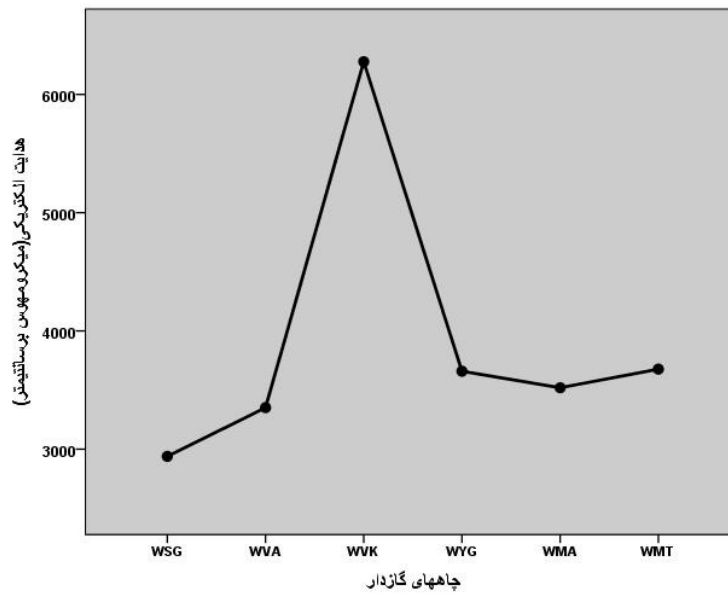
بررسی آماری روند تغییرات شوری آب (هدایت الکتریکی) به صورت ماهیانه و سالیانه، نشان می‌دهد که هدایت الکتریکی آب در هر سال عموماً دارای نوسان نسبتاً زیادی می‌باشد (شکل ۱۰). این نوسان می‌تواند ناشی از ورود آب‌های سطحی به سفره آب موجود در سیستم درز و شکاف سنگ بستر باشد و یا در اثر تفاوت در میزان انحلال سنگ بستر (ناشی از تغییرات موضعی ترکیب و اسیدپتته آب) ایجاد گردد. علاوه بر نوسانات ماهیانه، روند تغییرات میانگین سالیانه شوری در شش چاه‌گازدار (دسته‌جمعی) معنی‌دار و نزولی است (شکل ۱۰) و با

نسبتاً داغی است که از طریق میکرو شکستگی‌ها و گسل‌های کوچک به سیستم آب‌زیرزمینی تزریق گردیده است.

همگن تلقی می‌شود. لذا تفاوت در ترکیب و مقدار هدایت الکتریکی چاه‌های مجاور، احتمالاً ناشی از تفاوت در میزان جریان‌های حرارتی و مقدار گازها و محلول‌های



شکل ۱۰. نمودار *Box plot* مربوط به تغییرات میانگین ماهیانه و سالیانه هدایت الکتریکی آب چاه‌گذار در منطقه همه‌کسی



شکل ۱۱. تغییرات هدایت الکتریکی مربوط به میانگین ۱۵ نوبت اندازه‌گیری در چاه‌های گازدار منطقه همه‌کسی. اختصارات همانند جدول ۱

۱- آب چاه‌های گازدار منطقه‌ی همه‌کسی از نظر منشاء جزو آب‌های جوان و کم عمق و از تیپ بی‌کربنات کلسیم و منیزیم است. ترکیب شیمیایی این آب از انحلال رخساره‌ای حاصل شده است که این رخساره از سنگ‌های کربناتی و لایه‌های مارنی و تبخیری تشکیل شده است و

### نتیجه‌گیری

از تجزیه و تحلیل آماری داده‌های صحرایی و بررسی نتایج آزمایشگاهی در دیاگرام‌های مختلف می‌توان به موارد زیر به عنوان نتیجه‌های استنباط شده، اشاره نمود.

امیری، م (۱۳۸۴b) نقش دی‌اکسیدکربن در ایجاد کارست درونی در منطقه فروچاله‌های همدان. چهارمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، ۲ الی ۴ اسفند ۱۳۸۴. دانشگاه تربیت مدرس. تهران.

امیری، م، اسدیان، ق. و امیری، ع (۱۳۸۸) علل گازدار شدن چاه‌های آب کشاورزی در دشت‌های شمالی استان همدان و خوردگی تجهیزات آن‌ها. مجله پژوهش آب ایران. سال سوم، شماره ۴، صفحه ۵۱ تا ۶۲.

امیری، م، رحیمیان، م. ح. و موسوی، س.ا (۱۳۹۷) بررسی روند تغییرات شوری و کیفیت آب چاه‌های کشاورزی گازدار در منطقه همه‌کسی - فامنین استان همدان. گزارش پروژه تحقیقاتی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، کد مصوب ۹۳۱۰۸-۲۳-۴-۶۳، نشر سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شماره فروست انتشار ۵۳۹۳۹.

زرگر، م (۱۳۸۴) راهنمای جامع SPSS<sup>13</sup> همراه با تمرین‌های علمی و کاربردی. تهران. نشر بهینه. ۵۵۶ ص.

حیدری، م، خانلری، غ. و طالب‌بیدختی، ع. ر (۱۳۸۲) بررسی انحلال‌پذیری سنگ‌های کربناته حاشیه نیروگاه همدان. سومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، ۲۷ بهمن ماه ۱۳۸۲، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، صفحه ۱۸۹ تا ۲۰۱.

غلامعلی‌زاده آهنگر، ا (۱۳۸۶) کیفیت و ارزیابی کیفی آب آبیاری. نشر علوم کشاورزی. تهران، ۱۱۴ صفحه.

Amiri, M., Ahmadi Khalaji, A., Tahmasbi, Z., Zarei Sahamieh, R. and Zamanian, H (2016) Geothermobarometry of amphiboles in intermediate to basic rocks from the Almogholagh pluton in western Iran. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 111: 337-350.

Amiri, M., Ahmadi Khalaji, A., Tahmasbi, Z., Zarei Sahamieh, R. and Zamanian, H (2017) Geochemistry, petrogenesis, and tectonic setting of the Almogholagh batholith in the Sanandaj Sirjan zone, western Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 134: 113-133.

American Public Health Association (1995) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th Edition, Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Greenberg, A.E. eds., Washington, DC.

Appelo, C. A. J. and Postma, D (1996) *Geochemistry, groundwater and pollution*, Balkema, Rotterdam, 536p.

Baalousha, H (2010) Assessment of a groundwater quality monitoring network using vulnerability mapping and geostatistics: A case study from Heretaunga Plains, New Zealand. *Agricultural Water Management*, 97: 240-246.

تماس آب‌زیرزمینی با آن‌ها سبب انحلال و بالا رفتن عناصر وابسته به محیط‌های تبخیری (سدیم و منیزیم) گردیده است. در واقع، محیط تبخیری بر سیستم آب زیرزمینی حاکم نبوده، بلکه بخشی از سنگ مخزن در محیط تبخیری تشکیل شده است این نوع منشاء با مشخصات سنگ مخزن منطقه (تشکیلات قم) همخوانی و مطابقت دارد. علاوه بر این، بررسی دی‌گرام‌های نشان می‌دهد که یک حالت و روند غیر معمول بر انحلال سنگ مخزن منطقه حاکم بوده است. مقادیر بالای دی‌اکسیدکربن محلول در آب چاه‌ها، نشان می‌دهد که ورود سیالات گرمایی به آب موجود در سیستم درز و شکاف سنگ‌ها، عامل اصلی این ناهنجاری بوده است.

۲- روند تغییرات شوری آب چاه‌های گازدار منطقه نسبت به زمان نزولی بوده و خلاف روند مورد انتظار برای آب‌های زیرزمینی در شرایط معمول است. این روند ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی آغشته به سیالات گرمایی و ورود آب‌های سطحی و یا ورود آب از قسمت‌های دیگر سفره به سیستم درز و شکاف سنگ‌ها می‌باشد. البته این روند نزولی تا زمانی ادامه می‌یابد که آب‌های ناهنجار که تحت تاثیر سیالات گازدار به وجود آمده‌اند توسط پمپاژ استخراج و به اتمام برسند.

۳- تفاوت در مقدار هدایت‌الکتریکی بین چاه‌های گازدار منطقه معنی‌دار بوده و آب چاه ورثه خلج با بیش‌ترین مقدار شوری و آب چاه اسمعیل قره‌گوزلو با کمترین مقدار شوری، تفاوت معنی‌داری با شوری آب در سایر چاه‌های گازدار منطقه نشان می‌دهند. این تفاوت ناشی از تغییرات جانبی سنگ کف نمی‌باشد بلکه ناشی از تغییرات جانبی مقادیر سیالات وارد شده به شکاف‌های سنگ کف منطقه و تفاوت در مقدار انحلال ناشی از آن‌ها می‌باشد.

## منابع

- افشانی، ع، نوریان، م. و حسینی‌رامشه، ز (۱۳۸۴) فرازی بر SPSS<sup>14</sup>. نشر بیشه، تهران، ۳۳۰ ص.
- افشین‌نیا، ف (۱۳۷۸) تحلیل کاربردی داده‌ها: راهنمای استفاده از نرم‌افزار SPSS. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ۲۶۳ ص.
- امیری، م (۱۳۸۴a) ارتباط بین فروچاله‌های دشت فامنین- کبودر آهنگ- قهاوند با سنگ کف منطقه. فصلنامه علوم زمین، سال پانزدهم، شماره ۵۸، صفحه ۱۳۴ تا ۱۴۷.

- Chhatna Block, Bankura District, West Bengal –A GIS Approach, Journal of the Geological Society of India, 81: 261-280.
- Omo-Irabor, O. O., Olobaniyi, S.B., Oduyemi K. and Akunna, J (2008) Surface and groundwater quality assessment using multivariate analytical methods: A case study of the Western Niger Delta, Nigeria. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 33: 666-673.
- Piper, A. M (1944) A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analysis, Transactions. American Geophysical Union, 25: 914-923.
- Piper, A. M (1955) A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. U.S. Geological Survey, Groundwater Note 12.
- Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D. and Clesceri, L.S (editors) (2012) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Publisher: American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF), 22<sup>nd</sup> Edition. 1496 p.
- Sastri, J. C. V (1994) Groundwater chemical quality in river Basins Hydrogeochemical Facies and Hydrogeochemical Modeling, Lecture notes Refresher course conducted by School of Earth Sciences, Bharathidasan University, Tiruchirapalli, Tamil Nadu, India.
- Seibt, A., Hot, P. and Naumann, D (2003) Gas solubility in formation waters of the North German Basin Implication for Geothermal energy recovery, Proceeding, Word Geothermal Congress 2003 Kyushu, Tohoku Japan. May 28- Jan 10, 2000.
- Shafiei, A. L., Haji hosseini, A., Ghasemi, A. and Majidi fard, M (2004) Geological map of Kabudare Ahang, with scale of 1: 100,000, Geological Survey of Iran, No: 5760.
- Stamatis, G (2010) Ground water quality of the Ag. Paraskevi Tempa valley karstic springs application of a tracing test for research of the micro-bial pollution (KatoOlympos/NE Thessaly), Bulletin of the Geological Society of Greece, 43: 1868-1877.
- Tsunogai, U., Ishibashi, J., walita, H., Gamo, T., Masuzama, T., Nakatsuka, T., Nojiri, Y. and Nakamura, T (1996) Fresh water seepage and pore water recycling on the seefloor. Sagami trough sabuction zone japan, earth and planetary science letter, 138: 157-168.
- World Health Organization (2004) Guidelines for drinking water quality, Geneva, 515 p.
- Babiker, I. S., Mohamed, M. A. A. and Hiyama, T (2007) Assessing groundwater quality using GIS. Water Resources. Management, 21: 699-715.
- Bower, C. A. and, Maasland, M (1963) Sodium hazard of Punjab ground waters, Symposium on water-logging and salinity in West Pakistan, p 49-61.
- Bower, C.A., Wilcox, L.V., Aikens, G.W., Keyes, M.G (1965) An index of the tendency of CaCO<sub>3</sub> to precipitate from irrigation waters. Soil Science Society of America, Proceedings, 29: 91-92.
- Chadha, D. K (1999) A proposed new diagram for geochemical classification of natural water and interpretation of chemical data, Hydrogeology Journal, 7: 431- 439.
- Chemiasoft, Online ebook (2017) Guide To Preparation of Stock Standard Solutions, Available online at: <http://www.chemiasoft.com/chemd/TDS>, Accessed 19, December 2017.
- Collins, R. and Jenkins, A (1996) The Impact of Agricultural Land Use on Stream Chemistry in the Middle Hills of the Himalayas, Nepal, Journal of Hydrology, 185: 71-86.
- Darnley, A. G., Björklund, A., Bølviken, B., Gustavsson, N., Koval, P. V., Plant, J. A., Steenfelt, A., Tauchid, M., Xuejing, X., Garrett, R. G. and Hall, G. E. M (1995) A global geochemical database for environmental and resource management: Final report of IGCP Project 259, Earth Sciences, 19, Paris, UNESCO Publishing, 122 p.
- Edmunds W. M., Carillo-Rivera, J. J. and Cardona, A (2002) Geochemical evolution of groundwater beneath Mexico City, Journal of Hydrology, 258: 1-24.
- Gibbs, R. J (1970) Mechanisms controlling world water chemistry, Science, 17: 1088-1090.
- Hamilton, D. and Zhang, H (1972) Solids Content of Wastewater and Manure, Oklahoma Cooperative Extension Service, BAE-1759.
- Han, G. and Liu, C. Q (2004) Water geochemistry controlled by carbonate dissolution: study of the river waters draining karst dominated terrain Guizhou Province, China, Chemical Geology, 204: 1-21.
- Lahermo, P. and Backman, B (1999) Nitrates in groundwater in Finland: the most endangering quality problem. hydrogeology and Land Use, Management, 329-333.
- Langelier, W. F (1936) The analytical control of anticorrosion water treatment, Journal of the American Water Works Association, 28: 1500-1521.
- Nag, S. K. and Ghosh, P (2013) Variation in Groundwater Levels and Water Quality in

## Hydrogeochemical, origin and trending of the composition changes of water from gaseous wells in the Hamehkasi area (Hamadan)

M. Amiri

Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan

\* amiran1342@gmail.com

Received: 2018/3/12 Accepted: 2019/1/2

### Abstract

Groundwater in some of the agricultural wells of Hamadan Province (including around the Hamehkasi village) has bubbles of gas and physically its taste is sour, bitter and burning. To postulate its origin and the trend of variation of the composition is important task for planing and continuous using. Therefore, in this research, the origin of anomalies and the trending of its composition change was evaluated. For this purpose, six gaseous wells were identified and their electrical conductivity was monitored 15 times over three years (five times each year). The trending of their electrical conductivity changes were evaluated by SPSS software. Additionally, from each well, one sample was collected and for determination of the total alkalinity, Electrical Conductivity, Cations and Anions were analyzed. Thier chemical indices were calculated and evaluated by using different diagrams. The results showed that the water of all wells is fresh, show the Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> type. In these waters, the concentration of soluble carbon dioxide is more than 1000 mg/L. The abnormal composition of wells water due to from reaction between the water and the reservoir rock with involvement of hydrothermal fluids. Part of the reservoir rock consists of lime and the other part consists of marl and evaporite sediments. The statistical analysis of trending of water composition change indicates that the electrical conductivity decreases significantly over time, which firstly, confirms the involvement of hydrothermal fluids in rock-water reaction and secondly, it will be the hope of improving the water quality in future.

**Keywords:** poor quality water, Hydrothermal fluids, Rock-water reaction, HamehKasi, Hamadan