

بررسی هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی اشترانکوه در

ارتباط با سازندهای زمین‌شناسی منطقه

❖ **مهرنوش قدیمی***؛ دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تهران

❖ **حسن احمدی**؛ استاد گروه آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

❖ **ابراهیم مقیمی**؛ استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

❖ **منصور جعفربیگلو**؛ استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

چکیده

برای بررسی هیدروژئوشیمی منابع آب کارستی اشترانکوه از اطلاعات شیمی آب چشمه‌ها، به عنوان مهم‌ترین تخلیه‌کننده اصلی منابع کارستی، نام برده شده است. این تحقیق با هدف مطالعه هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی و منشأ آن‌ها با تأکید بر جنس سازند انجام شد. بدین منظور، ۵ نمونه آب از چشمه‌های دائمی منطقه در دوره کم‌آبی جمع‌آوری و تجزیه شیمیایی شد. به منظور بررسی دقیق هیدروژئوشیمیایی منطقه از نمودار پایپر و استیف استفاده شد. نمودار پایپر نشان داد که تیپ غالب آب‌های منطقه بی‌کربناته-کلسیت است. این آب‌ها دارای سختی موقتی‌اند و در نمودار استیف مشخص شد که آنیون غالب بی‌کربنات و کاتیون غالب کلسیم است. آب چشمه پنبه‌کار (S1) و دریاچه گهر (S3) نسبت به کانی کلسیت اشباع است و شاخص اشباع مثبت منعکس‌کننده جریان انتشاری است و جریان انتشاری نیز نشان‌دهنده عدم گسترش زیاد شکستگی در حوزه آبخیز چشمه‌های مورد نظر است. میزان شاخص اشباع دولومیت در چشمه‌های آب سفید (۲) و تمدار بسو (۴)، و مهر قلیون جا (۵) منفی است که شرایط تحت اشباع را نشان می‌دهد و منعکس‌کننده تراکم بیشتر شکستگی سطحی و زیرسطحی و همچنین نشان‌دهنده نوع جریان مجرای-انتشاری در مسیر جریان آب این چشمه‌هاست. نتایج حاصل از هیدروژئوشیمی چشمه‌های کارستی و XRF موجود در منطقه نشان می‌دهد که پدیده فوق اشباع در دوره کم‌آبی در سنگ‌های کربناته مؤکداً تابع انحلال کلسیت و دولومیت است. بالاتر بودن دمای آب در چشمه پنبه‌کار در اشباعیت دولومیت در سازند دالان تأثیر گذاشته است. نتایج تحلیل عاملی نشان می‌دهد که مهم‌ترین عامل را می‌توان به انحلال کربنات و پس از آن به منیزیم و هدایت الکتریکی نسبت داد. آب این چشمه‌ها در گروه آب‌های نسبتاً سخت و سخت قرار می‌گیرد.

واژگان کلیدی: اشترانکوه، چشمه‌های کارستی، سازند، کیفیت آب، هیدروژئوشیمیایی

مقدمه

مطالعه منابع آب سازندهای کارستی، به دلیل اینکه این سازندها تقریباً ۲۰ درصد از سطح کره زمین را می‌پوشانند و جمعیت قابل توجهی از جهان آب مورد نیاز خود را از آن تأمین می‌کنند، دارای اهمیت فوق‌العاده زیادی است [۳۵]. در کشور ما نیز حدود ۱۱ درصد از سطح کل کشور (قسمت اعظم رشته‌کوه‌های زاگرس و کپه‌داغ) از سازندهای کارستی تشکیل شده است [۲۶]. اشترانکوه در واحد زاگرس مرتفع واقع شده است. گسترش فرایندهای کارستی در زاگرس مرتفع نشان‌دهنده حاکمیت شرایط اقلیمی در دوره‌های سرد و مرطوب پلیستوسن است [۳۵].

رفتار آبخوان کارستی به دو نوع پارامترهای کیفی مهم بستگی دارد: نوع جریان؛ درجه کارستی شدن. تجزیه و تحلیل هیدروگراف‌های چشمه روش مناسبی برای بررسی نوع جریان است [۲۴، ۲۸]. درجه کارستی شدن درونی از روش‌های زیادی استنباط‌شدنی است، هرچند هیدروژئوشیمی اطلاعات قابل قبول‌تری نسبت به سایر پارامترها به دست می‌دهد [۳، ۲۱]. کارستی شدن در آبخوان‌های کربناته مشروط به ترکیبات شیمیایی و معدنی لیتولوژی، فرایندهای ژئوشیمیایی مهم، زمان ماندگاری آب، و دیگر فاکتورهای اصلی است که وظیفه هیدروژئولوژیکی سیستم را تعیین می‌کند [۸]. تنوع زمانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی، به عنوان تابعی از شرایط هیدرودینامیکی، ویژگی‌های سیستم آبخوان‌ها را مطابق با درجه کارستی شدن و سلسله‌مراتبی از زهکشی کارست مجاز می‌کند. با این حال، گاهی اوقات استفاده از روش‌های هیدروژئوشیمیایی در تفسیر نتایج ابهام ایجاد می‌کند [۱۵]. تجزیه و تحلیل پارامترهای انحلالی نشان می‌دهد که اساساً تکامل ژئوشیمیایی آب‌های کارستی به در دسترس بودن مواد تشکیل‌دهنده سنگ آبخوان و زمان ماندگاری در

آبخوان‌ها بستگی دارد [۲]. شیمی اولیه آب واردشده به حوزه‌های بسته متأثر از لیتولوژی سنگ‌ها و رسوبات هوازده و مدت زمان ماندگاری آب‌های زیرزمینی با سنگ‌هاست [۵، ۶، ۱۵].

کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی نتیجه کلیه فرایندها و واکنش‌هایی است که از لحظه ورود آب جوی تا زمان خروج آن از چشمه بر روی آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد. تشخیص مجموعه‌ای از شرایط هیدروژئولوژیکی و فرایندهای هیدروژئوشیمیایی، که در آبخوان کارستی کیفیت آب‌های زیرزمینی و چشمه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، دشوار است [۱۷]. هنگامی که آب در امتداد خطوط جریان از منطقه تغذیه به سمت منطقه تخلیه حرکت می‌کند، شیمی آن توسط انواع گوناگونی از فرایندهای ژئوشیمیایی تحت تأثیر قرار می‌گیرد؛ این فرایندها عبارت‌اند از: شیمی آب نفوذی، که عمدتاً به وسیله درجه حرارت هوا و درجه حرارت نزولات جوی کنترل می‌شود (که هر دو کنترل‌کننده تبخیر آب ورودی به سازندهای نفوذپذیر هستند)، تناوب، میزان و مدت زمان بارش، کانی‌شناسی، پوشش گیاهی، خاک، و میزان تولید گاز خاک. عوامل دیگری که بر روی شیمی آب‌های زیرزمینی تأثیرگذارند عبارت‌اند از: ضخامت سازندهای زمین‌شناسی، نوع تخلخل، و وضعیت توپوگرافی. در حقیقت، این عوامل میزان تغذیه، مسیر جریان، و زمان ماندگاری آب چشمه‌ها را کنترل می‌نمایند [۱۷]. نمودار همبستگی بین مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها برای نمونه‌های مختلف آب به سؤالات زیادی درباره منشأ، اختلاط منابع آبی مختلف، ارتباط منابع آب و بارندگی، و فرایندهای مؤثر بر کیفیت آب‌ها (مثل تبخیر) پاسخ می‌دهد. افزایش شناخت از فرایندهای هیدروژئوشیمیایی کنترل‌کننده شیمی آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند در بهبود شناخت سیستم‌های

آب‌های کارستی انجام شده است. در این تحقیق، ضمن مطالعه هیدروشیمی چشمه‌های کارستی، ارتباط هیدروژئوشیمی و سنگ‌شناختی سنگ‌های منطقه بررسی شد. هدف از این تحقیق مطالعه کیفیت منابع آب چشمه‌های کارستی منطقه اشترانکوه با استفاده از داده‌های هیدروشیمیایی است، که میزان کارستی شدن را در سازندهای آهکی با درصد متفاوت آهک و منیزیم نشان می‌دهد.

روش‌شناسی

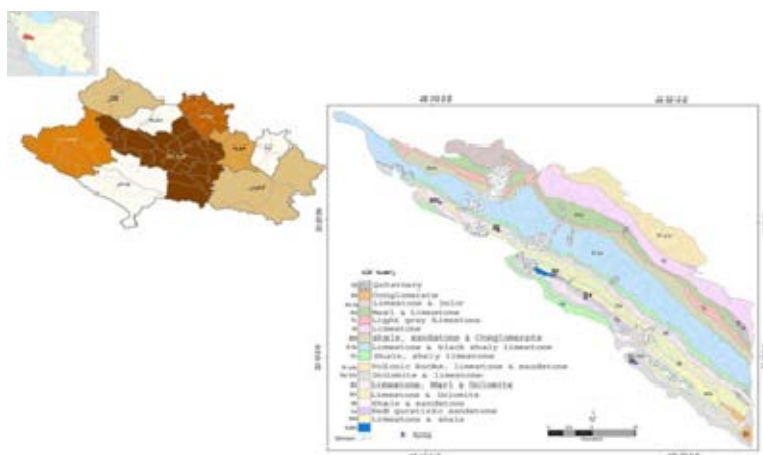
معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، با وسعت ۴۲۱ کیلومتر مربع، در جنوب شرقی استان لرستان واقع شده و در محدوده $33^{\circ}07'$ تا $33^{\circ}20'$ عرض شمالی و $49^{\circ}15'$ تا $49^{\circ}30'$ طول شرقی قرار گرفته است. ارتفاع بلندترین قله آن ۴۰۸۱ متر (قله سن‌بوران) است (شکل ۱) [۴]. میانگین بارندگی سالانه بر اساس آمار ایستگاه‌های یادشده در منطقه حدود ۷۴۴/۶ میلی‌متر است. شاخصه اقلیمی کنونی زمستان‌های سرد و برفی است و تابستان‌های گرم و خشک. بخش اعظم بارش در ارتفاعات حدود ۵۵ درصد و به صورت برف است. بخش زیادی از منطقه شامل آهک‌های دولومیتی و آهک‌های کلسیتی است. آهک‌های مذکور در اثر عملکرد نیروهای تکتونیکی (گسله‌ها) برشی و به‌شدت خردشده و پُر درز و شکاف‌اند. به‌طور کلی، فعال بودن منطقه، از نظر تکتونیکی، باعث وجود درز و شکاف در سازندهای آهکی شده و شرایط مساعدی را برای تشکیل منابع آبی کارست فراهم کرده است. سازندهای مختلف زاگرس، که حاوی کربنات کلسیم و یا سایر سنگ‌های قابل انحلال‌اند، همگی به یک اندازه قابلیت انحلال ندارند. این تحقیق به منظور بررسی میزان انحلال کاتیون‌ها، آنیون‌ها، و به‌ویژه میزان کارستی شدن در منطقه صورت گرفته است.

هیدروژئوشیمیایی و مدیریت کمی و کیفی آب‌ها کمک شایانی کند. بر این اساس، در سال‌های اخیر به مدیریت کمی و کیفی منابع آب کارستی توجه ویژه‌ای شده است [۱۵، ۱۷، ۲۴]. زمانی که دولومیت موجود در واحدهای آهکی سازندهای آهکی در طول مسیر جریان حل می‌شود، به دلیل کم‌تر بودن انحلال دولومیت در آب نسبت به کلسیت، غلظت Mg کم می‌شود و آب نسبت به دولومیت در حالت تحت اشباع باقی می‌ماند، در حالی که کلسیت، به سبب سرعت بیشتر انحلالی، زودتر به تعادل می‌رسد [۱۸]. میزان انحلال کانی‌های کربناته به چند فاکتور وابسته است. این فاکتورها عبارت‌اند از: ۱. میزان جدایش یون‌ها از سطح کانی؛ ۲. فرآیندهای انتقال در مجاورت سطح؛ ۳. میزان اسید کربنیک که در اثر واکنش بین CO_2 و آب به‌وجود می‌آید [۱۹].

آپلو و پوستما [۱۵] تخمین زده‌اند که در شرایط یکسان، برای رسیدن به شرایط اشباع ۹۵ درصد از دولومیت، ۱۰۰ برابر زمان بیشتر نسبت به کلسیت لازم است. به دلیل مقدار کم انحلال دولومیت، از مقادیر بالای غلظت Mg^{+2} به عنوان شاخصی جهت زمان تأخیر طولانی آب زیرزمینی استفاده می‌شود. رسوب کلسیت هم‌زمان با انحلال دولومیت می‌تواند در طول مسیر جریان، به دلیل بالابودن سرعت انحلال کلسیت در مقایسه با انحلال دولومیت در محیط‌های کارستی، اتفاق بیفتد [۴].

معمولاً در مناطق کارستی، کل آب سیستم توسط چند چشمه معدود خارج می‌شود. همین امر باعث می‌شود که مطالعه خصوصیات مختلف چشمه‌ها نقش مهمی در شناسایی ویژگی‌های درونی کارست داشته باشد. تکنیک‌های هیدروشیمیایی اطلاعات مهمی درباره سیستم‌های کارستی در اختیار ما قرار می‌دهد. این تحقیق با هدف مشخص کردن مهم‌ترین فاکتورهای شیمیایی تأثیرگذار بر روی سیستم



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

کل مواد جامد محلول را نشان می‌دهد.

$$\text{TDS} = 0.63 \times \text{EC}$$

رابطه ۱

تغییرات نسبت‌های $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-]$

با $[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{HCO}_3^-]$

یکی از نسبت‌های مهم برای بررسی ارتباط

نمونه‌های آب تغییرات نسبت‌های $[\text{Ca}^{2+}$

$]/[\text{HCO}_3^-]$ و $[\text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-]$ است.

اگر آب چشمه‌ها با آب دریاچه در ارتباط باشند و

دارای یک منشأ یکسان باشند، روند این تغییرات

یکسان خواهد بود. در صورتی که بین آب چشمه‌ها

و دریاچه هیچ گونه ارتباط هیدرولیکی نباشد، روند

تغییرات نسبت‌های یونی متفاوت خواهد بود.

سختی کل

سختی آب به غلظت یون‌های آب کلسیم و منیزیم

وابسته است و معمولاً واحد آن میلی‌گرم در لیتر

کربنات کلسیم است. سختی آب به دو گروه تقسیم

می‌شود: سختی کربناته؛ سختی غیرکربناته. سختی

کربناته مربوط به آن بخش از کلسیم و منیزیم است

که با آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات ترکیب می‌شوند.

سختی غیرکربناته مربوط به آن بخش از کلسیم و

منیزیم است که با آنیون‌های غیر از کربنات و

هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی

هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی در برش طولی

منطقه اشترانکوه از درود تا الیگودرز بوده است. برای

ارزیابی هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی ۵

نمونه آب گرفته شد. میزان هدایت الکتریکی (EC)،

pH، دمای آب با استفاده از EC متر اندازه‌گیری و

موقعیت مکانی با GPS ثبت شد. میزان کاتیون‌ها (Ca،

Mg، Na، K) و آنیون‌ها (HCO_3^- ، CO_3^{2-} ، SO_4^{2-})

ی موجود در نمونه‌های آب در آزمایشگاه

مشخص گردید. در این تحقیق از نرم‌افزار

PhreeQC (محاسبه نمایه اشباع کلسیت، دولومیت، و

آراگونیت)، AqQa (محاسبه سختی آب، نمودار پایپر

و استیف)، و SPSS 19 (محاسبه تحلیل عاملی و

ماتریس همبستگی) استفاده شد. نسبت غلظت یون

کلسیم به منیزیم، TDS تغییرات نسبت‌های (Ca+

Mg)، و SO_4 نسبت به HCO_3^- با استفاده از داده‌های

موجود محاسبه گردید.

کل مواد جامد محلول در آب (TDS)

کل مواد جامد محلول عبارت است از مجموع مقادیر

تمام کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی بر حسب میلی‌گرم

بر لیتر. رابطه ۱ ارتباط بین مقادیر هدایت الکتریکی و

غلظت‌های کلسیم و منیزیم بر حسب میلی‌گرم در لیتر است. برای تعیین نوع آب، بر اساس سختی، از رابطه رایج تاد ۱۹۸۰ استفاده شد. در این طبقه‌بندی آب‌ها به ۴ گروه بر اساس سختی کل تقسیم می‌شوند (جدول ۱).

مقادیر مثبت SI نشان‌دهنده فوق اشباع بودن آب نسبت به کانی است، مقادیر منفی نشان‌دهنده تحت اشباع بودن است، و مقدار صفر نشان‌دهنده حالت تعادل است [۱۰].

بی‌کربنات ترکیب می‌شوند (مانند سولفات). در مطالعه سختی آب معمولاً این دو نوع سختی (سختی کربناته و غیرکربناته) از یکدیگر تفکیک نمی‌شوند و به صورت مجموع محاسبه می‌شوند که به آن سختی کل گفته می‌شود. برای محاسبه سختی کل نمونه‌های آب از رابطه ۲ استفاده می‌شود:

$$\text{رابطه ۲} \quad H = 2/5 \times [Ca] + 4/1 \times [Mg]$$

که در آن H مقدار سختی بر حسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم است. Ca و Mg به ترتیب

جدول ۱. طبقه‌بندی آب‌ها بر اساس سختی کل [۲۴، ۳۲].

گروه	۱	۲	۳	۴
میزان سختی کل	کمتر از ۷۵	۷۵-۱۵۰	۱۵۰-۳۰۰	بیشتر از ۳۰۰
نوع آب	نرم	نسبتاً سخت	سخت	خیلی سخت

از آماره KMO مناسب بودن داده برای تحلیل عاملی بررسی شد.

تشخیص مجموعه‌ای از شرایط هیدروژئولوژیکی و فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی، که کیفیت آب چشمه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مشکل است. به همین جهت، محققان هیدروژئوشیمی از تحلیل‌های عاملی برای این بررسی استفاده می‌کنند [۳۱]. تحلیل عاملی دارای سه مرحله است: تهیه ماتریس همبستگی از تمام متغیرها؛ استخراج عامل‌ها؛ تفسیر نتایج [۲۵]. در گام بعد، پس از آماده‌سازی ماتریس اطلاعات شامل متغیرهای کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، بی‌کربنات، کربنات، سولفات، کلر، هدایت الکتریکی، و Ph. ماتریس ضرایب آن‌ها بر اساس ضریب همبستگی پیرسون تهیه شد. مرحله بعدی در تحلیل‌های عاملی استخراج عامل‌هاست. در واقع، در تحلیل عاملی و متغیرهایی که با هم همبستگی بالایی دارند آن‌ها را با یک عامل نشان می‌دهیم و به جای چندین متغیر فقط یک عامل را در تحلیل‌ها به کار می‌بریم [۳۰].

کیفیت آب چشمه‌ها و شاخص اشباع

با استفاده از نرم‌افزار PhreeQC شاخص اشباع کلسیت^۱ (SI_c) و دولومیت^۲ (SI_d) محاسبه شد [۱۹]. شاخص اشباع برای کانی‌های مختلف به منظور ارزیابی میزان تعادل بین آب و کانی‌ها استفاده می‌شود. تغییر در حالت اشباع آب نسبت به کانی‌های مختلف واکنش‌های ژئوشیمیایی کنترل‌کننده شیمی آب را مشخص می‌کند [۲۶، ۲۹، ۳۲].

$$SI_c = \log(Ca^{2+}) + \log(HCO_3^-) + pH - pK_r + pK_c$$

$$SI_d = \log(Ca^{2+}) + \log(Mg^{2+}) + 2 \log(HCO_3^-) + 2pH - 2pK_r + pK_d$$

تحلیل عاملی

در طی مطالعه فوق داده‌های هیدروژئوشیمیایی منابع آب توسط نرم‌افزار SPSS 19 پردازش و تحلیل آماری شد و فرآیند تحلیل عاملی برای داده‌های فوق با سطح معنای $P < 0.01$ محاسبه شد. نخست با استفاده

1. Saturation index of calcite
2. Saturation index of dolomite

منشاهای مختلف استفاده می‌شود؛ به گونه‌ای که در این نمودارها اختلاف بین نتایج تجزیه شیمیایی متفاوت به خوبی نشان داده می‌شود [۱۲].

نتایج

برای ارزیابی هیدروژنوشیمیایی چشمه‌های کارستی ۵ نمونه آب از چشمه‌های دائمی منطقه تهیه شد؛ جدول ۲ نتایج آن را نشان می‌دهد. از آنجا که نمونه آب چشمه‌ها در سازندهای متفاوتی قرار گرفته است، برای تحلیل میزان انحلال کلسیت و دولومیت نیاز به داده‌های دقیق‌تری از نظر میزان CaO و MgO است. نمونه سنگ از هر سازند، که چشمه آب دائمی در آن قرار گرفته بود، گرفته شد. جدول ۳ XRF هر سازند و بررسی و نتایج آن را نشان می‌دهد.

چشمه پنبه‌کار (۱) سازند دالان (آهک و دولومیت)، چشمه آب سفید (۲) خانه‌کت (آهک و دولومیت)، دریاچه گهر (۳) مایلا (آهک و شیل)، چشمه تمدار بسو (۴) و مهر قلیون‌جا (۵) نیریز-سورمه (آهک و دولومیت) است. منشأ کلسیم سازندهایی است که آهکی‌اند و منشأ دولومیت سازند نیریز-سورمه است. یون بی‌کربنات از انحلال کانی‌های کربناته تأمین می‌شود. سولفات دارای ۲ منشأ است: انحلال کانی‌های تبخیری موجود در رسوبات؛ اکسیداسیون کانی پیریت موجود در لایه‌های شیلی واقع در آهک.

نسبت کلسیم به منیزیم (Ca/Mg)

نسبت غلظت یون کلسیم به منیزیم در سفره‌های کارستی کربناته شاخص بسیار مناسبی برای تشخیص سفره‌های کارستی آهکی از سفره‌های کارستی دولومیتی است. به طور کلی، نسبت‌های نزدیک به ۱ مربوط به سفره‌های کارستی دولومیتی و نسبت‌های بین ۲ تا ۱۰ مربوط به سفره‌های کارستی آهکی است [۱۲].

تفسیر و تعیین منشأ هر یک از این عامل‌ها بر اساس بارهای عاملی، شرایط هیدروژنولوژیکی، زمین‌شناختی، و فرآیندهای هیدرووشیمیایی صورت می‌گیرد [۲۴]. یکی از مراحل اصلی در تحلیل عاملی یافتن تعداد عامل‌هایی است که می‌توانند داده‌ها را خلاصه کنند یا همبستگی‌های (کواریانس‌های) مشاهده‌شده بین متغیرها را به شیوه رضایت‌بخشی توضیح دهند [۳۰]. در این تحقیق با روش رایج قاعده یا معیار مقدار ویژه تعداد عامل‌های مناسب استخراج شد. مجموع مجذورات بارهای عاملی هر عامل را مقدار ویژه آن عامل می‌نامند، که اهمیت اکتشافی عامل‌ها را در ارتباط با متغیرها نشان می‌دهند. بنابراین، هر قدر این ضریب عاملی بزرگ‌تر باشد، اهمیت و تأثیر آن عامل نیز بیشتر می‌شود [۲۴].

یکی از کاربردی‌ترین نمودارهایی که برای بررسی تیپ آب استفاده می‌شود دیاگرام مثلثی پایپر است. این نمودار با استفاده از نرم‌افزار AqQA ترسیم می‌شود. از پایپر عمدتاً برای تعیین نوع آب، رخساره‌های هیدرووشیمیایی، و مسیرهای تکامل هیدروژنوشیمیایی در آبخوان‌ها استفاده می‌شود. از رخساره‌های هیدرووشیمیایی برای نمایش اختلاف در ترکیب شیمیایی آب‌ها استفاده می‌شود [۷]. شباهت‌ها و تفاوت‌های نمونه‌ها از طریق نمودار پایپر به خوبی مشخص می‌شود، زیرا نمونه‌هایی که دارای خصوصیات مشابه‌اند به صورت گروهی کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. همچنین، از نمودار پایپر برای تعیین تیپ آب، انحلال یا رسوب‌گذاری، اختلاط بین دو نوع آب، و تبادل یونی استفاده می‌شود.

استفاده از نمودار استیف یکی از بهترین روش‌ها برای تعیین تیپ نمونه‌های آب است که با استفاده از نرم‌افزار AqQa ترسیم می‌شود. اندازه و شکل حاصل از این نمودار تقریباً متناسب با کل محتوی یونی است. همچنین، از این نمودار برای تشخیص سنگ

جدول ۲. نتایج آنالیز نمونه آب چشمه‌های منطقه مورد مطالعه

نسبت Ca/ Mg	T °c	EC µmhos/cm	TDS ppm	PH	SO ₄ ²⁻ mEq/L	Cl mEq/L	HCO ₃ ⁻ (mEq/L)	CO ₃ ²⁻ mEq/L	K mEq/L	Na mEq/L	Mg mEq/L	Ca mEq/L	Ca+Mg (mEq/L)	سازند	نام چشمه	نمونه‌های آب
۲	۱۴	۴۳۸	۲۷۵٫۹۴	۷٫۸	۲٫۸۸	۰٫۱	۱٫۹۲	۰٫۱۶	۰٫۱	۰٫۱۶	۱٫۶	۳٫۲	۴٫۸	دالان	پنه‌کار	چشمه ۱
۵	۱۰	۲۴۱	۱۵۱٫۸۳	۷٫۷	۰٫۷۹	۰٫۱	۱٫۳۴	۰٫۳	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۴	۲	۲٫۴	خانه‌کت	آب‌سفید	چشمه ۲
۷	۸	۳۱۷	۱۹۹٫۷۱	۷٫۸	۱٫۰۷	۰٫۱	۱٫۸۴	۰٫۳۲	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۴	۲٫۸	۳٫۲	مایلا	-	دریاچه گهر
۲٫۶	۸	۳۵۰	۲۲۰٫۵	۷٫۴	۳٫۱۸	۰٫۱۵	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۱	۲٫۶	۳٫۶	نیریز-سورمه	نمدار بسو	چشمه ۳
۱۳	۱۱	۳۷۴	۲۳۵٫۶۲	۷٫۲	۱٫۲۳	۰٫۱۵	۱٫۳۰	۰٫۲۵	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۲	۲٫۶	۲٫۸	سورمه-نیریز	مهرقلیون‌جا	چشمه ۴

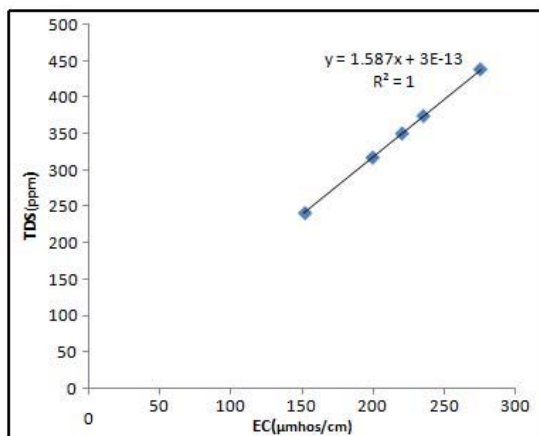
جدول ۳. سازندهای مربوط به چشمه‌ها

LOI	SO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	عناصر	
										سازند	سازند
۴۲٫۸۷	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	۰٫۱	۰٫۸	۵۳٫۶	۰٫۲	۰٫۵	۱٫۷	سازند دالان	سازند
۵۳٫۰۷	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	۱۱٫۴	۳۳٫۴	۰٫۳	۰٫۴	۱٫۳	سازند خانه‌کت	سازند
۴۳٫۸۳	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	۰٫۱	۵٫۲	۴۸٫۲	۰٫۲	۰٫۵	۱٫۸	سازند میلا	سازند
۵۳٫۸۲	<۰٫۱	<۰٫۱	۰٫۱	<۰٫۱	۰٫۵	۴۲٫۶	۰٫۳	۰٫۶	۲	سازند نیریز-سورمه	سازند

[۱۲]. در صورتی که نسبت‌های بالای ۱۰ در آب‌های کارستی مشاهده شود، نشان‌دهنده درصد خلوص بالاتر آهک و یا وجود کانی‌های ژپس یا انیدرید در تشکیلات آهکی است. معمولاً نسبت‌های کمتر از ۱ در تشکیلات کربناته مشاهده نمی‌شود، به استثنای مواردی که فرار گاز دی‌اکسید کربن از آب زیرزمینی در لایه آبدار دولومیتی موجب رسوب آراگونیت یا کلسیت شود و بدین ترتیب غلظت یون منیزیم در آب بالا می‌رود. برای محاسبه این پارامتر، غلظت‌های دو کاتیون کلسیم و منیزیم بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اطلاعات مندرج در جدول ۲ ملاحظه می‌شود که میانگین نسبت یون کلسیم به منیزیم برابر ۵/۹۲ است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که جنس سفره آب زیرزمینی در حوزه آبخیز چشمه‌های مورد مطالعه عمدتاً آهکی است.

کل مواد جامد محلول در آب (TDS)

شکل ۲ نمودار رابطه بین هدایت الکتریکی و کل مواد جامد محلول را نشان می‌دهد. میانگین کل مواد جامد محلول در آب ۲۱۶/۷۲ محاسبه شد. هدایت الکتریکی همه این چشمه‌ها کمتر از ۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است، که نشان‌دهنده آن است که ناخالصی‌های محلی در کیفیت آب این چشمه‌ها دخالت نکرده‌اند.



شکل ۲. نمودار خطی بین EC و TDS

در صورتی که نسبت‌های بالای ۱۰ در آب‌های کارستی مشاهده شود، نشان‌دهنده درصد خلوص بالاتر آهک و یا وجود کانی‌های ژپس یا انیدرید در تشکیلات آهکی است. معمولاً نسبت‌های کمتر از ۱ در تشکیلات کربناته مشاهده نمی‌شود، به استثنای مواردی که فرار گاز دی‌اکسید کربن از آب زیرزمینی در لایه آبدار دولومیتی موجب رسوب آراگونیت یا کلسیت شود و بدین ترتیب غلظت یون منیزیم در آب بالا می‌رود. برای محاسبه این پارامتر، غلظت‌های دو کاتیون کلسیم و منیزیم بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اطلاعات مندرج در جدول ۲ ملاحظه می‌شود که میانگین نسبت یون کلسیم به منیزیم برابر ۵/۹۲ است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که جنس سفره آب زیرزمینی در حوزه آبخیز چشمه‌های مورد مطالعه عمدتاً آهکی است.

چشمه پنبه‌کار (۱) سازند دالان (آهک و دولومیت)، چشمه آب سفید (۲) خانه‌کت (آهک و دولومیت)، دریاچه گهر (۳) مایلا (آهک و شیل)، چشمه تمدار بسو (۴) و مهر قلیون‌جا (۵) نیریز-سورمه (آهک و دولومیت) است. منشأ کلسیم سازندهایی است که آهکی‌اند و منشأ دولومیت سازند نیریز-سورمه است. یون بی‌کربنات از انحلال کانی‌های کربناته تأمین می‌شود. سولفات دارای ۲ منشأ است: انحلال کانی‌های تبخیری موجود در رسوبات؛ اکسیداسیون کانی پیریت موجود در لایه‌های شیلی واقع در آهک.

نسبت کلسیم به منیزیم (Ca/Mg)

نسبت غلظت یون کلسیم به منیزیم در سفره‌های کارستی کربناته شاخص بسیار مناسبی برای تشخیص سفره‌های کارستی آهکی از سفره‌های کارستی دولومیتی است. به طور کلی، نسبت‌های نزدیک به ۱ مربوط به سفره‌های کارستی دولومیتی و نسبت‌های بین ۲ تا ۱۰ مربوط به سفره‌های کارستی آهکی است.

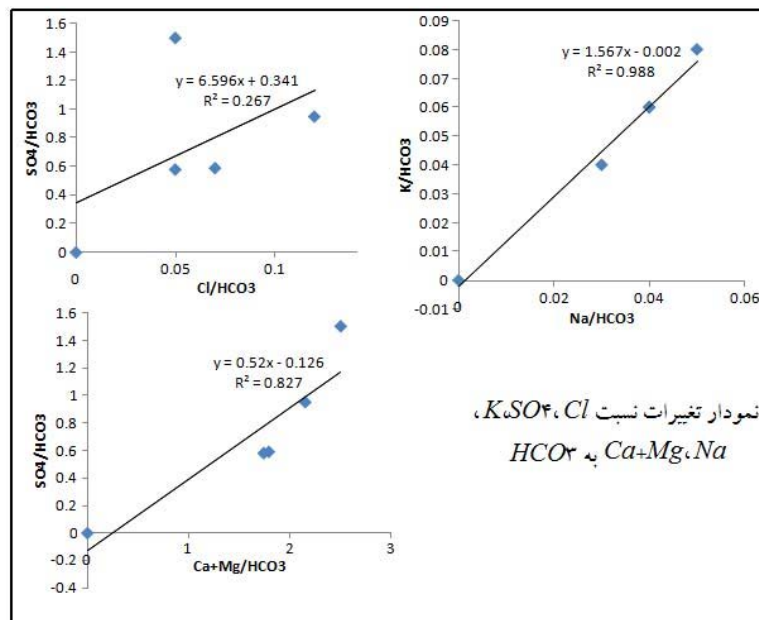
خروجی از کارست‌های منطقه سرچشمه می‌گیرد و با چشمه‌های کارستی دارای یک منشأ است و بین آب دریاچه و چشمه‌ها اختلاط صورت می‌گیرد.

سختی کل

با توجه به مقادیر سختی کل نمونه آب چشمه‌های اشترانکوه (جدول ۴)، برای تعیین نوع آب بر اساس سختی از رابطه تاد استفاده شد. با توجه به میانگین سختی کل نمونه آب چشمه‌های اشترانکوه، ملاحظه می‌شود که آب این چشمه‌ها در گروه آب‌های نسبتاً سخت و سخت قرار می‌گیرد.

تغییرات نسبت‌های $[Ca^{2+} + Mg^{2+}]/[HCO_3^-]$ با $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$

تغییرات نسبت‌های $[Cl^-]/[HCO_3^-]$ با $[SO_4^{2-}]/[HCO_3^-]$ و نسبت‌های $[Na]/[HCO_3^-]$ با $[K]/[HCO_3^-]$ محاسبه شد. شکل ۳ نمودار تغییرات نسبت $[HCO_3^-]$ و منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر، و سولفات را نسبت به بی‌کربنات نشان می‌دهد؛ بر اساس شکل ۳، رابطه خطی مستقیم و معنی‌داری بین آن‌ها وجود دارد. می‌توان نتیجه گرفت که آب چشمه‌ها و دریاچه گهر دارای منشأ یکسان است. آب دریاچه از آب‌های



شکل ۳. نمودار تغییرات نسبت کلسیم و منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر، و سولفات نسبت به بی‌کربنات

جدول ۴. میزان سختی‌های کربناته و غیرکربناته چشمه‌های اشترانکوه

چشمه	تراکم (g/cm^3)	سختی (mg/L)	کربناته (mg/L)	غیرکربناته (mg/L)
S1	۰,۹۹	۲۴۰,۱۹	۱۹۲,۱۷	۴۸,۰۱۹
S2	۰,۹۹	۱۲۰,۰۹	۱۲۰,۰۹	۰
S3	۰,۹۹	۱۶۰,۱۲	۱۶۰,۱۲	۰
S4	۰,۹۹	۱۸۰,۱۴	۵,۰۰۴	۱۷۵,۱۴
S5	۰,۹۹	۱۴۰,۱۱	۱۳۰,۱۲	۹,۹۹

کیفیت آب چشمه‌ها و شاخص اشباع

جدول ۲ نتایج آنالیز شیمیایی و کیفیت آب چشمه‌های دائمی دامنه جنوبی اشترانکوه را نشان می‌دهد. لانگمویر [۱۴] بر آن است که آب زیرزمینی در درجه اشباع یا تحت اشباع، بیان‌کننده وضعیت هیدروژئولوژیکی است. وضعیت هیدروژئولوژیکی زیرسطحی نیز می‌تواند تابعی از سیمای سطحی در منطقه کارستی باشد. همان طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، آب چشمه پنبه‌کار (۱) و دریاچه گهر (۳) نسبت به کانی کلسیت اشباع است و شاخص اشباع مثبت منعکس‌کننده جریان انتشاری است و جریان انتشاری نیز نشان‌دهنده عدم گسترش زیاد شکستگی در حوزه آبخیز چشمه‌های مورد نظر است. میزان شاخص اشباع دولومیت در چشمه‌های آب سفید (۲) و چشمه تمدار بسو (۴) و چشمه مهر قلیون جا (۵) منفی است که شرایط تحت اشباع را نشان می‌دهد و منعکس‌کننده تراکم بیشتر شکستگی سطحی و زیرسطحی و همچنین

نشان‌دهنده نوع جریان مجرای-انتشاری در مسیر جریان آب این چشمه‌هاست. همچنین، مقادیر شاخص اشباع هالیت در منطقه نشان می‌دهد که آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه نسبت به هالیت غیر اشباع است. نمایه اشباع آراگونیت فقط در چشمه ۱ بالای صفر است. رسوب کانی‌های کربناته کلسیت و آراگونیت می‌تواند نتیجه فرسایش و هوازدگی سنگ‌های آهکی موجود در منطقه باشد.

تحلیل عاملی

در جدول ۶ هر چقدر آماره KMO به ۱ نزدیک‌تر باشد همبستگی داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب‌تر است. این مقدار برای داده‌های هیدروشیمیایی چشمه‌ها نزدیک به ۱ و قابل قبول است. آزمون بارتلت نیز فرض یکه‌بودن ماتریس ضرایب همبستگی را نشان می‌دهد. با رد این فرض نیز، صحت داده‌ها برای تحلیل عاملی تأیید شد (جدول ۶).

جدول ۵. شاخص‌های اشباع کلسیت، دولومیت، آراگونیت، و هالیت

SI _A	SI _h	SI _d	SI _c	SI	چشمه
۰٫۱۲	-۹٫۴۵	۰٫۲۱	۰٫۲۷	S1	
-۰٫۳۲	-۹٫۷۲	-۱٫۱۳	-۰٫۱۷	S2	
-۰٫۰۰	-۹٫۷۲	-۰٫۶۷	۰٫۱۵	S3	
-۲٫۰۶	-۹٫۵۶	-۴٫۳۵	-۱٫۹۱	S4	
-۰٫۷۳	-۹٫۵۵	-۲٫۳۳	-۰٫۵۷	S5	

جدول ۶. آماره KMO و نتایج آزمون کرویت بارتلت

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure. of Sampling Adequacy		۰٫۸۱
Bartlett's Test of Spheric	Approx. Chi-Square	۱۷۵٫۶۶
	df	۲۸
	Sig.	۰٫۰۰۱

ترکیب آب چشمه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ به طوری که عامل ۱، ۵۳ درصد و عامل ۲ به میزان ۳۲ درصد بر کیفیت آب چشمه‌های کارستی تأثیر گذاشته است. بر این اساس، عامل ۱ را می‌توان به انحلال کربنات نسبت داد، زیرا در این عامل یون‌های کلسیم و کربنات دارای بار عاملی بالایی هستند. اما عامل ۲ به اندازه عامل ۱ مؤثر نیست و تأثیر بسیار کمتری دارد. در عامل ۲ منیزیم و هدایت الکتریکی بیشترین همبستگی را نشان می‌دهند؛ دو منشأ احتمالی را می‌توان برای آن در نظر گرفت: ۱. افزایش زمان ماندگاری آب در تماس با سازندهای آهکی و دولومیتی؛ ۲. غنی‌شدن یون‌های مزبور در نتیجه فرآیند تبخیر در درون توده‌های برف فشرده‌ای که در تماس با نور خورشید و جو قرار دارند. ارتباط مستقیم پارامتر کلسیم و سولفات در جدول ۹ بیشترین همبستگی را با احتمال ۹۹ درصد تحت پوشش دارد، که نشان‌دهنده انحلال کانی‌های کلسیم است. رابطه معنی‌دار و معکوس بی‌کربنات و سولفات نشان‌دهنده آن است که با افزایش انحلال کانی‌های کربناته در آب میزان سولفات کاهش می‌یابد.

جدول ۷ بیشترین میزان همبستگی بین یون‌های کلسیم و سولفات با ضریب همبستگی ۰/۹۰۴ و ضریب اطمینان ۰/۹۹ را نشان می‌دهد. همچنین، بین یون‌های کلسیم و کربنات با ضریب همبستگی ۰/۸۵۲- و ضریب اطمینان ۰/۹۸ رابطه معکوس وجود دارد. بین سولفات و کربنات با ضریب همبستگی ۰/۹۲۴- و ضریب اطمینان ۰/۹۹ رابطه معکوس وجود دارد.

جدول ۸ درصد واریانس و فراوانی تجمعی درصد را نشان می‌دهد. در روش پیشنهادی [۱۶] بر اساس جدول ۹، تعداد مقادیر ویژه بیشتر از ۱ را به عنوان تعداد عامل‌ها در نظر می‌گیرند، بنابراین، با این تعریف، تعداد عامل‌ها برابر ۲ خواهد بود. بنابراین، در این روش به عامل‌هایی که مقادیر ویژه آن‌ها کمتر از ۱ باشد توجهی نمی‌شود و به نظر می‌رسد که معلول خطا باشند. جدول ۹ سهم متغیرها را در عامل‌های بعد از چرخش نشان می‌دهد. هر متغیر در عاملی قرار می‌گیرد که با آن عامل همبستگی بالای معنی‌داری داشته باشد. نتایج مدل عاملی نشان می‌دهد که ۲ عامل در نظر گرفته شده حدوداً ۸۵ درصد از کل

جدول ۷. ماتریس همبستگی بین متغیرهای شیمیایی چشمه‌های کارستی

	Ca	Mg	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl	SO ₄ ²⁻	pH	Ec
Ca	۰/۶۷۲	-۰/۱۲۴	**۰/۹۰۴	۰/۵۰۴	-۰/۴۳۹	**۰/۸۵۲	۰/۱۱۳	۱
Mg	۰/۵۷۲	۰/۶۲۸	۰/۳۰۶	-۰/۴۷۴	*۰/۶۶۳	۰/۰۵۹	۱	۰/۱۱۳
CO ₃ ²⁻	-۰/۴۵۹	۰/۳۴۱	**۰/۹۲۴	*۰/۶۶۶	*۰/۷۵۳	۱	۰/۰۵۹	**۰/۸۵۲
Correlation	HCO ₃ ⁻	۰/۱۳۹	۰/۶۱۵	-۰/۴۵۲	*۰/۷۳۵	۱	*۰/۷۵۳	*۰/۶۶۳
	Cl	۰/۳۵۳	**۰/۸۸۵	۰/۴۵۴	۱	*۰/۷۳۵	*۰/۶۶۶	-۰/۴۷۴
	SO ₄ ²⁻	*۰/۶۷۳	-۰/۰۶۷	۱	۰/۴۵۴	-۰/۴۵۲	**۰/۹۲۴	۰/۳۰۶
	pH	-۰/۱۲۲	۱	-۰/۰۶۷	**۰/۸۸۵	۰/۶۱۵	۰/۳۴۱	۰/۶۲۸
	Ec	۱	-۰/۱۲۲	*۰/۶۷۳	۰/۳۵۳	۰/۱۳۹	-۰/۴۵۹	۰/۵۷۲

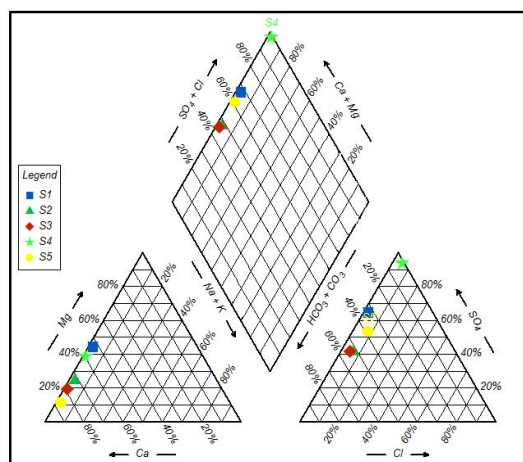
جدول ۸. درصد واریانس کل و تجمعی

Component	Extraction Sums of	Squared	Loadings
	Total	% of Variance	Cumulative %
۱	۵۳,۲۳۸	۵۳,۲۳۸	۴,۲۵۹
۲	۸۵,۸۰۰	۳۲,۵۶۲	۲,۶۰۵

جدول ۹. ماتریس عاملی دوران یافته

Component	Component	
	۱	۲
Ca	۰,۹۸۴	۰,۴۲۱
Mg	-۰,۲۱۴	۰,۹۳۴
Co3	-۰,۹۴۴	-۰,۱۵۵
Hco3	-۰,۷۷۱	۰,۵۱۹
Cl	۰,۸۵۸	-۰,۳۶۵
So4	۰,۸۲۵	۰,۵۱۶
pH	-۰,۵۸۷	۰,۶۲۶
Ec	۰,۵۲۰	۰,۶۸۶

غالب در چشمه‌های ۲، ۳، ۴، و ۵ بی‌کربنات و کاتیون غالب کلسیم است و فقط در چشمه ۱ آنیون غالب سولفات و کاتیون غالب کلسیم است. کلاً آنیون غالب بی‌کربنات و کاتیون غالب کلسیم است.

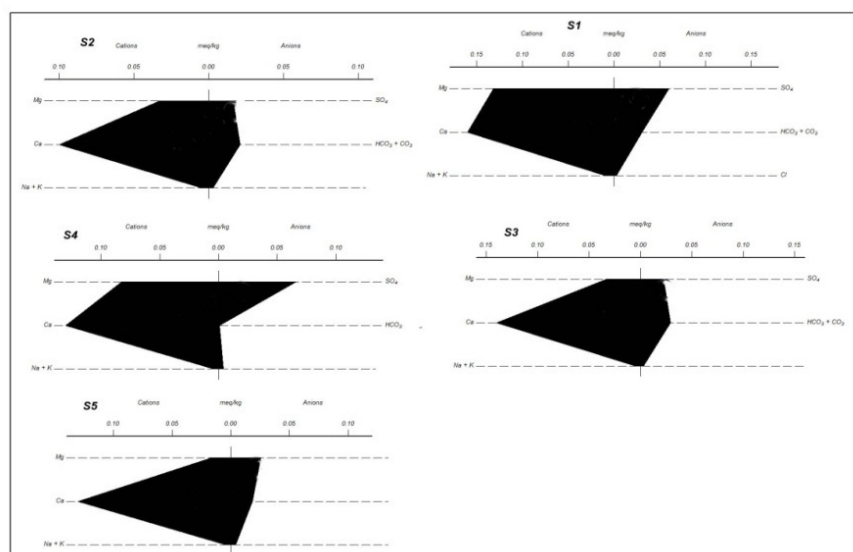


شکل ۴. نمودار پایپر چشمه‌های موجود در منطقه

نمودار پایپر و استیف

با توجه به دیاگرام پایپر، رخساره آب دریاچه گهر (S۳)، چشمه‌های مهر قلیون جا (S۵)، و چشمه آب سفید (S۲) بی‌کربنات کلسیت است و رخساره آب چشمه پنبه‌کار (S۱) و چشمه تمدار بسو (S۴) سولفات کلسیت است. با توجه به اینکه تیپ غالب آب‌های منطقه بی‌کربنات-کلسیت است، در نتیجه، این آب‌ها دارای سختی موقتی‌اند و در آن‌ها غلظت کاتیون‌های قلیایی Ca^{2+} بیشتر و آنیون اسیدهای ضعیف بیش از آنیون اسیدهای قوی است. شکل ۴ نمودار پایپر چشمه‌های منطقه را نشان می‌دهد.

شکل ۵ نمودار استیف ترسیم‌شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، آنیون



شکل ۵. نمودار استیف چشمه‌های موجود در منطقه

سازندهای مورد مطالعه است. نتایج نمایه اشباع نیز صحت این امر را اثبات می‌کند. از آنجا که نمایه اشباع در چشمه پنبه‌کار مثبت است و انحلال بالای کلسیت را در دمای ۱۴ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد، بالابودن دما به انحلال دولومیت کمک می‌کند و نتایج XRF میزان بالای درصد CaO نسبت به MgO را نشان می‌دهد. چون کلسیت سریع‌تر از دولومیت انحلال می‌یابد، بالابودن دمای آب در مقایسه با دیگر نمونه‌ها به انحلال دولومیت کمک می‌کند و نمایه اشباع دولومیت فقط در چشمه پنبه‌کار مثبت است. در دریاچه گهر نیز نمایه اشباع کلسیت مثبت است. با توجه به پایین بودن دمای آب و به‌رغم بالابودن درصد MgO در سازند مایلا نسبت به سازند دالان، نمایه اشباع دولومیت تحت اشباع است. دو نمونه آب (چشمه تمدار بسو و مهر قلیون‌جا) از یک سازند (نیریز- سورمه) گرفته شده‌اند. کلیه نمایه‌ها تحت اشباع است، فقط دمای آب اندازه‌گیری شده آن‌ها متفاوت است. نمایه اشباع دولومیت در چشمه مهر قلیون‌جا، که دمای بالاتری دارد، بیشتر است. نمایه اشباع آراگونیت فقط در چشمه پنبه‌کار بالای

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق وابستگی زیاد انحلال بر روی لیتولوژی سازندها را نشان می‌دهد. همچنین، تحلیل کمی داده‌های هیدروژئوشیمیایی آب کمک فراوانی به تشریح ویژگی‌هایی کارستی منطقه می‌کند. به طور کلی، ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی آب همراه با ترکیبات سازندهای زمین‌شناسی بازگوکننده میزان انحلال ترکیبات آهکی است. با تحلیل اطلاعات هیدروژئوشیمیایی، مشخص شد که بهترین فاکتور برای شناسایی حوزه‌های آبخیز و تفکیک دو سازند از یکدیگر نسبت Ca/Mg است. بین هدایت الکتریکی با املاح موجود در آب رابطه مستقیم وجود دارد. هدایت الکتریکی همه این چشمه‌ها کمتر از ۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است، که نشان‌دهنده عدم دخالت ناخالصی‌های محلی در کیفیت آب این چشمه‌هاست. اکثر سازندها از ترکیب آهک و دولومیت تشکیل یافته‌اند. تفاوت اصلی آن‌ها در میزان Ca و Mg است. درصد بالای CaO نسبت به MgO (نتایج XRF، جدول ۳) در سازند دالان نشان‌دهنده میزان انحلال بیشتر کلسیت نسبت به سایر

S۵ و بالابودن میزان بی‌کربنات و کربنات اشاره می‌کند. در چشمه S۴ سختی غیر کربناته از سایر نمونه‌ها بیشتر است، که با نتایج جدول ۱ به لحاظ بالابودن میزان سولفات مطابقت می‌کند. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که مهم‌ترین عامل به انحلال کربنات و پس از آن به میزان منیزیم و هدایت الکتریکی بستگی دارد، که بیشترین تأثیر را روی میزان انحلال گذاشته است. بنابراین، میزان انحلال به سرعت جریان و نوع جریان (آشفته و یا خطی)، که کنترل‌کننده ضخامت لایه مرزی است، وابسته است. در نتیجه، امکان تعیین زمان رسیدن انحلال به شرایط تعادل وجود ندارد. برای انحلال کلسیت اغلب مشاهده می‌شود که اشباع تا میزان ۹۰ درصد به سرعت انجام می‌شود، لیکن پس از آن میزان انحلال به شدت کاهش می‌یابد.

صفر است. رسوب کانی‌های کربناته کلسیت و آراگونیت می‌تواند نتیجه فرسایش و هوازگی سنگ‌های آهکی موجود در منطقه باشد.

آب دریاچه از آب‌های خروجی از کارست‌های منطقه سرچشمه می‌گیرد و با چشمه‌های کارستی دارای یک منشأ است و بین آب دریاچه و چشمه‌ها اختلاط صورت می‌گیرد.

با توجه به زمان نمونه‌گیری آب در تیرماه (دوره کم‌آبی)، نتایج حاصل از هیدروژئوشیمی چشمه‌های کارستی و XRF موجود در منطقه نشان می‌دهد که آب‌های کارستی در یک سیستم شدیداً توسعه‌یافته مجرای جریان دارند. شیمی آب‌های زیرزمینی در سنگ‌های کربناته مؤکداً تابع انحلال کلسیت و دولومیت است.

نتایج حاصل از جدول ۴ و جدول ۱ به بالابودن میزان سختی کربناته در چشمه‌های S۱، S۲، S۳، و

References

- [1] Alae Taleghani, M. (2011). *Geomorphology of Iran*. 6th edition, Ghoomes publishing company.
- [2] Baberá, J.A, Andreo, B., and Almeida, C. (2013). Using non-conservative tracers to characterize karstification processes in the Merinos-Colorado-Carrasco carbonate aquifer system(southern Spain). *Journal of Environmental of Earth Science*, 71, 585-599.
- [3] Baklowicz, M. (1979). *Contribution de l'géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification*. Thèse Doct. Sci. Nat., Uni. P. et M. Curie, Paris-VI, Géol. Dyn.
- [4] Bayat, H.M. and Majnooniyan, H.(1988). *Oshtorankoooh protected area, Environmental protection agency*, office of environmental education, PP. 25-37.
- [5] Eugster, H.P. (1980). Geochemistry of evaporitic lacustrine deposits: *Annual Review of earth and Planetary Sciences*, 8, 35-63.
- [6] Eugster, H.P. and Hardie, L.A. (1978). Saline lakes, In Lerman A. (Ed), lakes, .Chemistry, Geology and Physics, Springer, 6, 237-293.
- [7] Fetter, C.W. (1988). *Applied Hydrogeology*. Mc Milian publishing Company. U.S.A. 592pp.
- [8] Ford, D.C. and Williams, P.W. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, Chichester, p. 562.
- [9] Foster, G.D. (2000). Hydro geochemistry and transport of organic contaminants in an urban watershed of Chesapeake Bay (USA). *Applied Geochemistry*, 15, 901-915.
- [10] Herman , J.S. (1985). Geochemistry of groundwater in the mixing zone along the east coast of Mallorca, Spain, Karst water resources (Proceedings of the Ankara- Antalya Symposium), 1, 161.
- [11] Hess, J.W. and White, W.B. (1974). Hydrograph analysis of carbonate aquifers, Res. Pub. Inst. Res. Land and Water Resources., Pa. state Uni., University Park, 4, 63-86.
- [12] Hounslow, A.W. (1995).Water Quality Data: Analysis and interpretation, CRC Press LLC, *Lewis publishers*, 2, 346-357.
- [13] Hunkeler, D., Mudry, J. (2007). Hydrochemical methods. In: Goldscheider N, Drew DP (eds) *Methods in karst Hydrogeology*. Taylor & Francis, London, 5, 93-121.
- [14] Jalali, M. (2006). Chemical characteristics of groundwater in parts of mountainous region, Alvand, Hamadan, Iran.*Environ. Geol*, 51, 433-446.
- [15] Jones, b.F. and Decampo, D.M. (2003). Geochemistry of saline lakes, In *Treatise on Geochemistry: Elsevier*, v.5 (Drever, J.I.), 6, 393-424.
- [16] Kaiser, H.F. (1960). The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 141-151.
- [17] Karimivardanjani, H. (2010). *Karst Hydrogeology*, 2ed Edition, University of Shiraz press.
- [18] Kehew, A. (2000). *Applied Chemical Hydrology: prentice Hall*, New Jersey, 370p.
- [19] La Moreaux, P.E. (1991). History of Karst Hydrological studies: Proceeding of the national Conference on Environmental Changes in Karst Areas Padova Italy.
- [20] Langmuir, D. (1997). *Aqueous Environmental geochemistry*, Prentice Hall, New Jersey.
- [21] Lastennet, R., Mudry, J. (1997). Role of rainfall and karstification in the behavior of a heterogeneous karst system. *Environ Geol*, 32, 114-123.
- [22] Lopez, R., Quispe, D., Castillo, J. and Nieto, J. (2011). Acid neutralization by dissolution of alkaline paper mill wastes and implications for treatment of sulfide-mine drainage. *Journal of Mineralogist*, v. 96 no., 5, 781-791.

- [23] Mangin, A. (1987). *Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques: Thèse*. Uni. Dijon.
- [24] Mehralizade, Y. and Chinipardaz, R. (2005). *Statistical Methods of data analysis and hypothesis testing in the social sciences and management, software windows, 1t Edition*, Ayes press.
- [25] Menda, A., astroga, A. and Neumann, D. (2007). Strategy for groundwater management in developing countries: A case study in northern Costa Rica. *Journal of Hydrology*, 334, 109-124.
- [26] Naseri, H.M. (1991). *The study of hydro geological of Karst spring in Doroodzan dam*, Ms thesis, faculty of Earth science in University of Shiraz, 6, 165.
- [27] Olajire, A.A. and Imeokparia F.E. (2001). Water quality assessment of Osun river. Studies on inorganic nutrients. *Environ Monitoring assess*, 69, 17-28.
- [28] Padilla, A. and Pulido-Bosch, A. (1995). Study of hydrographs of karst aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis. *J. Hydrology*, 168, 73-89.
- [29] Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J. (1999). User`s guide to PHREEQC (ver.)-A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculation. USGeol. Surv. Water-Resources Invest. Rept, 7, 4259-99.
- [30] Rahimi, N. (2004). *Investigation of Hydrogeological plain of Zooycheri and Kharan (Molasani, ahvaz)*. MsC. Thesis. Faculty of earth science university of Chamran Ahvaz, 2, 92-101.
- [31] Sahebdel, M. (2009). Hydro chemical study of the Karst spring of ShirinBahar, Ms Thesis, department of earth sciences Chamran University of Ahvaz, 8, 125-141.
- [32] Todd, D.K. (2005). *Groundwater hydrology*, 3rd New York: John Wiley and Sons.
- [33] Ubramani, T., Elango, L. and Damodarasamy, S.R. (2005). Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Chithar River Basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Geology*, 47, 1099-1110.
- [34] White, K. and Darke, N. (1993). Mapping the distribution and abundance of gypsum in south central Tunisia from Landsat Thematic Mapper data: *Zeitschrif fur Geomorphology*, 37, 309-325.
- [35] White, B. (1988). *Geomorphology and Hydrology of Karst terrains*. Oxford University Press. New York, 4, 464.