

استفاده از داده‌های ژئوشیمی و هیدروژئوشیمی برای ارزیابی توسعه کارست سازند لار در محدوده سد گلورد (جنوب بهشهر)

شهرام شریعتی^۱، محبوبه اصغری^{۲*}، حمیدرضا ناصری^۳، نادر کهنسال قدیم وند^۴

۱-دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی ساری

۲-دکتری رسوب‌شناسی، شرکت مهندسی مشاور خزرآب، ساری

۳-استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۴-دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۶/۵

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۱۶

چکیده

سازند کربناته لار با گسترش وسیع در ارتفاعات جنوبی بهشهر، دارای پتانسیل بالایی برای کارستی شدن است. انواع مختلف پدیده‌های کارستی نظیر غار و فروچاله در این سازند شناسایی شده است. برای مطالعه دقیق تر کارست در محدوده سد گلورد، تعداد ۱۰۱ تیغه نازک از نمونه‌های سنگی مربوط به گمانه GV1 واقع در تکیه گاه چپ این سد تهیه و بررسی شد. سپس با توجه به تغییرات سنگ شناسی و مشاهده حفرات کارستی در مغزه‌ها، تعداد ۲۰ نمونه سنگی انتخاب و مورد آنالیز ژئوشیمی به روش XRF قرار گرفت. بررسی تغییرات عناصر فرعی و نسبت‌های Sr/Mn و Na/Mn نشان داده که نفوذ آبهای سطحی و افزایش دیاژنز متئوریک در محدوده‌های کارستی، موجب افزایش مقدار آهن و منگنز (به ترتیب حدود ۱۵۰۰ و ۹۰ پی پی ام) و کاهش سدیم و استرانسیم (به ترتیب حدود ۳۹۰ و ۳۶۰ پی پی ام) و همچنین نسبت آنها به منگنز شده است. بنابراین همراه با کارستی شدن، تغییر عناصر فرعی نیز در حاشیه کارست رخ می‌دهد که با فاصله گرفتن از آن میزان عناصر به حالت طبیعی بر می‌گردد. آنالیز هیدروژئوشیمی نمونه آب چشمه‌های مخزن سد گلورد و رسم نمودارهای Piper و Durov نشان می‌دهد که تیپ آب موجود در اکثر چشمه‌ها به صورت بیکربنات کلسیم-منیزیم است که با تیپ آب آبخوان‌های کارستی مطابقت دارد. محاسبه نمایه‌های اشباع با استفاده از نرم‌افزار PHREEQC 2.6، نشان می‌دهد که چشمه‌های محدوده غالباً فوق اشباع از کلسیت و آراگونیت و در دوره کم آبی فوق اشباع از دولومیت می‌باشند. با وجود این، بررسی تغییرات دبی و هدایت الکتریکی تعدادی از چشمه‌های محدوده در کنار نمایه اشباع، نشانگر غالب بودن جریان آب زیرزمینی مجرای-افشان در چشمه‌های کارستی محدوده است.

واژه‌های کلیدی: ژئوشیمی، سازند لار، سد گلورد، کارست، هیدروژئوشیمی.

مقدمه

واحدهای آهکی و دولومیتی سازند لار، بخش زیادی از ارتفاعات جنوب بهشهر را پوشش می‌دهند. این سازند با سنگ‌های انحلال پذیر در سطح یا نزدیک سطح زمین، برای کارستی شدن بسیار مساعد می‌باشد. از این رو گسترش آن در منطقه موجب شکل گیری انواع متنوعی از پدیده‌های کارستی نظیر فروچاله و غار شده است. بین ژئومورفولوژی کارست و تکامل آن ارتباط تنگاتنگی وجود دارد، به طوری که فراوانی و توسعه پدیده‌های ریختاری کارست نشان دهنده گسترش کارست در منطقه می‌باشد (قبادی، ۱۳۸۸؛ وائل و همکاران، ۲۰۰۹). در مناطقی که کارست به طور کامل توسعه یافته است، اشکال سطحی کارست مانند فروچاله‌ها و اشکال زیرسطحی مثل غارها گسترش دارند اما در مناطقی که کارست به صورت ناقص یافت می‌شود، این اشکال مشاهده نمی‌شوند (حیدری و همکاران، ۲۰۱۱). شرکت مهندسی مشاور طوس آب (۱۳۷۸)، با انجام مطالعات زمین شناسی و هیدروژئولوژی در کنار مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی منطقه، اقدام به شناسایی و ارزیابی منابع آب کارستی ارتفاعات جنوب بهشهر و نکا نمود. براساس نتایج این مطالعات بیشتر پدیده‌های کارستی در سازندهای کربناته لار و کرتاسه که حدود ۵۵ درصد از مساحت ارتفاعات منطقه را تشکیل داده‌اند، مشاهده می‌شود. محمدی احمد آبادی (۱۳۷۹) با استفاده از ردیابی رنگی و هیدرووشیمی به بررسی پدیده‌های کارستی منطقه بهشهر پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که تیپ آب چشمه‌های منطقه از نوع بی کربنات کلسیک است و اغلب چشمه‌های محدوده دارای سیستم‌های جریان مجرای- افشان می‌باشند. رضوی (۱۳۸۵) نیز وضعیت کارست در استان مازندران را مورد بررسی قرار داد. نتایج این

تحقیق نشان داد که عمده پراکنش کارست در این استان در محدوده ساری- نکا در شرق مازندران بوده و در این منطقه، اشکال مختلفی از پدیده‌های کارست دیده می‌شود. اهمیت مطالعه کارست سازند لار در این محدوده، علاوه بر تأثیر آن در تغذیه آبخوان زیرزمینی که منبع اصلی تأمین آب شرب منطقه است، وجود این سازند در تکیه‌گاه‌ها و پی سد مخزنی گلورد است. مشاهده حفرات کارستی و سقوط مته در حین حفاری گمانه‌های اکتشافی سد، نگرانی وجود کارست توسعه یافته در محدوده سد را تقویت نمود. تجربه فرار آب از سد لار نیز موجب حساسیت بیشتر مطالعات کارست در هنگام احداث سازه‌های مهندسی چون سد شده است. در صورتی که سدها بر روی سنگ‌های انحلال پذیر مثل آهک قرار گرفته باشند، حفرات انحلالی موجود در این سنگ‌ها می‌توانند به صورت عاملی برای برقراری ارتباط هیدرولیکی بین آب‌های سطحی و زیرزمینی عمل کنند و در نتیجه در تسهیل جریان آب زیرزمینی نقش مهمی داشته باشند (ویلمن، ۲۰۰۱). لذا تشخیص ویژگی‌های آبخوان زیرزمینی از جمله نوع جریان مجرای یا افشان نقش مهمی در طرح آب‌بندی سد دارد (رجائی و رئیسی، ۱۳۷۹). همچنین بررسی غلظت یون‌های محلول در چشمه‌ها می‌تواند منعکس کننده خصوصیات کل سیستم کارستی باشد و به ارزیابی درجه کارستی شدن کمک نماید (سامانی، ۲۰۰۱). بنابراین در مناطق مستعد، می‌بایستی شناخت کاملی از مکانیسم تشکیل کارست و چگونگی گسترش آن به دست آورد (خانلری و همکاران، ۱۳۸۹؛ کرمی و همکاران، ۱۳۸۷). داده‌های ژئوشیمیایی سنگ نیز می‌توانند به عنوان روشی مؤثر در تعیین مرز خروج از آب در سازندهای آهکی (اصغری و همکاران، ۲۰۱۴) و نیز بررسی

گمانه، علاوه بر نزدیکی آن به ساختگاه سد، دارا بودن مغزه کامل سازند لار و مشاهده زونهای کارستی در آن بوده است. چشمه‌های مورد بررسی برای مطالعات هیدروژئوشیمی نیز همگی در محدوده مخزن سد گلورد واقع شده‌اند. تراز آب این چشمه‌ها، بالاتر از تراز رودخانه نکا رود است. به غیر از چشمه جزی (Sp1) که در فاصله نزدیکی نسبت به گمانه GV1 واقع شده و دارای تراز آب زیرزمینی مشابه با آن می‌باشد، سایر چشمه‌های محدوده در تراز بالتر از سطح آب زیرزمینی گمانه مذکور قرار دارند. میانگین بارندگی سالانه در محدوده سد حدود ۹۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. دمای متوسط سالانه محدوده مورد مطالعه نیز ۱۳/۷ درجه سانتی‌گراد است. میانگین سالانه آورد رودخانه نکا در محل محور سد، معادل ۱۱۲ میلیون مترمکعب برآورد گردید. حداکثر میانگین آبدهی ماهانه مربوط به ماه فروردین به میزان ۷ مترمکعب برثانیه و حداقل آن مربوط به تیرماه و به میزان ۱/۷ مترمکعب برثانیه می‌باشد. همچنین مطالعات هیدرولوژی برف حوضه آبریز نشان داده که حدود ۲۰٪ از نزولات جوی سالانه حوضه آبریز به صورت برف می‌باشد (مشارکت اویول-آب نیرو، ۱۳۹۰). سازند لار از مهم‌ترین سازندهای موجود در منطقه است که به صورت یک تاقدیس بزرگ، بخش وسیعی از بلندی‌های جنوب بهشهر را در بر می‌گیرد. ضخامت سازند لار در منطقه با توجه به عمق دره‌ها و مطالعات ژئوفیزیک انجام شده حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ متر می‌باشد (صحراکاو، ۱۳۸۴). این سازند از دو واحد تشکیل شده است که شامل طبقات آهک سفید رنگ در بالا و دولومیت خاکستری لار در بخش زیرین می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه نیروهای تکتونیکی از فعالیت زیادی

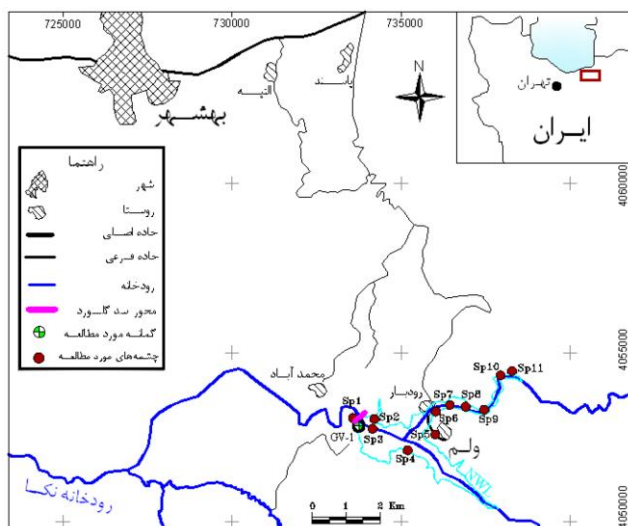
پدیده‌های کارستی در واحدهای کربناته مورد استفاده قرار گیرد (حیدری زاد و دیگران، ۱۳۹۲). هدف از انجام این پژوهش، شناسایی پدیده‌های کارستی سازند لار در ارتفاعات جنوبی بهشهر، به خصوص محدوده سد گلورد و همچنین استفاده از داده‌های ژئوشیمی سنگ به منظور ارزیابی میزان گسترش کارست در این سازند می‌باشد. بررسی هیدروژئوشیمی چشمه‌های موجود در محدوده همراه با مطالعات ژئومورفولوژی و ژئوشیمی موجب شناخت هر چه بهتر کارست محدوده سد و نیز نقاط دارای پتانسیل توسعه کارست در آینده خواهد شد.

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در استان مازندران و حد فاصل طول جغرافیایی $53^{\circ}36'$ تا $53^{\circ}40'$ شرقی و عرض جغرافیایی $36^{\circ}33'$ تا $36^{\circ}36'$ شمالی واقع شده است. سد مخزنی گلورد، سد سنگریزه‌ای با روکش بتنی (CFRD) است که دارای ارتفاع حدود ۱۱۰ متر از بستر رودخانه می‌باشد. مخزن این سد با حجم حدود ۱۱۵ میلیون متر مکعب، دارای طول حدود ۵ کیلومتر است. تراز بستر رودخانه در محل محور سد ۶۴۰ متر است. این سد به منظور ذخیره سازی و تنظیم آب رودخانه نکا رود برای تأمین نیازهای کشاورزی بخشی از اراضی شرق استان مازندران و نیز آب شرب شهر نکا، احداث و در سال ۱۳۹۶ آبگیری شده است. گمانه GV1 که از مغزه‌های آن برای بررسی ژئوشیمی کارست سازند لار استفاده شده، دارای تراز ۷۶۳ متر و عمق ۱۸۰ متر می‌باشد و در جناح چپ ساختگاه سد گلورد حفر شده است (شکل ۱). تراز آب زیرزمینی این گمانه در هنگام مطالعات ۶۶۵ متر است. علت انتخاب نمودن این

سیستم‌های درزه و شکاف سنگ‌های منطقه، در توسعه کارست محدوده نیز تأثیرگذار است (مشارکت اویول و آب نیرو، ۲۰۱۰).

برخوردارند. گسل خزر که از شرق منطقه شروع شده و تا کیلومترها به سمت غرب ادامه می‌یابد، در حال حاضر نیز فعال است. فعالیت این گسل همراه با ایجاد برخی گسل‌های فرعی و نیز



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه

منطقه و نبود ستون کامل سازند لار در سطح زمین، از مغزه‌های مربوط به مقطع زیر سطحی (گمانه GV1) استفاده شده است. پس از مطالعه تیغه‌های نازک، تعداد ۲۰ نمونه سنگی مربوط به این گمانه با توجه به تغییرات لیتولوژی و عوارض کارستی موجود، انتخاب و مورد آنالیز عنصری به روش XRF (توسط دستگاه مدل PW1480 ساخت کمپانی PHILIPS) قرار گرفتند. آزمایش مربوطه توسط شرکت کانساران بینالود انجام شده است. قابل ذکر است که گستره مقادیر عناصر فرعی (Mn, Fe, Na, Sr) برحسب پی پی ام (ppm) می‌باشد. برای بررسی تغییرات هیدروژئوشیمی، چشمه‌های مجاور سد گلورد شامل چشمه جزی (Sp1) و پایین رودبار (Sp3) در فاصله زمانی بهمن ۱۳۹۱ تا مرداد ۱۳۹۲، مجموعاً هفت بار مورد نمونه برداری قرار گرفتند. نمونه آب چشمه‌های محدوده مخزن سد (۹)

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، به منظور شناسایی پدیده‌های کارستی در منطقه، اسنادی نظیر تصاویر ماهواره‌ای، نقش‌های زمین شناسی و گزارشات ژئوتکنیک و زمین شناسی مهندسی سد بررسی شد. سپس برای مطالعه دقیق‌تر، بازدیدهای صحرایی متعددی از منطقه انجام گرفته و اشکال کارستی مهم منطقه، به خصوص در محدوده سد گلورد شناسایی شد. در این مرحله همچنین از یک گروه غارنورد حرفه‌ای برای پیمایش غارها و عکس برداری از آنها کمک گرفته شد. در ادامه، به منظور شناخت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سنگ‌های کربناته لار و نقش آنها در گسترش کارست، مطالعات آزمایشگاهی شامل تهیه تیغه نازک سنگ (به تعداد ۱۰۱ عدد) و آزمایش‌های ژئوشیمی سنگ انجام شد. به دلیل پوشش گیاهی انبوه

چشمه‌های کارستی: از مهم‌ترین چشمه‌های کارستی محدوده، چشمه‌های جزی و اسپه او هستند. چشمه جزی در فاصله حدود ۲۰۰ متری پایین دست محور سد گلورد واقع شده است. اندازه گیری آبدهی این چشمه در سال آبی ۹۱-۹۲ نشان می‌دهد که از حدود ۲۵ تا ۵۶ لیتر در ثانیه متغیر است (شکل ۳ ح). در تکیه‌گاه راست سد و در فاصله نزدیک به چشمه جزی عوارض کارستی متعددی نظیر حفرات کارستی بزرگ مشاهده شده است. چشمه آبشار اسپه او نیز با آبدهی ۱۵ لیتر بر ثانیه در فصل خشک (مرداد) تا حداکثر ۱۵۰ لیتر در ثانیه در فصل تر (فروردین)، یکی از چشمه‌های کارستی مهم محدوده می‌باشد که در انتهای مخزن گلورد قرار دارد (شکل ۳ ط). این چشمه که از واحد دولومیتی سازند لار خارج می‌شود، از نوع کارستی-گسلی می‌باشد.

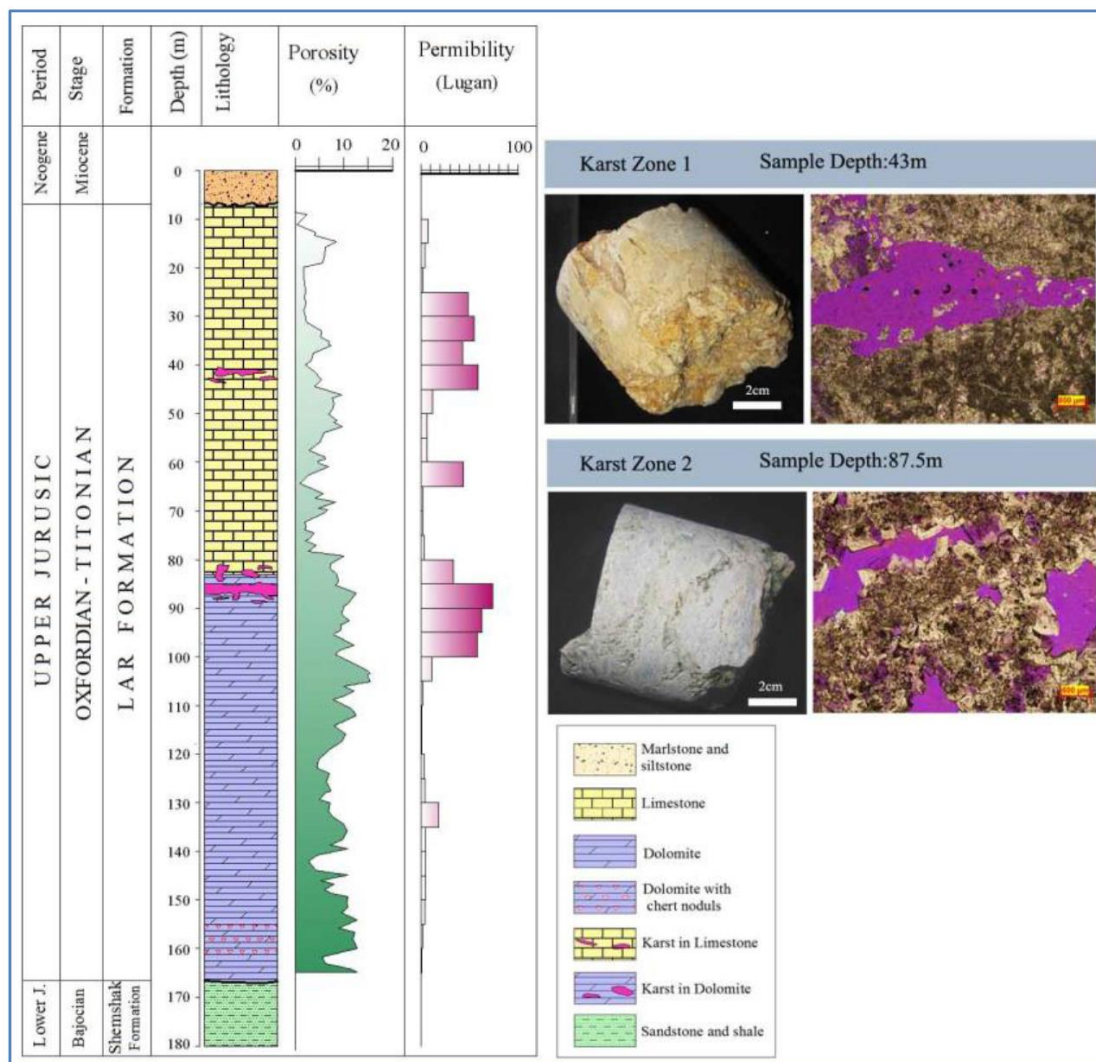
ب). فروچاله اوفرو هم در جنوب رستم کلا واقع شده است (شکل ۳ ج). غارها: از پدیده‌های کارستی مهم مشاهده شده در محدوده هستند. آنها بخش‌هایی از مجراهای کارست فعال قدیمه را نشان می‌دهند (میلانویچ، ۱۹۸۱). غار گلورد (C8 در شکل ۲) از غارهای مهم محدوده است که در بالادست مخزن سد گلورد (تراز ۷۳۳ متر) مشاهده شده است. سنگ‌های در برگیرنده غار گلورد از جنس سنگ آهک سفید رنگ سازند لار است (شکل ۳ د و ه). غار سیولی نیز در پایین دست سد گلورد واقع شده است (شکل ۳ و). در حاشیه ساختگاه سد حفرات نسبتاً بزرگی (غارچه) در سازند لار مشاهده شده که غالباً توسط نهشته‌های کلسیتی و نیز مصالح رسی پر شده است (شکل ۳ ز). این حفرات غالباً زیر سطحی بوده و شناسایی آنها حین مطالعات ساخت سد صورت گرفته است.



شکل ۳: پدیده‌های کارستی محدوده مورد مطالعه. الف) کارن‌های لانه زنبوری و خطی. ب) فروچاله دیوچاه. ج) فروچاله اوفرو. د و ه) غار گلورد و غار سیولی. ز) حفره کارستی مجاور سد. ح) چشمه کارستی جزی. ط) چشمه-آبشار اسپه او.

لوژن انجام شده در گمانه‌های سد گلورد استفاده شده است. با توجه به این شکل نفوذ پذیری در پهنه‌های کارستی افزایش نشان می‌دهد. درصد تخلخل نیز تقریباً هم‌هنگ با آن در این بخش‌ها به خصوص پهنه کارستی دوم افزایش می‌یابد. حفرات انحلالی در نمونه‌های سنگی و تیغه‌های نازک میکروسکوپی مربوط به پهنه‌های کارستی نیز قابل مشاهده است. نوع تخلخل در بخش آهکی بیشتر از نوع حفره‌ای و در بخش دولومیتی از نوع بین بلوری است.

در گمانه GV1، دو بخش کارستی شناسایی شده که بخش نخست در واحد آهکی سازند لار، در عمق ۴۱/۵ تا ۴۳ متر و بخش دوم در واحد دولومیتی این سازند، در عمق ۸۵ تا ۸۷ متر مشاهده می‌شود. در شکل ۴ تغییرات میزان تخلخل و نفوذ پذیری واحدهای سنگی سازند لار در طول ستون چینه شناسی این سازند در گمانه GV1 نشان داده شده است. درصد تخلخل سنگ در بخش‌های مختلف توسط بررسی تیغه‌های نازک میکروسکوپی برآورد شده است. برای تعیین نفوذ پذیری اعماق مختلف نیز از نتایج آزمایش



شکل ۴: تغییرات میزان تخلخل و نفوذ پذیری در طول ستون چینه شناسی سازند لار در گمانه GV1 سد گلورد

ژئوشیمی کارست

در این پژوهش تغییرات شیمیایی سنگ در پهنه‌های کارستی واحد کربناته سازند لار در گمانه GV1 مورد بررسی قرار گرفته است. مؤلفه‌های اصلی آنالیز ژئوشیمیایی نمونه‌های کربناته سازند لار برای تعیین محدوده‌های تحت‌تأثیر فرآیند کارست، شامل تغییرات عناصر فرعی Sr، Na، Mn و Fe و همچنین نسبت‌های Sr/Mn و Na/Mn است که با نزدیک شدن به پهنه کارستی مقدار آن‌ها تغییر می‌نماید (جدول ۱).

تغییرات Sr و Na

مطالعات مختلف (وینفیلد و همکاران، ۱۹۹۶؛

آدابی و اسدی مهمان دوستی، ۲۰۰۸؛ اصغری و همکاران، ۲۰۱۴) نشان می‌دهند که در کربنات‌های قدیمه مقدار Sr و Na طی دیاژنز متئوریک کاهش چشمگیری می‌یابد. سدیم در اثر افزایش تأثیر آب‌های سطحی (متئوریک) به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا می‌کند، چرا که ضریب توزیع Na کمتر از ۱ می‌باشد و در آب‌های متئوریکی تمرکز پایینی دارد. با توجه به اینکه کارست تحت‌تأثیر آب‌های متئوریک روی می‌دهد، سعی شده با بررسی تغییرات عناصر استرانسیم و سدیم، تأثیر کارست در واحدهای آهکی و دولومیتی سازند لار مشخص گردد.

جدول ۱: میزان تغییرات عناصر فرعی نمونه‌های سازند لار در گمانه GV1

Sample No.	Depth (m)	Fe (ppm)	Na (ppm)	Sr (ppm)	Mn (ppm)	Sr/Mn	Na/Mn
GV1-1	10.5	230	293	190	7	27.14	41.86
GV1-2	22.3	470	614	408	15.5	26.32	39.61
GV1-3	36	280	480	372	8	46.50	60.00
GV1-4	40	450	465	330	10.5	31.43	44.29
GV1-5	45	260	417	281	6.5	43.23	64.15
GV1-6	60.5	350	392	352	8.5	41.41	46.12
GV1-7	73	470	465	420	12	35.00	38.75
GV1-8	80	360	553	434	13.5	32.15	40.96
GV1-9	87.5	1870	157	73	106	0.69	1.48
GV1-10	89	1750	124	70	92	0.76	1.35
GV1-11	91	1500	236	125	24.5	5.10	9.63
GV1-12	97	1520	230	115	23	5.00	10.00
GV1-13	105	1450	265	130	15.5	8.39	17.10
GV1-14	111	1470	252	154	21.3	7.23	11.83
GV1-15	116.5	1060	414	154	19	8.11	21.79
GV1-16	123.5	910	518	169	15.5	10.90	33.42
GV1-17	137	1100	355	132	13	10.15	27.31
GV1-18	152	3010	158	121	18.75	6.45	8.43
GV1-19	161	2980	200	146	20	7.30	10.00
GV1-20	166	2590	296	150	18	8.33	16.44

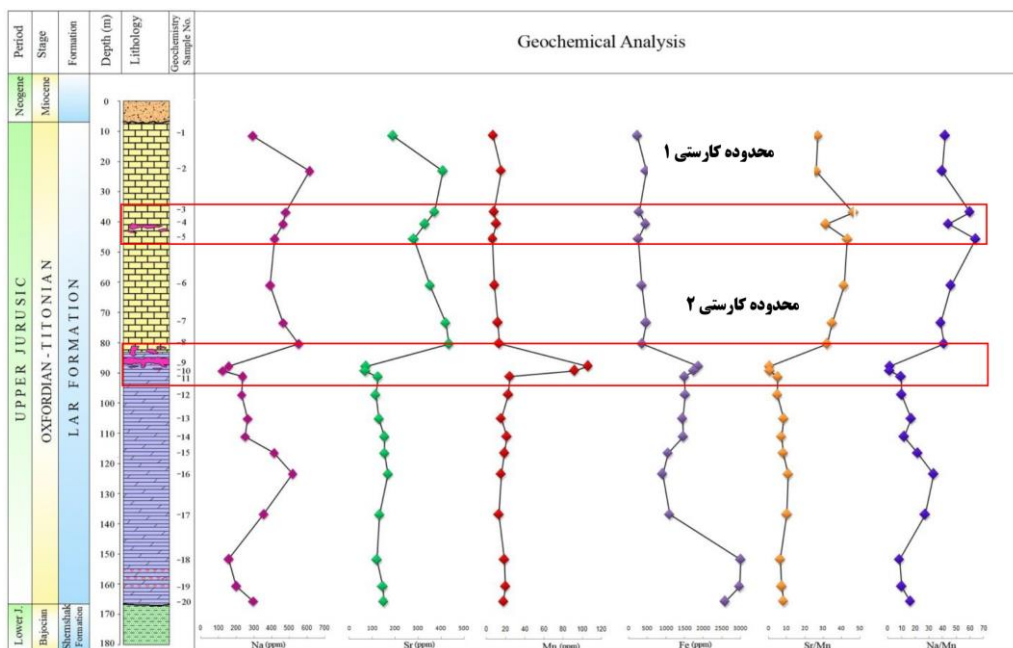
در پهنه کارستی دوم (واحد دولومیتی) پایین‌تر از مقادیر موجود در واحدهای دولومیتی مجاور است. کاهش تمرکز این عناصر در محدوده نزدیک به کارست به دلیل افزایش تأثیر دیاژنز متئوریک در این بخش هاست.

در شکل ۵ مقادیر Sr و Na در طول ستون چینه‌شناسی سازند لار رسم شده است. در پهنه کارستی اول (در واحد آهکی) کاهش نسبی میزان استرانسیم و سدیم مشاهده می‌شود که میزان این کاهش با توجه به میانگین این عناصر در واحد آهکی چندان قابل توجه نیست. میزان Sr و Na

پهنه کارستی نشان دهنده عدم تأثیر دیاژنز متئوریک یا تأثیر اندک آن در بخش‌های دیگر سازند لار می‌باشد. به عبارتی با دور شدن از محدوده کارستی میزان Mn کاهش می‌یابد به طوری که به مقدار طبیعی خود در این سازند می‌رسد. رسم مقادیر Fe در طول سازند لار نشان می‌دهد که تغییرات این عنصر در واحد دولومیتی بسیار بیشتر از واحد آهکی است. افزایش آهن در پهنه کارستی دوم که هماهنگ با افزایش منگنز در این بخش می‌باشد، می‌تواند به دلیل تأثیر فرآیند دیاژنز متئوریک و ته نشست ترکیبات آهن در این بخش از سازند لار باشد که موجب افزایش مقدار Fe شده است (شکل ۵).

-تغییرات Mn و Fe

برخی از محققین معتقدند که مقدار Mn با افزایش فرآیندهای دیاژنز متئوریکی افزایش می‌یابد. زیرا ضریب توزیع Mn حدود ۱۵ است و در آب‌های متئوریکی توزیع بالایی دارد (برند و وایزر، ۱۹۸۰؛ راثو، ۱۹۹۰). رسم مقادیر Mn در طول ستون سازند لار در گمانه GV1، نشان می‌دهد که میزان منگنز در واحدهای آهکی و دولومیتی آن نسبتاً پایین است (شکل ۵). در بخش میانی سازند لار که در پهنه کارستی دوم واقع شده، افزایش ناگهانی Mn مشاهده می‌شود. این افزایش را می‌توان به جریان آب‌های سطحی در این بخش از سازند لار و در نتیجه افزایش تأثیر فرآیند متئوریک نسبت داد. پایین تر بودن مقدار Mn در نمونه‌های دیگر سازند لار در مقایسه با نمونه‌های



شکل ۵: تغییرات عناصر فرعی و نسبت آن‌ها در طول ستون چینه‌شناسی سازند لار در گمانه GV1

۲۰۰۸). فرآیند دیاژنز متئوریک باعث کاهش مقدار Sr می‌شود و بالعکس تمرکز Mn را افزایش خواهد داد. بنابراین موجب پایین آوردن نسبت Sr/Mn می‌شود. کاهش نسبت Sr/Mn در

-تغییرات نسبت Sr/Mn و Na/Mn

نسبت Sr/Mn می‌تواند معیاری مفید برای برآورد شدت فرآیندهای متئوریکی و میزان انحلال سنگ‌ها باشد (راثو، ۱۹۹۱؛ آدابی و اسدی مهماندوستی،

خود در واحدهای کربناته می‌رسد. تغییرات عناصر فرعی و نسبت آن‌ها در محدوده کارستی ۲ بسیار مشخص‌تر می‌باشد. علت آن احتمالاً زمان طولانی تر تأثیر فرآیندهای دیاژنزی بر این بخش است. به عبارتی می‌توان محدوده کارستی ۲ را قدیمی‌تر از محدوده کارستی ۱ دانست. از این رو آب‌های متئوریک فرصت بیشتری برای تأثیر گذاری بر شیمی سنگ در این بخش داشته است.

-هیدروژئوشیمی کارست

در ارزیابی وضعیت هیدروژئوشیمی آبخوان کارستی محدوده، به بررسی رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی و نیز نمایه‌های اشباع پرداخته شده است. نتایج آنالیز شیمیایی چشمه‌های محدوده مورد مطالعه در فروردین و مرداد ۱۳۹۲ در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است.

پهنه کارستی دوم علاوه بر تغییر لیتولوژی به دلیل فرآیند انحلال در این بخش می‌باشد. همچنین در طی فرآیند دیاژنز متئوریک غلظت Na و به تبع آن نسبت Na/Mn به خصوص در مناطق کارستی که تماس آب‌های متئوریک با سطح سنگ افزایش می‌یابد، کاهش پیدا می‌کند (شکل ۵). با توجه به اینکه کاهش نسبت‌های Sr/Mn و Na/Mn با تغییرات سایر عناصر در محدوده‌های کارستی سازند لار در گمانه GV1 هماهنگی دارد، بنابراین می‌توان آن را تحت تأثیر دیاژنز متئوریک و کارست در نظر گرفت. به طور کلی می‌توان گفت تأثیر دیاژنز متئوریک بر مقدار عناصر فرعی موجود در واحدهای سنگی لار با نزدیک به پهنه کارستی شدت یافته است. اما با دور شدن از محدوده کارست تأثیر این دیاژنز کاهش یافته و مقدار این عناصر به حالت طبیعی

جدول ۲: نتایج آنالیز شیمیایی و برخی پارامترهای فیزیکی چشمه‌های انتخابی محدوده در دوره تر (فروردین ۱۳۹۲)

شماره چشمه	Q (Lit/s)	T (°C)	pH	EC (µmho/cm)	TDS (mg/l)	Hardness (mg/l(CaCO ₃))	Ca ²⁺ (meq/l)	Mg ²⁺ (meq/l)	Na ⁺ (meq/l)	K ⁺ (meq/l)	HCO ₃ ⁻ (meq/l)	Cl ⁻ (meq/l)	SO ₄ ²⁻ (meq/l)
Sp1	۵۶	۱۲/۵	۷/۱	۵۵۷	۳۶۱	۲۷۵	۴/۲۰	۱/۱۱	۰/۲۰	۰/۰۵	۵/۲۱	۰/۲۲	۰/۱۰
Sp2	۰/۴	۱۴	۷/۲	۶۸۰	۴۴۵	۳۰۵	۴/۸۵	۱/۲۳	۰/۲۰	۰/۰۶	۵/۸۳	۰/۳۳	۰/۱۰
Sp3	۲/۵	۱۳	۷/۲	۵۹۷	۳۹۰	۲۸۷	۴/۴۵	۱/۲۵	۰/۲۶	۰/۰۵	۵/۴۵	۰/۲۵	۰/۱۱
Sp4	۰/۳	۱۶/۳	۷/۴	۵۲۱	۳۳۵	۲۳۷	۳/۰۷	۱/۵۲	۰/۳۰	۰/۰۵	۴/۲۱	۰/۳۶	۰/۲۷
Sp5	۰/۴۵	۱۳/۲	۷/۸	۱۱۰۵	۷۲۲	۵۱۶	۵/۹۳	۳/۶۰	۰/۸۵	۰/۰۹	۸/۵۵	۰/۹۸	۰/۷۶
Sp6	۰/۱	۱۰/۹	۶/۹	۶۰۸	۳۹۱	۲۸۷	۴/۵۸	۰/۹۵	۰/۱۶	۰/۰۵	۵/۴۰	۰/۲۳	۰/۱۰
Sp7	۲/۵	۱۲/۱	۷/۲	۵۷۰	۳۶۵	۲۶۱	۴/۴۲	۰/۸۲	۰/۰۹	۰/۰۵	۵/۰۶	۰/۲۰	۰/۱۰
Sp8	۶	۱۱/۵	۷/۱	۵۰۳	۳۲۳	۲۴۰	۳/۸۰	۱/۰۳	۰/۱۱	۰/۰۴	۴/۵۰	۰/۱۹	۰/۰۸
Sp9	۰/۵	۱۱/۵	۷/۲	۵۸۲	۳۷۴	۲۸۰	۴/۴۶	۱/۰۷	۰/۱۵	۰/۰۵	۵/۳۲	۰/۲۸	۰/۰۹
Sp10	۰/۷	۱۲/۲	۷/۵	۴۰۰	۲۵۷	۱۸۵	۲/۸۹	۰/۶۷	۰/۱۲	۰/۰۳	۳/۲۸	۰/۱۵	۰/۱۱
Sp11	۱۵۰	۸/۸	۷/۴	۴۵۳	۲۹۱	۲۱۵	۳/۴۵	۰/۹۲	۰/۱۰	۰/۰۴	۴/۱۱	۰/۲۱	۰/۱۲

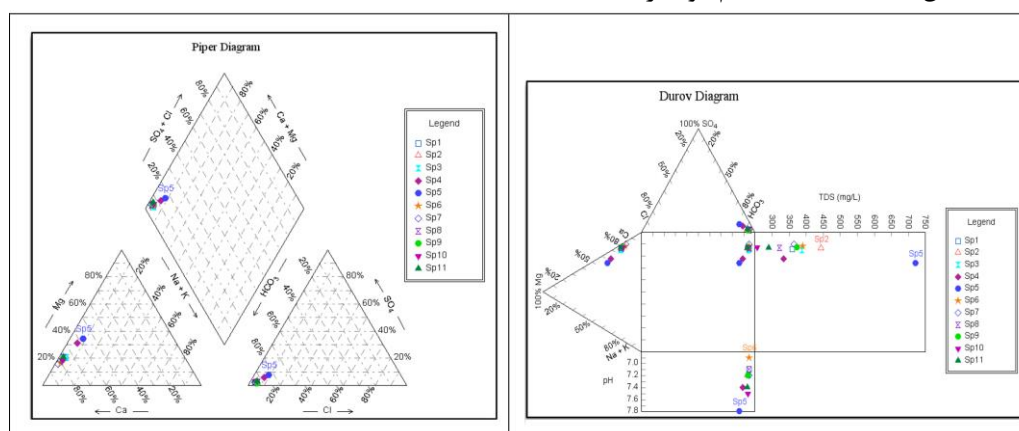
جدول ۳: نتایج آنالیز شیمیایی و برخی پارامترهای فیزیکی چشمه های انتخابی محدوده در دوره خشک (مرداد ۱۳۹۲)

شماره چشمه	T (°C)	Q (Lit/s)	pH	EC (µmho/cm)	TDS (mg/l)	Hardness (mg/l(CaCO ₃))	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
							meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Sp1	۱۱.۵	۲.۵	۷.۳	۶۳۶	۴۲۰	۳۰۲	۴.۵۷	۱.۵۰	۰.۳۲	۰.۰۶	۵.۶۵	۰.۴۳	۰.۲۲
Sp2	-	۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sp3	۱۲.۵	۱	۷.۳	۶۵۲	۴۲۵	۳۱۰	۴.۹۰	۱.۵۰	۰.۵۳	۰.۰۶	۶.۰۳	۰.۵۰	۰.۲۲
Sp4	۱۶	۰.۲	۷.۶	۵۳۴	۳۵۰	۲۲۵	۳.۱۹	۱.۶۵	۰.۴۷	۰.۰۵	۴.۴۵	۰.۵۳	۰.۳۶
Sp5	۱۳.۱	۰.۲۵	۸	۱۱۶۰	۷۳۵	۵۲۵	۶.۰۸	۴.۵۴	۱.۱۰	۰.۱۱	۹.۶۵	۱.۴۸	۰.۱۵
Sp6	۱۰.۵	۰.۰۸	۷.۲	۶۲۰	۴۰۳	۲۹۳	۵.۱۰	۱.۳۲	۰.۱۲	۰.۰۳	۵.۸۴	۰.۳۳	۰.۱۲
Sp7	۱۱.۵	۱.۵	۷.۳	۵۷۵	۳۷۶	۲۷۵	۴.۵۶	۱.۱۷	۰.۱۱	۰.۰۵	۵.۴۷	۰.۲۱	۰.۱۰
Sp8	۱۰.۷	۳.۵	۷.۲	۵۳۰	۳۳۸	۲۵۰	۴.۰۵	۱.۰۵	۰.۱۴	۰.۰۵	۴.۸۰	۰.۲۵	۰.۰۹
Sp9	۱۱.۳	۰.۳۵	۷.۴	۵۹۳	۳۷۹	۲۸۶	۴.۶۳	۱.۱۹	۰.۱۷	۰.۰۵	۵.۵۱	۰.۳۲	۰.۱۴
Sp10	۱۱.۸	۰.۴	۷.۷	۵۰۸	۳۳۳	۲۴۵	۴.۲۱	۱.۰۶	۰.۱۵	۰.۰۵	۴.۸۵	۰.۳۴	۰.۱۰
Sp11	۸.۵	۵.۰	۷.۵	۴۱۲	۲۵۶	۱۹۴	۳.۱۵	۰.۹۰	۰.۲۶	۰.۰۳	۳.۷۶	۰.۲۴	۰.۲۳

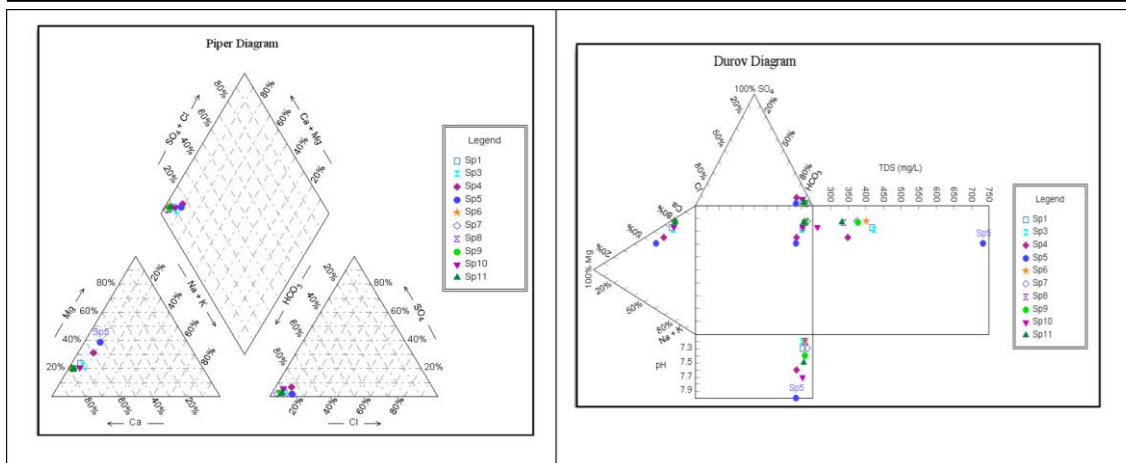
رخساره هیدروژئوشیمی

رخساره های هیدروژئوشیمیایی برای توصیف تفاوت های شیمیایی آب زیرزمینی استفاده می-شوند (فتر، ۲۰۰۱). برای تعیین تیپ و رخساره آبخوان کارستی محدوده، از داده های فروردین (دوره تر) و مرداد (دوره خشک) ۱۳۹۲ چشمه های مخزن سد برای رسم نمودار پایپر استفاده شده است (شکل ۶). با توجه به این نمودارها، همه نمونه ها در مثلث کاتیون ها بین دو ضلع کلسیم و منیزیم، متمایل به سمت کلسیم و در مثلث

آنیون ها در رأس کربنات قرار گرفته اند. بنابراین آب این چشمه ها غالباً از نوع بی کربنات کلسیک و گاه منیزیک است. به منظور بررسی دقیق تر، نتایج فوق از نمودار بسط داده شده دورو (Durov) استفاده شد (لوید و هیتکوت، ۱۹۸۵). با توجه به نمودارهای پایپر و دورو، اغلب چشمه های محدوده مورد مطالعه دارای ترکیب شیمی مشابهی هستند (شکل های ۶ و ۷).



شکل ۶: نمودارهای پایپر و دورو مربوط به چشمه های محدوده مخزن سد در فروردین ۱۳۹۲



شکل ۷: نمودارهای پایپر و دورو مربوط به چشمه‌های محدوده مخزن سد در مرداد ۱۳۹۲

باشد، فرایندهای انحلال را می‌توان انتظار داشت (آپلو و پوستما، ۲۰۰۵). نمایه‌های اشباع کلسیت (SI_c)، آراگونیت (SI_a)، دولومیت (SI_d)، انیدریت (SI_{an})، ژیپس (SI_g) و هالیت (SI_h) با استفاده از نرم افزار کامپیوتری PHREE QC 2.6، برای چشمه‌های مجاور سد (جزی و پایین رودبار) در مدت زمان ۷ ماه و چشمه‌های مخزن سد در دوره پربابی (فروردین ۱۳۹۲) و کم آبی (مرداد ۱۳۹۲) محاسبه شده است. بررسی نمایه‌های اشباع چشمه کارستی جزی (SP1) نشان می‌دهد که آب این چشمه در چهار ماه از کل دوره نمونه برداری نسبت به کانی کلسیت اشباع و فوق اشباع می‌باشد. در بقیه ماه‌ها نسبت به آن تحت اشباع است، لذا می‌تواند مقدار قابل توجهی از این کانی را در خود حل نماید. همچنین آب چشمه جزی در تمامی طول دوره نمونه برداری تحت اشباع از آراگونیت، دولومیت و سایر کانی‌های مورد بررسی می‌باشد که حاکی از فرصت کم جریان آب چشمه برای انحلال این کانی‌ها است و بر غالب بودن سیستم جریان مجرای و نیز توسعه کارست در حوضه آبگیر این چشمه دلالت می‌کند. چشمه پایین رودبار (SP3) در بیشتر موارد اشباع و فوق اشباع از کلسیت می‌باشد (شکل ۸). به جز بهمین

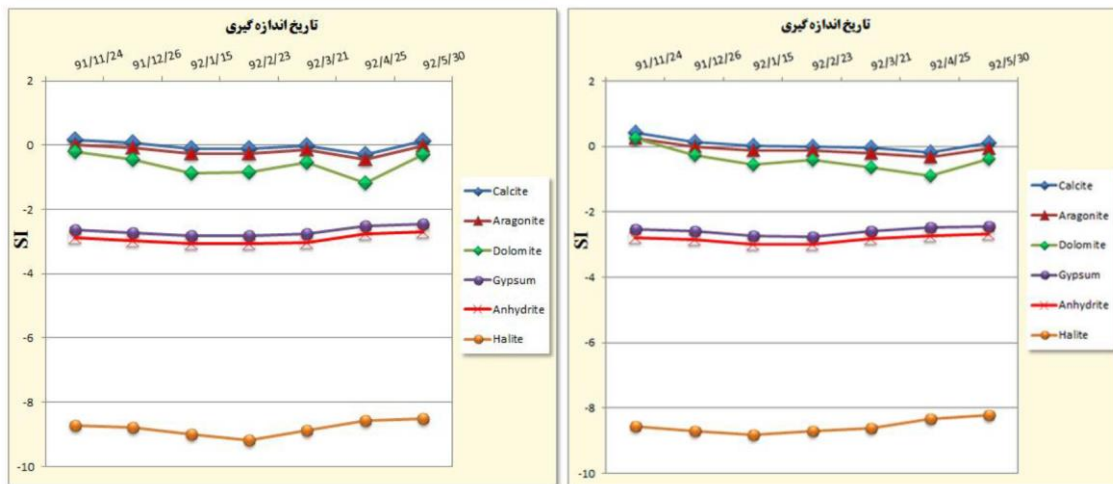
کاتیون و آنیون غالب در آب چشمه‌ها به ترتیب Ca^{2+} و HCO_3^- است. ترتیب کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب چشمه‌های محدوده به صورت $Ca^{2+} > Na^+ + K^+ > Mg^{2+}$ و $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$ می‌باشد. تیپ آب این چشمه‌ها از نوع بی کربنات کلسیک-منیزیک می‌باشد. نمودارهای دورو و پایپر محدوده در دو دوره نمونه برداری (فروردین و مرداد ۱۳۹۲) الگوی تقریباً مشابهی را نشان می‌دهند. بنابراین تیپ و رخساره هیدروژئوشیمی آبخوان در حد فاصل دوره‌های تر و خشک تغییر چندانی نکرده است.

نمایه‌های اشباع

شاستر و وایت (۱۹۷۱)، سیستم کلی جریان آب در آبخوان‌های کارستی کربناته را به دو نوع جریان افشان (Diffuse flow) و جریان مجرای (Conduit flow) تقسیم بندی نموده‌اند. به منظور ارزیابی سیستم غالب جریان در آبخوان‌های کارستی، محققین مختلف از معیارهای گوناگونی استفاده کرده‌اند (آتکینسون، ۱۹۷۷؛ برک، ۲۰۰۴؛ درو و همکاران، ۱۹۹۶). از مهم‌ترین این معیارها، استفاده از نمایه‌های اشباع می‌باشد. در صورتی که نمایه اشباع یک کانی مثبت باشد، فرایندهای ته نشینی و در حالتی که نمایه اشباع یک کانی منفی

جریان در این چشمه نیز از نوع مجرای-افشان است. هر چند توسعه کارست در حوضه این چشمه نسبت به چشمه جزی کمتر است.

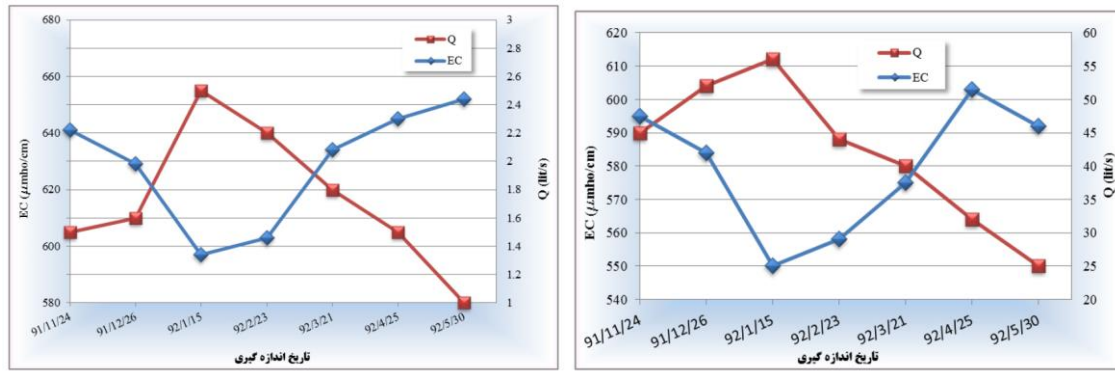
ماه که نسبت به کانی آراگونیت و دولومیت نیز فوق اشباع است، در سایر ماهها تحت اشباع از کانیهای مذکور می باشد. به نظر می رسد سیستم



شکل ۸: نمودار نمایه‌های اشباع چشمه‌های جزی (سمت چپ) و پایین رودبار (سمت راست) در طول دوره نمونه‌برداری

تغییرات این پارامتر در طول دوره نمونه‌برداری محاسبه شده است. میانگین مقدار هدایت الکتریکی آب چشمه جزی، ۵۸۰ میکروموس بر سانتی متر می باشد و ضریب تغییرات آن نیز ۳/۴ درصد است. در چشمه پایین رودبار، میانگین هدایت الکتریکی ۶۲۹ میکروموس بر سانتی متر و میزان ضریب تغییرات آن ۳/۴ درصد است. بر این اساس وجود سیستم جریان مجرای-افشان برای چشمه‌های جزی و پایین رودبار تقویت می شود. تغییرات زمانی هدایت الکتریکی این چشمه‌ها با تغییرات زمانی دبی رابطه معکوسی را نشان می دهد (شکل ۹). به این دلیل که با افزایش دبی چشمه، سرعت تخلیه آب بیشتر است، در نتیجه زمان ماندگاری آب در داخل آبخوان کمتر می باشد که باعث کاهش انحلال مواد آبخوان و ورود آنها به داخل آب می شود.

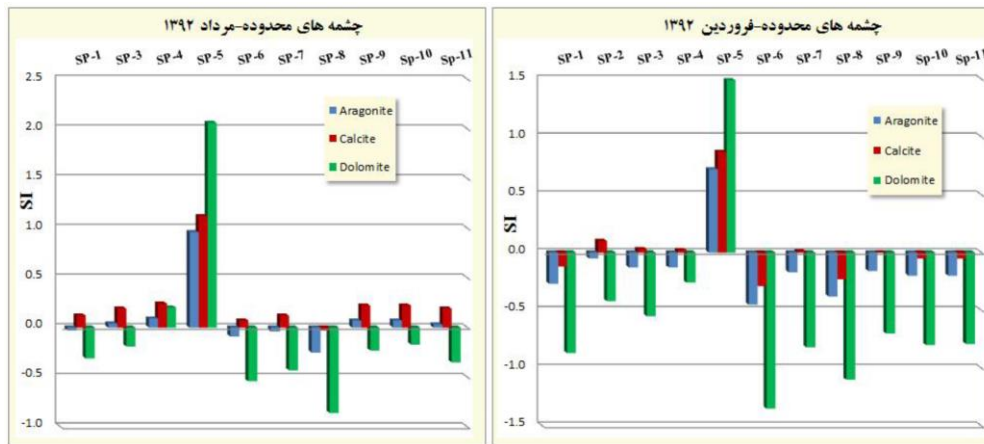
برای بررسی دقیق تر نوع جریان، تغییرات میزان دبی و هدایت الکتریکی چشمه‌های جزی و پایین رودبار نیز مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۹). دبی این چشمه‌ها از اواخر زمستان ۹۱ تا فروردین ۹۲ روند افزایشی نسبتاً خطی را طی می کند. از فروردین تا مرداد ۹۲ کاهش شدید و نسبتاً خطی در دبی مشاهده می گردد. این روند کاهشی با توجه به اندازه‌گیری مربوط به سالهای گذشته (مشارکت اویول و آب نیرو، ۲۰۱۰) تا شهریور ادامه دارد و پس از آن مجدداً روندی صعودی را طی می کند. تغییرات نسبتاً زیاد دبی این چشمه-ها، به خصوص چشمه جزی (از ۵۶ لیتر در ثانیه در فروردین به ۲۵ لیتر در ثانیه در مرداد)، نشان دهنده توسعه مجاری کارستی در حوضه آبریز آنها می باشد. به منظور بررسی تغییرات هدایت الکتریکی در چشمه‌های مذکور، میانگین و ضریب



شکل ۹: نمودار تغییرات هدایت الکتریکی و دبی در چشمه جزی (سمت راست) پایین رودبار (سمت چپ)

بررسی نمایه اشباع چشمه های محدوده مخزن سد گلورد در فروردین ۱۳۹۲، نشان می‌دهد که تعدادی از چشمه‌ها نسبت به کانی کلسیت اشباع یا فوق اشباع می‌باشند (شکل ۱۰). میزان نمایه اشباع کلسیت در تعدادی از چشمه‌ها از جمله چشمه کارستی اسپه او (SP11) منفی می‌باشد که شرایط تحت اشباع را نشان می‌دهد و منعکس کننده تراکم بیشتر حفره‌های زیرسطحی و همچنین نوع جریان مجرای یا مجرای-افشان در

مسیر جریان آب این چشمه می‌باشد. بررسی نمایه‌های اشباع مربوط به چشمه‌های محدوده مخزن گلورد در مرداد ماه ۱۳۹۲، نشان می‌دهد که تقریباً تمامی چشمه‌های محدوده نسبت به کانی‌های کلسیت و آراگونیت اشباع و فوق اشباع می‌باشند (شکل ۱۰). آب این چشمه‌ها تحت اشباع از کانی‌های هالیت، انیدریت و ژپس است که با نبود واحدهای تبخیری در چینه شناسی منطقه مطابقت دارد.



شکل ۱۰: نمودار نمایه‌های اشباع چشمه‌های مخزن سد گلورد در فروردین و مرداد ۱۳۹۲

بیانگر سنگ مخزن آهکی برای چشمه‌های محدوده می‌باشد. هرچند نمایه اشباع مثبت معمولاً منعکس کننده جریان افشان است و این نوع جریان را نشان دهنده توسعه کمتر کارست می‌دانند، اما با توجه به وجود پدیده‌های کارستی

مطابق شکل‌های (۸ و ۱۰) آبخوان کارستی محدوده نسبت به کلسیت بیش از هر کانی دیگری در حالت اشباع و فوق اشباع قرار دارد. آراگونیت و دولومیت کانی‌های دیگری هستند که پس از کلسیت در حالت اشباع قرار دارند. این موضوع

متئوریک را که دارای پتانسیل زیاد برای کارستی شدن هستند شناسایی نمود. آنالیز هیدروشمی نمونه آب چشمه‌های محدوده مخزن گلورد و رسم نمودارهای پایپر و دورو، نشان می‌دهد که تیپ آب اغلب چشمه‌های محدوده به صورت بیکربنات کلسیم-منیزیم است که با تیپ آب آبخوان‌های کارستی همخوانی دارد. محاسبه نمابه‌های اشباع، نشان می‌دهد که تعدادی از چشمه‌های محدوده فوق اشباع از کلسیت و آراگونیت و در دوره کم آبی (مرداد ماه) فوق اشباع از دولومیت می‌باشند. در برخی چشمه‌های محدوده مثل جزی، پایین رودبار و اسپه او جریان آب زیرزمینی از نوع مجرای یا مجرای-افشان است که نشانگر توسعه کارست در حوضه آبریز این چشمه‌ها است. بررسی تغییرات دبی و هدایت الکتریکی چشمه‌های جزی و پایین رودبار نیز تأیید کننده این مسئله می‌باشد. در نهایت به دلیل وجود حفرات و مجاری کارستی در محدوده ساختگاه (نزدیک چشمه کارستی جزی) و نیز مخزن سد (غار گلورد)، احتمال فرار آب از سد همواره مطرح می‌باشد، از این رو لازم است مقدار نشت آب از سد به سمت پایین دست، به طور مداوم و دقیق مورد سنجش قرار گیرد.

سپاس‌گزاری

از شرکت آب منطقه‌ای مازندران، به خصوص مدیریت طرح‌های پژوهشی این شرکت و همچنین مدیریت طرح سد گلورد به دلیل انجام همکاری-های لازم در این پروژه سپاس‌گزاری می‌شود.

متعدد در محدوده مورد مطالعه، تنها با استناد به داده‌های نمایه اشباع نمی‌بایست چنین نتیجه‌ای گرفت. علاوه بر این وجود جریان مجرای-افشان در چشمه‌های جزی، پایین رودبار و اسپه او که در بخش‌های ابتدایی و انتهایی مخزن سد گلورد قرار دارند، نشانگر توسعه کارست در بخش‌های عمده محدوده مورد مطالعه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

مطالعه کارست واحدهای کربناته سازند لار در محدوده سد گلورد نشان می‌دهد که عمده‌ترین پدیده‌های کارستی محدوده شامل کارنها، فروچاله‌ها، غارها و چشمه‌های کارستی می‌باشند. فروچاله‌ها در بخش‌های شمالی محدوده وجود داشته و در حوالی مخزن سد گلورد شناسایی نشده است. بررسی اطلاعات حاصل از آنالیز ژئوشیمیایی نشان داده که نفوذ آب‌های سطحی به اعماق و در نتیجه افزایش دیاژنز متئوریک در محدوده‌های کارستی ۱ و ۲ گمانه GVI، سبب افزایش مقدار Fe و Mn و کاهش Na و Sr و نسبت‌های Sr/MN و Na/Mn شده است. بنابراین همراه با توسعه کارست از مرکز حفرات انحلالی به سمت حاشیه تغییرات عناصر فرعی اتفاق افتاده است، ولی با فاصله گرفتن از محدوده کارست میزان عناصر به حالت طبیعی خود در واحدهای کربناته می‌رسد. بنابراین از داده‌های ژئوشیمی سنگ، نه تنها می‌توان برای تشخیص حفرات کارستی موجود و پیرامون آن استفاده نمود، بلکه توسط آن می‌توان محدوده‌های تحت‌تأثیر دیاژنز

منابع

نوین زمین شناسی کاربردی، دوره ۷، شماره ۱۳، ص ۷۷-۸۸.

حیدری زاد، م.، آقای، ع. و عبدالهی منصورخانی، م.، ۱۳۹۲. مطالعه ژئوشیمی پولیه کارستی حرکت (شمال شرق شهر مشهد)، دو فصلنامه یافته‌های

- قبادی، م.ح.، ۱۳۸۸. زمین شناسی مهندسی کارست، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، چاپ دوم، ۳۲۰ ص.
- کرمی، غ.ج.، رجائی، ا. و کمالی نیسیانی، م.، ۱۳۸۷. کاربرد مطالعات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی در بررسی آب بندی سازند های کارستی، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز.
- محمدی احمد آبادی، ر.، ۱۳۷۹. بررسی پدیده-های کارستی منطقه بهشهر با استفاده از ردیابی و هیدرووشیمی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- مشارکت اوپول-آب نیرو، ۱۳۹۰. گزارش خلاصه سیمای طرح سد مخزنی گلورد، وزارت نیرو، شرکت آب منطقه‌ای مازندران، ۴۳ ص.
- خانلری، غ.، حیدری ترکمانی، ر. و مؤمنی، ع. ا.، ۱۳۸۹. مطالعات کارست و بررسی ویژگی‌های تزریق پذیری پی سنگ سد اکباتان (طرح افزایش ارتفاع)، پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی، سال ۲۶، شماره پیاپی ۴۱، ص ۵۷-۷۲.
- رجائی، ا. و رئیس، ع.، ۱۳۷۹. بررسی پتانسیل فرار آب در سازندهای کارستی مخزن و تکیه گاه سد میرزای شیرازی، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس سد سازی، ص ۷۱۷-۷۲۷.
- رضوی، ل.، ۱۳۸۵. بررسی نقش سازند کارست در وضعیت منابع آب استان مازندران، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، اصفهان.
- شرکت صحرا کاو، ۱۳۸۴. گزارش نهایی مطالعات ژئوفیزیک ساختگاه سد گلورد، وزارت نیرو، شرکت آب منطقه‌ای مازندران، ۸۵ ص.

- Adabi, M.H. and Asadi Mehmandosti, E., 2008. Microfacies and geochemistry of the Ilam Formation in the Tang-E Rashid area, Izeh, S.W. Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 33, p. 267-277.
- Asghari, M., Tahmasebipoor, A. and Barari, A., 2014. Original mineralogy and recognition of upper boundary of the Sarvak Formation based on geochemistry and isotopical Studies in Ahvaz oil field, S.W. Iran, *Petroleum Science and Technology*, v. 35 (in press).
- Alavi, M., 1991. Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran, *Geological Society of America Bulletin*, v. 103, p. 983-992.
- Atkinson, T.C., 1977. Diffuse flow and conduit flow in limestone terrain in the Mendip Hills, Somerset (Great Britain), *J. Hydrol.*, v. 35, p. 93-110.
- Birk, S., 2004. Identification of localized recharge and conduit flow by combined analysis of hydraulic and physico-chemical spring responses, *J. of Hydrology*, v. 286 (1-4), p. 179-193.
- Brand, U. and Veizer, J., 1980. Chemical diagenesis of multicomponent carbonate system, II: stable isotopes, *Jour. Sed. Petrology*, v. 51, p. 987-997.
- Drew, D.P., Burke, A.M. and Daly, D., 1996. Assessing the extent and degree of karstification in Ireland: In proceedings of international conference on karst-fractured aquifers vulnerability and sustainability, Katowice-Ustron, Poland, p. 37-47.
- Ev Yol-Ab Niru Group Co, 2010. Geology and engineering geology report, No. 3-1, Ministry of energy, Mazandaran regional water corporation, 185 p.
- Fetter, C.W., 2001. Applied Hydrogeology, 4th edn, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 598 p.
- Ford, D.C. and Williams, P.W., 2007. Karst hydrogeology and geomorphology, John Wiley and Sons Ltd., 576 p.

- Heidari, M., Khanlari, G.R., Taleb Beydokhti, A.R. and Momeni, A.A., 2011. The formation of cover collapse sinkholes in North of Hamedan, Iran, *Geomorphology*, v. 132 (3-4), p. 76-86.
- Lloyd, J.W. and Heathcote, J.A., 1985. *Natural Inorganic Hydrochemistry in Relation to Groundwater-An Introduction*, Clarendon Press, Oxford, 296 p.
- Milanovic, P.T., 1981. *Karst hydrogeology*, Water Resources Publication, 434 p.
- Rao, C.P., 1990. *Geochemical characteristics of cool-temperate carbonates, Tasmania, Australia*, *Carbonates and Evaporites*, v. 5, p. 209-221.
- Rao, C.P., 1991. *Geochemical differences between subtropical (Ordovician), temperate (Recent and Pleistocene) and subpolar (Permian) carbonates, Tasmania, Australia*: *Carbonates and Evaporites*, v. 6, p. 83-106.
- Samani, N., 2001. *Response of karst aquifer to rain fall and evaporation, moharlo basin, Iran*, *Journal of cave and karst studies*, v. 63, p. 33-40.
- Shuster, E.T. and White, W.B., 1971. *Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: A possible means for characterising carbonate aquifers*, *J. Hydrol.*, v. 14, p. 93-128.
- Waele, J.D., Plan, L. and Audra, P., 2009. *Recent developments in surface and subsurface karst geomorphology: An introduction*, *Geomorphology*, v. 106, p. 1-8.
- Willmann, M., 2001. *A modeling study on void evolution beneath a dam in a gypsum environment with the example of Horsetooth dam, Colorado*", Masters Thesis at the chair of applied Geology, University of Tubingen.
- Winefield, P.R., Nelson, C.S. and Hodder, A.P.W., 1996. *Discriminating temperate carbonates and their diagenesis environments using bulk elemental geochemistry: a reconnaissance study based on New Zealand Cenozoic Limestones*: *Carbonates and Evaporates*, v. 11, p. 19-31.