

خلاصه گزارش طرح

محیط رسوبی و دیاژنز سازند لار با تاکید بر روند کارستی شدن آن در مخزن سد گلورد و حوضه آبریز نکارود



پژوهشگر

شهرام شریعتی

داور طرح

خلیل الله فقهی



تاریخ انتشار

۱۳۹۶

دبیرخانه گروه تحقیقات

شرکت آب منطقه‌ای مازندران

استان مازندران، ساری، کیلومتر ۳ جاده ساری - قائمشهر

شرکت آب منطقه‌ای مازندران کدپستی: ۴۸۱۵۸۹۸۶۴۳

تلفکس گروه تحقیقات: ۳۳۳۴۷۸۱۵ (۰۱۱)

تلفن: ۳۳۳۴۷۸۰۱-۴ (۰۱۱) دورنگار: ۳۳۳۴۷۸۰۰ (۰۱۱)

پست الکترونیک: wrm.mz.research@gmail.com

www.mzrw.ir

وب سایت:



وزارت نیرو

شرکت مدیریت منابع آب ایران

شرکت آب منطقه‌ای مازندران

گروه تحقیقات و پژوهش‌های کاربردی

خلاصه گزارش طرح:

محیط رسوبی و دیاژنز سازند لار با تاکید بر روند کارستی شدن آن در مخزن سد گلورد و حوضه آبریز نکارود

کد طرح:

MAD-91012

پژوهشگر:

دکتر شهرام شریعتی

داور طرح:

مهندس خلیل‌الله فقهی

تاریخ انتشار:

۱۳۹۶

پروژه ارزیابی اثربخشی و مستندسازی پروژه‌های تحقیقاتی

شناسنامه طرح

این گزارش نتیجه اجرای طرح تحقیقاتی با عنوان «محیط رسوبی و دیاژنز سازند لار با تاکید بر روند کارستی شدن آن در مخزن سد گلورد و حوضه آبریز نکارود» می باشد که پیشنهاد انجام آن پس از داوری و بررسی در جلسه شماره ۲ مورخ ۹۱/۳/۱۱ کمیته تحقیقات آب منطقه ای مازندران مورد تایید قرار گرفت.

قرارداد این طرح در تاریخ ۹۳/۰۴/۵ به شماره ۸۶۱۹/۵۰۰ بین شرکت آب منطقه ای مازندران به عنوان کارفرما و دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری به عنوان مجری (مشاور) تنظیم و با حمایت و پشتیبانی مالی از محل طرح های عمرانی (تملك دارایی و سرمایه ای) شرکت آب منطقه ای مازندران انجام شده و در تاریخ ۹۵/۸/۹ خاتمه یافته است.

پژوهشگر این طرح دکتر شهرام شریعتی بوده، داوری نهایی طرح توسط مهندس خلیل الله فقهی انجام گردیده است.

گروه تحقیقات کاربردی
شرکت آب منطقه ای مازندران

محیط رسوبی و دیاژنز سازند لار با تاکید بر روند کارستی شدن آن در مخزن سد گلورد و حوضه آبریز نکارود

پژوهشگران: شهرام شریعتی، محبوبه اصغری، نادر کهنسال قدیموند، حمیدرضا ناصری،
جلال رجب قصرانی و حسین اصغری
کد طرح: MAD-91012

چکیده

در این مطالعه واحدهای کربناته سازند لار (ژوراسیک بالایی) در سه مقطع تحت الارضی شامل گمانه‌های GV1، BH9 و BH10، واقع در محل سد گلورد در جنوب بهشهر مورد بررسی قرار گرفته است. سازند لار در محدوده مورد مطالعه از دو واحد مجزا شامل سنگ آهک سفید بالایی و دولومیت خاکستری زیرین تشکیل شده است. این سازند به‌طور هم‌شیب بر روی سازند شمشک قرار گرفته است. تعداد ۱۳ میکروفاسیس از مادستون تا گرینستون و باندستون در این سازند تشخیص داده شده است که در چهار گروه محیطی دریای باز، پشته‌های سدی، لاگون و پهنه‌های جزرومدی قرار می‌گیرند. سازند لار علاوه بر دیاژنز دریایی تحت‌تأثیر دیاژنز متئوریک و تدفینی در سیستم دیاژنتیکی نیمه بسته تا باز قرار گرفته است. از بین فرایندهای دیاژنزی، انحلال، کارستی شدن و دولومیتی شدن از اهمیت بالاتری برخوردار می‌باشند. سیمای کارستی مشاهده‌شده در منطقه شامل کارن، آب فروچاله، غارها و غارچه‌ها و چشمه‌های کارستی می‌باشد. اغلب این اشکال در سنگ‌های آهکی سازند لار یا مرز زیرین آن با واحد دولومیتی تشکیل شده‌اند. مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در توسعه کارست در این سازند تکتونیک، لیتولوژی و دیاژنز به‌خصوص انحلال و دولومیتی‌شدن است. بر اساس مطالعات هیدروژئوشیمی، سیستم جریان موجود در چشمه‌های کارستی محدوده غالباً از نوع مجرای افشان می‌باشد. تیپ آب زیرزمینی محدوده نیز بیشتر از نوع بی‌کربنات کلسیم است. واحدهای آهکی و همچنین دولومیتی سازند لار سنگ منشأ اصلی آب زیرزمینی محدوده به‌ویژه چشمه‌ها را تشکیل می‌دهند. در بررسی‌های ژئوشیمی، رسم مقادیر عناصر فرعی و نیز نسبت‌های Sr/Mn و Na/Mn در طول ستون چینه‌شناسی سازند لار در گمانه GV1، نشان می‌دهد که ژئوشیمی به شناسایی پهنه‌های کارستی و روند توسعه آن‌ها کمک فراوانی می‌نماید.

کلید واژه‌ها: سازند لار، کارست، محیط رسوبی، دیاژنز، سد گلورد

مقدمه

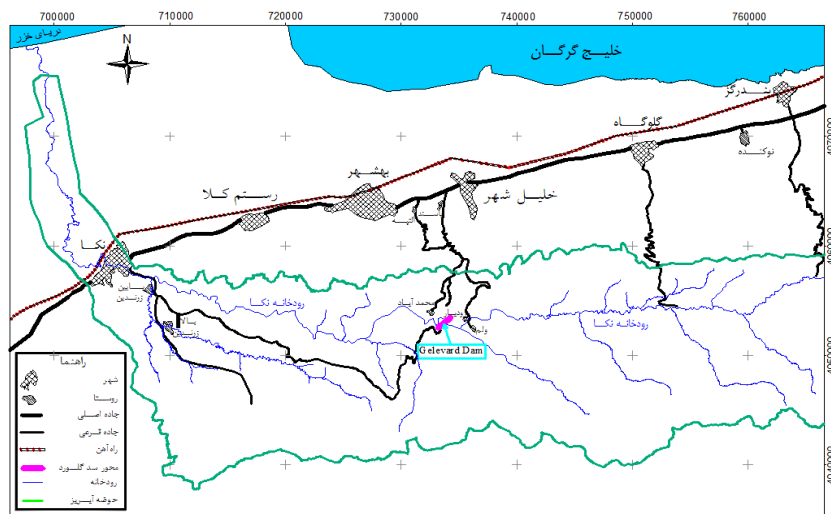
سازند کربناته لار بخش زیادی از ارتفاعات جنوب بهشهر را پوشش می‌دهد. این سازند با سنگ‌های انحلال‌پذیر در سطح یا نزدیک سطح زمین، برای کارستی شدن بسیار مساعد می‌باشد. این رو گسترش آن در منطقه موجب شکل‌گیری انواع متنوعی از پدیده‌های کارستی مانند فروچاله و غار شده است. بین ژئومورفولوژی کارست و تکامل آن ارتباط تنگاتنگی وجود دارد، به‌طوری‌که فراوانی و توسعه پدیده‌های ریختاری کارست نشان‌دهنده گسترش کارست در منطقه می‌باشد (قبادی، ۱۳۸۸؛ Waele et al., 2009).

اهمیت مطالعه کارست سازند لار در این محدوده علاوه بر تأثیر آن در تغذیه آبخوان زیرزمینی که منبع اصلی تامین آب شرب منطقه است، وجود این سازند در تکیه‌گاه‌ها و پی سد مخزنی گلودرد است. مشاهده حفرات کارستی و سقوط مته در حین حفاری گمانه‌های اکتشافی سد، نگرانی وجود کارست توسعه‌یافته 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 گردیده است. در صورتی‌که سدها بر روی سنگ‌های انحلال‌پذیر مثل آهک قرار گرفته باشند، حفرات انحلالی موجود در این سنگ‌ها می‌توانند به‌صورت عاملی برای برقراری ارتباط هیدرولیکی بین آب‌های سطحی و زیرزمینی عمل کنند و در نتیجه در تسهیل جریان آب زیرزمینی نقش مهمی داشته باشند (Willmann, 2001). بنابراین تشخیص ویژگی‌های آبخوان زیرزمینی از جمله نوع جریان مجرای یا افشان نقش مهمی در طرح آب‌بندی سد دارد (رجائی و رئیس، ۱۳۷۹). همچنین بررسی غلظت یون‌های محلول در چشمه‌ها می‌تواند منعکس‌کننده خصوصیات کل سیستم کارستی باشد و به ارزیابی درجه کارستی شدن کمک نماید (Samani, 2001). بنابراین در مناطق مستعد، باید شناخت کاملی از مکانیسم تشکیل کارست و چگونگی گسترش آن به‌دست آورد (خانلری و همکاران، ۱۳۸۹؛ کرمی و همکاران، ۱۳۸۷).

داده‌های ژئوشیمیایی سنگ نیز می‌توانند به‌عنوان روشی مؤثر در تعیین مرز خروج از آب در سازندهای آهکی (Asghari et al., 2014) و نیز بررسی پدیده‌های کارستی در واحدهای کربناته مورد استفاده قرار گیرند (حیدری‌زاد و همکاران، ۱۳۹۲).

هدف از انجام این پژوهش، شناسایی پدیده‌های کارستی سازند لار در ارتفاعات جنوبی بهشهر، به‌خصوص محدوده سد گلودرد و همچنین استفاده از داده‌های ژئوشیمی سنگ به‌منظور ارزیابی میزان گسترش کارست در این سازند می‌باشد.

محدوده مورد مطالعه در حد فاصل طول جغرافیایی $53^{\circ}17'$ تا $53^{\circ}57'$ شرقی و عرض جغرافیایی $36^{\circ}26'$ تا $36^{\circ}44'$ شمالی واقع شده است. موقعیت سد گلورد در نقشه (شکل ۱) مشخص شده است.



شکل ۱- نقشه موقعیت و راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، به منظور شناسایی پدیده‌های کارستی در منطقه، اسنادی مانند تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی و گزارشات ژئوتکنیک و زمین‌شناسی مهندسی سد بررسی گردید. سپس جهت مطالعه دقیق‌تر بازدیدهای صحرایی متعددی از منطقه انجام گرفته و اشکال کارستی مهم منطقه به‌خصوص در محدوده سد گلورد شناسایی شد. در این مرحله همچنین از یک گروه غارنورد حرفه‌ای برای پیمایش غارها و عکس‌برداری 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 مقطع نازک سنگ (به تعداد ۱۰۱ عدد) و آزمایش‌های ژئوشیمی سنگ انجام شد. به دلیل پوشش گیاهی انبوه منطقه و نبود ستون کامل سازند لار در سطح زمین، از مغزه‌های مربوط به مقطع زیر سطحی (گمانه GV1) استفاده گردید.

پس از مطالعه مقاطع 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) بر حسب پی‌پی‌ام (ppm) می‌باشد.

جهت بررسی تغییرات هیدروژئوشیمی، چشمه‌های مجاور سد گلورد شامل چشمه جزئی (Sp1) و پایین رودبار (Sp3) در فاصله زمانی بهمن ۱۳۹۱ تا مرداد ۱۳۹۲، در مجموع هفت بار مورد نمونه‌برداری قرار گرفتند. نمونه آب چشمه‌های محدوده مخزن سد (۹ چشمه) نیز در دو نوبت پربابی (فروردین) و کم‌آبی (مرداد) سال ۱۳۹۲، هم‌زمان با چشمه‌های مذکور برداشت گردید. سپس نمونه‌های آب در آزمایشگاه شیمی شرکت آب منطقه‌ای مازندران برای مشخص شدن غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی مورد آنالیز قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که با توجه به حساسیت پارامترهای هدایت الکتریکی، pH و دما، این پارامترها توسط دستگاه Portable WTW، در محل اندازه‌گیری شده‌اند. این دستگاه دارای دقت اندازه‌گیری ۰/۵ میکروموس بر سانتی‌متر برای هدایت الکتریکی و ۰/۱ درجه برای دما و نیز ۰/۰۱ برای pH می‌باشد. برای رسم نمودارهای شیمی از نرم‌افزار AqQA 1.0 و جهت محاسبه نمایه‌های اشباع از نرم‌افزار PhreeqcC 2.6 استفاده شده است.

نتایج و بحث

خصوصیات چینه‌شناسی سازند لار

سازند لار از مهم‌ترین سازندهای موجود در منطقه است که ضخامت آن با توجه به عمق دره‌ها و مطالعات ژئوفیزیک انجام شده حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ متر می‌باشد (صحراکاو، ۱۳۸۴). این سازند از دو واحد مجزا شامل سنگ آهک سفید بالایی و دولومیت خاکستری زیرین تشکیل شده است. در برخی مناطق واحد دولومیت آهکی در حد فاصل آن‌ها قرار دارد و گذر بین این دو واحد را تشکیل می‌دهد. در بخش زیرین واحد دولومیتی نودول و لایه‌های چرت مشاهده شده است. سازند لار به‌طور مستقیم و هم‌شیب بر روی سازند شمشک قرار دارد. مرز بالایی آن فرسایشی است که توسط واحدهای میوسن پوشیده شده است. سازند دلیچای و واحدهای کرتاسه زیرین در محدوده مورد مطالعه مشاهده نشده‌اند.

در برش‌های تحت‌الارضی مورد مطالعه تعداد ۱۳ میکروفاسیس شناسایی شدند. با توجه به میکروفاسیس‌های موجود و شواهدی مانند نبود ساختارهای ریفی بزرگ، نبود ساخت‌های ریزشی و تغییرات تدریجی رخساره‌ها، برای سازند لار مدل رسوبی پلتفرم کربناته کم‌عمق از نوع رمپ پیشنهاد شده است.

کربنات‌های سازند لار پس از ته‌نشست تحت‌تأثیر انواع مختلفی از فرایندهای دیاژنتیکی مانند سیمانی شدن، انحلال و کارستی شدن، تراکم، نئومورفیسم، آهن‌دار شدن، سیلیسی شدن، دولومیتی شدن و دولومیت‌زدایی قرار گرفته است. از بین این فرایندها انحلال و کارستی شدن از اهمیت بالاتری نسبت به بقیه برخوردار می‌باشند.

- کارست سازند لار

- ژئومورفولوژی کارست

نتیجه عمل کارستی شدن ایجاد مورفولوژی ویژه‌ای است که مناطق کارستی را از نواحی غیرکارستی متمایز می‌کند. در منطقه مورد مطالعه پدیده‌های کارستی از عوارض کوچک مقیاس مانند حفرات انحلالی ریز و کارنها تا عوارض بزرگتر مانند غارها وجود دارد. مشخص‌ترین اشکال کارستی مشاهده شده در منطقه و نیز محدوده مورد مطالعه در ادامه معرفی شده است.

- کارنها: از فراوان‌ترین مورفولوژی کارستی منطقه هستند. این آثار در هر دو بخش آهکی و دولومیتی سازند لار مشاهده می‌شوند، هر چند تنوع و تراکم آن در واحدهای دولومیتی کمتر و ابعاد آن‌ها بسیار کوچک‌تر است. این تفاوت احتمالاً به دلیل انحلال‌پذیری بالاتر سنگ‌های آهکی و استعداد بیشتر آن‌ها برای کارستی شدن است. از جمله کارنهاهای مشاهده شده در توده سنگ‌های آهکی منطقه، کارنهاهای انحلالی با اندازه‌های مختلف است که به صورت کارن لانه زنبوری در سطح سنگ یا کارن خطی در امتداد لایه‌بندی سنگ دیده می‌شوند (شکل ۲).

- فروچاله‌ها (Sinkholes): از دیگر اشکال کارستی مشاهده شده در سازند لار محدوده مورد مطالعه هستند که بر اساس تقسیم‌بندی فروچاله‌ها (Ford and Williams, 2007)، عمدتاً از نوع انحلالی-ریزشی می‌باشند. در مطالعات صحرایی محدوده مورد مطالعه، فروچاله‌هایی مشاهده گردید. موقعیت این فروچاله‌ها با GPS تعیین و بر روی نقشه مشخص شده است. یکی از فروچاله‌های بزرگ محدوده در مسیر جاده بهشهر به روستای کنت، در مجاورت ایستگاه جنگل‌بانی چاخانی واقع شده است. فروچاله دیگری در جنوب شهر رستم‌کلا واقع شده که به او فرو معروف است (شکل ۳).



شکل ۲- نمایی از کارن‌های لانه زنبوری و خطی ایجاد شده در واحد آهکی سازند لار (دید به شمال)



شکل ۳- نمایی از دهانه فروچاله اوغور و سنگ‌های آهکی حاشیه آن (دید به شمال)

فروچاله‌های دیگری نیز در منطقه وجود دارند که از نظر ابعاد و گسترش دارای اهمیت کمتری هستند. خلاصه مشخصات فروچاله‌های مشاهده شده در محدوده مورد مطالعه در جدول ۱ ارایه شده است.

بررسی پراکندگی فروچاله‌ها و انطباق آن با وضعیت زمین‌شناسی و تکتونیک منطقه نشان می‌دهد که بیشتر فروچاله‌ها در یک راستا و در امتداد محور تاقدیس خزر (پشت ناز) یا مجاورت آن قرار دارند. بنابراین مهم‌ترین عامل تشکیل فروچاله‌ها در سازند لار محدوده مورد مطالعه فرایندهای تکتونیکی به‌خصوص چین‌ها و گسل‌های کششی حاصل از آن است که موجب خردشدگی شدید سنگ‌های آهکی و سپس انحلال و فرو ریختن آن‌ها شده است.

جدول ۱- خلاصه مشخصات فروچاله‌های مشاهده شده در سازند لار محدوده مورد مطالعه

نام فروچاله	علامت اختصاری	مختصات UTM		تراز (m)
		Y	X	
-	SH1	۴۰۵۷۲۵۲	۷۱۵۰۱۳	۳۶۰
اوفرو	SH2	۴۰۵۷۰۵۹	۷۱۹۷۶۵	۵۴۴
چاه خونی	SH3	۴۰۵۶۹۶۵	۷۲۷۳۳۷	۸۱۰
دیوچاه	SH4	۴۰۵۳۹۶۳	۷۲۶۷۹۱	۸۰۲
-	SH5	۴۰۵۸۸۱۲	۷۳۰۲۰۵	۷۳۲
-	SH6	۴۰۵۹۴۵۴	۷۳۱۴۵۰	۵۴۱

- **غارها و غارچه‌ها:** از پدیده‌های کارستی مهم مشاهده شده در محدوده هستند. آن‌ها بخش‌هایی از مجراهای کارست فعال قدیمه را نشان می‌دهند (Milanovic, 1981). در حوضه آبریز نکارود در محدوده مورد مطالعه بارش‌ها نسبتاً زیاد بوده و آب باران غنی از گاز CO_2 می‌باشد. بنابراین با اولین تماس آن با سنگ‌های آهکی انحلال شروع می‌شود. انحلال موجب توسعه درز و شکاف‌های موجود شده است. پس از وسیع شدن این درزه‌ها، فضاها تنگ باز شده و آب در آن‌ها جریان یافته است. جریان آب در درزه‌ها و شکستگی‌ها فرایند انحلال را سرعت بخشیده و مجراهای انحلالی ایجاد شده به تدریج بزرگ‌تر شده و غارها و غارچه‌ها شکل گرفته‌اند.

- **غار گلودرد:** از مهم‌ترین غارهای مشاهده شده در محدوده مورد مطالعه ست. این غار در جناح راست مخزن سد گلودرد و در فاصله حدود ۲ کیلومتری بالادست ساختگاه سد مشاهده گردیده است (شکل ۴). دهانه غار به ابعاد ۳*۴ متر، قوسی شکل بوده و در تراز حدود ۷۳۳ متر از سطح دریای آزاد قرار دارد. این دهانه ورودی اصلی غار بوده و حدود ۴-۵ متر بالاتر از دهانه فرعی غار قرار دارد که ریزش سنگ‌ها موجب بسته شدن آن گردیده است.

تالارهای متعددی در دالان اصلی مشاهده می‌شود که دارای ابعاد متفاوتی بوده و توسط دهلیزهای نسبتاً تنگ به هم وصل می‌شوند. دیواره‌های غار در بعضی قسمت‌ها پوشیده از سنگ آهک‌های گل‌کلمی می‌باشد. بخش دیگر غار چاهی است که در فاصله حدود ۵۰ متری ورودی غار قرار دارد. این چاه پلکانی بوده و حداکثر عمق آن حدود ۱۸ متر است (شکل ۵). در انتهای چاه دو دهلیز با جهت‌های مخالف وجود دارد. یکی از آن‌ها به سمت جنوب (دره اصلی رودخانه) و دیگری به سمت شمال است.



شکل ۴- تصویر ماهواره‌ای Google earth از محل غار مشاهده شده در جناح راست مخزن گلورد



شکل ۵- تصاویری از تالارها و چاه موجود در غار گلورد و قطعات سنگی مشاهده شده در کف آن

با توجه به نقشه زمین‌شناسی مخزن سد گلورد، امتداد گسل رودبار که از نزدیک ساختگاه سد گلورد شروع شده و در جناح راست مخزن ادامه یافته به غار مورد مطالعه منتهی می‌شود. به احتمال زیاد تلاقی این گسل با گسل ولم که دارای امتداد تقریباً جنوب‌غربی شمال‌شرقی است، موجب خردشدگی زیاد سنگ‌های آهکی شده و آن‌ها را مستعد کارستی شدن نموده است.

در شمال غار ارتفاعاتی با فرازای بیش از ۱۱۰۰ متر قرار دارند که موجب جدایی آن از دشت بهشهر شده‌اند. از این‌رو حداقل فاصله غار از مناطق کم‌ارتفاع شمالی با تراز پایین‌تر از کف غار حدود ۵ کیلومتر است. با وجود این به دلیل وجود فروچاله‌ها و غارهای دیگر در این منطقه که

شناسایی اغلب آن‌ها به دلیل پوشش گیاهی انبوه مشکل می‌باشد، احتمال برقراری ارتباط غار مورد مطالعه با غارها و مجراهای دیگر و از طریق آن‌ها به بخش‌های پایین‌دست ناممکن نیست. از طرفی فاصله غار از ساختگاه و چشمه پایین‌دست سد (جزی) حدود ۲ کیلومتر است. امتداد یافتن گسل رودبار از محل غار تا پایین‌دست ساختگاه نیز ممکن است مجرای بالقوه‌ای را ایجاد نموده باشد که پس از آبیگری سد موجب خروج بخشی از آب مخزن به بیرون سد شود. بنابراین با توجه به اهمیت مسأله آب‌بندی مخزن سد گلورد باید در مورد این غار راهکاری اندیشیده شود.

- چشمه‌های کارستی: بر اساس شرایط زمین‌شناسی و تکتونیکی می‌توان چشمه‌های کارستی را رده‌بندی کرد.

چشمه جزئی در فاصله حدود ۲۰۰ متری پایین‌دست محور سد و در جناح راست رودخانه واقع شده است. مظهر اصلی چشمه پس از شروع عملیات سدسازی حدود ۱۰۰ متر جابه‌جا و به تراز پایین‌تر از مظهر اولیه انتقال یافته است (شکل ۶). آبدهی اندازه‌گیری‌شده در طول زمان نمونه‌برداری (بهمن ۹۱ تا مرداد ۹۲) از حدود ۳۰ تا ۵۶ لیتر در ثانیه متغیر است.



شکل ۶- تصاویری از چشمه کارستی جزئی واقع در پایین‌دست سد گلورد (دید به سمت شمال‌شرق)

چشمه جزئی از واحدهای آهکی سازند لار خارج می‌شود. در تکیه‌گاه راست سد و در فاصله نزدیک به این چشمه عوارض کارستی متعددی مانند حفرات کارستی بزرگ مشاهده شده است. چشمه اسپه او واقع در جناح راست رودخانه نکا با آبدهی ۱۵ لیتر بر ثانیه در فصل خشک (مرداد) تا حداکثر ۱۵۰ لیتر در ثانیه، یکی از چشمه‌های مهم محدوده می‌باشد. هر چند دهانه اصلی چشمه در

ارتفاع حدود ۱۰۰ متری نکارود قرار دارد، اما مظهر چشمه در یک نقطه متمرکز نیست. آب در فاصله این ۱۰۰ متر از چندین نقطه خارج می‌شود و با توجه به شیب نسبتاً تند دامنه به شکل آبشار پلکانی به پایین می‌ریزد (شکل ۷).

چشمه آبشار اسپه او که از واحد دولومیتی سازند لار خارج می‌شود، از نوع کارستی - گسلی می‌باشد که در امتداد گسل فرعی با جهت شمال شرقی - جنوب غربی خارج می‌شود.



شکل ۷- نمایی از چشمه - آبشار اسپه او (دید به سمت شمال شرق)

- عوامل موثر در توسعه کارست

عوامل موثر در توسعه کارست محدوده مورد مطالعه شامل لیتولوژی، چینه‌شناسی، رخساره‌ها، دیاژنز و تکتونیک می‌باشند. از بین عوامل اشاره شده تکتونیک دارای اهمیت ویژه است. در منطقه مورد مطالعه نیروهای تکتونیکی از فعالیت زیادی برخوردارند. گسل‌های خزر و شمال البرز که از شرق منطقه شروع شده و تا کیلومترها به سمت غرب ادامه می‌یابند، در حال حاضر نیز فعال هستند. فعالیت این گسل‌ها توام با ایجاد برخی گسل‌های فرعی و نیز سیستم‌های درزه و شکاف در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

چین‌خوردگی‌های منطقه از جمله تاقدیس خزر با بالا آوردن و رخنمون سازندهای کربناته از جمله لار، عامل مهمی در کنترل جهت جریان آب زیرزمینی هستند. چین‌خوردگی‌های ایجاد شده و گسل‌ها و درزه‌های ناشی از فعالیت تکتونیکی، موجب خردشدگی، افزایش نفوذپذیری و توسعه آبخوان کارستی در سنگ‌های آهکی سازند لار و نیز کرتاسه در این منطقه شده است.

روند عمومی نیروهای تکتونیکی تأثیرگذار در منطقه شمالی- جنوبی است و اکثر گسل‌ها، درزه‌ها و سطوح ناپیوستگی امتدادی شرقی- غربی دارند. فضاهای خالی موجود در زیرزمین عمدتاً در جهاتی توسعه می‌یابند که درز و شکاف‌ها و گسل‌ها در آن جهت شکل گرفته‌اند. هر چند غارهای کوچکی در سطح زمین نیز مشاهده می‌شوند اما به نظر می‌رسد تمرکز غارها بیشتر در بخش‌های عمیق‌تر سنگ‌های کربناته است. توزیع غارچه‌ها و مجاری انحلالی کوچک‌تر امتداد ناپیوستگی‌های لیتولوژیکی را تعقیب می‌کنند. از طرف دیگر برای جریان یافتن آب در توده سنگ میزان بازشدگی باید به $0/2$ میلی‌متر برسد (Milanovic, 1981).

با توجه به نقشه ساختاری محدوده اغلب فروچاله‌ها به موازات محور تاقدیس خزر قرار گرفته‌اند. غارهای مشاهده شده در محدوده مورد مطالعه نیز غالباً در مجاورت یک گسل و یا محل تلاقی دو گسل ایجاد شده‌اند. چشمه‌های پرآب محدوده با آبدهی بالای ۵ لیتر در ثانیه نیز اغلب در نزدیکی غارها و فروچاله‌ها واقع شده‌اند و به احتمال زیاد دارای ارتباط هیدرولیکی با آن‌ها می‌باشند.

- کارست سد گلودر

در رخنمون‌های سطحی واحد آهکی سازند لار در محل ساختگاه سد گلودر، خردشدگی سطحی توده‌های سنگ به صورت‌های نامنظم و توسعه درز و شکاف‌های فراوان و اثرات انحلال کارستی در امتداد این درزه و شکاف‌ها به فراوانی مشاهده می‌گردد.

از پدیده‌های مرتبط با کارست می‌توان به آب فروچاله قدیمی و جابه‌جا شده در تکیه‌گاه چپ مخزن اشاره نمود که در گذشته با وقوع سنگ لغزش دچار جابه‌جایی گردیده است. دهانه خروجی برخی چشمه‌های قدیمی مشرف بر نکارود نیز در طبقات سنگ آهک لار و یا در حد فاصل بین واحدهای خاکستری و سفید لار مشاهده گردیدند. در بررسی‌های صحرایی ابعاد دهانه‌های خروجی این چشمه‌ها در محدوده ساختگاه سد بین $0/3$ تا یک متر برآورد گردید. این دهانه‌ها که در نزدیکی محل قبلی چشمه کارستی جزئی واقع شده بودند، پس از ساخت سد توسط واریزه‌های سنگی پوشیده شده‌اند و از این رو قابل مشاهده نمی‌باشند.

از دیگر پدیده‌های کارستی مشاهده شده در محدوده سد، حفرات کارستی موجود در تکیه‌گاه‌ها است. پاک‌سازی سطح پلینث (Plinth) جناح راست سد منجر به شناسایی یک حفره کارستی نسبتاً

بزرگ در تراز حدود ۶۹۰ متر گردید (مشارکت اویول- آب نیرو، ۱۳۹۰). قطر این حفره در سطح حدود ۴-۵ متر و عمق آن بیش از ۳ متر تخمین زده شد. واحدهای سنگی دربرگیرنده حفره بخش زیرین سنگ آهک سفید رنگ بالایی می‌باشد. داخل حفره توسط رسوبات ریزدانه سبز زیتونی تا اکسید آهن قهوه‌ای پر شده بود. در سقف آن آثار استالاگتیت و در کف آن استالاگمیت به اندازه چند سانتی‌متر مشاهده گردید (شکل ۸).



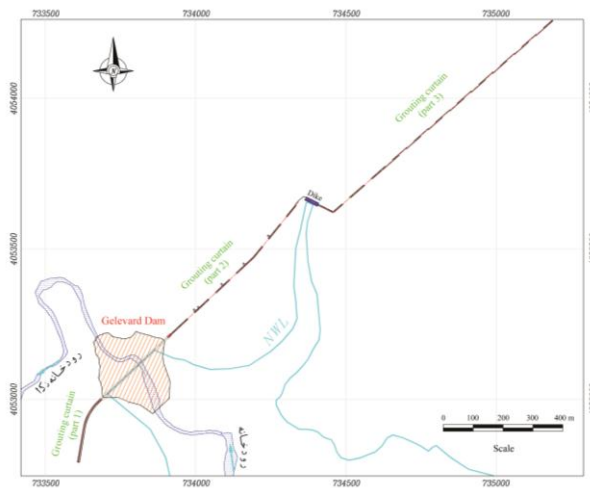
شکل ۸- حفره کارستی مشاهده شده در تکیه‌گاه راست سد. در تصویر زیرین استالاگتیت و استالاگمیت‌های نهشته شده در سقف و کف حفره نشان داده شده است (دید به سمت شمال شرق)

- طرح آب‌بندی سد گلورد

با توجه به اهمیت آب‌بندی سد در مناطق کارستی، خلاصه‌ای از گزارش طرح آب‌بندی سد گلورد که توسط مشارکت اویول- آب نیرو (۱۳۹۴) تهیه شده با اعمال تغییرات ضروری ارائه می‌گردد. قابل ذکر است که در گزارش مذکور نام سازند لار به اشتباه کرتاسه و گاهی واحدهای آهکی ژوراسیک تا کرتاسه عنوان شده است که در این جا تصحیح گردیده است.

- مشخصات کلی پرده آب‌بند سد گلورد

جانمایی قسمت‌های مختلف پرده آب‌بند در شکل ۹ نشان داده شده است. هر کدام از قسمت‌ها شامل چند گالری و یا بخش‌های مختلفی است که به‌طور خلاصه در ادامه اشاره می‌گردد.



شکل ۹- نقشه جانمایی پرده آببند طرح سد گلورد (اقتباس با تغییرات از اویول- آب نیرو، ۱۳۹۴)

در جناح چپ جایگاه سد، سنگ آهک سفید و دولومیت خاکستری لار در بالا و سازند شمشک در زیر آن‌ها قرار گرفته است. پرده آببند در تمامی ضخامت سنگ آهک‌ها تشکیل شده و از پایین به سازند شمشک دوخته شده است. در انتهای جناح چپ نیز سازند شمشک به تدریج به سمت بالا حرکت کرده است. بالاآمدگی سازند شمشک در این بخش در اثر گسل رودبار صورت گرفته است. بنابراین در انتهای جناح چپ نیز پرده آببند به سازند شمشک محدوده گردیده است.

در اطراف پلیت سد، سنگ آهک سفید و دولومیت خاکستری لار در بالا و سازند شمشک در زیر قرار گرفته است. پرده آببند در کل ضخامت سنگ آهک تشکیل شده است و از پایین به سازند شمشک دوخته شده است. در این محدوده با توجه به کاهش تدریجی تراز توپوگرافی در بالادست محور سد و به عبارتی در بخش‌های میانی پلیت سنگ آهک سفید وجود ندارد و پرده آب بند مستقیماً در سنگ آهک خاکستری تشکیل شده است.

با توجه به اهمیت آببندی پلیت گرداگرد بدنه سد، ضمن دو ردیفه و حتی ۴ ردیفه بودن پرده آببند، این پرده از پایین به سازند غیرقابل نفوذ شمشک دوخته شده است.

در جناح راست محور سد حفرات انحلالی بیشتری وجود داشته و کارست کاملاً توسعه یافته است. پرده آببند در این بخش نیز در کل ضخامت سنگ آهک سفید و دولومیت خاکستری لار تشکیل شده

و از پایین به سازند شمشک دوخته شده است. در این مسیر نیز دو ردیف گالری منظور شده است که به علت شیب لایه بندی و بالا آمدن تدریجی سازند شمشک گالری زیرین دارای طول کمتری بوده و در انتهای مسیر با توجه به بالا آمدن سازند شمشک تنها از همان گالری بالایی تزریق می گردد.

دره خانه سر که در جناح راست مخزن سد قرار دارد، دره ای کارستیک می باشد که کارست (زون KK) در آن بسیار توسعه یافته و دارای ضخامت قابل توجهی است. به منظور جلوگیری از پیشروی آب دریاچه به مناطق بالاتر و ممانعت از گریز آن به پایین دست پرده آب بند جناح راست، احداث یک دایک در این محدوده در نظر گرفته شده است. طول دایک حدود ۳۲ متر می باشد که با احتساب سنگ برداری زون کارستیک جناح چپ و راست، طول آن به حدود ۸۵ متر نیز رسیده است.

در جناح راست مخزن سد و تا بالادست روستای رودبار قدیم واحدهای دگرگونی گرگان رخنمون دارد که غیر قابل نفوذ می باشد. در مناطق بالادست آن واحدهای آهکی و دولومیتی سازند لار رخنمون دارند. با توجه به پدیده های کارستی مشاهده شده در این واحدها از جمله غار گلورد، ممکن است آب نفوذ یافته به داخل آن ها به سمت دایک و یا سنگ آهک های بالادست آن حرکت نموده و در نهایت به دلیل عدم وجود پرده آب بند در این بخش به پایین دست سد راه یابند. بدین منظور احداث یک گالری تزریق و پرده تزریق در این مسیر مدنظر قرار گرفت. طول این گالری حدود ۱۰۰۰ متر می باشد.

- هیدروژئوشیمی

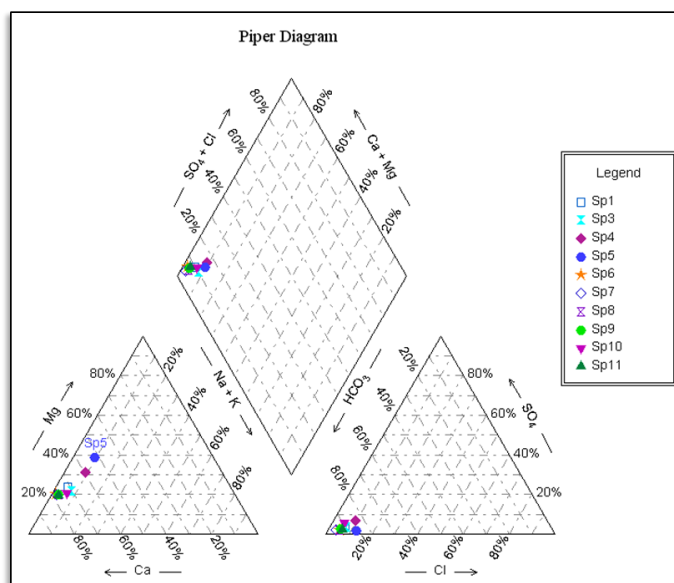
هنگامی که آب در امتداد خطوط جریان از منطقه تغذیه به سمت منطقه تخلیه حرکت می کند، شیمی آن توسط انواع گوناگونی از فرایندهای ژئوشیمیایی تحت تاثیر قرار می گیرد. این عوامل شامل میزان و مدت زمان بارش، شیمی آب نفوذی، کانی شناسی، پوشش گیاهی، خاک و نرخ تولید گاز در خاک می باشند.

- رخساره های هیدروژئوشیمیایی

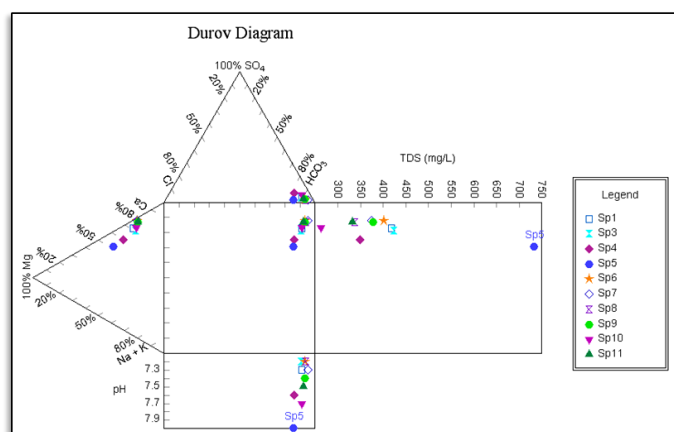
جهت تعیین و مقایسه تیپ و رخساره آب چشمه های محدوده، از داده های فروردین (دوره تر) و مرداد (دوره خشک) ۱۳۹۲ چشمه های محدوده برای رسم نمودار پایپر استفاده شده است (شکل ۱۰). با توجه به این نمودار، همه نمونه ها در مثلث کاتیون ها بین دو ضلع کلسیم و منیزیم، متمایل به سمت کلسیم و در مثلث آنیون ها در راس کربنات قرار گرفته اند. بنابراین آب این چشمه ها غالباً از نوع بی کربنات کلسیک و گاه منیزیک است.

محیط رسوبی و دیاژنز سازند لار با تاکید بر روند کارستی شدن آن ...

به منظور بررسی دقیق تر نتایج فوق از نمودار بسط داده شده دورو (Durov) استفاده شد. نمودار دورو چشمه های مخزن گلورد در ماه مرداد ۱۳۹۲ در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- نمودار پایپر مربوط به چشمه های مخزن سد در مرداد ۱۳۹۲

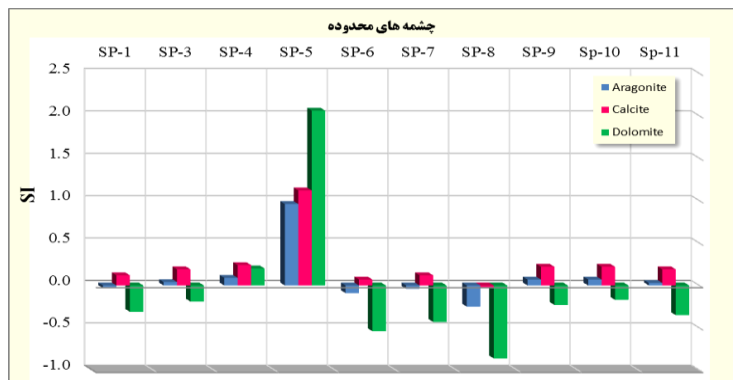


شکل ۱۱- نمودار دورو مربوط به چشمه های مخزن سد در مرداد ۱۳۹۲

با توجه به نمودارهای پایپر و دورو، اغلب چشمه‌های محدوده مورد مطالعه دارای ترکیب شیمی مشابهی هستند. کاتیون و آنیون غالب در آب چشمه‌ها به ترتیب Ca^{2+} و HCO_3^- است و تیپ آب آن‌ها از نوع بی‌کربنات کلسیک می‌باشد. ترتیب کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب چشمه‌های محدوده به صورت $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$ و $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ می‌باشد. بیشتر چشمه‌های محدوده از واحدهای کربناته سازند لار خارج می‌شوند. تیپ آب این چشمه‌ها از نوع بی‌کربنات کلسیک - منیزیک می‌باشد.

- تعیین نوع جریان

به منظور ارزیابی سیستم غالب جریان در آبخوان‌های کارستی، محققین مختلف از معیارهای گوناگونی استفاده کرده‌اند (Atkinson, 1977; Quinlan et al., 1991; Drew et al., 1996). از مهم‌ترین این معیارها استفاده از بررسی تغییرات زمانی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب چشمه‌ها و نیز نمایه‌های اشباع می‌باشد که در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است. در واحدهای آهکی ضخیم لایه تا توده‌ای سازند لار که بسیار مستعد انحلال هستند، عمدتاً سیستم‌های کارستی با جریان مجرای ایجاد شده است. سیستم‌های کارستی با جریان افشان نیز بیشتر در کربنات‌های با لایه‌بندی متوسط تا نازک و درجه خلوص کمتر مشاهده می‌شود. بررسی نمایه‌های اشباع مربوط به چشمه‌های محدوده مخزن گلورد در مردادماه ۱۳۹۲، نشان می‌دهد که تقریباً تمامی چشمه‌های محدوده نسبت به کانی کلسیت اشباع و فوق اشباع می‌باشند. بیشتر چشمه‌های محدوده نسبت به کانی آراگونیت نیز اشباع و فوق اشباع هستند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- نمودار نمایه‌های اشباع چشمه‌های مخزن سد گلورد در مردادماه ۱۳۹۲

با توجه به سنگ مخزن کربناته اغلب چشمه‌های محدوده این مسأله دور از انتظار نیست. مثبت بودن نمایه‌های اشباع کلسیت و آراگونیت همچنین تأییدی بر صحت نوع جریان افشان در بیشتر چشمه‌های محدوده می‌باشد.

بررسی توزیع مکانی نمایه اشباع نشان می‌دهد که به‌استثنای چشمه SP5، بقیه چشمه‌ها دارای روندی مشابه می‌باشند که احتمالاً به‌دلیل تشابه در جنس سنگ مخزن یا مسیر جریان آن‌ها می‌باشد. همچنین با توجه به نمایه‌های اشباع چشمه‌های محدوده مورد مطالعه در ماه‌های فروردین و مرداد ۱۳۹۲، در طول تغییر دوره تر به دوره خشک تکامل ژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی محدوده به‌نحوی است که به‌میزان اشباع کلسیت و دولومیت افزوده می‌شود. علت آن می‌تواند کاهش حلالیت CO_2 در آب باشد که با افزایش دما رخ می‌دهد.

- ژئوشیمی کارست

در مطالعات زمین‌شناسی کارست علاوه بر انجام بررسی‌های صحرایی، با استفاده از آزمایش‌های متداول در تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سنگ و بهره‌گیری از نتایج حاصل نیز می‌توان میزان گسترش کارست را در محل مورد ارزیابی قرار داد.

جهت بررسی نقش خصوصیات شیمیایی سنگ در گسترش کارست و همچنین تغییرات شیمی سنگ در پهنه کارستی کربنات‌های سازند لار، از اطلاعات گمانه GV1 استفاده شده است. در این گمانه دو بخش کارستی وجود دارد 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.

- تغییرات عناصر فرعی

مؤلفه‌های اصلی آنالیز ژئوشیمیایی نمونه‌های کربناته سازند لار جهت تعیین محدوده‌های تحت‌تأثیر فرایند کارست شامل عناصر 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.

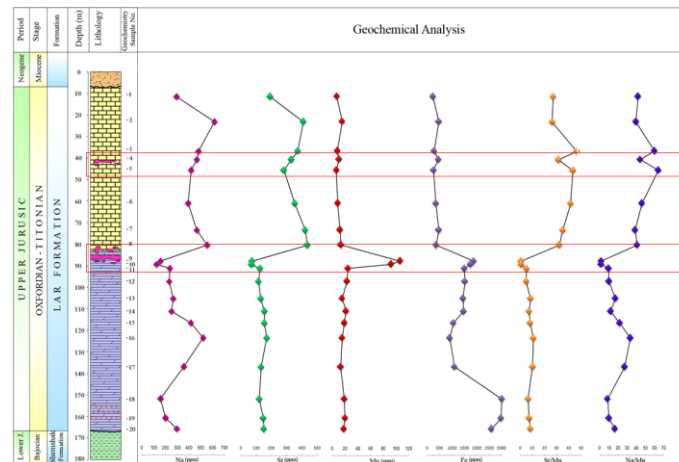
برخی از محققین معتقدند که مقدار Mn با افزایش فرایندهای دیاژنز متئوریکی افزایش می‌یابد. زیرا ضریب توزیع Mn حدود ۱۵ است و در آب‌های متئوریکی توزیع بالایی دارد (Brand and Viezer, 1980; Rao, 1990).

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. 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 فرایند متئوریک نسبت داد. 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 فرایند دیاژنز متئوریک و ته‌نشست ترکیبات آهن در این بخش از سازند لار باشد که موجب افزایش مقدار Fe شده است.

با رسم نمودار نسبت Sr/Mn در طول ستون چینه‌شناسی سازند لار مشاهده می‌شود که میزان آن در بخش آهکی بسیار بیشتر از بخش دولومیتی است. اما کاهش این نسبت در پهنه کارستی دوم علاوه بر تغییر لیتولوژی به دلیل فرایند انحلال در این بخش می‌باشد.

همچنین در طی فرایند دیاژنز متئوریک غلظت Na و به تبع آن نسبت Na/Mn به‌خصوص در مناطق کارستی‌شده که تماس آب‌های متئوریک با سطح سنگ افزایش می‌یابد، کاهش پیدا می‌کند (شکل ۱۳). با فاصله گرفتن از مرکز کارست و کاهش میزان حفرات و درزه‌ها، تماس آب‌های متئوریک با سطح سنگ کمتر شده و در نتیجه تأثیر دیاژنز متئوریک کاهش می‌یابد (Morse and Mackenzie, 1990) تا این‌که به حدود صفر می‌رسد.

با توجه به این‌که کاهش نسبت‌های Sr/Mn و Na/Mn با تغییرات سایر عناصر در طول توالی سازند لار هماهنگی دارد، بنابراین می‌توان آن را تحت‌تأثیر دیاژنز متئوریک و کارست در نظر گرفت.



شکل ۱۳- تغییرات عناصر فرعی و نسبت آن‌ها در طول ستون چینه‌شناسی سازند لار در گمانه GV1

نتیجه‌گیری

- بر اساس مجموعه مطالعات انجام شده در این تحقیق نتایج زیر حاصل شده است:
- سازند لار در محدوده مورد مطالعه از دو واحد مجزا شامل سنگ آهک سفید بالایی و دولومیت خاکستری زیرین تشکیل شده است. در برخی مناطق واحد دولومیت آهکی در حد فاصل آن‌ها قرار دارد.
 - در برش‌های تحت‌الارضی مورد مطالعه تعداد ۱۳ میکروفاسیس شناسایی و بر اساس وجود آن‌ها چهار محیط رسوبی از یکدیگر تفکیک شدند. با توجه به آن‌ها، برای سازند لار مدل رسوبی پلتفرم کربناته کم‌عمق از نوع رمپ پیشنهاد شده است.
 - کربنات‌های سازند لار پس از ته‌نشست تحت‌تأثیر انواع مختلفی از فرایندهای دیاژنتیکی نظیر سیمانی شدن، انحلال و کارستی شدن، تراکم، ثنومورفیسم، آهن‌دار شدن، سیلیسی شدن، دولومیتی شدن و دولومیت‌زدایی قرار گرفته است. از بین این فرایندها انحلال و کارستی شدن و دولومیتی شدن از اهمیت بالاتری نسبت به بقیه برخوردار می‌باشند.
 - سیمای کارستی مشاهده شده در منطقه شامل کارن، آب فروچاله، غار و غارچه و چشمه کارستی می‌باشد. اغلب این سیمایا در سنگ‌های آهکی سازند لار یا مرز زیرین آن با واحد دولومیتی تشکیل شده‌اند.
 - از مهم‌ترین پدیده‌های کارستی سازند لار در محدوده مورد مطالعه فروچاله‌ها و غارهای آهکی هستند که بیشترین تمرکز آن‌ها در بخش‌های مرکزی محدوده است. فروچاله‌ها و غارها غالباً در مجاورت هم واقع شده‌اند.

- از عوامل مهم مؤثر در توسعه کارست در محدوده مورد مطالعه، تکتونیک، لیتولوژی و دیاژنز به خصوص انحلال و دولومیتی شدن هستند. دولومیتی شدن موجب افزایش قابل توجه درصد تخلخل در واحدهای سنگی سازند لار شده است. هر چند بیشتر این تخلخلها مجزا هستند و دارای ارتباط مناسبی با هم نمی باشند، ولی در بخش هایی که فرایندهای تکتونیکی موجب ایجاد درزه ها و در نتیجه اتصال برخی از این تخلخلها شده است، مجراهای انحلالی گسترده همانند پهنه کارستی موجود در بخش بالایی واحد دولومیتی سازند لار شکل گرفته است.
- اغلب فروچاله های مشاهده شده در محدوده مورد مطالعه به موازات محور تاقدیس خزر قرار گرفته اند. غارهای موجود نیز غالباً در مجاورت یک گسل و یا محل تلاقی دو گسل ایجاد شده اند. چشمه های پرآب محدوده نیز غالباً در نزدیکی غارها و فروچاله ها واقع شده اند و به احتمال زیاد دارای ارتباط هیدرولیکی با آنها هستند.
- با توجه به نمودارهای پایپر و دورو، اغلب چشمه های محدوده مخزن گلودر دارای ترکیب شیمی مشابهی هستند. کاتیون و آنیون غالب در آب چشمه ها به ترتیب Ca^{2+} و HCO_3^- است و تیپ آب چشمه ها از نوع بی کربنات کلسیک و گاه منیزیک می باشد.
- محاسبه نمایه های اشباع برای چشمه های مخزن گلودر نشان می دهد که اکثر آنها در ماه های فروردین و مرداد دارای نمایه اشباع مثبت نسبت به کانی های کلسیت و آراگونیت می باشند. مثبت بودن نمایه های اشباع کلسیت و آراگونیت نمایانگر سیستم جریان افشان در بیشتر چشمه های محدوده می باشد.
- رسم مقادیر عناصر فرعی و نیز نسبت های Na/Mn و Sr/Mn در طول ستون چینه شناسی سازند لار در گمانه GV1، نشان دهنده افزایش مقادیر آهن و منگنز و کاهش میزان سدیم، استرانسیم و نسبت های مذکور در پهنه کارستی سازند لار می باشد. این تغییرات به دلیل نفوذ آب های جوی و تأثیر زیاد دیاژنز متئوریک در پهنه های کارستی می باشد که سبب تغییر خواص ژئوشیمیایی سنگ شده است. این تأثیر با فاصله گرفتن از مجراهای کارست به تدریج کاهش می یابد.
- در این بررسی گسله هایی چه در حوضه آبریز نکارود و چه در ساختگاه سد گلودر شناسایی و معرفی گردیدند. در یک نگاه سراسری، گستره شدیداً تکتونیزه و خرد شده است.
- علت جریان آب با الگوی دوگانه (مجرای - افشان) در گستره بررسی را می توان به ترکیب فرایندهای زمین ساختی (گسلش) که جریان مجرای ایجاد می نمایند با هوازدگی که جریان افشان پدید می آورد مرتبط دانست.

تشکر و قدردانی

از شرکت آب منطقه‌ای مازندران برای پشتیبانی مالی این طرح و همچنین مدیریت طرح سد گلورد به دلیل انجام همکاری‌های لازم در این پروژه سپاسگزاری می‌شود.

منابع

۱. حیدری‌زاد، م.، آقایی، ع. و عبدالحی منصورخانی، م. ۱۳۹۲. مطالعه ژئوشیمی پولیه کارستی حرکت (شمال‌شرق شهر مشهد). دو فصلنامه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۷، شماره ۱۳، صفحه ۷۷-۸۸.
۲. خانلری، غ.، حیدری‌ترکمانی، ر. و مؤمنی، ع.ا. ۱۳۸۹. مطالعات کارست و بررسی ویژگی‌های تزریق‌پذیری پی سنگ سد اکباتان (طرح افزایش ارتفاع). پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال بیست و ششم، شماره پیاپی ۴۱، صفحه ۵۷-۷۲.
۳. رجائی، ا. و رئیسی، ع. ۱۳۷۹. بررسی پتانسیل فرار آب در سازندهای کارستی مخزن و تکیه گاه سد میرزای شیرازی. مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس سدسازی، صفحه ۷۱۷-۷۲۷.
۴. شرکت صحرا کاو. ۱۳۸۴. گزارش نهایی مطالعات ژئوفیزیک ساختگاه سد گلورد. وزارت نیرو، شرکت آب منطقه‌ای مازندران، ۸۵ صفحه.
۵. قبادی، م.ح. ۱۳۸۸. زمین‌شناسی مهندسی کارست. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، چاپ دوم. ۳۲۰ صفحه.
۶. کریمی، غ.ح.، رجائی، ا. و کمالی‌نسیانی، م. ۱۳۸۷. کاربرد مطالعات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی در بررسی آب‌بندی سازندهای کارستی. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز.
۷. مشارکت اوپول- آب نیرو. ۱۳۹۰. گزارش فنی شماره ۷۸، بررسی حفره کارستیک زیر پلینث جناح راست سد گلورد. وزارت نیرو، شرکت آب منطقه‌ای مازندران.
۸. مشارکت اوپول- آب نیرو. ۱۳۹۴. تجزیه و تحلیل عملیات اجرایی پرده آب‌بند سد گلورد نکا- جلد اول: مشخصات کلی پرده آب‌بند و عملیات اجرایی تزریق سیمان. وزارت نیرو، شرکت آب منطقه‌ای مازندران.

9. 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, 35p. (In Press)
10. Atkinson, T.C. 1977. Diffuse flow and conduit flow in limestone terrain in the Mendip Hills, Somerset (Great Britain), J. Hydrol. 35: 93-110.
11. Brand, U. and Veizer, J. 1980. Chemical diagenesis of multicomponent carbonate system, II: stable isotopes, J. Sed. Petrol. 51: 987-997.
12. 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, pp. 37-47.
13. Ford, D.C. and Williams, P.W. 2007. Karst hydrogeology and geomorphology, John Wiley and Sons Ltd., 576p.
14. Milanovic, P.T. 1981. Karst hydrogeology, Water Resources Publication, 434p.
15. Morse, J.W. and Mackenzie, F.T. 1990. Geochemistry of Sedimentary carbonates: New Yorks, Elsevier, 707p.
16. Quinlan, J.F., Smart, P.L., Schindel, G.M., Alexander, E.C., Edwards, A.J. and Smith, A.R. 1991. Recommended administrative/regulatory definition of karst aquifer, principles for classification of carbonate aquifers, In third conference on hydrogeology, ecology, monitoring and management of ground water in karst terrains, National Ground Water Association, Dublin, Ohio, 118: 573-635.
17. Rao, C.P. 1990. Geochemical characteristics of cool-temperate carbonates, Tasmania, Australia. Carbonates and Evaporites, 5: 209-221.
18. Samani, N. 2001. Response of karst aquifer to rain fall and evaporation, Moharloo basin, Iran, J. Cave Karst Stud. 63: 33-40.
19. Waele, J.D., Plan, L. and Audra, P. 2009. Recent developments in surface and subsurface karst geomorphology: An introduction, Geomorphology, 106: 1-8.
20. 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 Tübingen.

Abstract

In this study carbonate sequence of Lar Formation (Upper Jurassic) have been studied in three subsurface sections such as GV1, BH9 and BH10 bore holes in Gelevar dam site in the southern of Behshahr. Lar formation is formed of two separated units in the study area, white limestone in the upper part and gray dolomite in the Lower part. This Formation is located on Shemshak Formation. Thirteen microfacies from mudstone to grainstone and boundstone were recognized in this formation. They are located in sub environments as open marine, shoal, lagoon and tidal flat. Lar Formation have been affected by marine, meteoric and burial diagenesis in the semi- closed to open diagenetic system. The processes of dissolution, karstification and dolomitization are more important. Karst features in this area include Karen, sinkholes, caves and karstic springs. Often these are formed in Lar limestones or their lower boundary with dolomites. The most important factors in karst development are tectonic, lithology and diagenesis, particularly the dissolution and dolomitization. According to hydrogeology, flow system in karst springs is often conduit diffuse type. The results indicate that hydrochemical facies of groundwater is almost calcium-bicarbonate. Calcareous and dolomite units of Lar Formation are the source rocks of groundwater particular springs. In geochemistry survey, the values of trace elements and some ratios as Sr/Mn and Na/Mn during Lar Formation stratigraphic column in GV1, shows that geochemistry helps to identify karstic zone and their development range.