Archive of SID

هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی منابع آبی محدوده ساختگاه سد رودبار لرستان

رادین اسپندار[۱] ، حسین ذاکرشبستری [۲و*]

۱. گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۲.

چکیده

سد و نیروگاه رودبار لرستان از نظر تقسیمات زمین‌شناسی ایران، در منطقه ساختمانی زاگرس بلند قرار دارد. ساختگاه و نیز بخشی از مخزن سد از سازند دالان به سن پرمین تشکیل شده است. همچنین در پایین دست محور سد، رخنمونی از سازند سروک به سن کرتاسهٔ بالایی وجود دارد که در اثر عملکرد گسل‌های راندگی در مجاورت سازند دالان قرار گرفته است. آب رودخانه رودبار از بارش‌های جوی و نیز زه‌کشی آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود. با توجه به موقعیت زمین‌شناسی و آب و هوایی منطقه، انتظار می‌رفت که فرایند کارستی شدن در نهشته‌های کربناته محدوده ساختگاه به خوبی گسترش داشته باشد، ولی طبق اطلاعات به دست آمده از مغزه گمانه‌ها و گالری‌های اکتشافی که در محدوده محور سد و تکیه‌گاه‌ها حفاری شده‌اند، به نظر می رسد آثار کارستی که بتواند یک شبکه زهکش در آن محدوده ایجاد کند، دیده نشده است. وجود گمانه‌های آرتزین در محدوده ساختگاه، وجود آبخوان محبوس (علاوه بر آبخوان آزاد) را تایید می‌کند. براساس نتایج آنالیز شیمیایی تعداد ۲۲ نمونهٔ آب از شش منبع آبی محدوده ساختگاه، غالب‌ترین تیپ‌های آب زیرزمینی بی‌کربناته کلسیک و سولفاته کلسیک می‌باشند. رودخانه آب رودبار، چشمه کیش و بخش خروجی تونل T2 به علت تغذیه از آبخوان‌های آزاد و زمان ماندگاری کم، تیپ بی‌کربناته ولی گمانه‌های آرتزین TG-4 و RB-8 و بخش ورودی تونل T2 به علت تماس با کانی‌های سولفات‌دار و نیز زمان ماندگاری بیشتر در سفره‌های محبوس، تیپ سولفاته دارند.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، سد رودبار لرستان، کارست، هیدروژئوشیمی.

مقدمه

بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی یکی از مطالعات پایه‌ای در طراحی و اجرای سدها می‌باشد. طرح سد و نیروگاه رودبار لرستان به عنوان اولین سد بلند در حوضه رودخانه دز، بر روی رودخانه آب رودبار و در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری (به خط مستقیم هوایی، حدود ۷۵ کیلومتری) جنوب شهرستان الیگودرز و در حدود ۴۶۰ کیلومتری جنوب غرب تهران در دست احداث است. ساختگاه سد در مختصات جغرافیایی ″۳۷ ′۴۱ °۴۹ طول شرقی و ″۲۳ ′۵۴ °۳۲ عرض شمالی واقع شده و رقوم محور، ۱۶۲۰ متر بالاتر از سطح دریاست. رودخانه آب رودبار در زیرحوضه بختیاری - زالکی از حوضه آبریز رودخانه دز علیا واقع شده و دارای سه شاخه اصلی به نام‌های کاکلستان (خاک بتیه)، قلیان، وهرگان و همچنین شاخه آب سفید است که در یک دره عمیق به سمت جنوب شرق با متوسط دبی سالیانه ۳۰/۲ مترمکعب در ثانیه در جریان می‌باشد (شرکت مهندسین مشاور قدس نیرو، ۱۳۸۳). در شکل ۱ پلان جانمایی طرح شامل سد، نیروگاه، تونل آب‌بر و تونل‌های دسترسی ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به احتمال فرار آب از تکیه‌گاه‌های چپ و راست و بخش‌هایی از مخزن در محدوده ساختگاه سد، به دلیل وجود توده‌های گسل‌خورده، زون‌های خردشده و درز و شکاف‌های بازشده، توجه به عوارض زمین‌ریخت‌شناسی و ارزیابی میزان توسعه کارست در محدوده ساختگاه سد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

روش مطالعه

در این تحقیق، ابتدا وضعیت زمین‌شناسی محدوده ساختگاه و سپس هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی منابع آبی محدوده، مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب، نسبت به شناسایی منشأ آبها و پدیده‌های کارست در محدوده ساختگاه سد اقدام گردید.

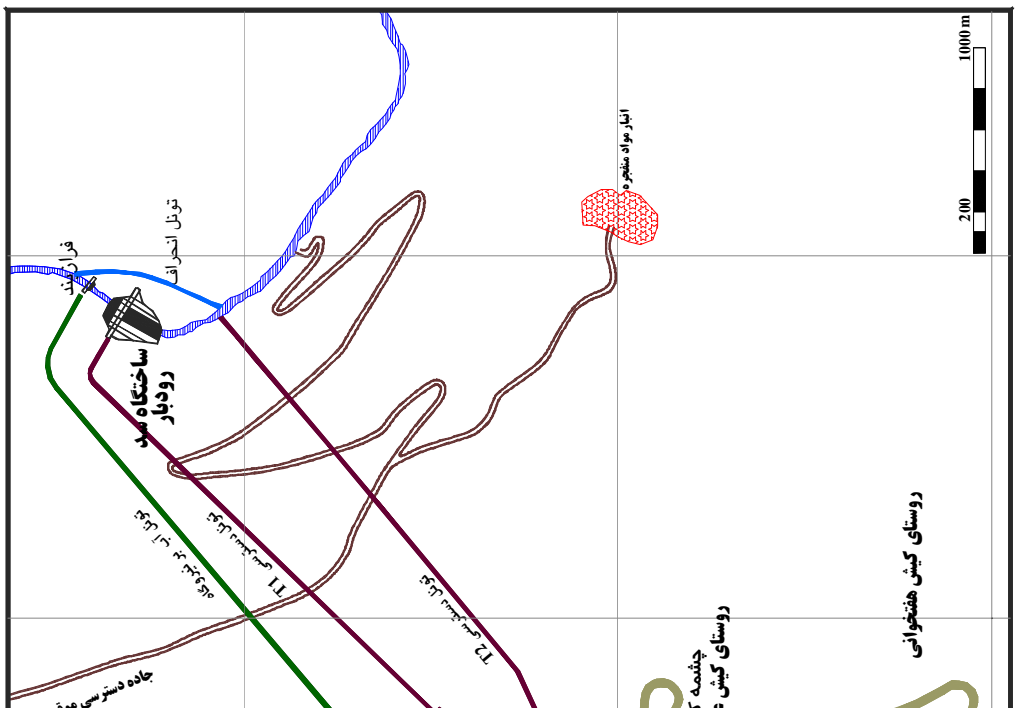
در بررسی‌های زمین‌شناسی، سازندها و واحدهای کربناته رخنمون یافته در محدوده ساختگاه سد، شناسایی شده و از نظر وجود یا نبود پدیده‌های کارست سطحی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

در بررسی‌های هیدروژئولوژی، اندازه‌گیری دوره‌ای سطح ایستابی گمانه‌های پیزومتری محدوده ساختگاه سد انجام شده است. در این تحقیق، از نتایج اندازه‌گیری در دو نوبت مهرماه ۱۳۸۳ و خردادماه ۱۳۸۴ به دلیل انطباق با انتهای دوره خشک و انتهای دوره مرطوب استفاده شده است.

همچنین به منظور بررسی هیدروژئوشیمی منابع آبی مورد مطالعه، چهار نوبت نمونه‌برداری در طی مهرماه ۱۳۸۳، فروردین ماه ۱۳۸۴، خرداد ماه ۱۳۸۴ و مرداد ماه ۱۳۸۴ از منابع آبی مورد نظر به عمل آمده است، که نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها در جداول ۲ تا ۵ آورده شده است.

بحث

حوضه آبریز سد رودبار لرستان از نظر تقسیمات زمین‌شناسی ایران، در زون ساختمانی زاگرس بلند قرار دارد. در این زون، ویژگی‌های زمین‌شناسی خاصی وجود دارند که سبب تمایز آن از سایر پهنه‌های ساختاری فلات ایران شده است. از جمله این ویژگی‌ها، ریخت‌شناسی حاکم بر آن است که از تفاوت‌های برجسته این زون با زون‌های مجاور آن (زاگرس چین‌خورده و زون سنندج - سیرجان) می‌باشد. تکتونیک شدید باعث به وجود آمدن شبکه گسترده‌ای از گسل‌ها و شکستگی‌ها و درزه‌ها شده است.



شکل ۱- پلان طرح سد و نیر

www.SID.ir

Archive of SID

بارش‌های جوی که با توجه به بلندای منطقه، برف بخش مهمی از آنها را تشکیل می‌دهد، از طریق نفوذ از کف آبراهه‌ها، شکستگی‌ها و درزه‌ها به درون سازندهای آهکی راه می‌یابند. حرکت آب‌های فرو رو و پدیده انحلال توسط آب‌های زیرزمینی به ویژه در زیر بستر رودخانه‌ها و در محل عملکرد گسل‌ها باعث گسترش شکستگی‌ها شده است. سیماهای متنوع کارستی مانند کارن[۱]، آبفروچاله، میله چاه، غار، چشمه (مانند چشمه ماهی چال)، آبشار (از جمله آبشار زیبای آب سفید) و پونور[۲] در حوضه آبریز آب رودبار مشاهده شده‌اند.

واحدهای سنگ‌چینه‌ای واجد برونزد در محدوده ساختگاه سد عبارتند از: سری هرمز و سازندهای میلا، دالان، گرو و سروک. تکیه‌گاه‌های راست و چپ و پی مرکزی و نیز بخشهایی از مخزن سد از سازند دالان (پرمین) تشکیل شده است. لیتولوژی این سازند در محل، شامل سنگ‌های آهکی (بیومیکرایتی)، آهک‌های دولومیتی و دولومیت (در برخی قسمت‌ها با میان لایه‌های نازک شیلی) است. این سازند براساس بررسی‌های

۱-Karren
۲-Ponor

www.SID.ir

Archive of SID

صحرایی و برمبنای خصوصیات لایه‌بندی چینه‌ها، به دو واحد Dn1 و Dn2 تقسیم شده است. در واحد Dn1 لایه‌ها عموماً حالت ضخیم لایه تا توده‌ای دارند و در واحد Dn2 چینه‌ها حالت متوسط لایه داشته و حالت توده‌ای در آنها کمتر است. این واحد در بالادست پی سد رخنمون دارد. در جناح چپ سد یک زون برشی و به شدت خردشده در این سازند وجود دارد.

همچنین در پایین دست محور سد (در هر دو جناح)، رخنمونی از سازند سروک (Sv) به سن کرتاسهٔ بالایی نیز وجود دارد که با توجه به ضخامت ۱۶۰ متری سد در پی، نشیب بند سد بر روی این سازند قرار خواهد گرفت. لیتولوژی این سازند در محل، آهک و آهک دولومیتی خاکستری روشن با میان لایه‌های شیلی می‌باشد و در اثر عملکرد گسل‌های راندگی در مجاورت سازند دالان قرار گرفته است (شرکت مهندسین مشاور قدس نیرو، ۱۳۷۸). در شکل ۲ نمایی از ساختگاه سد و در شکل ۳، نقشه زمین‌شناسی محدوده ساختگاه ارائه شده است.

با توجه به نوع لیتولوژی سازندهای سخت محدوده ساختگاه سد و وجود سطوح ناپیوسته‌ای چون درز و شکاف و گسل‌های فراوانی که دراین سنگ‌ها وجود دارد، آب‌های سطحی و نزولات جوی از آنها عبور نموده و پس از رسیدن به لایه‌های نفوذناپذیر، چشمه‌هایی را با بده آبی متفاوت به وجود آورده‌اند که در ساختگاه سد، آثاری از این چشمه‌ها به صورت حفرات انحلالی و لایه نازکی از کربنات کلسیم ته‌نشین شده (شبیه تراورتن) دیده می‌شود. آب این چشمه‌ها در رودخانه تخلیه می‌شده‌اند ولی هم اکنون این چشمه‌ها یا خشک شده‌اند و یا مظهرشان در پایین‌تر از سطح آب رودخانه واقع شده است. از سوی دیگر، چشمه‌هایی نیز در اطراف محدوده ساختگاه سد وجود دارند که از آن جمله می‌توان به چشمه نمک، چشمه روستای کیش (علیا)، چشمه روستای کیش هفتخوانی، چشمه بالادست روستای محمدآباد و چشمه‌هایی که وارد دره بزنوید می‌شوند اشاره نمود (شکل ۱). با توجه به اندازه‌گیری برخی پارامترهای شیمیایی، به نظر می‌رسد هر کدام از چشمه‌های فوق از منبع جداگانه‌ای تغذیه نموده و ارتباطی با یکدیگر ندارند (جدول ۱). مکانیسم تشکیل این چشمه‌ها را می توان سازندهای ناتراوایی چون میلا و سری هرمز با لیتولوژی غالب شیلی و مارن‌سنگی آنها دانست که از تمامی سازندهای موجود در محدوده مورد بررسی کهن‌تر بوده و در واقع بصورت سنگ بستر[۱] در زیر سازندهای جوان‌تر قرار گرفته‌اند و نقش یک مانع غیرقابل‌نفوذ را در مقابل آبگذری ایفا می‌نمایند.

بطور کلی می‌توان گفت که چشمه‌های کوچک با آبدهی کم، همانند چشمه‌های روستاهای کیش، کیش هفتخوانی، محمدآباد، نشان‌دهنده آن است که مساحت آبگیر چشمه، کوچک بوده و پدیده کارست توسعه خوبی نداشته است، در صورتیکه در چشمه‌های بزرگ با آبدهی بالا (مانند چشمه‌های تامین کننده آب رودخانه از جمله آب سفید) پدیده کارست توسعه زیادی یافته و مساحت حوضه آبگیر چشمه بزرگتر شده است. از نظر مصرف شرب، کیفیت آب چشمه‌های موجود (به استثنای چشمه نمک که به علت خروج از بخش نمکی سری هرمز شور است)، مطلوب هستند و اکثراً آب شرب روستاها و عشایر را تشکیل می‌دهند. همچنین در گستره ساختگاه سد، علاوه بر آبخوان‌های آزاد، به علت وجود گمانه‌های آرتزین و نیز خروج آب از تونل دسترسی T2، آبخوان‌های محبوس هم وجود دارند.

۱-Bedrock

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی‌های زمین‌شناسی سطحی در محدوده ساختگاه سد نشان می‌دهند که هرچند، شواهدی از کامنیکا[1] ، حفرات و شکاف‌های انحلالی (شبیه غار) دیده می‌شود، ولی به نظر می‌رسد که کارست درون واحدهای سنگ‌چینه‌ای محدوده ساختگاه (سازندهای دالان، سروک، گرو و دولومیت‌های سازند میلا که بالقوه می‌توانند از نظر توسعه کارست مطرح باشند)، از توسعه قابل‌توجهی برخوردار نمی‌باشد. شروع حفاری‌های اکتشافی و ادامه آن که منجر به فراهم آوردن اطلاعاتی راجع به سطح ایستابی و نفوذپذیری توده‌های سنگی در اعماق مختلف شد نیز تاییدی مجدد بر عدم توسعه کارست فعال در توده‌های کربناته محدوده ساختگاه بود.

همچنین با توجه به آنکه گسل‌های راندگی (در اثر فشارش) نسبت به گسل‌های نرمال، مجاری انحلالی کمتری ایجاد می‌کنند، بنابراین احتمالاً می‌بایستی کارست شدگی در منطقه (با وجود گسل‌های راندگی فراوان) ناچیز باشد. گسل‌ها ممکن است به شکلی عمل کنند که مانع حرکت آب شده یا مسیر آن را تغییر دهند، به عبارت دیگر، سبب قطع ارتباط هیدرولیکی لایه‌ها شوند. همچنین به علت وجود رس‌ها و یا رِکریستالیزاسیون بلورهای آهکی، سطح گسل کاملاً نفوذ ناپذیر شود (عملکرد منفی گسل‌ها) (Milanović, 1981).

جدول ۱- برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده مربوط به چشمه‌های محدوده سد (دی ماه ۱۳۸۳)

موقعیت	پارامتر			
	T(°C)	EC (µmho/cm)	TDS (mg/l)	Salinity
کمپ گله مویه	۱۸/۹	۳۰۳	۱۹۷	۰
چشمه کیش	۱۶	۸۶۳	۵۶۲	۰/۲
چشمه کیش هفتخوانی	۱۷/۶	۹۵۳	۶۲۲	۰/۲
چشمه محمدآباد	۱۳/٤	٤۹۲	۳۲۱	۰

۲-Kamenica

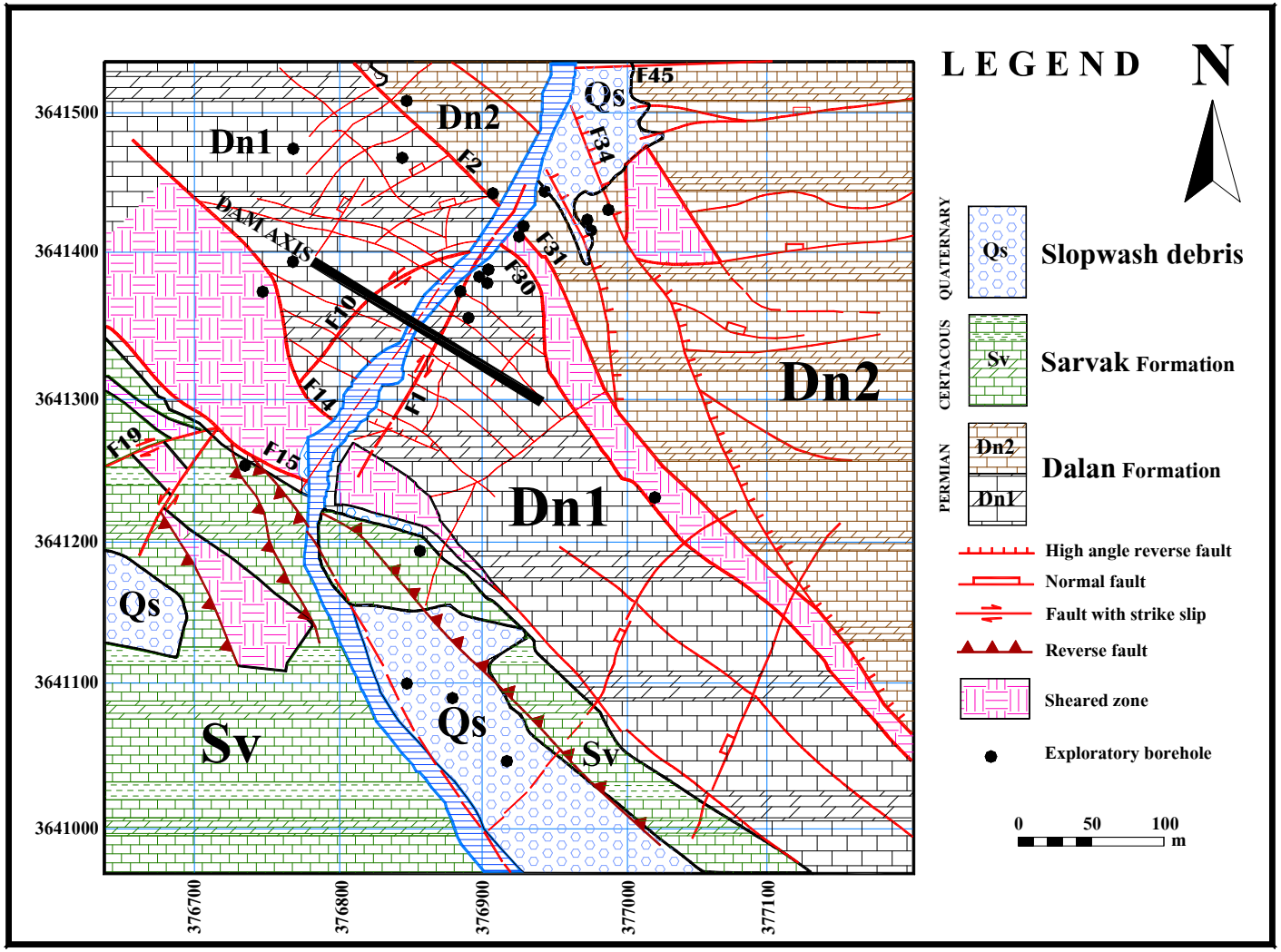
www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۲- نمایی از ساختگاه سد رودبار لرستان (دید از پایین‌دست به سمت شمال شرق)

به منظور مطالعات ژئوتکنیک و هیدروژئولوژی، گمانه‌های اکتشافی در محدوده ساختگاه سد حفر شده‌اند که از کل ۵۴ گمانه حفاری شده، حدود ۲۰ گمانه پیزومتری فعال باقی مانده است (شکل ۴). سه گمانه TG4، RB8 و RG2T1 (مربوط به فاز دوم مطالعات) به سفره تحت فشار برخورد نموده و آب به صورت آرتزین از آنها خارج می‌گردد. همانگونه که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، توزیع پیزومترهای موجود در محدوده یکنواخت نمی‌باشد و با توجه به پیچیدگی آبخوان آزاد و وجود لایه آبدار محبوس نمی‌توانند معرف خوبی از وضعیت آب زیرزمینی باشند. تکتونیک شدید، راندگی‌ها و گسلش‌های فراوان، سبب از هم گسیختگی سازندهای کربناته سخت شده و باعث گردیده تا آبخوان‌های شکل گرفته در آنها علیرغم گسترش منطقه‌ای، از یکپارچگی هیدرولیکی برخوردار نباشند. این مسئله هم در مقیاس ناحیه‌ای و هم در مقیاس محلی مطرح می‌باشد. به همین دلیل نمی‌توان نقشه‌های هم‌پتانسیل مناسبی برای ساختگاه سد رسم نمود.سطح آب گمانه‌های پیزومتری هم با وجود قرار داشتن در یک گستره نسبتاً محدود، اختلاف تراز زیادی را نشان می‌دهند، حتی در مورد گمانه‌های موجود در یک جناح، اختلاف تراز سطح آب، گاهی به بیش از ۶۰ متر نیز می‌رسد که نشان از گسیختگی پهنه مربوط به این گمانه‌ها از یکدیگر دارد. به عبارت دیگر گسل‌های فراوان سبب شده که سازندهای کربناته، با وجود داشتن زمینه لازم برای گسترش انحلال و تبدیل به آبخوان‌های پیشرفته، در عمل به صورت بلوک‌های بزرگ و ناپیوسته‌ای باشند که پدیده کارستی شدن در آنها فراگیر و سرتاسری نبوده و امکان برقراری ارتباط مستقیم هیدرولیکی در سراسر سازند از بین رفته است. البته ترکیب ناخالص سازندهای کربناته (سنگ‌های آهکی دولومیتی) نیز از عواملی است که جلوی پیشرفت پدیده انحلال را گرفته است، چون در شرایط طبیعی دولومیت حلالیت کمتری نسبت به کلسیت دارد (Milanović, 1981).

www.SID.ir



شکل ۳- نقشه زمین شناسی محدوده ساختگاه سد رودبار لرستان (اقتباس از قدس نیرو، ۱۳۸۳)

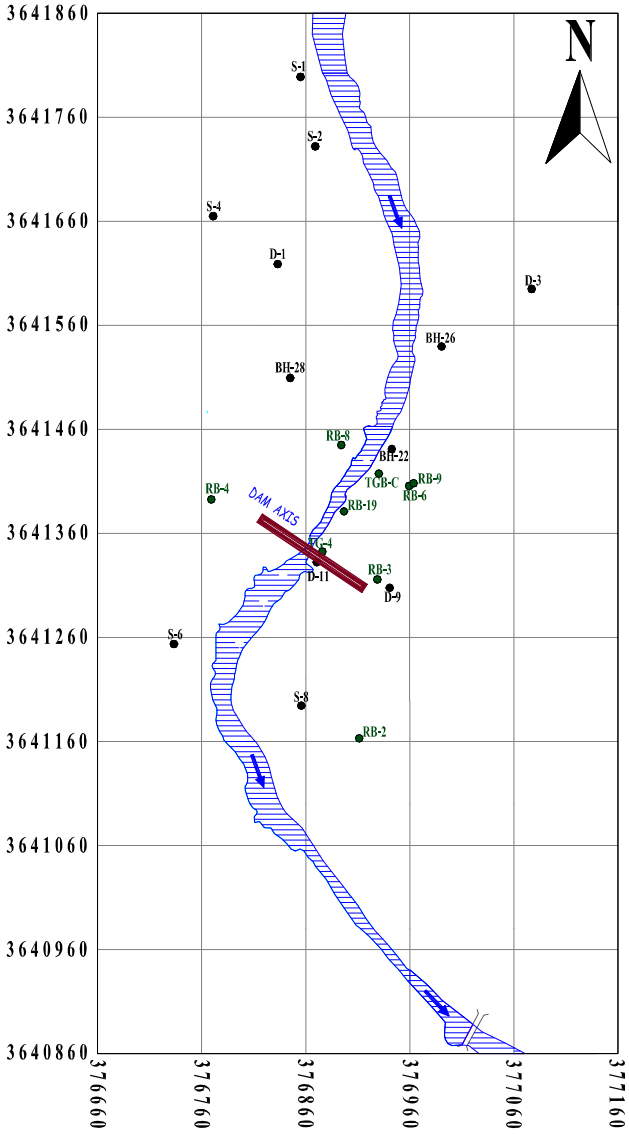
Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین چینه‌شناسی به عنوان عاملی مهم در توسعه کارست شناخته شده است (Milanović, 1981). سازندهای اطراف یک توده آهکی تاثیر زیادی روی جریان آب دارند به خصوص اگر آن سازندها نفوذ ناپذیر باشند که در نتیجه اجازه عبور آب را نمی‌دهند. در گستره ساختگاه سد رودبار آهک‌های دولومیتی با میان‌لایه‌های شیلی و مارنی که پراکندگی زیادی دارند، در مقابل کارستی شدن از خود پایداری بیشتری نسبت به آهک‌های خالص نشان می‌دهند.

اندازه‌گیری دوره‌ای سطح ایستابی گمانه‌های محدوده ساختگاه سد رودبار نشان می‌دهد که روند تغییرات سطح آب اغلب پیزومترها تقریباً یکسان می‌باشد، بطوریکه بیشترین سطح آب آنها در خرداد ماه (انتهای دوره مرطوب) و حداقل آن درمهرماه (انتهای دوره خشک) می‌باشد، ولی بطور کلی نوسانات سطح ایستابی گمانه‌های حفاری شده در طی دو دوره مرطوب و خشک چندان زیاد نمی‌باشد. قرارگرفتن این گمانه‌ها در نزدیکی رودخانه و تاثیرپذیری آنها از تغذیه و تخلیه آبخوان‌ها می‌تواند در این نوسانات دخیل باشد.



شکل ۴- توزیع گمانه‌های پیزومتری فعال مراحل اول و دوم مطالعات در محدوده ساختگاه سد رودبار

www.SID.ir

Archive of SID

با بررسی سطح ایستابی گمانه‌های پیزومتری مشخص می‌گردد که تراز آب زیرزمینی بالاتر از تراز ارتفاعی رودخانه بوده و جهت جریان آب زیرزمینی از جناحین به سمت رودخانه می‌باشد. به عبارت دیگر رودخانه آب زیرزمینی را زهکشی می‌نماید (رود زاینده). البته در بعضی قسمت‌ها (جناح چپ بالاتر از محور سد)، سطح آب گمانه‌ها پایین‌تر از تراز رودخانه قرار دارد که نشانه آن است که رودخانه لایه آبدار را تغذیه می‌کند (رود دهنده). بطور کلی می‌توان گفت که با توجه به شرایط ژئومورفولوژی محدوده مخزن، رودخانه رودبار و شاخه‌های اصلی آن زهکش اصلی منطقه می‌باشند. بطوریکه آب‌های سطحی و زیرزمینی محدوده از طریق آبراهه‌ها و چشمه‌ها به سمت رودخانه زهکش می‌شوند. بنابراین رودخانه رودبار به عنوان سطح اساس ناحیه‌ای[1]، کنترل کننده جریان‌های سطحی و زیرزمینی در این منطقه می‌باشد.

نمونه‌برداری

به منظور شناسائی خصوصیات هیدروشیمیایی منابع آبی محدوده ساختگاه سد رودبار، اقدام به چهار نوبت نمونه‌برداری از شش منبع آبی؛ رودخانه آب رودبار (در محور سد)، گمانه‌های آرتزین RB-8 و TG-4 ، چشمه کیش، ورودی و خروجی تونل دسترسی T2 در طی ماههای مهر ۸۳ ، فروردین ۸۴ ، خرداد ۸۴ و مرداد ۸۴ شده است. تجزیه شیمیائی نمونه‌ها جهت سنجش غلظت یون‌های اصلی(Ca^{+2} ، Mg^{+2} ، Na^{+} ، K^{+} ، HCO_3^{-} ، SO_4^{-2} و Cl^{-})، pH ، سختی و قلیاییت با همکاری آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری انجام گردیده است. برخی از پارامترها نظیر EC ، TDS ، درجه‌حرارت و شوری در محل اندازه‌گیری شده‌اند. نتایج این سنجش‌ها در جداول ۲، ۳، ۴ و ۵ ارائه گردیده است.

جدول ۲- نتایج سنجش پارامترهای شیمیائی منابع آبی محدوده ساختگاه سد؛ مهر ۱۳۸۳ (غلظت املاح و هدایت الکتریکی به ترتیب برحسب میلی‌گرم برلیتر و میکروموهس بر سانتی‌متر)

شماره	محل نمونه‌برداری	T	pH	EC	TDS	Salinity	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	SO_4^{-}	Alkalinity	Hardness
		(°C)		(µS/cm)	mg/l	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l (CaCo3)	mg/l (CaCo3)
1	رودخانه در محل ساختگاه سد	6.5	6.74	367	255	0	58	10	6	1	14	192	21	157	186
2	گمانه آرتزین RB-8	15	6.8	1059	744	0.3	165	53	5	2	8	336	335	276	635
3	گمانه آرتزین TG-4	16	6.75	1211	849	0.4	128	65	44	5	92	305	293	250	590
4	چشمه روستای کیش	16	6.6	863	606	0.2	152	32	3	1	6	478	106	392	515
5	ورودی تونل T2	14.6	6.57	1671	1090	0.7	302	85	12	5	34	400	734	328	1105
6	خروجی تونل T2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

جدول ۳- نتایج سنجش پارامترهای شیمیائی منابع آبی محدوده ساختگاه سد؛ فروردین ۱۳۸۴ (غلظت املاح و هدایت الکتریکی به ترتیب برحسب میلی‌گرم برلیتر و میکروموهس بر سانتی‌متر)

شماره	محل نمونه‌برداری	T	pH	EC	TDS	Salinity	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	SO_4^{-}	Alkalinity	Hardness
		(°C)		(µS/cm)	mg/l	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l (CaCo3)	mg/l (CaCo3)
1	رودخانه در محل ساختگاه سد	9.6	7.53	296	207	0	53	6.4	4	0.9	6	186	12	153	159
2	گمانه آرتزین RB-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	گمانه آرتزین TG-4	16.6	7.15	1152	810	0.4	118	62	41	5.3	77	313	275	257	551
4	چشمه روستای کیش	15.9	7.05	885	622	0.2	140	35	3.6	1.1	9	502	119	412	494
5	ورودی تونل T2	15.1	7	2090	1471	0.9	369	86	27	4.4	62	372	947	305	1275
6	خروجی تونل T2	18.2	7.32	836	588	0.2	146	28	4	1.7	5	516	69	424	479

۱- Major (Regional) base of erosion

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- نتایج سنجش پارامترهای شیمیائی منابع آبی محدوده ساختگاه سد؛ خرداد ۱۳۸۴ (غلظت املاح و هدایت الکتریکی به ترتیب برحسب میلی‌گرم برلیتر و میکروموهس بر سانتی‌متر)

Hardness	Alkalinity	SO_4^-	HCO_3^-	Cl^-	K^+	Na^+	Mg^{+2}	Ca^{+2}	Salinity	TDS	EC	pH	T	محل نمونه‌برداری	شماره
mg/l (CaCo3)	mg/l (CaCo3)	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	%	mg/l	(µS/cm)		(°C)		
168	144	26	173	12	1	6	12	47	0	241	343	8.22	16	رودخانه در محل ساختگاه سد	1
588	274	307	332	12	2	6.5	55	145	0.3	704	1002	7.81	16	گمانه آرتزین RB-8	2
592	272	316	330	44	4	23	65	130	0.3	764	1086	7.7	16.6	گمانه آرتزین TG-4	3
524	394	149	476	8	1	4	38	147	0.2	618	879	8.01	16.9	چشمه روستای کیش	4
1560	366	1185	444	74	6	40	78	493	1.1	1744	2480	7.6	15.3	ورودی تونل T2	5
504	406	103	493	6	1	3	31	151	0.2	585	833	7.7	14.7	خروجی تونل T2	6

جدول ۵- نتایج سنجش پارامترهای شیمیائی منابع آبی محدوده ساختگاه سد؛ مرداد ۱۳۸۴ (غلظت املاح و هدایت الکتریکی به ترتیب برحسب میلی‌گرم برلیتر و میکروموهس بر سانتی‌متر)

Hardness	Alkalinity	SO_4^-	HCO_3^-	Cl^-	K^+	Na^+	Mg^{+2}	Ca^{+2}	Salinity	TDS	EC	pH	T	محل نمونه‌برداری	شماره
mg/l (CaCo3)	mg/l (CaCo3)	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	%	mg/l	(µS/cm)		(°C)		
152	138	21	168	10	2	6	13	40	0	224	320	7.54	13.1	رودخانه در محل ساختگاه سد	1
562	263	304	321	12	2	5	54	136	0.3	692	986	7.15	16.7	گمانه آرتزین RB-8	2
550	247	285	301	78	5	37	64	115	0.3	802	1141	7.17	17.4	گمانه آرتزین TG-4	3
494	388	121	473	10	1	4	42	129	0.2	624	886	7.18	16	چشمه روستای کیش	4
1150	300	900	366	114	6	45	75	342	0.8	1308	1862	6.92	14.6	ورودی تونل T2	5
468	406	77	495	4	1	3	29	139	0.2	587	833	7.03	15	خروجی تونل T2	6

برای پی‌بردن به لایه‌های آبدار مختلف و چگونگی ارتباط بین آنها می‌توان از داده‌های هیدروشیمیائی استفاده نمود. جهت تفسیر داده‌های شیمیایی منابع آب محدوده سد رودبار لرستان و تعیین رخساره و نوع آب در نقاط مختلف ساختگاه، از روش‌های مختلفی نظیر نمودارهای «پایپر» و «استیف» استفاده گردیده است. رخساره‌های آب زیرزمینی معین کنندهٔ توده‌های آبی با ماهیت ژئوشیمی متفاوت می‌باشند (Sikdar et al., 2001).

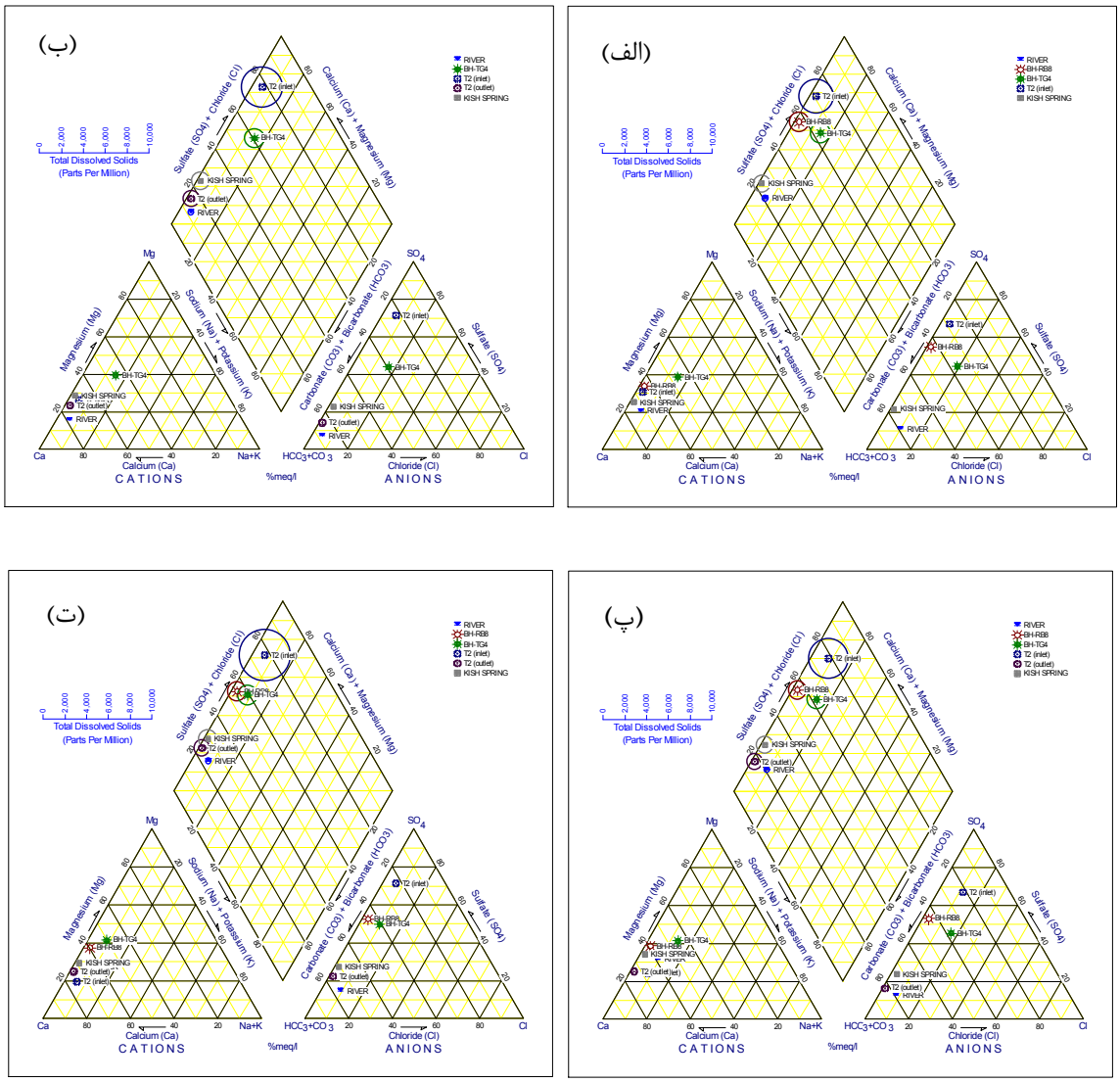
مقایسه نمودارهای «پایپر» آب‌های زیرزمینی محدوده سد رودبار لرستان در چهار دوره، الگوی تقریباً مشابهی را برای هرکدام از منابع آبی نشان می‌دهد. وجود کلسیت و دولومیت به میزان قابل ملاحظه در گستره مورد بررسی، باعث گردیده این کانی‌ها در تماس با آب‌های غنی از CO_2، حل شوند. لذا در منابع آبی رودخانه، چشمه کیش و خروجی تونل T2، بی‌کربنات آنیون غالب بوده و در نتیجه تیپ آب بی‌کربناته کلسیک می‌باشد. درحالیکه معمول‌ترین کانی‌های سولفات‌دار (ژیپس و انیدریت) منحصراً در بخش بالای سازند دالان (بخش تبخیری نار) وجود داشته‌اند که به علت شرایط هیدرولوژیکی منطقه و قابلیت انحلال بالای کانی‌های فوق، اثری از آنها دیده نمی‌شود. آب‌های حل کننده (با منشاء جوی) این کانی‌ها نیز پس از نفوذ به داخل زمین، در آبخوان‌های محبوس جمع شده و با حفر تونل و گمانه‌ها و در نتیجه برخورد به این سفره‌ها، به سطح زمین راه پیدا کرده‌اند. تیپ آب این آبخوان‌های تحت فشار (گمانه‌های آرتزین TG4، RB8 و ورودی تونل T2)، برخلاف منابع آبی ذکر شده در بالا، سولفاته کلسیک می‌باشد. از علل این امر علاوه بر شرایط لیتولوژیکی، می‌توان به تکامل آب‌های زیرزمینی در طول مسیر جریان و نیز تاثیر زمان ماندگاری اشاره نمود. همچنین ترکیب شیمیایی آب ورودی تونل T2 تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای با دیگر منابع آبی نشان می‌دهد که از جمله می‌توان به تفاوت در مقدار یون‌های اصلی، میزان TDS و EC اشاره نمود. از طرف دیگر، در حین حفر تونل، آثاری از کانی ژیپس ($CaSO_4.2H_2O$) به صورت ثانویه در شکاف‌ها و شکستگی‌های سنگ‌های آهکی - دولومیتی مشاهده گردیده است. منشاء تشکیل این ژیپس‌های ثانویه می‌تواند آب‌های

www.SID.ir

Archive of SID

نفوذی باشد که پس از انحلال کانی‌های تبخیری و کربناته، از سولفات و کلسیم اشباع شده و ژیپس به صورت متبلور در شکاف‌های سنگ‌ها ته‌نشین شده است. از طرف دیگر، تیپ‌های هیدروشیمیایی منابع آبی مورد مطالعه در حدفاصل بین دوره‌های نمونه برداری تغییری نکرده است که نشان‌دهنده عدم تغییر منبع تغذیه منابع آبی فوق الذکر در طول سال می‌باشد (شکل ۵).

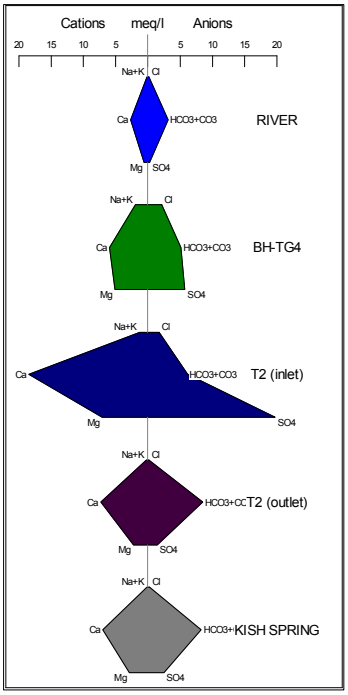
جهت تسهیل مقایسه سریع بین نمونه‌های آب با رخساره‌های متفاوت از نمودارهای «استیف» به جهت اشکال نموداری متمایز آنها برای آب زیرزمینی محدوده ساختگاه استفاده شده است. با بررسی نمودارهای استیف مشخص می‌گردد بین برخی از منابع آبی مورد مطالعه (مانند گمانه RB-8 با گمانه TG-4 و نیز خروجی تونل T2 با چشمه کیش) شباهت‌هایی وجود دارد، ولی بین سایر منابع با منابع آبی فوق الذکر شباهتی مشاهده نمی‌شود. به عبارت دیگر، مخزن منابع آب مورد نظر مشترک نمی‌باشد، هرچند که ممکن است منبع تغذیه کننده مشترکی داشته باشند (شکل ۶).



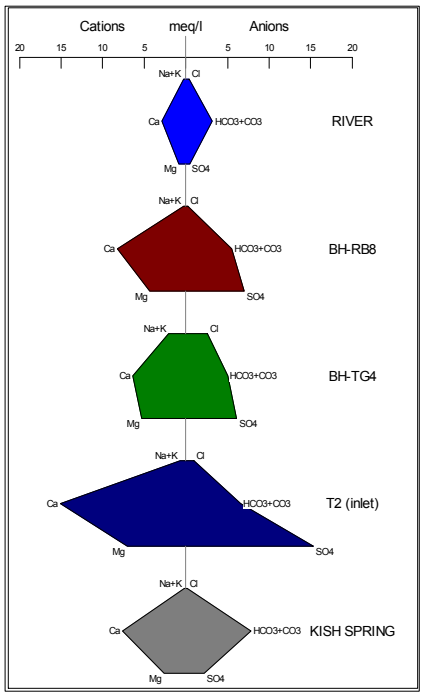
شکل ۵- نمودارهای پایپر منابع آبی محدوده ساختگاه سد رودبار - (الف) مهر ۸۳، (ب) فروردین ۸۴، (پ) خرداد ۸۴، (ت) مرداد ۸۴

www.SID.ir

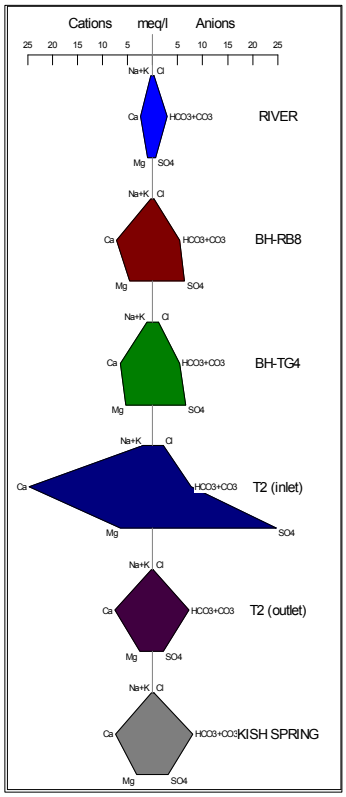
Archive of SID



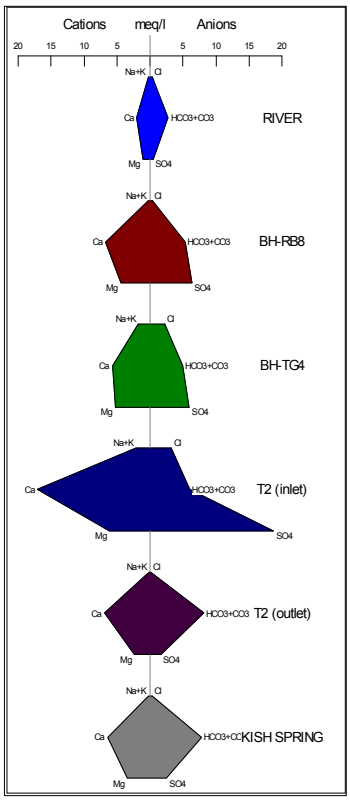
(ب)



(الف)



(ت)



(پ)

شکل ۶- نمودارهای استیف منابع آبی محدوده ساختگاه سد رودبار - (الف) مهر ۸۳، (ب) فروردین ۸۴، (پ) خرداد ۸۴، (ت) مرداد ۸۴

www.SID.ir

Archive of SID

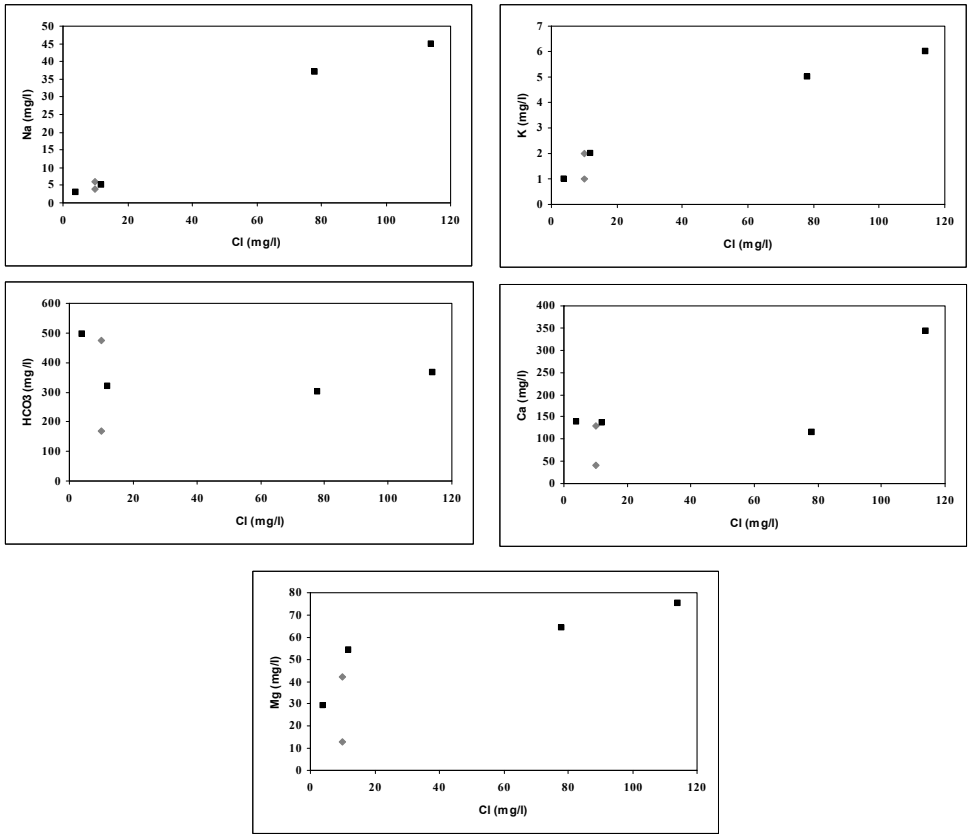
همچنین جهت تشخیص نوع فرایندهای شیمیایی و تعیین منشاء و اختلاط آب‌ها از نمودارهای ترکیبی یا دو متغیره استفاده گردیده است (Mazor, 1991). برای جلوگیری از اثرات تغذیه‌ای بر روی فرایندهای ژئوشیمیایی، نمودارهای ترکیبی منابع آبی محدوده سد، با توجه به داده‌های مرداد ماه ۱۳۸۴ (اواسط دوره خشک) تهیه شده است. جهت تعیین فرایندهای ژئوشیمیایی موثر بر ترکیب آب‌های زیرزمینی نمودارهای ترکیبی HCO_3، Na ، K ، Ca و Mg در مقابل یون غیر واکنشی و پایدار آب (Cl) تهیه شده است (شکل ۷)، زیرا کلرور تحت تاثیر تبادل یونی، جذب یونی، تبادلات بیولوژیکی و فعالیت‌های رادیو اکتیو قرار نمی‌گیرد. نمودارهای دو متغیره کل یون‌های محلول (TDI) در مقابل سایر یون‌های عمده در شکل ۸ ارائه شده است. خلاصه نتایج حاصل از این نمودارهای ترکیبی به شرح ذیل می‌باشند:

۱- الگوی غیر خطی و پراکنده نمودارهای ترکیبی نشانگر عدم وجود یک منبع تغذیه کننده واحد در سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد.

۲- آب‌های با بی‌کربنات بالا و غلظت‌های اندک سدیم، کلر، سولفات و منیزیم دلالت بر جوان بودن منابع تغذیه کننده رودخانه، قسمت خروجی تونل T2 و چشمه کیش نسبت به سایر منابع آبی دارد.

۳- فوق اشباع شدن نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به کلسیت و دولومیت نقش مهمی در کنترل غلظت بی‌کربنات دارد.

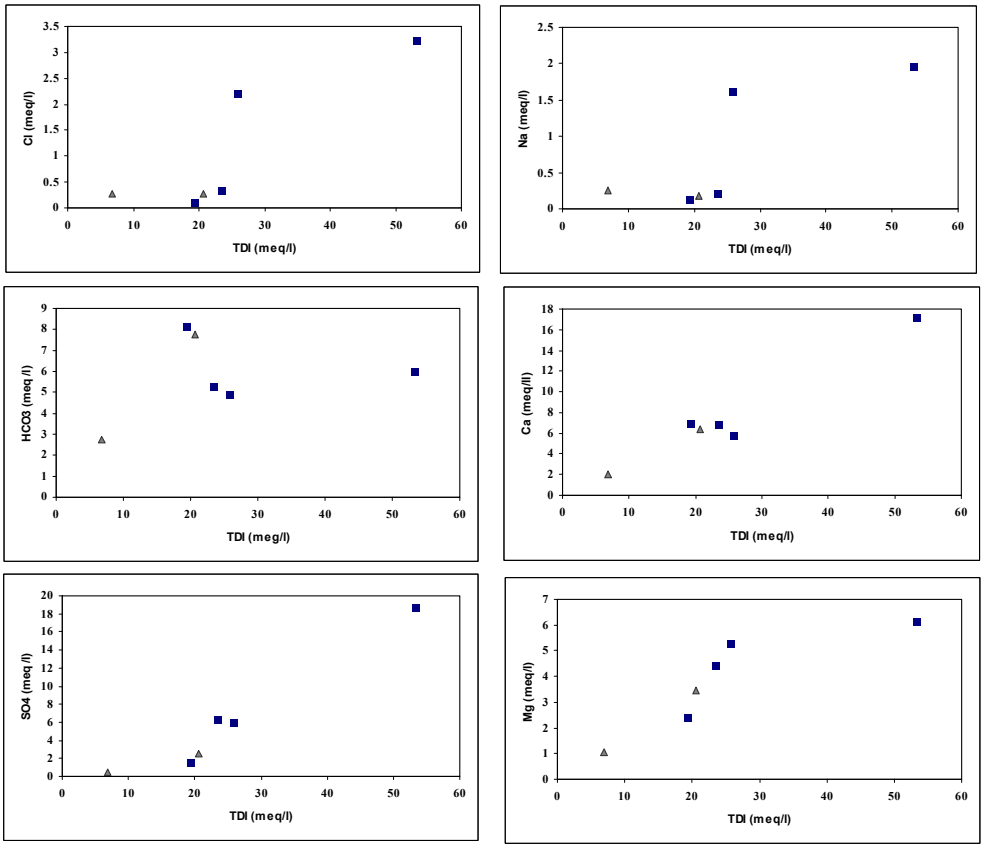
۴- فرایندهای ژئوشیمیایی غالب در آبخوان‌های محدوده انحلال کلسیت و دولومیت می‌باشد. هرچند که انحلال ژیپس، هالیت، تبادل یونی طبیعی و معکوس به طور موضعی در آبخوان‌ها نیز روی می‌دهد.



شکل ۷- رابطه یون غیر فعال آب (کلر) با سایر املاح عمده منابع آبی محدوده سد (مرداد ۱۳۸۴)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸- نمودار ترکیبی کل مواد محلول آب در مقابل متشکله‌های منابع آبی محدوده ساختگاه سد (مرداد ۱۳۸۴)

همچنین با استفاده از کد کامپیوتری Phreeqc I 2.8 (Parkhurst & Appelo, 2003) نمایه‌های اشباع (SI) هر یک از نمونه‌های آب محدوده سد، نسبت به کانی‌ها و گازهای مختلف محاسبه شده است. نمایه اشباع پارامتری است که برای تعیین حالت تعادل آب در آبخوان‌ها مفید می‌باشد. بررسی مقادیر اشباع کلسیت و دولومیت در منابع آب مورد مطالعه نشان می‌دهد که در دوره خشک، میزان کلسیم و منیزیم در آب‌ها بیش از دوره مرطوب می‌باشد (منابع آبی عموماً اشباع از کلسیت و دولومیت هستند)، به عبارت دیگر در دوره خشک، آب‌های زیرزمینی تامین کننده منابع آبی (به ویژه آب رودخانه) می‌باشند (جدول ۶).

جدول ۶- مقدار نمایه‌های اشباع نمونه‌های آب محدوده ساختگاه سد رودبار؛ (الف) مهر ۱۳۸۳: انتهای دوره خشک، (ب) فروردین ۱۳۸۴: اواسط دوره مرطوب.

(الف)

ردیف	موقعیت	SI (Calcite)	SI (Dolomite)
1	رودخانه در محور	-0.92	-2.55
2	گمانه RB - 8	-0.21	-0.7
3	گمانه TG - 4	-0.4	-0.87
4	ورودی تونل T2	-0.22	-0.78
5	خروجی تونل T2	–	–
6	چشمه کیش	-0.22	-0.9

(ب)

ردیف	موقعیت	SI (Calcite)	SI (Dolomite)
1	رودخانه در محور	-0.13	-1.06
2	گمانه RB - 8	–	–
3	گمانه TG - 4	0	-0.05
4	ورودی تونل T2	0.24	0.06
5	خروجی تونل T2	0.55	0.65
6	چشمه کیش	0.21	0.04

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول ۶- (پ) خرداد ۱۳۸۴: انتهای دوره مرطوب و (ت) مرداد ۱۳۸۴: اواسط دوره خشک

(پ)

ردیف	موقعیت	SI (Calcite)	SI (Dolomite)
1	رودخانه در محور	-0.23	-0.8
2	گمانه RB - 8	0.07	-0.03
3	گمانه TG - 4	0	-0.01
4	ورودی تونل T2	0.12	-0.23
5	خروجی تونل T2	0.18	-0.11
6	چشمه کیش	0.28	0.29

(ت)

ردیف	موقعیت	SI (Calcite)	SI (Dolomite)
1	رودخانه در محور	0.56	0.75
2	گمانه RB - 8	0.75	1.31
3	گمانه TG - 4	0.59	1.12
4	ورودی تونل T2	1	1.41
5	خروجی تونل T2	0.86	1.24
6	چشمه کیش	1.15	1.96

نتیجه‌گیری

۱- علیرغم وجود پدیده‌های کارستی قابل ملاحظه در خارج از گستره ساختگاه (در حوضه آبریز سد)، به علت عملکرد گسل‌های راندگی فراوان و ترکیب ناخالص سازندهای کربناته (آهک‌های دولومیتی با میان لایه‌های شیلی و مارنی) در محدوده ساختگاه سد، انحلال شیمیایی سنگ‌های کربناته در مقابل عمل فرسایش فیزیکی آب‌های جاری ناچیز بوده است.

۲- بر اساس نتایج حفاری‌های اکتشافی و نیز با توجه به وجود گمانه‌های آرتزین در ساختگاه که معرف تحت فشار بودن یک لایه آبدار است، می‌توان نتیجه گرفت که در محدوده ساختگاه دو آبخوان آزاد و محبوس وجود دارد و با توجه به مغزه‌های حفاری به دست آمده از این گمانه‌های آرتزین، به نظر می‌رسد تغییر لایه‌بندی، حدواسط این آبخوان‌ها نبوده، بلکه کیفیت توده سنگ، وجه تمایز آبخوان‌ها می‌باشد.

۳- با توجه به نتایج سنجش‌های شیمیایی می توان نتیجه گرفت که غلظت املاح اصلی بیشتر در اثر واکنش‌های آب - سنگ رخ داده است. در منابع آبی که مخزنشان آبخوان آزاد می‌باشد (از جمله آب رودخانه وچشمه کیش)، تیپ آب از نوع بی‌کربناته کلسیک می‌باشد ولی در منابع آبی که مخزنشان آبخوان محبوس است (مانند گمانه‌های آرتزین و آب قسمت ورودی تونل T2)، تیپ غالب سولفاته می‌باشد.

۴- با توجه به نمودارهای پایپر و استیف نمونه‌های آب محدوده ساختگاه سد رودبار لرستان، می‌توان ویژگی‌های هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمیایی منابع آبی فوق الذکر را تجزیه و تحلیل کرد. آب رودخانه رودبار در فصول بارندگی عمدتاً از بارش‌های جوی و در فصول خشک از زهکشی منابع آب زیرزمینی در بالادست تامین می‌شود. آب چشمه کیش احتمالاً ناشی از نفوذ آب‌های جوی از طریق درز و شکاف‌های سازند دالان می‌باشد که در اثر برخورد به بخش ناتراوای سازند میلا به صورت چشمه ظاهر شده است. آب قسمت خروجی تونل T2 نیز با همین مکانیزم تغذیه شده که با حفر تونل به سطح زمین راه پیدا کرده است. همچنین با توجه به شیب لایه‌های سازند دالان به سمت بالادست رودخانه (در محدوده محور سد) و قرارگیری بخش تبخیری نار در قسمت‌های فوقانی این سازند، به نظر می‌رسد آب بارندگی پس از انحلال سنگ‌های تبخیری از طریق درز و شکاف‌ها به سمت اعماق حرکت نموده و در زون‌های خرد شده ذخیره گشته است. گمانه‌های آرتزین موجود در محور و نیز آب قسمت ورودی تونل T2 به طریق فوق تغذیه و با حفر گمانه و تونل به صورت تحت فشار خارج می‌گردند.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

۱- آب و نیرو - شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، ۱۳۸۴. کاتالوگ سد رودبار لرستان.

۲- شرکت مهندسین مشاور قدس نیرو. ۱۳۷۸. گزارش مطالعات مرحله اول، جلد پنجم: زمین شناسی مهندسی (پس از اصلاحات نهایی).

۳- شرکت مهندسین مشاور قدس نیرو. ۱۳۸۳. گزارش نهایی بازنگری مطالعات مرحله اول، جلد سوم: هیدرولوژی.

4 - Mazor, E., 1991. *Applied Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*. John Wiley & Sons, New York.

5- Milanović, P. 1981. *Karst Hydrogeology*. Water Resources Publications, USA.

6- Parkhurst, D. L., and Appelo, C. A. J. 2003. *PHREEQC I 2.8, a computer program for speciation, reaction-path, 1Dtransport, and inverse geochemical calculations*, U. S. Geochemical Suevey, Water Resources Investigations, Lakewood, Colorado, USA., Report: 99-4259.

7- Sikdar, P. K., Sarkar, S.S., and Palchoudhury, S. 2001. *Geomechanical evolution of groundwater in the Quaternary aquifer of Calcutta and Howrah*, *India*, Journal of Asian Earth Sciences, 19: 579-594.

www.SID.ir