

## نقش کارست ژیبسی در انتقال آلاینده‌ها از سد باطله معدنی آق دره - تکاب

حمیدرضا ناصری<sup>۱\*</sup>، یعقوب نیک قوجق<sup>۲</sup>

۱- دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

۲- کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، شرکت آب منطقه‌ای گلستان yaghobnick@gmail.com

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۰/۷/۱۹

### چکیده

سد باطله آق دره که در ۲۳ کیلومتری شمال تکاب در استان آذربایجان غربی واقع شده است، به منظور انباشت باطله معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سد در ساختگاهی احداث شده است که به علت وجود ژیبس در پی و بخش‌هایی از مخزن آن، ساختگاهی ویژه از دیدگاه ژئوتکنیک و مسائل زیست محیطی است و شایسته توجه خاص است. اگرچه تاکنون، ساختن سد روی ساختگاه ژیبسی منع نشده است، اما رفتار ژیبس در برابر آب ناشی از خاصیت انحلال آن همواره تهدیدبرانگیز، آسیب‌پذیر و هشداردهنده بوده است. در بخش‌هایی از کف مخزن و پی سد باطله آق دره، بخش گچی سازند قم قرار دارد که ویژگی‌های کارست مجرای را داراست. در این مطالعه با استفاده از نتایج پایش زیست محیطی سد باطله و اندازه‌گیری بعضی از مشخصه‌های هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی و بررسی‌های ژئوفیزیک به روش RI، نقش بخش گچی سازند قم در انتقال آلاینده سیانیدی سد باطله آق دره مورد مطالعه قرار گرفته است. محدوده مورد بررسی از نظر زمین ساخت منطقه‌ای فعال است. چشمه‌ها و مجاری انحلالی کارستی در بخش گچی سازند قم نیز در راستای شکستگی‌های موجود شکل گرفته‌اند. این مجاری نقش کنترل‌کننده‌ای بر جهت جریان آب زیرزمینی دارند و به دلیل توسعه آنها در ژیبس‌های پی و مخزن سد و ایجاد یک آبروچاله در بخش جنوب غربی مخزن سد باطله، نشت آلاینده به پایین دست از طریق این مجاری انحلالی صورت گرفته است و موجب ارتباط هیدرولیکی بین بخش جنوب‌غربی مخزن سد باطله و چشمه‌های کارستی پایین دست شده‌اند.

### کلید واژه

کارست ژیبسی، انتقال آلاینده، سد باطله

### سر آغاز

نقش مهمی داشته باشند (Willmann, 2001). امروزه آلودگی آب زیرزمینی از طریق منابعی چون سدهای باطله معدنی مسئله‌ای جهانی است (Sharma, 1994). کارخانه فرآوری پلی‌متال آق دره در فاصله ۲۳ کیلومتری شمال شهر تکاب در استان آذربایجان غربی و بین طول‌های جغرافیایی ۶۸۶۸۰۰ و ۶۸۹۰۰۰ متر و عرض‌های جغرافیایی ۴۰۵۳۷۰۰ و ۴۰۵۶۰۰۰ متر در محدوده‌ای به وسعت تقریبی چهار کیلومتر مربع قرار دارد. پس از انجام مراحل فرآوری مواد معدنی در این کارخانه، پساب‌ها که یکی از آلاینده‌های مهم موجود در آنها سیانور است، در داخل سد باطله که در محل احداث شده است، ذخیره می‌شوند (Pouya Zarkan Agh Darreh Co, 2006). محدوده مورد مطالعه که از نهشته‌های عهد حاضر و لایه‌های سازند قم تشکیل شده است، از نظر زمین ساخت فعال است، به طوری که نهشته‌های پلیوسن و عهد حاضر تحت تاثیر

سدهای باطله معدنی<sup>۱</sup> یکی از انواع سدها هستند که دارای ویژگی‌های خاص هستند و به منظور انباشت پسماندهای معدنی خطرناک، و یا بی‌خطر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع سدها یکی از مهمترین حلقه‌های ارتباطی بین فعالیت‌های معدنی و محیط پیرامون آنها هستند که تا چندین سال پس از اتمام فعالیت‌های مذکور نیز مورد توجه هستند. بنابراین طراحی و مدیریت مناسب سدهای باطله می‌باید با ملاحظه محدودیت‌های آبی مقررات زیست محیطی صورت گیرد (Golestanifar and Bazzazi, 2010). اگر سدها بر روی سنگ آهک، یا ژیبس 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 و انتقال آلودگی

نمودار پایپر و همچنین برخی نسبت‌های یونی و نمایه‌های اشباع (SI) کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیبس استفاده شد.

همچنین از نتایج بررسی‌های ژئوفیزیک که در محل پایین دست محور سد باطله توسط شرکت Golder Associates Ltd. انجام گرفته است، برای به‌دست آوردن اطلاعات زمین شناسی زیرسطحی از گسترش کانال‌ها و غارهای ژیبسی و زون‌های درز و شکافی استفاده شد.

در بررسی‌های ژئوفیزیک، اندازه‌گیری مقاومت ظاهری در امتداد یک خط به طول ۹۵۰ متر در پایین دست محور سد باطله انجام شده است و نتایج آن به صورت مقطع مقاومت ظاهری در امتداد این خط ارائه و تفسیر شده است.

اندازه‌گیری غلظت سیانید در منابع آبی محدوده سد باطله از مهرماه ۱۳۸۴ الی بهمن ماه ۱۳۸۵ به منظور پایش زیست محیطی این محدوده به‌وسیله آزمایشگاه شیمی کارخانه فرآوری پلی متال آق دره که در محل کارخانه مستقر است، صورت گرفته و نتایج آن به‌صورت روزانه گزارش شده است (Pouya Zarkan Agh Darreh (Co, 2006).

سپس تغییرات غلظت سیانید در منابع آب محدوده طی این دوره مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات ردیابی با استفاده از نمک طعام برای بررسی ارتباط هیدرولیکی بین مخزن سد باطله و پایین دست آن نیز در اردیبهشت ماه ۱۳۸۵ انجام شد.

گسل‌های متعدد قرار گرفته‌اند. بررسی نقش لایه‌های گچی سازند قم در برقراری ارتباط هیدرولیکی سد باطله و چشمه‌های کارستی پایین دست، انتقال آلاینده سیانیدی و تأثیر بر رژیم هیدروژئولوژی محدوده از اهداف این مطالعه است.

### روش تحقیق

در این تحقیق ابتدا به منظور مطالعه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه بر اساس تفسیر عکس‌های هوایی و همچنین بازدیدهای صحرایی، نقشه زمین‌شناسی محدوده با مقیاس ۱:۲۰۰۰ تهیه شد.

اندازه‌گیری تراز سطح ایستابی در پیژومترهای محدوده به صورت هفتگی و اندازه‌گیری دبی تعدادی از چشمه‌های انتخابی به صورت روزانه از مهرماه ۱۳۸۴ الی بهمن ماه ۱۳۸۵ انجام شد. به منظور بررسی وضعیت هیدروشیمی محدوده سد باطله، نمونه‌برداری آب از هفت حلقه پیژومتر و یک حلقه چاه و دو دهنه چشمه در شهریور ماه ۱۳۸۵ صورت گرفت.

غلظت یون‌های عمده ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  +  $\text{K}^+$ )، دما، هدایت الکتریکی (EC) و pH نمونه‌های آب در آزمایشگاه شیمی دانشکده علوم دانشگاه شهید بهشتی مورد سنجش قرار گرفتند (جدول شماره ۱). برای تفسیر نتایج این اندازه‌گیری‌ها از

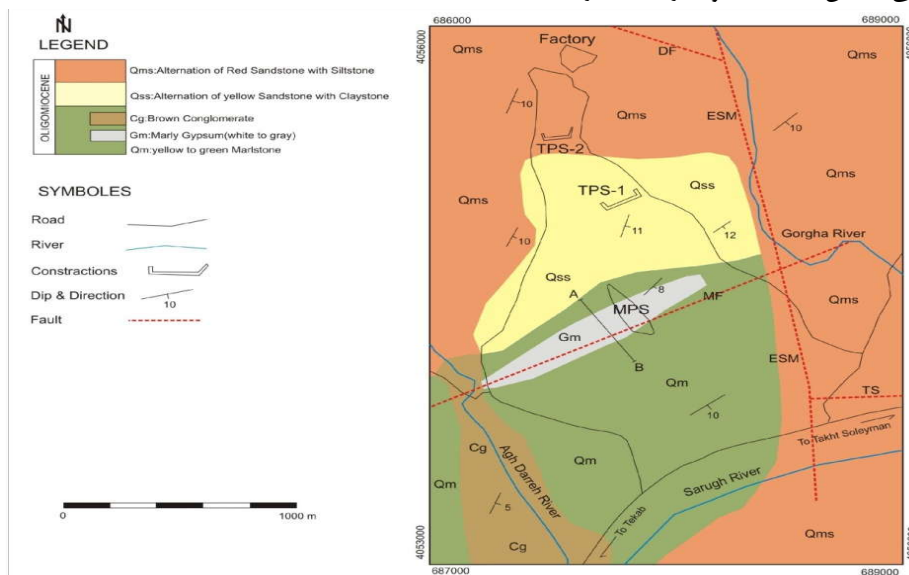
جدول شماره (۱): نتایج اندازه‌گیری برخی از مشخصه‌های شیمیایی و فیزیکی در نمونه‌های آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه

SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq/l	Cl <sup>-</sup> meq/l	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> meq/l	Mg <sup>2+</sup> meq/l	Ca <sup>2+</sup> meq/l	EC µmho/cm	pH	T	نام منبع آبی
								(°C)	
۲۹/۱۳	۴/۷۰	۱/۸۹	۱/۸۹	۱۰/۲۶	۲۳/۷۴	۲۷۴۶	۷/۳۲	۱۳	N-3
۳۰/۰۲	۴/۴۲	۲/۲۶	۱/۴۳	۱۱/۳۸	۲۴/۰۶	۲۶۹۴	۷/۴۹	۱۳	N-4
۲/۰۲	۷/۶۸	۲/۷۶	۴/۲۰	۷/۳۰	۱/۱۲	۱۲۱۷	۷/۶۷	۱۵/۵	N-5
۰/۹۴	۵/۸۰	۲/۶۵	۰/۸۳	۶	۲/۷۲	۸۸۶	۷/۷۹	۱۳/۴	N-7
۲۸/۲۵	۵/۲۸	۳/۲۷	۲/۹۶	۱۰/۵۸	۲۳/۴۴	۲۹۰۲	۷/۴۹	۱۳	N-8
۰/۴۶	۶/۱۶	۰/۳۴	۱/۰۷	۴/۴۲	۱/۶۲	۵۹۵	۷/۷۱	۱۳/۱	N-9
۴/۷۱	۱۰/۳۶	۰/۸۷	۳/۶۰	۸/۸۶	۳/۶۴	۱۶۲۲	۷/۴۷	۱۴/۹	N-10
۰/۵۲	۵/۳۴	۰/۲۰	۰/۵۰	۴/۱۴	۱/۵۸	۵۳۵	۷/۵۶	۱۷/۲	N-11
۶/۶۸	۱۷/۴۹	۴/۱۵	۲۰/۴۸	۵/۵۸	۲/۴۲	۲۶۳۱	۷/۳۷	۱۶/۳	N-12
۰/۶۷	۶/۸۶	۰/۲۰	۱/۸۸	۴/۴۲	۱/۵۸	۶۳۶	۷/۶۶	۱۶/۲	N-14

## بحث

مخزن سد باطله تا محل چشمه‌های کارستی حاشیه رودخانه آق دره دارای ژیبس‌های مارلی سفید تا خاکستری رنگ هستند. ماسه سنگ‌ها و سیلتستون‌های قهوه‌ای تیره تا قرمز، سنگ‌های غالب در بخش شمالی محدوده مورد مطالعه‌اند. محدوده کارخانه و سد باطله آق دره بر روی ساختار چین خورده تاقدیس مانند با شیب ملایم که به سمت جنوب شرق تمایل دارد، قرار گرفته‌اند. لایه‌های سنگی محدوده، شیب ۵ الی ۱۵ درجه به سمت جنوب شرق دارند. در محدوده مورد مطالعه گسلی با راستای تقریبی شمال شرق - جنوب غرب رخ داده است. این گسل باعث جابه‌جایی در لایه‌های زمین شناسی شده است. همچنین در امتداد گسل یاد شده آبروچاله‌های متعددی در لایه‌های مارلی-ژیبسی سازند قم ایجاد شده است.

محدوده مورد مطالعه از دیدگاه زمین شناسی ایران در زون البرز و در حاشیه فلات چین خورده وسیع ایران واقع شده است. زمین شناسی ساختمانی منطقه نتیجه عملکرد دو فاز کوهزایی پرکامبرین و آلبین است (افتخارنژاد، ۱۳۵۹). زمین‌های محدوده مورد مطالعه از نهشته‌های عهد حاضر و نیز لایه‌های سازند قم به صورت رخنمون ماسه سنگهای قرمز تا قهوه‌ای و مارلستون‌های ژیبسی زرد تا سبز، تشکیل شده‌اند (شکل شماره ۱). بخش جنوبی محدوده مورد مطالعه از مارلستون‌های سبز تا زرد رنگ با میان‌لایه‌هایی از ماسه سنگ با ضخامت حدود ۲۰۰ متر تشکیل شده است. مخزن و بدنه سد باطله بر روی این لایه‌ها قرار گرفته‌اند. این مارلستون‌ها در برخی بخش‌های محدوده از جمله در امتداد



شکل شماره (۱): نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه (منبع: نگارنده)

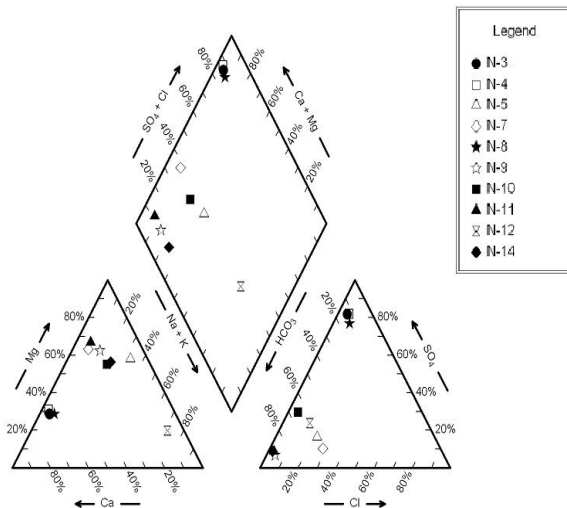
درز و شکاف دار شده‌اند. این درز و شکاف‌ها باعث تسریع انحلال ژیبس‌ها و در نهایت ایجاد مجراهایی برای عبور آب زیرزمینی به سمت شرق شده‌اند. منابع آب در محدوده مورد مطالعه متشکل از آبهای سطحی و زیرزمینی هستند.

جریان سطحی در رودخانه آق دره به صورت دائمی است. این رودخانه در مجاورت غرب محدوده مورد مطالعه جریان دارد و در مسیر آن چشمه‌های متعددی با دبی کم در سطح ظاهر شده‌اند. رودخانه گرگ‌ها نیز در مجاورت شرق محدوده قرار دارد که دارای جریان‌های فصلی است. تعدادی چشمه با دبی کم در مسیر رودخانه آق دره وجود دارند که چشمه‌های کارستی N-3 و N-4 اصلی‌ترین آنها هستند.

عمده این آبروچاله‌ها از نوع انحلالی و ریزشی‌اند. کالافورا و بوش (Calaforra and Bosch, 2003) معتقدند که این گونه آبروچاله‌ها ناشی از فرایند فرسایش زیرزمینی همزمان با توسعه کارست در ژیبس‌های بین لایه‌ای هستند. طبق نظر برک آبروچاله‌های یاد شده نقش برقراری ارتباط بین جریان‌های سطحی و جریان‌های کانالیزه شده زیرزمینی را دارا هستند (Birk, 2001). این آبروچاله‌ها در غرب سد باطله و در حاشیه جاده منتهی به کارخانه قابل مشاهده‌اند (شکل شماره ۲).

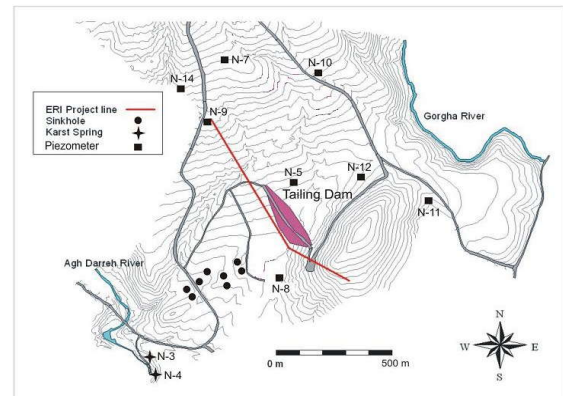
وجود حفره‌های انحلالی در برخی از پیرومترهای محدوده، نشان‌دهنده رخداد فرایند انحلال در بخش تحتانی سنگهای ژیبسی‌اند. سنگهای ژیبسی نیز همانند مارلستون‌های پیرامون آنها

براساس نمودار پایپر، اکثر نمونه‌های برداشت شده دارای تیپ بی‌کربناته منیزیک هستند. تیپ نمونه‌های N-3، N-4 و N-8 سولفات کلسیک است (شکل شماره ۴) که مبین انحلال کانی‌های ژیبسی موجود در آبخوان است. منشاء این کانی‌ها می‌تواند از بخش گچی سازند قم باشد که در محدوده سد باطله گسترش دارد.



شکل شماره (۴): نمودار پایپر نمونه‌های آب محدوده سد باطله (منبع: نگارنده)

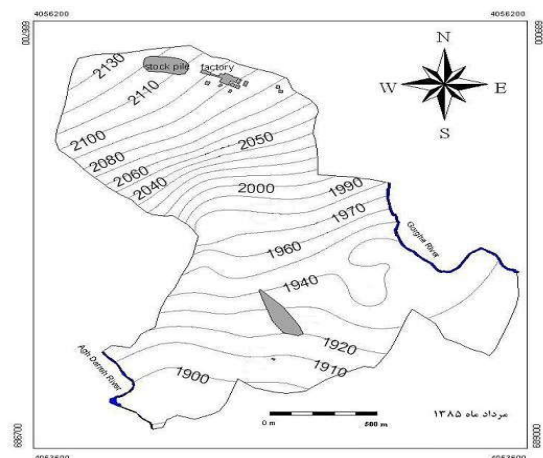
در جدول شماره (۲) مقادیر محاسبه شده نمایه‌های اشباع کلسیت، دولومیت و ژیبس و برخی نسبت‌های یونی در نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده، ارائه شده است. طبق نظر هانسلو (Hanslow, 1995) اگر مقدار نسبت  $Ca/(Ca+SO_4) > 0.5$  و همچنین مقدار نسبت  $HCO_3/Al$  Anions کمتر از  $0.8$  باشند، نشان دهنده انحلال کانی ژیبس است. با توجه به جدول شماره (۲) اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به کلسیت و دولومیت فوق اشباع و نسبت به ژیبس تحت اشباع هستند. نمایه‌های اشباع نمونه‌های N-3 و N-4 نزدیک به صفرند و به حالت اشباع از ژیبس نزدیک هستند، که مبین شدت انحلال ژیبس در این نمونه‌ها است (Drever, 1997). مقدار نسبت‌های یونی نمونه‌های برداشت شده در محدوده پایین دست سد باطله، نشان‌دهنده انحلال ژیبس در مجراهای کارستی این محدوده است. نتایج عملیات ردیابی که با استفاده از تزریق نمک طعام در پیزومتر N-12 در بخش جنوبی مخزن سد باطله انجام شد، ارتباط هیدرولیکی بین این بخش از مخزن سد باطله و چاه N-8 را تأیید کرده است.



شکل شماره (۲): موقعیت چاه N-8، چشمه‌ها و آبروچاله‌ها و خط پیمایش عملیات ERI (منبع: نگارنده)

بر اساس اطلاعات حاصل از حفاری بیش از ۱۰۰ گمانه پیزومتری در محدوده مورد مطالعه و نتایج حاصل از اندازه‌گیری تراز آب زیرزمینی، و همچنین یک لایه آبدار آزاد به صورت سیستم درز و شکافدار تشکیل شده است که با توجه به وضعیت توپوگرافی محدوده، تغذیه این لایه فقط از طریق نزولات جوی است. بر اساس این اندازه‌گیری‌ها، جهت کلی جریان آب زیرزمینی از توپوگرافی محدوده تبعیت می‌کند.

جهت کلی جریان از سمت مجموعه تأسیسات کارخانه به سمت جنوب محدوده است. البته در قسمت جنوبی محدوده که لایه‌های کارستی شده ژیبسی وجود دارند، لایه‌های مذکور نقش کنترل‌کننده‌ای در جهت جریان آب زیرزمینی دارند (شکل شماره ۳). نتایج اندازه‌گیری برخی مشخصه‌های شیمیایی و فیزیکی در نمونه‌های آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه در جدول شماره (۱) ارائه شده است.



شکل شماره (۳): نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه (منبع: نگارنده)

جدول شماره (۲): مقادیر نمایه‌های اشباع و برخی نسبت های یونی در نمونه‌های آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه

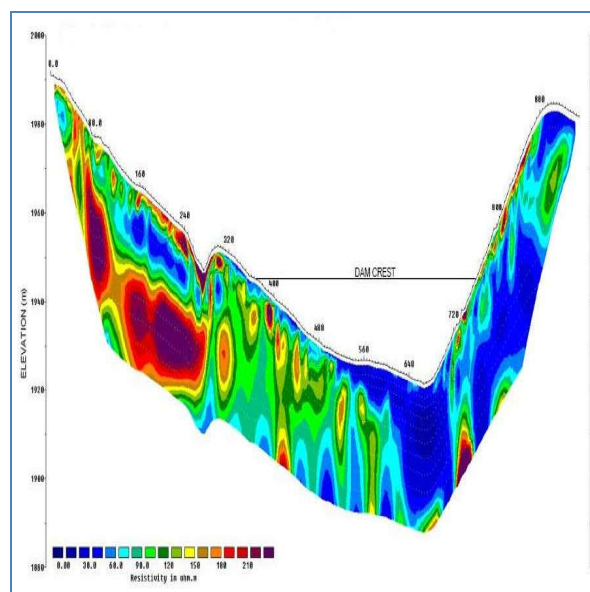
نمونه	SIc	SIId	SIg	Ca <sup>2+</sup> /(Ca <sup>2+</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /(All Anions)
N-3	۰/۴۶	۰/۵۳	-۰/۱۴	۰/۴۵	۰/۱۳
N-4	۰/۶۰	۰/۸۵	-۰/۱۳	۰/۴۴	۰/۱۲
N-5	-۰/۰۱	۰/۷۹	-۲/۲۴	۰/۳۶	۰/۶۲
N-7	۰/۳۷	۱/۰۶	-۲/۱۴	۰/۷۴	۰/۶۲
N-8	۰/۶۸	۰/۹۷	-۰/۱۶	۰/۴۵	۰/۱۴
N-9	۰/۱۳	۰/۶۵	-۲/۶۰	۰/۷۸	۰/۸۹
N-10	۰/۳۶	۱/۱۱	-۱/۴۵	۰/۴	۰/۶۵
N-11	-۰/۰۲	۰/۴۰	-۲/۵۵	۰/۷۵	۰/۸۸
N-12	-۰/۲۶	۰/۹۱	-۱/۵۵	۰/۱۷	۰/۶۲
N-14	۰/۱۵	۰/۷۶	-۲/۴۷	۰/۷۰	۰/۸۹

اگر این حفرات دارای هوا باشند، پیش بینی می‌شود که آنومالی با مقاومت بالا را نشان دهند (Sumanovac and Weisser, 2001). اما آنومالی‌های مشاهده شده با مقاومت‌های پایین در عمیق‌ترین بخش دره نشان می‌دهند که حفرات در شرایط کنونی به عنوان مجرای عبور آبهای زیرزمینی عمل می‌کنند. آنومالی‌های با مقاومت کم در یال سمت راست می‌توانند ناشی از گسترش درز و شکاف‌های کوچک در مارلستون‌ها باشند که اشباع از آب هستند. افزایش گرادیان هیدرولیکی ناشی از انباشت باطله در مخزن سد می‌تواند باعث نشت آب از طریق حفرات و درز و شکاف‌های موجود شود که تا پایین دست سد ادامه یافته‌اند. تحت چنین شرایطی فرایند طبیعی کارستی شدن شدت یافته و در نتیجه افزایش نشت آب، ایمنی سد را به خطر می‌اندازد (Romanov, et al., 2003).

اولین نشت مایع سیانیدی از مخزن سد باطله به صورت سطح نشت در مارلستون‌های پایین دست سد باطله و در تراز ۱۹۲۲ متر مشاهده شده است. در آن زمان تراز مواد باطله در داخل مخزن برابر ۱۹۳۴ متر بوده است. بر اثر این نشت، آلودگی آب چشمه‌های N-3 و N-4 در حاشیه رودخانه آق دره که در ارتفاع تقریبی ۱۸۶۵ متر و با فاصله تقریبی ۴۵۰ متر نسبت به سد باطله قرار دارند، گزارش شده است. دلیل این نشت، ایجاد یک آبفروچاله به طور ناگهانی در گوشه جنوب غربی مخزن باطله در ارتفاع ۱۹۳۱ متری بوده است (شکل شماره ۶). در پی‌زومتر N-8 نیز نشت آب با مقدار آلودگی مشابه با باطله‌ها در تراز ۱۸۹۳ متری گزارش شده است که نشان‌دهنده ارتباطی مستقیم است. براساس نتایج پایش زیست محیطی محدوده، به غیر از چاه N-8 و چشمه‌های کارستی N-3 و N-4 سایر منابع آبی محدوده مورد مطالعه هیچ‌گونه آلودگی نشان نداده‌اند.

با توجه به بررسی‌های ژئوفیزیک به روش ERI<sup>2</sup>، مقاومت ظاهری به طور کلی از سمت تکیه‌گاه چپ به سمت تکیه‌گاه راست کاهش می‌یابد که می‌تواند به دلیل تغییرات لیتولوژی به سمت مارلستون و مواد ژئوپسی باشد و یا به علت افزایش مقدار رطوبت و اشباع شدن درز و شکاف سنگها.

علاوه بر این، تعدادی آنومالی با مقاومت پایین در عمیق‌ترین بخش دره همان‌گونه که در برخی بخش‌های تکیه‌گاه راست وجود دارند، قابل مشاهده هستند. با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی و حفاری‌های انجام گرفته مشخص شده است که بستر دره دارای تعدادی غار و حفره ژئوپسی است (شکل شماره ۵).



شکل شماره (۵): مقطع عرضی مقاومت الکتریکی ظاهری به

موازات محور سد باطله در پایین دست آن

منبع: (Golder Associates Ltd., 2005)

نظر گرفته شد تا مقادیر اندازه‌گیری شده براحتی قابل مقایسه و تفسیر باشند (شکل شماره ۷).

در این نمودار برای مشخص کردن دوره خشک و تر سال از مقایسه دبی چشمه‌های کارستی N-3 و N-4 استفاده شده است، به طوری که با توجه به شرایط هیدروژئولوژی محدود مورد مطالعه، بیشتر بودن دبی چشمه N-3 نسبت به دبی چشمه N-4 مبین دوره خشک سال است.

بر اساس این نمودار در دوره خشک سال هنگامی که پمپاژ از چاه N-8 صورت نمی‌گیرد، غلظت سیانید در این چاه و چشمه‌های کارستی N-3 و N-4 مشابه هم است و مقادیر کمی دارند (شکل شماره ۷- بخش A).

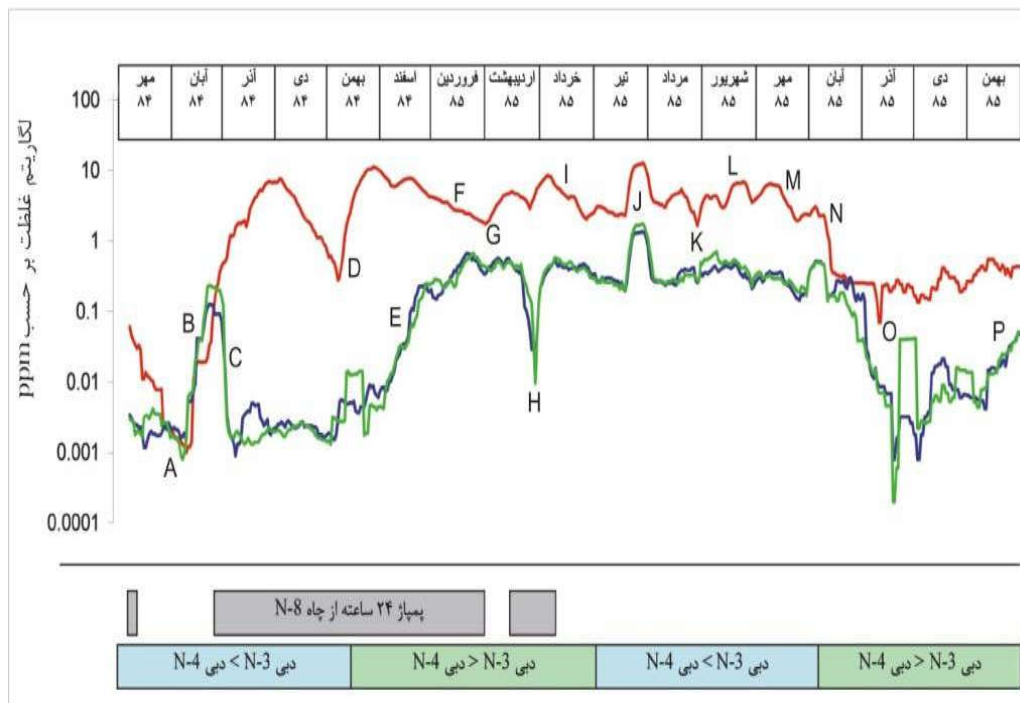
تخلیه باطله به بخش جنوب غرب مخزن سد باطله، چه در دوره خشک، و چه در دوره تر سال باعث افزایش غلظت سیانید چاه N-8 و چشمه‌های پایین دست می‌شود (شکل شماره ۷، بخش‌های L, J, H, G, D, B). این وضعیت نشان می‌دهد که بخش جنوب غربی مخزن، نیروی لازم برای نفوذ مایع سیانیدی باطله را داراست.



شکل شماره (۶): آبرو چاله ایجاد شده در بخش جنوب غربی

مخزن (منبع: نگارنده)

به منظور بررسی تغییرات غلظت سیانید در این سه منبع آب، نمودار تغییرات غلظت سیانید چاه N-8 و چشمه‌های N-3 و N-4 برحسب زمان به صورت نمودار خطی ترسیم شده است. با توجه به اختلاف زیاد بین مقادیر غلظت چاه N-8 و غلظت چشمه‌ها، محور عمودی این نمودار به صورت لگاریتمی در



شکل شماره (۷): تغییرات غلظت سیانید در چاه N-8 و چشمه‌های N-3 و N-4 در پایین دست سد باطله (منبع: نگارنده)

ایستایی ناشی از این پمپاژ موجب افزایش گرادیان هیدرولیکی به سمت چاه N-8 و در نتیجه افزایش نرخ ورود مایع سیانیدی به این

پمپاژ از چاه N-8 در دوره خشک سال می‌تواند باعث کاهش غلظت سیانید چشمه‌های کارستی N-3 و N-4 شود ولی افت سطح

دلیل افزایش رطوبت و اشباع شدن درز و شکاف سنگها باشد. آنومالی‌های با مقاومت ظاهری پایین در عمیق‌ترین بخش دره نشان‌دهنده وجود حفرات انحلالی است که به‌عنوان مجرای عبور آب زیرزمینی عمل می‌کنند.

با توجه به بررسی‌های انجام شده، چشمه‌های N-3 و N-4 دارای منشأ واحد هستند. آب این چشمه‌ها از مسیر کانال انحلالی منتهی به محدوده چاه N-8 تأمین می‌شود. بر اساس اندازه‌گیری غلظت سیانید در چاه N-8 و چشمه‌های N-3 و N-4 که از مهر ماه ۱۳۸۴ الی بهمن ماه ۱۳۸۵ انجام شده است، می‌توان نتیجه گرفت که ارتباط هیدرولیکی بین بخش جنوب غربی مخزن سد باطله و چاه N-8 و همچنین چشمه‌های N-3 و N-4 وجود دارد.

#### یادداشت‌ها

- 1- Tailing Dams
- 2- Electrical Resistivity Imaging (ERI)

چاه می‌شود (شکل شماره ۷، بخش C). در دوره تر سال با نفوذ آبهای ناشی از بارش (برف) و افزایش گرادیان هیدرولیکی در پشت سد باطله، حجم آب عبوری از محدوده چاه N-8 افزایش می‌یابد، به طوری که پمپاژ از این چاه قادر به تخلیه کامل این مقدار آب نیست و در نتیجه غلظت سیانید چشمه‌ها افزایش می‌یابد (شکل شماره ۷، بخش‌های P, E).

#### نتیجه‌گیری

گسترش سیستم کارست در سنگهای ژیبسی محدوده مخزن باطله نقش کنترل‌کننده‌ای بر جهت جریان آب زیرزمینی دارد. جهت کلی جریان آب زیرزمینی از سمت مجموعه تأسیسات کارخانه به سمت جنوب غرب محدوده است.

بر اساس نتایج مطالعات ژئوفیزیک به روش ERI که در راستای پاشنه پایین دست محور سد باطله انجام شده است، مقادیر مقاومت ظاهری به‌طور کلی از سمت تکیه‌گاه شمالی به سمت تکیه‌گاه جنوبی کاهش می‌یابد. این وضعیت می‌تواند به دلیل تغییر لیتولوژی از ماسه سنگ به مارلستون و مواد ژیبسی و همچنین به

#### منابع مورد استفاده

- افتخارنژاد، ج. ۱۳۵۹. تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، ص ۱۹ تا ۲۸.
- Birk, S. 2001. Characterization of Karst flow systems by an integrated modeling approach- simulations of long-term aquifer genesis and short term transport processes examined at gypsum aquifers, Ph.D. thesis, University of Tuebingen.
- Calaforra, J.M., A.P., Bosch. 2003. Evolution of the gypsum Karst of Sorbas (SE Spain), Geomorphology, Vol. 50, pp. 173-180.
- Drever, J.I. 1997. The Geochemistry of Natural Waters, 3rd ed., Prentice Hall, New Jersey, 436p.
- Faravari Poua Zarcán Agh Darreh. 2004. Evaluation on Iran PZA Gold Mine Tailing Pile.
- Golder Associates Ltd. 2005. Final report on Pouya Zarkan Agh Darreh gold project design detailed tailing management facility.
- Golestanifar, M., A.A., Bazzazi. 2010. TISS: a decision framework for tailing impoundment site selection, Environmental earth science, Vol. 61, pp. 1505-1513.
- Hanslow, A.W. 1995. Water Quality Data: Analysis and Interpretation, LEWIS Publishers.
- Pouya Zarkan Agh Darreh Co. 2006. Environmental reports (for the period 2004-2006).

---

Romanov,D., F.,Gabrovek, W.,Dreybrodt .2003. Dam sites in soluble rocks: a model of increasing leakage by dissolutional widening of fractures beneath a dam, *Engineering Geology*, Vol. 70, pp. 17-35.

Sharma,R.S. 1994. Some Aspects of liquefaction of tailing dams, Masters Thesis, Imperial College of Science, Technology & Medicine, University of London.

Sumanovac,F., M.,Weisser. 2001. Evaluation of resistivity and seismic methods for hydrogeological mapping in karst terrains, *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 47, pp. 13-28.

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.