

ارزیابی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سازند گچساران به منظور نشت آب (مطالعه موردی مخزن سد خرسان ۳)

مجتبی نوری سرتنگی^۱، علی ارومیه‌ای^۲ و کاظم زارعی^۳

^۱ کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ استاد، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۳ کارشناسی ارشد، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۳/۲۱

چکیده

به منظور بررسی انحلال‌پذیری ژئیس و مشکلات نشت و انتخاب روش مناسب برای آب‌بندی سازند گچساران که بخشی از مخزن را شامل می‌شود؛ ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سازند گچساران در سد خرسان ۳ مورد بررسی قرار گرفت. سد خرسان ۳، سدی بتنی دو کمائی با ارتفاع ۱۹۵ متر روی رودخانه خرسان در ۴۰ کیلومتری جنوب شهرستان لردگان در حال ساخت است. زمین‌شناسی ساختگاه شامل آهک سازند آسماری، مارن، ژئیس و ژئیس مارنی سازند گچساران، شیل و مارن‌های سازند پابده و گورپی و آبرفت‌های رودخانه‌ای است. در تعدادی از نمونه‌ها، میزان آب‌گذری و انحلال تعیین و مطالعات XRD و XRF انجام شد. همچنین نشت آب از مخزن سد با استفاده از تجزیه و تحلیل عددی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج و بررسی‌ها حضور مارن زیاد، لوژان کمتر از ۳ و RQD بالای سازند گچساران را نشان می‌دهند؛ که بنابراین نداشتن کاتاف یا پرده دوغاب پیشنهاد داده می‌شود.

کلیدواژه‌ها: سد خرسان ۳، انحلال‌پذیری، سازند گچساران، فرار آب.

***نویسنده مسئول:** مجتبی نوری سرتنگی

E-mail: m.noori281@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

انحلال سنگ‌های با قابلیت انحلال و نشت آب همواره دو مشکل شایع در بسیاری از سایت‌های سدسازی است که در آن آب از راه پی و درزه‌ها به بیرون نشت می‌کند. یکی از مسائل مهم سدسازی، تعیین محل سد در مناطق کارستی است که باید جوانب قضیه و مخاطرات ناشی از پدیده کارستی از جمله میزان فرار آب از درون درزه‌ها و شکاف‌ها و همچنین درجه انحلال‌پذیری سنگ پی در نظر گرفته شود. تجربه نشان داده است که پدیده‌های بحرانی زمین‌شناسی موجب بروز مشکلات فراوانی در برخی از سدها شده است؛ بیشتر این پدیده‌ها در سدهای مناطق کارستیک به دلیل وجود تخلخل و شکستگی‌های ناشی از انحلال سنگ‌هایی همچون سنگ آهک، دولومیت، ژئیس، انیدریت، سنگ نمک و ... است. همچنین برای بررسی دقیق مطالعات زمین‌شناسی نیاز به تجزیه و تحلیل آزمایش‌ها، حفاری‌ها، گمانه‌ها، ترانسه‌ها، بررسی‌های ژئوفیزیکی است و بنابراین لازم است که سنگ‌های تبخیری و انحلال‌پذیر مطالعه شوند و همیشه سعی شود که مخاطرات و خرابی سدها ناشی از عوامل انحلال‌پذیر و همچنین دسته‌بندی مخاطرات سدها در ارتباط با شرایط محل آنها همچون انحلال‌پذیری، فرسایش داخلی، جریان‌های پر سرعت زیرسطحی، فشارهای هیدرواستاتیک، تغییر شکل‌پذیری بالا تحت اثر تخلخل قابل توجه، نفوذپذیری و همچنین نقش گالری‌های شناسایی برای شناخت عوامل زیرسطحی و مشکلات مجاری کارستی در ارتباط با مهندسی سد و عوامل تشکیل فروچاله در محدوده سد و مخزن بررسی شود تا در صورتی که مشکلاتی همچون فرار آب را به دنبال داشته باشند؛ پیش از آب‌گیری مورد مطالعه گسترده‌تر قرار گیرند و راهکارهای مثبت در پیش گرفته شود.

موضوع نشت آب از سازه‌های هیدرولیکی همواره یک موضوع مورد توجه بسیاری از پژوهشگران در سال‌های گذشته بوده است. برای نمونه (Turkmen 2002) به بررسی مشکل نشت سد Kalecik ترکیه می‌پردازد. در ایران (Uromeihy 2000) و (Milanovic 2004) سد لار، (Milanovic 2004) و (Ghobadi et al. 2005) سد کارون ۱، (Milanovic 2004) سد مارون، (Milanovic 2004) و (Fazeli 2005) سد سلمان فارسی و (Maleki 2005) سد کارون ۴ را مطالعه و هر کدام به گونه‌ای مشکل نشت و کارستی شدن سازه‌های آهکی را بررسی کرده‌اند که نتایج آنها به

صورت کامل در جدول ۱ آمده است. از آنجایی که در منطقه زاگرس ساخت ۳۰ سد پیش‌بینی شده و همواره بیشتر آنها روی سازه‌های کارستی ساخته می‌شوند؛ انحلال‌پذیری و فرار آب مشکل اساسی این سایت‌ها معرفی می‌شود. از آنجایی که کنترل مقدار نشت که ممکن است پس از آب‌گیری سد با آن برخورد شود از دید اقتصادی بسیار گران است؛ در این حالت روش‌های مختلفی برای کنترل نشت وجود دارد که از آن جمله می‌توان نصب و راه‌اندازی پرده آب‌بند و پتوی رسی را نام برد (Uromeihy and Barzegari, 2007).

۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پهنه زاگرس، جنوب ایران، در نزدیکی شهر لردگان با مختصات جغرافیای ۳۱N عرض جغرافیای و ۵۱E طول جغرافیایی در نزدیکی روستای سردشت جای دارد. این سد روی رودخانه خرسان پر آب‌ترین شاخه کارون ساخته شده است که همواره از شهرستان اردکان استان فارس سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از استان کهگیلویه و بویراحمد، افزوده شدن چند سرشاخه به این رودخانه و گذشتن از منطقه لردگان در پایین دست سد کارون ۴ وارد مخزن سد کارون ۳ می‌شود. سد بتنی دو کمائی نازک با ارتفاع ۱۹۵ متر و حجم بتن یک میلیون متر مکعب برای بدنه سد و حجم مخزن بیش از ۱۱۵۸ میلیون متر مکعب است. از جمله اهداف ساخت این سد می‌توان تولید بیش از ۱۰۰۰ گیگاوات ساعت برق، کنترل سیلاب، افزایش تولید انرژی در سدهای پایین دست، کنترل رسوبات رودخانه، افزایش عمر سدهای پایین دست، اشتغال‌زایی، پرورش آبزیان و افزایش جاذبه‌های گردشگری را نام برد. موقعیت جغرافیایی و نقشه ساختگاه در شکل ۱ نشان داده شده است.

۳- ویژگی‌های زمین‌شناسی

چینه‌شناسی و چارچوب ساختاری زاگرس در جزئیات توسط (James and Wynd 1965) و (Stocklin 1968) مطالعه شده است. سازندهای اصلی تشکیل دهنده منطقه شامل سازند گچساران (میوسن)، آسماری (الیگومیوسن) و پابده و گورپی (پالئوسن-الیگوسن) هستند. سازند گچساران به‌طور چیره شامل مارن و سنگ گچ است و در ارتفاعات

در حد ۴۰ واحد لوژن نیز به دست آمده است. سطح آب زیرزمینی در گمانه‌های دره شوش کمینه ۱۷/۲۰ متر در گمانه Kt10 و بیشینه ۵۷/۳۰ متر در گمانه kt5 اندازه‌گیری شده است؛ به بیان دیگر، تراز آب زیرزمینی در گمانه kt5 معادل ۱۴۰۸ متر، در گمانه kt9 معادل ۱۴۱۰/۰۸ متر و در گمانه Kt10 معادل ۱۳۹۳/۳۹ متر است که نشان‌دهنده شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی از گمانه kt9 به سوی kt5 و به سوی دره اینکک است که تراز حدود ۱۳۸۰ متر دارد و از گمانه به سوی Kt10 رودخانه خرسان است. سطح آب زیرزمینی در گمانه BH20 معادل ۳۶/۵۰ متر، در گمانه BH21 معادل ۳۳/۶۰ و در گمانه BH22 برابر صفر یا آرتزین با فشار و دبی بسیار ناچیز است که قابل اندازه‌گیری نیست و تنها تراوشی از سر گمانه صورت می‌گیرد. شکل ۳ نقشه محل گمانه‌های سد را نشان می‌دهد.

۵- ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی

۵-۱. کیفیت توده سنگ (RQD)

شاخص کیفی توده سنگ (RQD)، بیشتر به عنوان یک متغیر برای تعیین ویژگی‌های دسته‌درزه‌ها در یک توده سنگ و همچنین نشان دادن کیفیت توده سنگ ساخته‌گاه استفاده می‌شود. برای مطالعه بیشتر سازند گچساران در مخزن سد ۱۵ گمانه با ژرفاهای مختلف ژرفای کمینه ۵۴ متر و ژرفای بیشینه ۲۲۰ متر حفر شده است. به منظور بررسی و ارزیابی ژئوتکنیکی سازند گچساران و تأسیسات وابسته به آن اطلاعات به دست آمده از گمانه‌های اکتشافی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و همه نتایج به دست آمده با توجه به تقسیم‌بندی ارائه شده توسط Deer (1986) در جدول ۲ به صورت کامل بیان و خلاصه‌ای از توصیف کیفی آن در شکل ۴ نشان داده شده است.

۵-۲. نفوذپذیری

ضریب نفوذپذیری بر حسب تعریف (Lancaster-Jones (1975) از میزان آب جذب شده در واحد طول گمانه در یک زمان مشخص در یک فشار خاص به دست می‌آید که این فشار بستگی به جنس، ژرفا و بازشدگی توده سنگ دارد. از آنجایی که داده‌های حاصل از آزمایش لوژان پایه طراحی پرده آییند است؛ (Houlsby (1990) پیشنهاد می‌کند که هرگاه میزان لوژان کمتر از ۳ باشد نیازی به اجرای پرده نیست. اما زمانی که لوژان میان ۳ تا ۱۰ باشد اجرای یک ردیف گمانه تریق و در صورتی که بیش از ۱۰ باشد اجرای چند ردیف گمانه ضروری است (Uromeihy and Barzegari, 2007)؛ (Uromeihy and Farrokhi, 2012). نتایج آزمایش‌های لوژان اندازه‌گیری شده در سد خرسان ۳ در شکل ۵ نمایش داده شده است. به‌طور کلی بیش از ۹۰٪ از گمانه‌های حفر شده در سازند گچساران لوژان کمتر از ۳ دارند که می‌تواند نرخ هوازدهی و شکستگی‌های توده سنگ را ارزیابی کند. همچنین سازوکار جریان آب با انجام آزمایش لوژان به صورت فشار پله‌ای به دست آمد که نشان‌دهنده این است که حدود ۸۰٪ از آزمایش‌ها رفتار خطی از خود نشان داده‌اند که در شکل ۵ نشان داده شده است.

۶- آزمایش‌های آزمایشگاهی

۶-۱. آزمایش‌های آزمایشگاهی روی مارن

در این پژوهش سعی شده که آزمایش‌هایی مربوط به مارن (دوام، تورم، تعیین کرنات) روی چند نمونه از مارن‌های سازند گچساران انجام شود که نتایج آنها در جدول ۳ آمده است. هوازدهی می‌تواند موجب یک تغییر سریع در مواد سنگ و تبدیل مواد اولیه سنگ به خاک شود. حساسیت انواع سنگ‌ها در برابر هوازدهی معمولاً با متغیری با نام دوام شرح داده می‌شود. به هر حال ISRM پیشنهاد می‌کند که برای به دست آوردن شاخص دوام مارن از دو چرخه تر و خشک شدن استفاده شود. افرادی همچون (Santani (1998), Predrag and Goran (2001) و ... کاهش شاخص دوام را روی سنگ‌های مارنی، ایگنمبریت‌ها، کنگلومراها و ماسه‌سنگ‌ها بررسی کرده‌اند.

پایین دیده می‌شود. سازند آسماری با ستبرای حدود ۵۰۰ متر در بیشتر سامانه‌های سدسازی زاگرس وجود دارد. این سازند نقش مهمی در شکل‌گیری منطقه مورد مطالعه دارد و توسط سنگ‌آهک با میان‌لایه‌های مارنی به واحدهای آسماری بالایی و پایینی تقسیم می‌شود. آسماری پایینی شامل ۲۵۰ متر آهک مارنی با میان‌لایه‌هایی از آهک و دولومیت و آسماری بالایی با ستبرای ۲۳۵ متر شامل سنگ‌آهک توده‌ای است. در زیر آسماری سازند پابده و گورپی قرار دارند که متشکل از خاک رس، شیل و مارن هستند. منطقه مورد مطالعه در محدوده تاق‌دیس‌های ریگ، شوروم و لکی جای دارد که محور تاق‌دیس به موازات زاگرس است (شکل ۱). تاق‌دیس ریگ در سوی خاور دریاچه سد و متشکل از آسماری کارستیک و تاق‌دیس شوروم در سوی باختر دریاچه و تاق‌دیس لکی میان شوروم و ریگ جای گرفته است. از آنجایی که اساس تعیین محل سد وجود دره تنگ و باریک با کمترین عرض است که قابلیت تحمل بارهای منتقل شده توسط بدنه سد را داشته باشد (Eraso, 1989)؛ وجود توپوگرافی آسماری این شرایط را برای ساخت سد در زاگرس فراهم می‌کند (Mohammadi et al., 2007).

امتداد و شیب سامانه درزه با وجود چهار دسته درزه در تکیه‌گاه راست و چهار دسته درزه در تکیه‌گاه چپ سد اندازه‌گیری و به روش Prist (1985) رسم شده است که در شکل ۲ دیده می‌شود.

۴- هیدروژئولوژی

تفاوت در ارتفاع میان تاق‌دیس‌ها و سطح رودخانه و همچنین دسته‌درزه‌های دیده شده در آسماری سبب آسان شدن حرکت آب و شارژ آب زیرزمینی می‌شود. این درزه‌ها و شکستگی‌ها آب‌های زیرزمینی حاصل از بارش و ذوب برف‌های بخش‌های بالایی تاق‌دیس ریگ، شوروم و لکی را به سوی آبخوان‌های منطقه زهکشی می‌کنند. چنانچه در منطقه ۲۸ چشمه دیده می‌شود؛ که ۱۴ تا از آنها از تاق‌دیس ریگ، ۱۲ تا از تاق‌دیس شوروم و ۲ تا از تاق‌دیس لکی سرچشمه می‌گیرند و از مجموع ۲۲ پیژومتر که در محل سد نصب شده است؛ اطلاعات هیدروشمایی و ایزوتروپی حضور دو سفره آزاد و دو سفره آرتزین را اثبات می‌کند. پیژومترهای نصب شده در دره شوش نشان‌دهنده وجود سفره آزاد است (Mohammadi et al., 2007)؛ (Karimi et al., 2005).

برای ارزیابی شرایط نفوذپذیری توده سنگ سازند گچساران همزمان با انجام حفاری‌های اکتشافی، آزمایش‌های نفوذپذیری به روش لوژان بیشتر در قطعات ۵ متری در گمانه‌ها انجام شده است. تنها در گمانه‌های Kt5 در ژرفاهای ۱۳۷ تا ۱۹۵/۵ و Kt9 در ژرفاهای ۸۰ تا ۱۵۰ به دلیل شسته شدن نمک (core wash) هیچ‌گونه اطلاعاتی از وضعیت نفوذپذیری وجود ندارد؛ اما در گمانه ۱۰ kt تنها در ژرفاهای ۲۵ تا ۳۶ متری آزمایش نفوذپذیری انجام شده است. در ژرفایی شستشوی مغزه‌های حفاری صورت گرفته است؛ از جمله ۳۱ تا ۳۶ متر و ۵۴ تا ۵۷ متر و ۶۵ تا ۹۰. اما در گمانه‌های BH20- BH22 در همه قطعات آزمایش نفوذپذیری صورت گرفته است. شرایط نفوذپذیری توده سنگ به‌طور کلی بیانگر آن است که در پهنه‌های سطحی بیشتر تا ژرفای ۴۰ متری به‌ویژه در گمانه‌های BH20، BH21، BH22 و Kt9 بسیار زیاد است که با سطح آب زیرزمینی گمانه‌ها نیز تطابق به نسبت خوبی دارد. نفوذپذیری تا ژرفای ۴۰ متری به دلیل وجود آبرفت زیاد است و بارش‌های جوی به آسانی از این آبرفت‌ها عبور می‌کنند و به واسطه درز و شکاف‌هایی که در سنگ‌ها وجود دارد؛ سفره‌های آب زیرزمینی در ژرفای ۷۵ تا ۸۰ متری زمین در سازند گچساران ایجاد شده است. شرایط نفوذپذیری توده سنگ به جز در سطح تا ژرفای ۴۰ متری و در نقاطی که شستشوی مغزه‌ها صورت گرفته است؛ در حد کم تا بسیار کم ارزیابی می‌شود (۳ تا ۱۰ لوژن) که مقاطع زمین‌شناسی و نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری در گمانه‌های SH1 تا SH10 بیانگر آن است که در لایه‌های مارنی میزان نفوذپذیری بسیار کم اما در لایه‌های مارن ژیبس‌دار و ژیبس در حد متوسط تا کم است. در برخی قطعات به‌ویژه در گمانه‌های SH5 و SH6 نفوذپذیری

با استفاده از رابطه میان EC و CS، مقدار غلظت نمونه‌ها را در طول زمان به دست آورد. نمودار شکل ۱۰ رابطه خطی میان EC و CS را نمایش می‌دهد.

نمودارهای شکل ۱۱ نرخ انحلال ژئوس نمونه‌ها در واحد زمان را نسبت به PHهای مختلف نشان می‌دهند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که هر چه PH بازی باشد؛ میزان انحلال‌پذیری کم و برای رسیدن به اشباع زمان طولانی‌تری لازم است. انحلال‌پذیری با PH آب رودخانه خرسان انجام شده است که نشان می‌دهد با افزایش زمان، PH محیط به سوی بازی پیشروی می‌کند و سرعت انحلال را کاهش می‌دهد. در همه نمونه‌ها به غیر از گمانه SH4 نمونه پس از گذشت کمتر از ۲۰ ساعت به صورت کامل اشباع می‌شود نمودارهای شکل ۱۲ ثابت سرعت انحلال ژئوس نمونه‌ها را در واحد زمان نشان می‌دهد.

۴-۴. آنالیز نشت

برای آنالیز نشت در محدوده دره شوش سعی شد تا در امتداد دو سکشن ۱ و ۲ (شکل ۱) یکی در سوی عمود بر محور دره شوش و دیگری عمود بر سکشن پیشین با استفاده از نرم‌افزار Seep/W میزان نشت به دست آید. همچنین با تعیین دو جانمایی احتمالی برای اجرای کاتاف یا پرده آب‌بند و با لحاظ کردن فرضیه (Houlsby 1990) ژرفای پرده آب‌بند برابر با سطح ایستابی آب در محل (d=H)، میزان فرار آب در حالت‌های مختلف محاسبه و با همدیگر مقایسه شود. شکل ۱۳ سکشن ۱ و ۲ و شکل‌های ۱۴ و ۱۵ آنالیز نشت را توسط نرم‌افزار Seep/W در امتداد این دو سکشن نشان می‌دهد.

میزان نشت در حالتی که هیچ گونه دیوار حایل در سکشن ۱ وجود نداشته باشد؛ برابر ۰/۰۶۸۶ لیتر بر ثانیه بر طول واحد اندازه‌گیری شده است و در شرایطی که دیوار حایل در جانمایی الف برابر با ژرفای سطح آب زیرزمینی اجرا شود؛ میزان این تراوش برابر ۰/۰۵۴ لیتر بر ثانیه بر طول واحد کاهش پیدا می‌کند که برابر با ۲۵/۳٪ برآورد شده است. در صورتی که دیوار حایل در جانمایی ب اجرا شود؛ میزان نشت به مقدار ۰/۰۵۱۶ لیتر بر ثانیه بر طول واحد کاهش پیدا خواهد کرد که تقریباً برابر ۳۱٪ است.

میزان دبی محاسبه شده در مقطع شماره ۲ پیش از اجرای پرده آب‌بند برابر مقدار عددی ۰/۲۰۶ لیتر بر ثانیه بر متر طول محاسبه شده است. در حالی که پس از اجرای پرده آب‌بند مقدار آن به ۰/۱۷۷ کاهش پیدا کرده است؛ که برابر با مقدار ۱۴٪ پیش‌بینی شده است.

۷- نتیجه‌گیری

شرایط هیدروژئولوژی دره شوش نشان‌دهنده این است که شیب هیدرولیکی تقریباً از تراز ۱۴۲۵ در دره شوش به سوی رودخانه خرسان (تراز رودخانه حدود ۱۲۷۰ متر) با شیب هیدرولیکی حدود ۰/۱٪ و از محل گمانه kt9 به سوی دره اینکک (تراز حدود ۱۳۸۰ متر) است. به عبارت دیگر می‌توان گفت که خط تقسیم آب زیرزمینی میان رودخانه خرسان و دره اینکک در حد فاصل گمانه‌های kt9 و kt10 ژئوتکنیکی قرار دارد و بنابراین می‌توان بهترین سطح تراز برای آب پشت سد را تراز ۱۴۲ متر در نظر گرفت؛ چرا که بالاتر از این تراز همواره سبب منطبق شدن سطح تقسیم آب زیرزمینی و سطح آب پشت سد می‌شود که می‌توان احتمال فرار آب و یا افزایش انحلال‌پذیری در امتداد سکشن ۲ را به دلیل شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی به سوی بخشی از دره اینکک حدس زد که از درون سازند گچساران عبور می‌کند.

نتایج مطالعه مارن‌ها نشان می‌دهد که دوام مارن‌ها در چرخه اول طبق رده‌بندی Franklin and Chandra (1972) در رده متوسط تا کمی مقاوم و در چرخه دوم در رده خیلی ضعیف تا متوسط قرار می‌گیرد؛ آزمایش کلسیومتری میزان کرنات کمتر از ۲۰٪ را در بیشتر نمونه‌های مارنی نشان می‌دهد و همه نمونه‌ها به جز SH6 در آزمایش تورم طی مدت زمان کمتر از ۵ ساعت از هم می‌پاشند. آزمایش‌ها، درصد بالای کانی رس را در بخش مارنی سازند گچساران اثبات می‌کنند. بنابراین این بخش می‌تواند به عنوان یک پتوی رسی رفتار کند و میزان فرار آب را به گونه‌ای چشمگیر کاهش دهد.

آزمون دوام اولین بار توسط Gamble (1971) و Franklin and Chandra (1972) پیشنهاد و توسط ISRM (1979) اصلاح شد که به عنوان یک روش استاندارد (ASTM D4644-04, 2004) شناخته شده است. در این آزمایش ۱۰ قطعه سنگ با وزن تقریبی ۴۵ تا ۵۵ درون دستگاه با آب ۲۰ درجه سلیسیوس به مدت ده دقیقه مورد چرخش قرار داده می‌شود. در پایان نسبت وزن نمونه‌های خشک پس از آزمایش به وزن نمونه‌های خشک پیش از آزمایش در چرخه دوم به عنوان شاخص دوام آن سنگ معرفی می‌شود (Predrag and Goran, 2001). در این بررسی با استفاده روش کلسیومتری مقدار کرنات تشکیل دهنده مارن‌ها و همچنین میزان تورم که ممکن است بر اثر جذب آب در نمونه‌های مارنی به وجود آید با انجام آزمایش به دست آمده است. نتایج آزمون تورم روی مارن‌ها نشان می‌دهد که بیشتر نمونه‌ها در زمان کمتر از ۲ ساعت از هم می‌پاشند و نمی‌توان تورم واقعی نمونه‌ها را اندازه‌گیری کرد؛ ولی تا جایی که تورم ادامه داشته؛ مقدار آن طبق نمودارهای شکل ۶ به دست آمده است (جدول ۳).

۶-۲. آزمایش XRF و XRD

پیش از انجام آزمایش‌های انحلال‌پذیری برای مشخص بودن ویژگی‌های سنگ‌شناسی و ارتباط آن با میزان انحلال‌پذیری از همه نمونه‌هایی که در جدول ۵ آمده‌اند؛ یک مخلوط از پودر همه نمونه‌ها تهیه؛ در پایان ۳۰ گرم از نمونه از الک ۲۰۰ عبور داده و برای انجام آزمایش XRF و XRD به آزمایشگاه تحویل داده شد؛ که نتایج آن در جدول ۴ و شکل ۸ نشان داده شده است.

نتایج آزمایش‌های XRF و XRD درصد بالای ژئوس نمونه را به صورت کامل تأیید می‌کنند؛ در حالی که در آزمایش XRD ترکیب کلی نمونه‌ها تنها ژئوس و انیدریت است.

۶-۳. قابلیت انحلال کج

ژئوس $(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$ یک کانی تشکیل دهنده سنگ‌ها با قابلیت انحلال بالاست و در ساختگاه سد خرسان ۳ بخشی از مخزن را دربر می‌گیرد (شکل ۱). میزان انحلال‌پذیری 1.8g/L با استفاده از آزمایش‌های انحلال‌پذیری (شکل ۹) به دست آمده است؛ ولی با این وجود، هیچ گونه حفره انحلالی در مخزن سد خرسان-۳ دیده نشده است. موضوع انحلال‌پذیری توسط پژوهشگران مختلفی مورد بحث قرار گرفته است (Quinlan et al., 1986; Dean and Johnson, 1989; Klimchouk et al., 1996; Martinez et al., 1998; Johnson, 1996, 1997, 2003, 2005 and 2008).

دو ویژگی اصلی مواد محلول که سرعت انحلال را تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ انحلال‌پذیری و سرعت ویژه انحلال هستند.

— **سرعت ویژه انحلال (K):** سرعتی که با آن محلول به غلظت تعادلی خود می‌رسد؛ سرعت انحلال نام دارد. ثابت سرعت انحلال ژئوس، کرنات کلسیم و هالیت به روشی مشابه به دست می‌آید و به سادگی با یکدیگر قابل مقایسه هستند. در این آزمایش‌ها از دو روش زیر برای محاسبه ثابت سرعت انحلال نمونه‌ها استفاده شده است. تعیین ثابت سرعت انحلال به روش وزنی بر پایه اطلاعات به دست آمده از سرعت انحلال این سنگ‌ها با استفاده از رابطه ۱ به دست می‌آید (James and Lupton, 1978; James and Kirkpatrick, 1980). در جدول ۵ اطلاعات ثابت سرعت انحلال نمونه‌های مختلف نشان داده شده است.

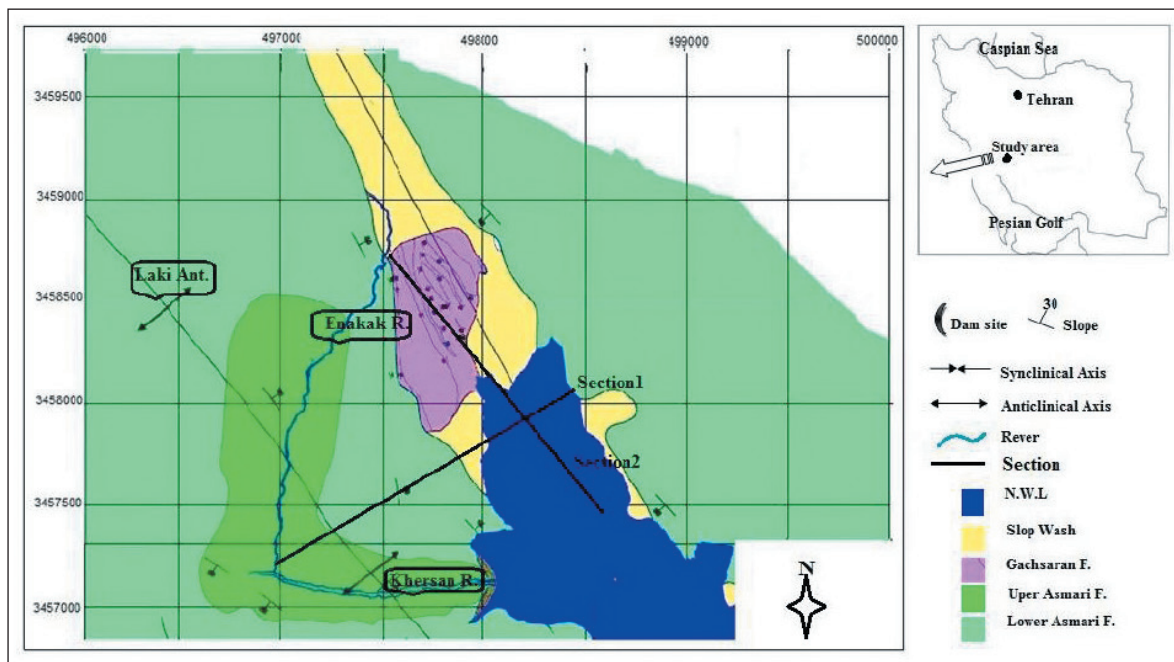
$$\frac{dM}{dt} = KA(C_s - C) \quad \text{رابطه ۱}$$

CS غلظت ماده در محلول در زمان اشباع (بر حسب gr/lit)، M جرم حل شده در زمان t (بر حسب kg)، A سطح در معرض تماس با حلال (بر حسب m²)، C غلظت ماده در محلول در زمان t (بر حسب gr/lit) و K ثابت سرعت انحلال (بر حسب m/s) است.

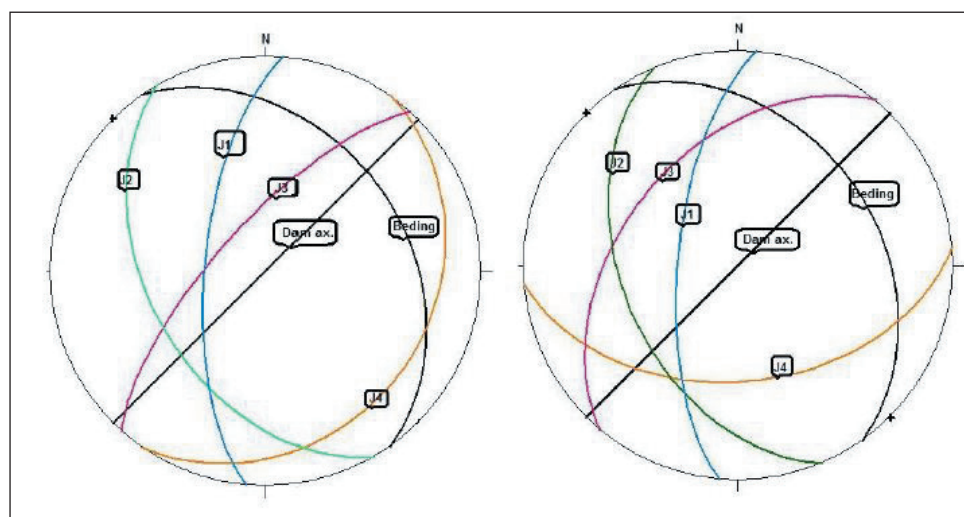
در رابطه ۱ برای به دست آوردن CS محلول اشباع گردیده مقدار EC آن را اندازه‌گیری می‌کنیم. از آنجا که نمی‌توان غلظت را به‌طور مستقیم در طول آزمایش به دست آورد؛ می‌توان با استفاده از رابطه‌ای که میان غلظت و هدایت الکتریکی است؛ در طول آزمایش با استفاده از دستگاهی که هدایت الکتریکی را ثبت می‌کند

به‌طور کلی در این پژوهش به دلیل حضور مارن زیاد سازند گچساران که درصد بالای رس آن با انجام آزمایش‌های کلسیومتری، تورم و دوراییلیتی به اثبات رسیده و با در نظر گرفتن تراز بیشینه آب پشت سد (۱۴۲ متر) نیازی به طراحی کاتاف یا پرده آب‌بند نیست؛ ولی آزمایش تراوش در امتداد دو سگشن ۱ و ۲ (شکل ۱) نیز انجام شده است. در صورتی که کارفرما تصمیم به اجرای پرده آب‌بند دارد؛ در امتداد مقطع ۲ برای کاهش هزینه‌ها نیاز به اجرای پرده آب‌بند دیده نمی‌شود؛ اما باید در امتداد مقطع ۱ در سازند آسماری (شکل ۱۴-الف) اجرای پرده آب‌بند از نوع دوغاب و در سازند گچساران (شکل ۱۴-ب) به دلیل انحلال‌پذیری بیشتر نسبت به آسماری از کاتاف استفاده شود.

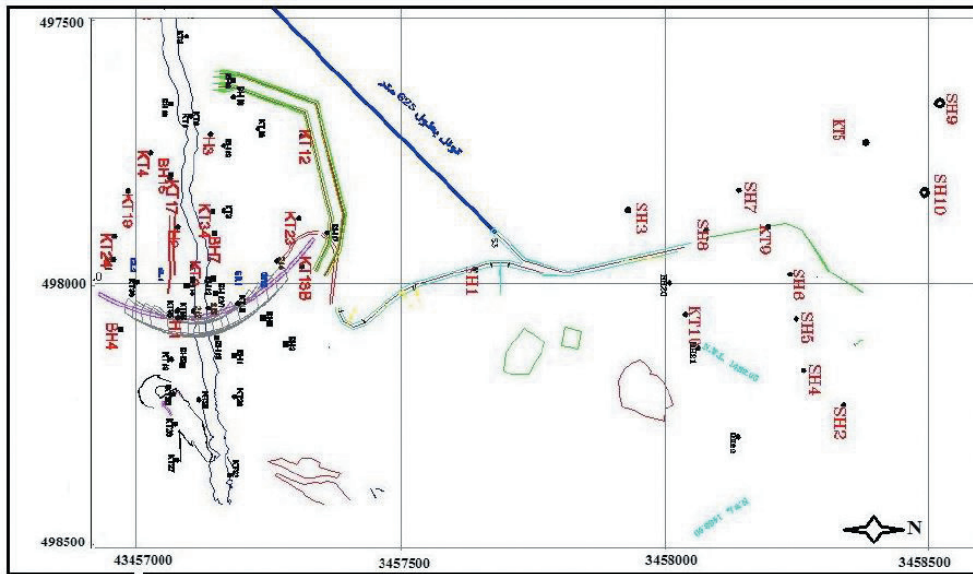
درزه‌های سامان‌مند موجود در منطقه می‌توانند به گسترش پدیده کارستی شدن کمک کنند. ولی با توجه مقدار RQD بالای سازند گچساران که نشان می‌دهد بیش از ۷۵٪ از کیفیت سنگ در رده خیلی خوب قرار می‌گیرد و همچنین میزان لوژان بسیار پایین کمتر از یک در بیشتر مقاطع، نمی‌توان به روشنی میزان فرار آب و یا انحلال در ژرفای بالا را با آزمایش‌های آزمایشگاهی نشان داد. در حالی که به باور (Houlsby 1990) نیاز به اجرای هیچ گونه آب‌بند وجود ندارد؛ ولی آزمایش‌های آزمایشگاهی ثابت سرعت انحلال را $10^{-5} \times 0.917$ نشان می‌دهند که نسبت به ثابت سرعت انحلال آهک آسماری در سد خرسان $10^{-5} \times 1/65$ ؛ فتح‌الهی، (۱۳۸۶) حدود ۱/۸ مرتبه انحلال‌پذیرتر است و نسبت به حالت عادی ژیس‌ها انحلال‌پذیری کمتری دارد.



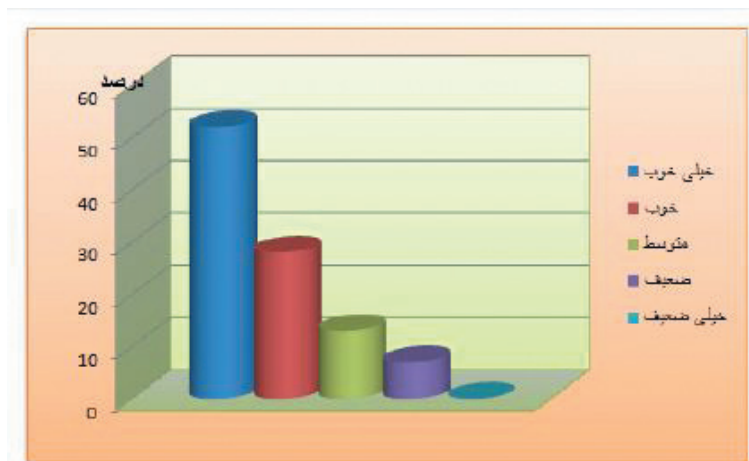
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی طرح سد (شرکت مهندسی مشاور آبان پژوه، ۱۳۸۹).



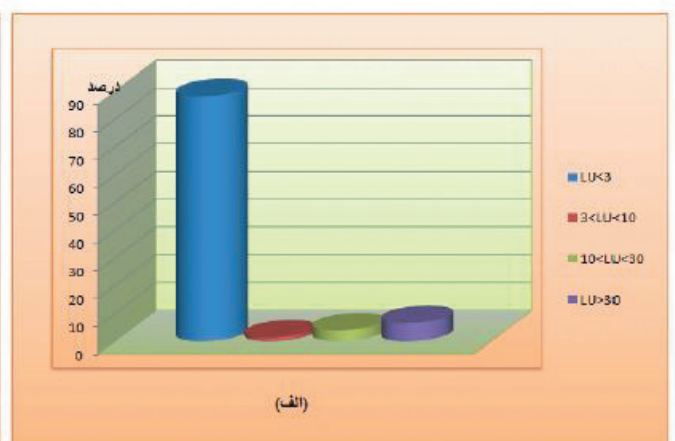
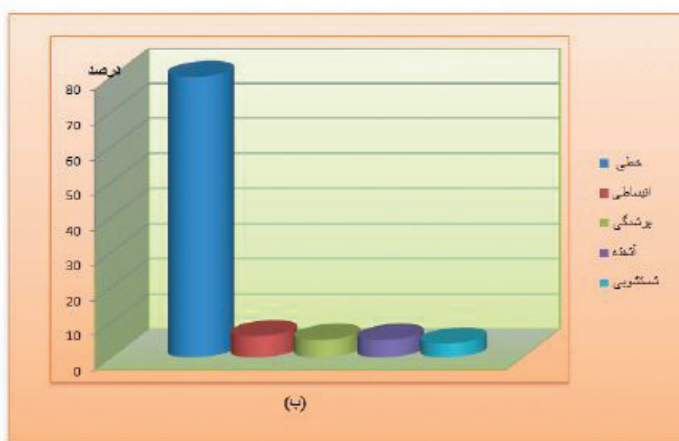
شکل ۲- دسته‌دازه‌های تکیه‌گاه راست (راست) و تکیه‌گاه چپ (چپ).



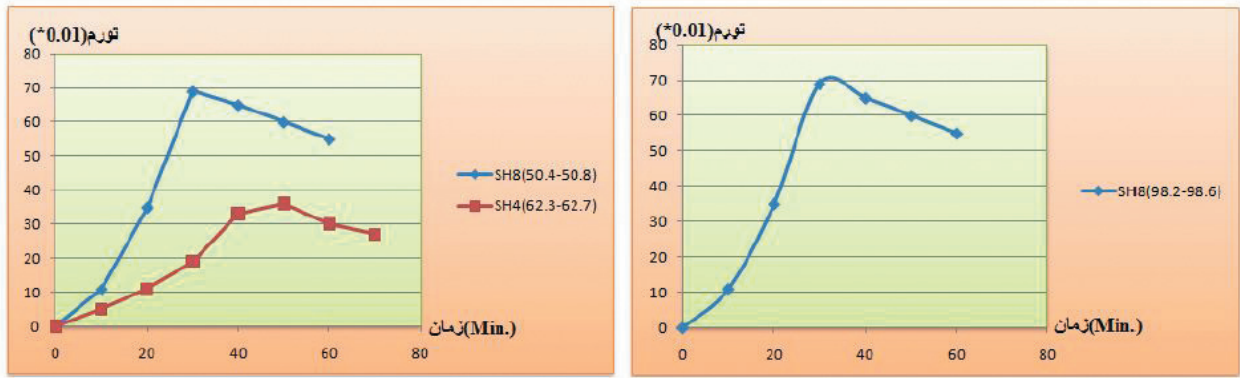
شکل ۳- نقشه محل گمانه‌های حفر شده در سد خرسان ۳ (شرکت مهندسين مشاور آبان پژوه، ۱۳۸۹).



شکل ۴- تغييرات RQD در دره شوش، ساختگاه سد خرسان ۳.



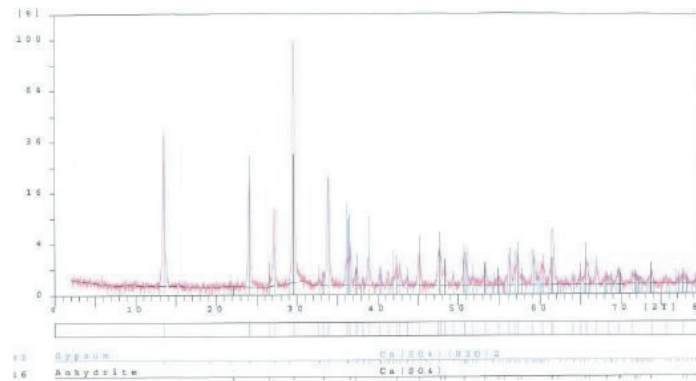
شکل ۵- الف) نتايج آزمايشات لوژان بر روي سازند گچساران؛ ب) سازوکار رفتارنگاري آب در گمانه‌های دره شوش.



شکل ۶- نمودار تغییرات آزمایش تورم نسبت به زمان.



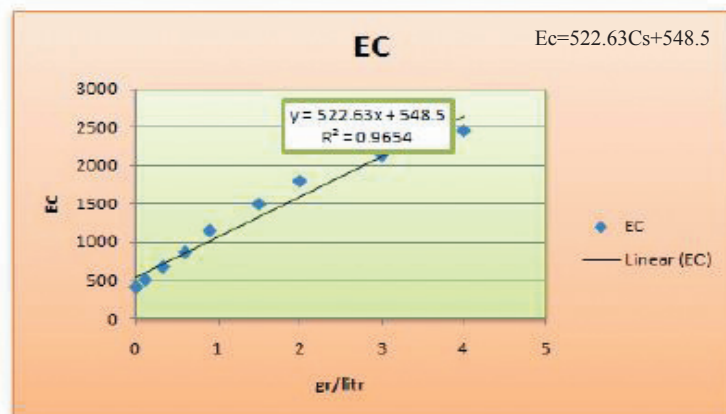
شکل ۷- نمونه‌هایی از گمانه SH8 و SH7 در پایان چرخه دوم.



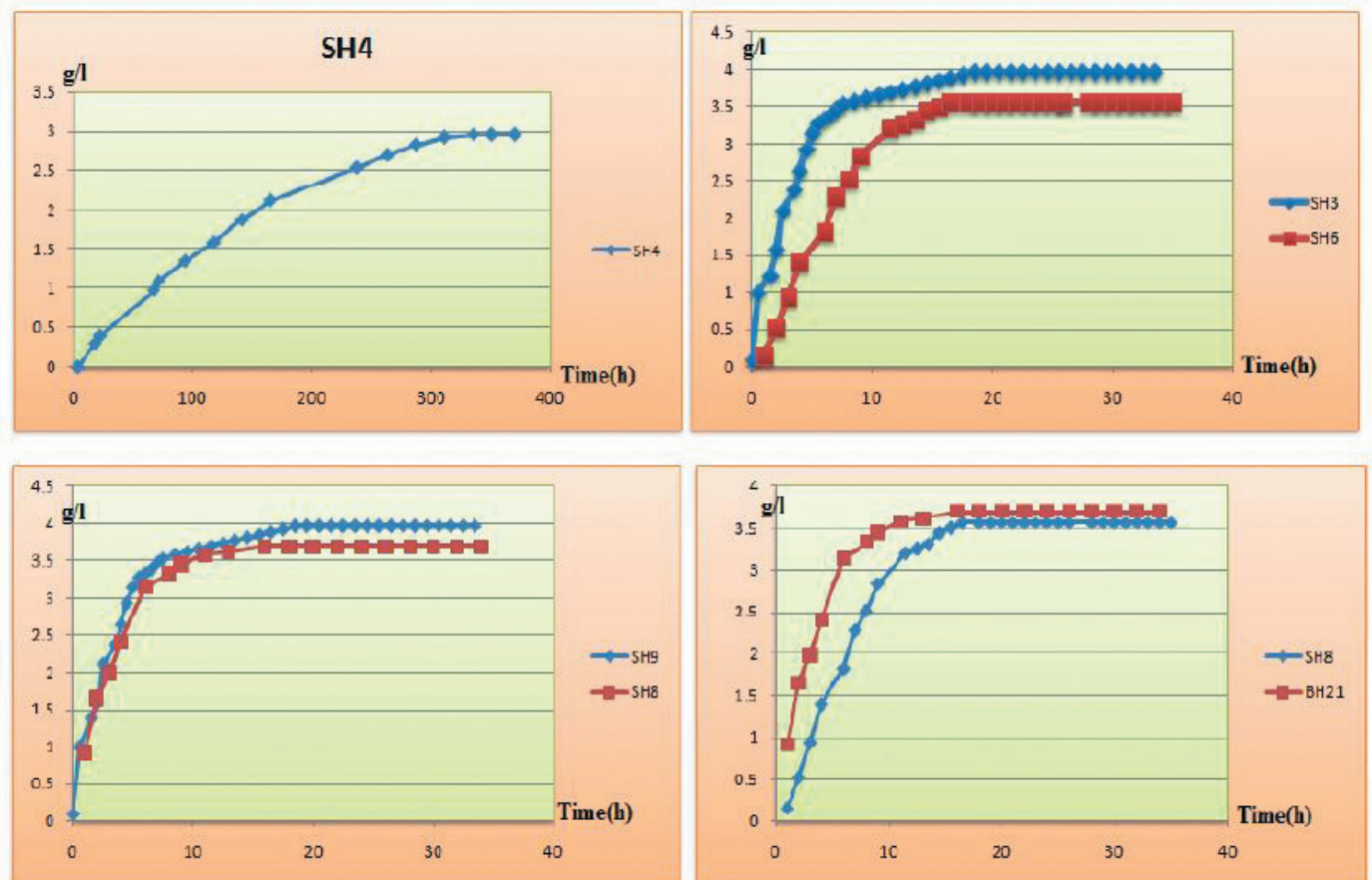
شکل ۸- نتایج تجزیه XRD.



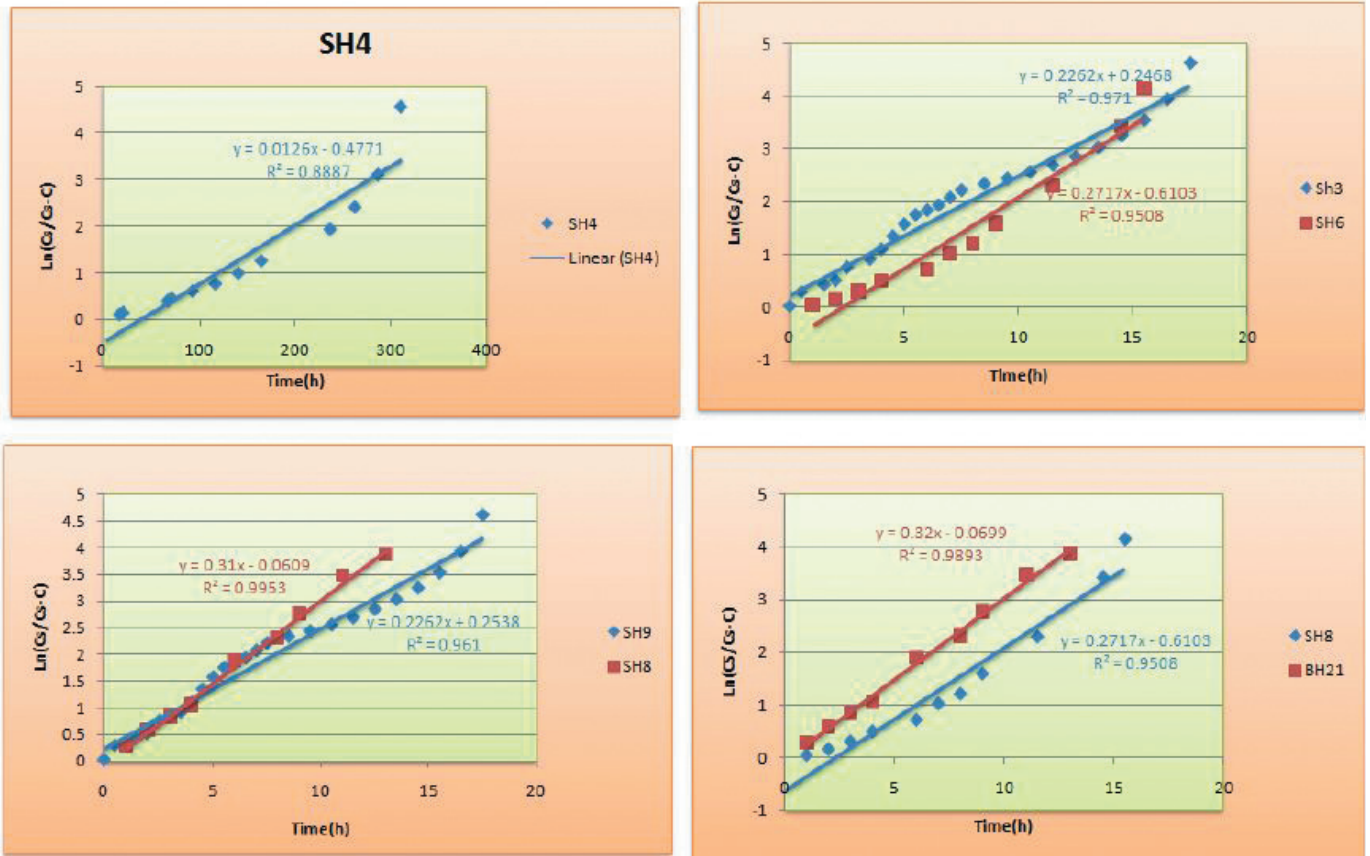
شکل ۹- مراحل مختلف آماده‌سازی و انجام آزمایش انحلال‌پذیری.



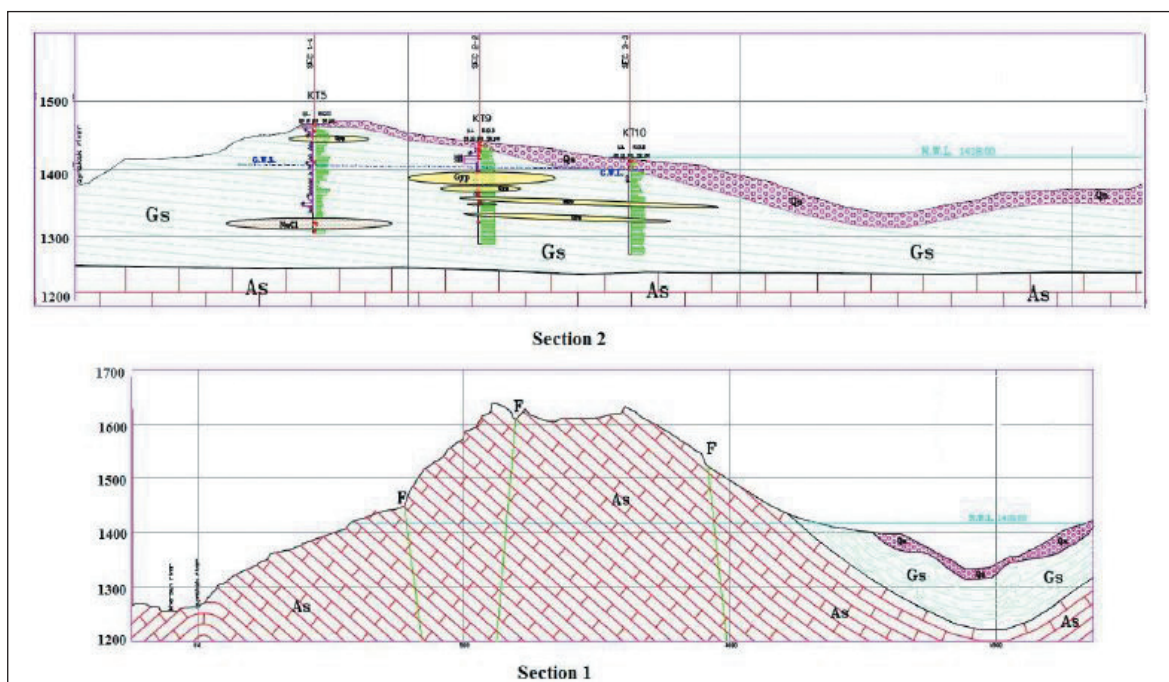
شکل ۱۰- رابطه میان EC و غلظت نمونه.



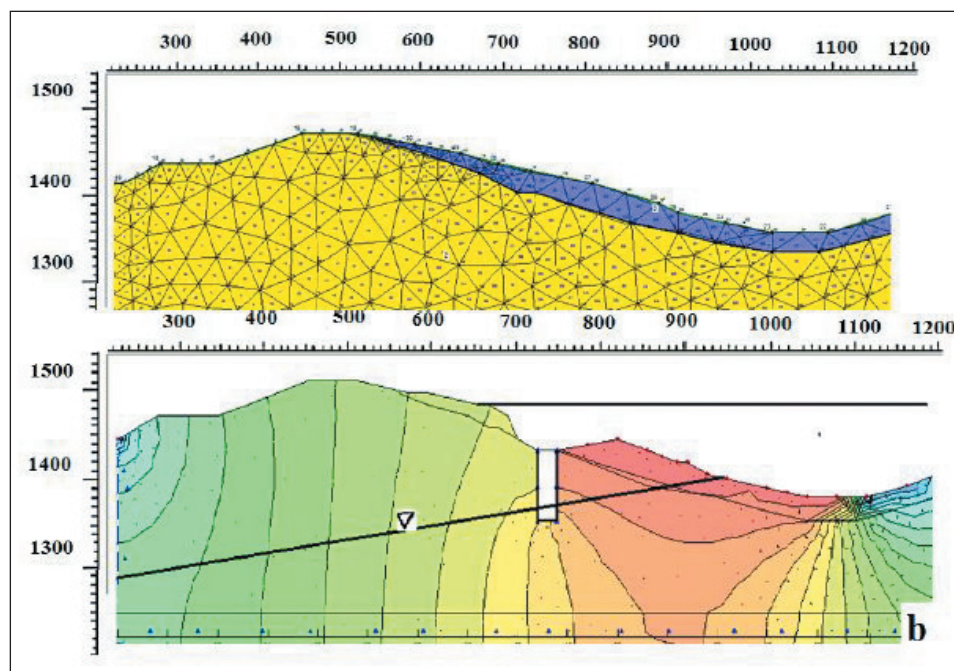
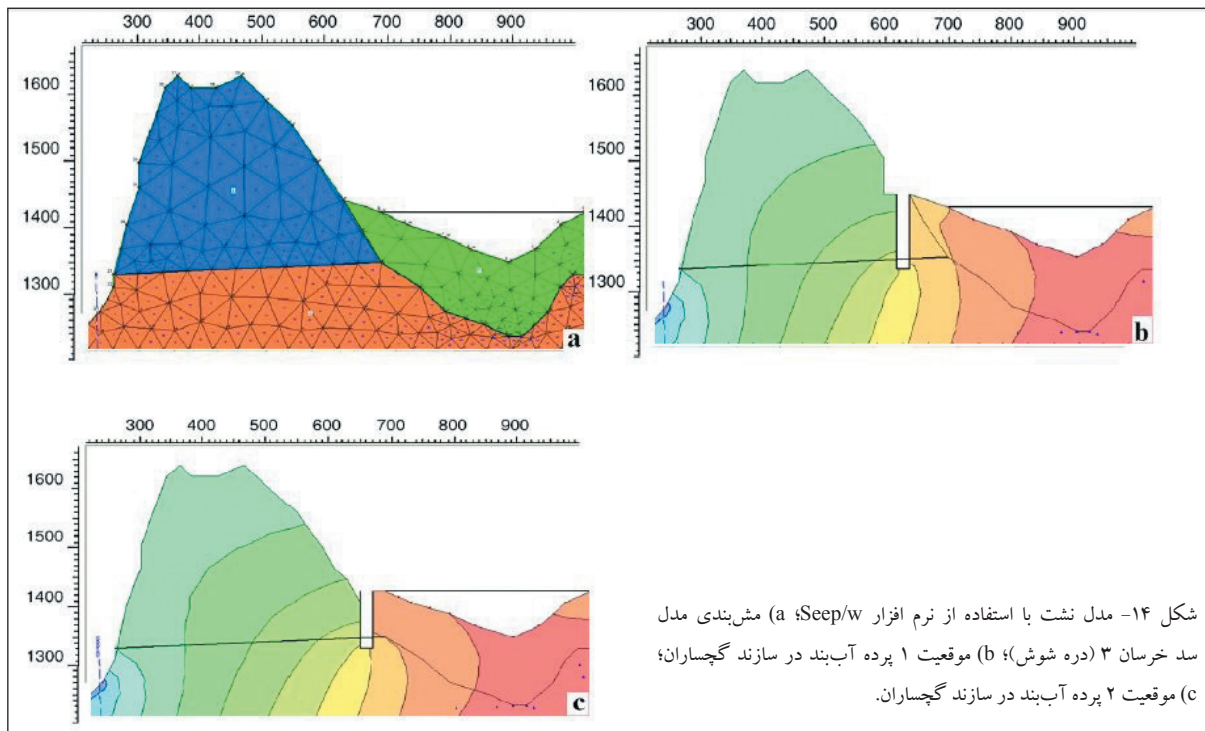
شکل ۱۱- نرخ انحلال ژپس نمونه‌ها در واحد زمان.



شکل ۱۲- ثابت سرعت انحلال ژئیس نمونه‌ها در واحد زمان.



شکل ۱۳- برش ۱ و ۲ در امتداد و عمود بر محور سد.



جدول ۱- نتایج مطالعات کارست زاگرس (Mohammadi et al., 2007).

سرد	نوع سرد	میزان نشست (m3/s)	موضوعات چشم پوشیده شده در مطالعه کارست	مرجع
لار	خاکی	۱۰	در سد لار تکامل پالئوکارست و آب‌زمین‌شناسی چشمه‌های پایین دست مورد مطالعه قرار گرفت. حرکات بسیار فعال زمین‌ساختی، فعالیت آتشفشانی و آب‌وهوای معتدل در زمان گذشته سبب ایجاد غارها و لوله‌ها در سنگ آهک لار (ژوراسیک) شده است که در ادامه توسط رسوبات آبرفتی پنهان شد که در زمان ساخت سد وجود چنین سازند درون مخزن شناسایی نشده بوده و فرار آب را پس از آبیگری سد و افزایش حفرات انحلالی را در پی داشته است.	Uromeihy (2000) Milanovic (2004)
کارون ۱	دو کمائی	۳	مناطق شارژ و چشمه‌های پایین دست سد، مطالعات کارست و غارهای منطقه شناسایی نشده بود. تکامل کارست در سازند آسماری، اتصال مخزن و چشمه‌های پایین دست سد را به همراه داشت که علت آن را می‌توان در شستشوی مواد پرکننده درزه‌ها و شکستگی‌های زمین‌ساختی دانست.	Milanovic (2004) Ghobadi et al. (2005)
مارون	سنگریزه‌ای	۱۰	نقش آب‌زمین‌شناسی کارست و ساختارهای زمین‌شناسی در مطالعه سد مارون به‌یگان در نظر گرفته نشده بود؛ به همین دلیل یک سری لوله‌های کارستی کهن که در امتداد منطقه در سنگ آهک آسماری وجود داشتند؛ دوباره فعال شدند و نشست از راه آنها رخ داده است.	Milanovic (2004)
سلمان فارسی	بتنی کمائی		در زمان حفاری و ژئوفیزیک سطحی هیچ گونه غار یا حفرهای در سنگ آهک آسماری در دو تکیه‌گاه شناسایی نشده بود؛ ولی با این حال پس از حفر تونل انحراف و اصلاح، برخی غارهای بزرگ (بزرگ‌ترین ابعاد ۱۷۰×۲۰×۱۳۰ متر) دیده شده است.	Milanovic (2004) Fazeli (2005); Maleki (2005)
کارون ۴	دو کمائی		با حفاری‌ها و ژئوفیزیک سطحی هیچ گونه غار و یا لوله‌های کارستی شناسایی نشده بود؛ ولی در امتداد گسل‌های بزرگ هنگام حفر گالری‌های زهکشی در جناح چپ در سنگ آهک آسماری غارهایی شناسایی شده است.	Maleki (2005)

جدول ۲- ویژگی‌های گمانه‌های حفر شده در سازند گچساران (دره شوش).

مکان گمانه	ژرفای حفاری		کیفیت توده سنگ		نفوذپذیری		شکل (۳):
	مجموع	آبرفت	سنگ	RQD	لفران	لوژان	
دره شوش (ناودیس شوش)	۱۶۵	۲۲	۱۴۳	۹۷/۴	۱×۱۰ ^{-۲}	۴	دره شوش (ناودیس شوش)
SH1	۵۹/۲	۵۲	۷/۲	۶۳	۴×۱۰ ^{-۳}	۱>	»
SH2	۱۴۰	۲۰	۱۲۰	۹۸/۸	۱×۱۰ ^{-۲}	۱>	»
SH3	۲۱۹/۵	۴۲/۵	۱۷۷	۶۱/۷	۱×۱۰ ^{-۲}	۱>	»
SH4	۱۴۲/۵	۱۹	۱۲۳/۵	۸۸/۷	۱×۱۰ ^{-۲}	۱۰	»
SH5	۲۱۵	۴۱	۱۷۴	۸۱/۶	۱×۱۰ ^{-۲}	۳	»
SH6	۱۷۴	۴	۱۷۰	۹۰/۲	۱×۱۰ ^{-۲}	۱>	»
SH7	۲۱۱	۱۰	۲۰۱	۷۴/۸	۱×۱۰ ^{-۲}	۱>	»
SH8	۱۱۱	۴/۵	۱۰۵/۵	۸۷/۹	۱×۱۰ ^{-۲}	۱>	»
SH9	۱۵۱	۶	۱۴۵	۸۰/۱	۱×۱۰ ^{-۲}	۱۴	»
SH10	۱۲۰/۱	۳۱	۸۹/۱	۶۲/۲	۱×۱۰ ^{-۲}	۲۸	»
BH20	۹۲	۲۴	۶۸	۵۷/۵	۲/۸×۱۰ ^{-۲}	۵	»
BH21							

جدول ۳- نتایج آزمایش دور ایلیتی در دو چرخه.

گمانه	ژرفا (متر)	بار نقطه‌ای	شاخص دوام		تورم	درصد کرنبات	توصیف
			چرخه اول (%)	چرخه دوم (%)			
SH6	۱۱۲/۲-۱۱۲/۵	۳۵۰	۶۲/۴	۳۱/۱	-	۲۳/۲۲	مارن
SH7	۱۵۲/۷-۱۵۳	۳۳۵	۸۳/۸	۶۳/۷	-	۱۹/۴۵	مارن
SH7	۱۲/۴-۱۲/۷	۲۰۰	۸۷	۷۲	-	۱۲/۵۷	مارن ژیبس‌دار
SH8	۵۰/۴-۵۰/۷	۱۰۰	۶۶/۶	۱۱/۸	%۱/۵	۱۸/۸۶	مارن سرخ‌رنگ
SH8	۹۸/۱-۹۸/۵	۱۲۵	۸۵/۵	۶۸/۴	%۴/۹	۱۱/۴۹	مارن
SH4	۶۰-۶۰/۵	-	-	-	%۰/۶	۱۰/۱۱	مارن

جدول ۴- نتایج تجزیه XRF.

	%
L.O.I	13
MgO	0.762
Al ₂ O ₃	0.238
SiO ₂	1.039
So ₃	40.395
Cl	0.318
Cao	43.641
Fe ₂ O ₃	0.288
Sr	0.319

جدول ۵- نتایج آزمایش انحلال پذیری روی نمونه‌های سازند گچساران.

گمانه	ژرفا (متر)	PH	میزان انحلال پذیری g/L	ثابت سرعت انحلال (K)
SH4	۲۰۰/۸-۲۰۰/۵	۸/۰۱	۱/۳۳	$۳/۵ \times ۱۰^{-۳}$
BH21	۶۲-۶۲/۳	۷/۳	۱/۸	$۱/۳۸ \times ۱۰^{-۴}$
SH3	۳۲-۳۲/۳	۵/۴	۱/۸۸	$۷/۴ \times ۱۰^{-۳}$
SH6	۱۱۸/۳-۱۱۸/۵	۷	۱/۶۵	$۱/۳۵ \times ۱۰^{-۴}$
SH9	۸۱/۶-۸۲	۵/۴	۱/۹۸	$۷/۵۳ \times ۱۰^{-۳}$
SH8	۱۶۶/۳-۱۶۶/۸	۷	۱/۸۳	$۹/۳۳ \times ۱۰^{-۳}$
SH8	۲۰۴/۳-۲۰۴/۶	۷/۳	۱/۹	$۱/۳۲ \times ۱۰^{-۴}$
BH	۴۶/۱-۴۶/۵	۵/۵	۲/۰۸	$۲/۳۵ \times ۱۰^{-۴}$

کتابنگاری

شرکت مهندسين مشاور آبان پژوه، ۱۳۸۹- مطالعه مرحله دوم طرح سد مخزنی و نیروگاه برقابی سد خرسان-۳. فتح الهی، م، ۱۳۸۶- بررسی خصوصیات زمین شناسی مهندسی ساختگاه سد خرسان ۱ با نگرشی بر انحلال پذیری آهک ساختگاه، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس تهران.

References

- ASTM (D 4644-04), 2004- Standard test method for slake durability of shales and similar weak rocks.
- Dean, W. E. and Johnson, K. S., (eds), 1989- Anhydrite deposits of the United States and characteristics of anhydrite important for storage of radioactive wastes. US Geol Surv Bull 1794:132.
- Deer, D. W., 1986- The rock quality designation (RQD) index in practice. In Rock classification systems for engineering purposes. (ed L. Kirkaldie), ASTM Special Publication 984, 91-101. Philadelphia: Am. Soc. Test. Mat.
- Eraso, A., 1989- Paleokarst in civil engineering. In: Bosak P, Ford DC, Glazek J, Horacek I (eds) Paleokarst, a systematic and regional review, Elsevier, Amsterdam, p. 525.
- Erguer, Z. A. and Ulusay, R., 2009- Assessment of physical disintegration characteristics of clay-bearing rocks: disintegration index test and a new durability classification chart. Eng Geol 105:11-19.
- Fazeli, M. A., 2005- Construction of grout curtain in karstic environment case study: Salam Farsi da Proceeding of the international conference and field seminars, Belgrade and Kotor (Serbia and Montenegro), 13-19 September 2005, pp. 659-666.
- Franklin, J. A. and Chandra, R., 1972- The slake durability test. Int J Rock Mech Min Sci 9:325-341.
- Gamble, J. C., 1971- Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rock. Dissertation, University of Illinois.

- Ghobadi, M. H., Khanlari, G. R. and Djalaly, H., 2005- Seepage problems in the right abutment of the Shahi Abbaspour dam, southern Iran. *Eng Geol* 82:119–126.
- Houlsby, A. C., 1990- Construction and Design of Cement Grouting: A guide to grouting in rock foundation, John Wiley and Sons, 472 pages.
- ISRM, 1979- Suggested methods for determining water content, porosity, density absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties. *Int J Rock Mech Min Sci Geo Abstr* 16:141–156.
- James, A. N. and Kirkpatrick, I. M., 1980- Design of Foundations of Dams Containing Soluble Rocks and Soils, *Q. J. Eng. Geol.* Vol.13, pp. 189-198.
- James, A. N. and Lupton, A. R. R., 1978- Gypsum and Anhydrite in Foundations of Hydraulic Structures, *Geo Technique*, Vol. 28, No. 3, pp. 249-272.
- James, G. A. and Wynd, J. G., 1965- Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. *Bull Am Assoc Petrol Geol* 49(12):2182–2245.
- Johnso, K. S., 1996- Gypsum karst in the United States. In: Klimchouk A (ed) *Gypsum karst of the World*. *Int J Speleol* 25(3–4):183–193.
- Johnson, K. S., 1997- Evaporite karst in the United States. *Carbonates and Evap* 12(1):2–14.
- Johnson, K. S., 2003- Evaporite-karst problems in the United States. In: Johnson KS, Neal JT (eds) *Evaporite karst and engineering/ environmental problems in the United States*. *Okla Geol Surv Circ*109:1–20.
- Johnson, K. S., 2005- Subsidence hazards due to evaporite dissolution in the United States. *Environ G* 48:395–409.
- Johnson, K. S., 2008- Gypsum-karst problems in constructing dams in the USA, *Environ Geol* 53:9, 950.
- Karimi, H., Raeisi, E. and Zare, M., 2005- Physicochemical time series of karst spring as a tool to differentiate the source of spring water. *Carbon Evaporate* 20(2):138–147.
- Klimchouk, A., Lowe, D., Cooper, A. and Sauro, U., (eds), 1996- *Gypsum karst of the World*. *Int J Speleol* 25(3–4):307.
- Lancaster Jones, P. F., 1975- The interpretation of Logeon water-test, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, V.8, Issue 2, p:151-154, London.
- Maleki, E., 2005- Application of geophysical studies to investigate karst phenomenon in dam sites and along Ater conveyance tunnels in Iran. *Proceeding of the international conference and field seminars, Belgrade and Kotor (Serbia and Montenegro)*, 13–19 September 2005, pp 545–550
- Martinez, J. D., Johnson, K. S. and Neal, J. T., 1998- Sinkholes in evaporate rocks. *Am Sci* 86:38–51.
- Milanovic, P. T., 2004- *Water resources engineering in karst*. CRC, pp 312.
- Mohammadi, Z., Raeisi, E. and Bakalowicz, M., 2007- Method of leakage study at the karst dam site. A case study: Khersan 3 Dam, Iran, *Environ Geol*, 52:1053–1065.
- Predrag, M. and Goran, V., 2001- Durability Characterization of Marls from the Region of Dalmatia, Croatia, *Geotech Geol Eng*, 29:771–781.
- Priest, S. D., 1985- *Hemispherical projection methods in rock mechanics*, George Allen & Unwin, 124 pages, London.
- Quinlan, J. F., Smith, R. A. and Johnson, K. S., 1986- Gypsum karst and salt karst of the United States of America. *Le Grotte d'Italia*, Series 4(13):73–92.
- Sabatakakis, N., Tsiambaos, G. and Koukis, G., 1993- Index properties of soft marly rocks of the Athens basin, Greece. *Geotech Eng Hard Soils-Soft Rocks*. Anagnostopoulos A (eds) Rotterdam, Balkema, pp 275–279.
- Santi, P. M., 1998- Improving the jar slake, slake index, and slake durability tests for shales. *Environ Eng Geosci* 4(3):385–396.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics map of Iran: a review. *Am Assoc Petrol Geol Bull* 52(7):1229–1258.
- Turkmen, S., Ozguler, E., Taga, H. and Karaogullarindan, T., 2002- Seepage problems in the karstic limestone foundation of the Kalecik Dam (south of Turkey). *J Eng Geol* 63:247–257.
- Uromeihy, A. and Barzegari, G., 2007- Evaluation and treatment of seepage problems at Chapar-abad Dam, Iran, *Engineering Geology*, 91, 219-228, Elsevier.
- Uromeihy, A. and Farrokhi, R., 2012- Evaluation of water leakage at Kamal-Saleh Dam according to Logeon test result, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 215-21
- Uromeihy, A., 2000- The Lar Dam: an example of infrastructural development in a geologically active karstic region. *J Asian Sci* 18: 25–31.

Evaluation of engineering geological characteristics of Gachsaran formation for leakage phenomenon (Case Study: Dam Khersan 3)

M. Noori Sartangy^{1*}, A. Uromeiea² and K. Zarea Mozafary³

¹M.Sc., Faculty of Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

² Professor, Faculty of Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³M.Sc., Iran Water and Power Resources Development Company, Tehran, Iran

Received: 2013 April 10

Accepted: 2013 June 11

Abstract

Engineering geological characteristics of Gachsaran Formation in Dam Khersan 3 reservoir site was investigated in order to evaluate the solubility of gypsum and leakage problems and select a suitable method for sealing the Gachsaran formation as part of the reservoir. The under construction Khersan 3 dam is a concrete arch dam with a height of 195 meters over the Khersan river 40 km south of Lordegan city. Geological formations in the reservoir site includes (1) the Asmari limestone, (2) marl, gypsum and marly gypsum of the Gachsaran Formation, (3) marls and shales of the Pabdeh and Gurpi formations and (4) river alluviums. In some of the samples, XRF and XRD studies were carried out, and seepage and dissolution properties of the samples were also determined. In addition, leakage of water from the reservoir was evaluated using numerical analysis. Results indicate the presence of large amounts of marl, Lugeon less than 3 and high RQD of the Gachsaran Formations. Therefore, it is suggested not to construct cut-off wall or grout curtains.

Keywords: Khersan 3 Dam , Solubility, Gachsaran formation, Water leakage.

For Persian Version see pages 131 to 142

*Corresponding author: M. Noori Sartangi, E-mail: m.noori281@gmail.com