

ارزیابی نفوذپذیری توده‌سنگ‌های سازند آسماری در تکیه‌گاه‌های سد خرسان ۲

مجتبی رحیمی شهید^{۱*}، نیما رحیمی^۲

^{۱*} گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، Mr619htt@gmail.com

^۲ دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران.

چکیده

ساختمان سد خرسان ۲ در ۶۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان لردگان واقع شده است. در قسمت بالادست سد، سازندهای زمین‌شناسی با سن کرتاسه تا عهد حاضر شامل؛ سازندهای آسماری، گچساران، آجاجاری، بختیاری و رسوبات عهد حاضر رخنمون دارند. تکیه‌گاه‌ها و بستر سد خرسان ۲ بر روی سازند آسماری قرار گرفته است. جهت بررسی نفوذپذیری توده‌سنگ‌های آهکی سازند آسماری در تکیه‌گاه‌های سد از نتایج آزمایش‌های لوژان و RQD استفاده شده است. نتایج آزمایش لوژان در توده‌سنگ‌های سازند آسماری نشان می‌دهد که تکیه‌گاه راست نفوذپذیری کمتری نسبت به تکیه‌گاه چپ دارد. میانگین مقادیر RQD در تکیه‌گاه راست بیش‌تر از تکیه‌گاه چپ می‌باشد. مقایسه مقادیر لوژان و RQD در گمانه‌های حفاری‌شده نشان می‌دهد که با افزایش RQD از مقدار عدد لوژان کاسته می‌شود. همچنین به‌منظور مقایسه بهتر تغییرات نفوذپذیری در طول محور سد، مدل‌های سه‌بعدی به‌وسیله نرم‌افزار RockWork ۱۴ ارائه شده است. مدل‌های سه‌بعدی ارائه شده نیز نتایج فوق را تأیید می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: آزمایش لوژان، شاخص کیفی توده‌سنگ (RQD)، سد خرسان ۲، سازند آسماری، نرم‌افزار RockWork ۱۴.

۱. مقدمه

آب به عنوان یکی از عوامل اصلی حیات بشر علاوه بر نیاز شرب جهت سایر مصارف مرتبط با انسان و طبیعت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده [۱]، به طوری که در حال حاضر در اکثر کشورهای جهان به عنوان یک بحران جدی تبدیل شده است [۲]. به همین دلیل مدیریت منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. البته مدیریت منابع آب در گذشته پیچیدگی خاصی نداشته [۳]، اما با ازدیاد روزافزون و افزایش تقاضای استفاده از آب به منظورهای کشاورزی، شرب و صنعت، لزوم سرمایه‌گذاری و توسعه در بخش آب اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. اینجاست که می‌توان به اهمیت دانش مهندسی سد پی برد و این روش را به عنوان بهترین روش در مهار آب شیرین برای استفاده قریب به هفت میلیارد انسان و تعداد بی‌شماری موجود زنده که حق حیات دارند، بکار برد. پارامترهای زمین‌شناسی نقش بسیار مهمی در طراحی و نحوه اجرای سدها دارند. مثال‌های بسیاری را می‌توان مطرح نمود که عدم توجه دقیق به شرایط و وضعیت زمین‌شناسی ساختگاه برای ساختن آن مشکلات فراوانی به پروژه وارد نموده است. از جمله عوامل تأثیرگذار در این ارتباط خصوصیات هیدرولیکی و نفوذپذیری ساختگاه سد می‌باشد که کاملاً وابسته به سنگ-شناسی و وضعیت ساختاری منطقه است. جهت تعیین میزان نفوذپذیری ساختگاه محل سد از آزمایش‌های آزمایشگاهی و یا آزمایش‌های برجا بهره جسته می‌شود [۴]. در آزمایش‌های نابرجا نمونه از محل خارج و در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار می‌گیرد؛ بنابراین، نتایج حاصل اختلاف زیادی با مقادیر واقعی نشان می‌دهند. بر همین اساس می‌توان گفت معتبرترین نتایج از انجام آزمون‌های برجا به دست می‌آید [۵]. در آزمایش‌های برجا ضمن حفظ شرایط واقعی، منطقه‌ی وسیع‌تری مورد آزمایش قرار می‌گیرد. از جمله آزمایش‌های برجا که امروزه کاربرد وسیع پیدا کرده می‌توان آزمایش‌های لوفران (در محیط‌های خاکی) و آزمایش لوژان (در محیط‌های سنگی) را نام برد [۴]. آزمایش لوژان برای تعیین ضریب نفوذپذیری طبقات سنگی به کار می‌رود. روش لوژان متداول‌ترین آزمایش برای تعیین این پارامتر در توده‌های سنگی می‌باشد. این ضریب در تعیین میزان نشت آب در توده‌سنگ، برآورد فرسایش‌پذیری سنگ، برآورد فشار بالابر آب، ارزیابی تزریق‌پذیری توده‌سنگ، تعیین میزان آب ورودی به حفرات، طراحی سیستم زهکشی و ارزیابی و کنترل کیفی تزریق مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴]. همچنین طبقه‌بندی توده-سنگ بر اساس شاخص کیفی توده‌سنگ (RQD)، پارامتری جهت تعیین نفوذپذیری در توده‌سنگ‌ها می‌باشد. شاخص کیفی توده‌سنگ درصد تعدیل یافته‌ای از بازیافت مغزه است که فقط قطعات سالمی از سنگ که دارای طول ۱۰ سانتیمتر یا بیشتر می‌باشند را شامل می‌شود [۶]. برای تعیین مقادیر RQD روش‌های مستقیم و غیرمستقیم وجود دارد [۷]. چون مقدار RQD به نحوی ساده و اقتصادی قابل اندازه‌گیری است، لذا امروزه به طور وسیع و تقریباً در کلیه طبقه‌بندی‌های رایج سنگ، مورد استفاده قرار می‌گیرد [۸]. سنگ‌ها بر مبنای درصد RQD به پنج گروه به نام‌های بسیار ضعیف (۰-۲۵)، ضعیف (۲۵-۵۰)، نسبتاً خوب (۵۰-۷۵)، خوب (۷۵-۹۰) و عالی (۹۰-۱۰۰) تقسیم می‌شوند [۸].

شاخص کیفی توده‌سنگ و مقادیر لوژان دو پارامتر کلیدی در تعیین خصوصیت توده‌سنگ‌ها به ویژه در پروژه‌های سدسازی می‌باشند به طوری که امروزه به طور گسترده‌ای در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲]. به همین منظور در این پژوهش جهت بررسی نفوذپذیری توده‌سنگ‌های آهکی سازند آسماری در تکیه‌گاه‌های سد خرسا ۲ از نتایج آزمایش‌های لوژان و RQD استفاده شده است.

۲. منطقه مورد مطالعه

محل سد خرسا ۲ در فاصله حدود ۶۰ کیلومتری جنوب باختری شهرستان لردگان در استان چهارمحال و بختیاری و بر روی رودخانه خرسا واقع شده است. رودخانه خرسا یکی از سرشاخه‌های مهم رودخانه کارون می‌باشد. ساختگاه سد خرسا ۲، بر روی رودخانه خرسا به مختصات ۳۱/۲۵ درجه عرض شمالی و ۵۰/۳۶ درجه طول خاوری در ناحیه جنوب باختری ایران در ارتفاعات زاگرس واقع شده است. دستیابی به محل سد از طریق جاده آسفالت لردگان به روستاهای قلعه مدرسه و آبچنار به طول

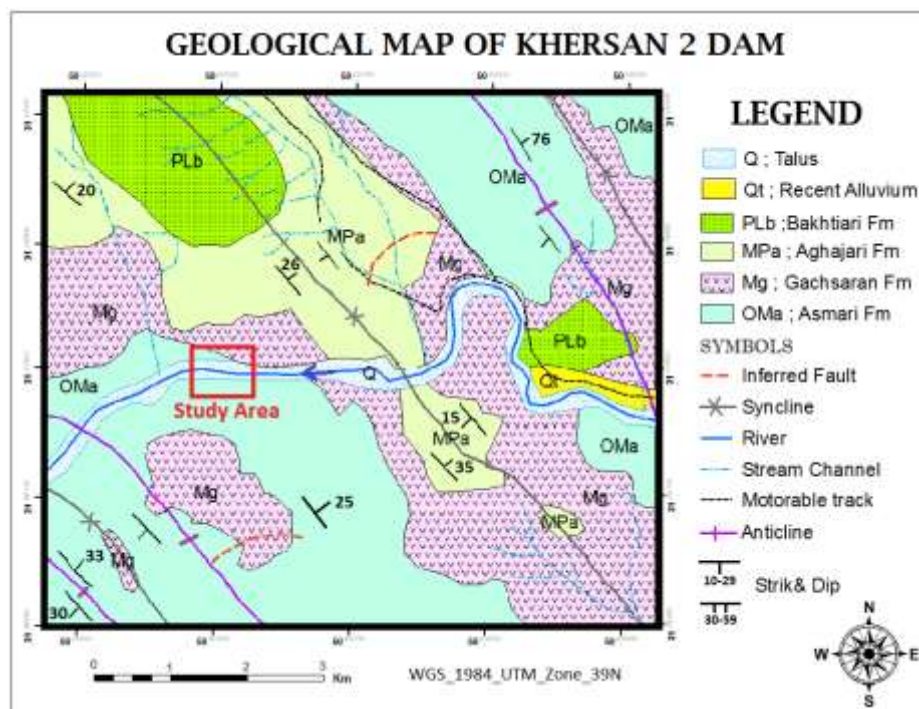
حدود ۵۰ کیلومتر و از روستای آبچنار از طریق جاده خاکی به طول حدود ۹ کیلومتر به روستای شملک در ساحل راست رودخانه و محور سد امکان پذیر می باشد. موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به منطقه در (شکل ۱) نمایش داده شده است.



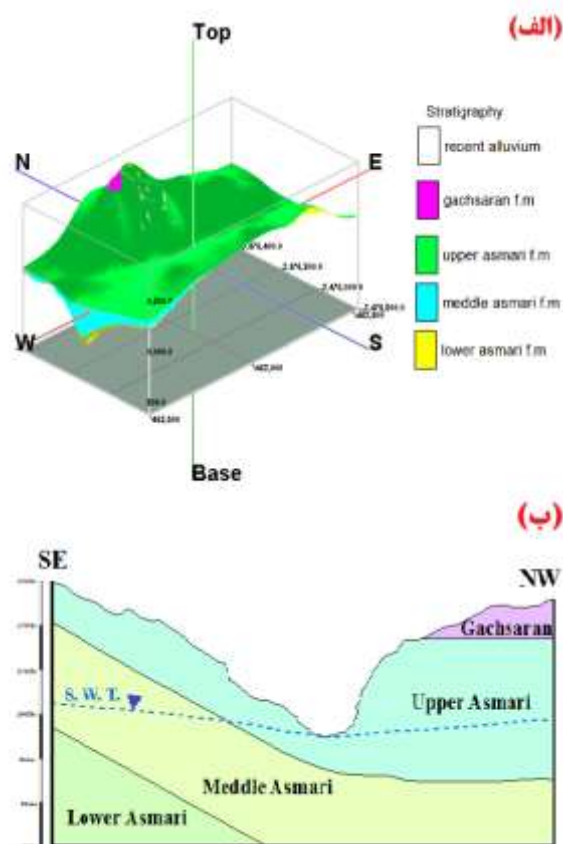
شکل ۱- نقشه راه های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

گستره مورد مطالعه در واحد زمین ساختی زاگرس و در زیر واحد زمین ساختی زاگرس چین خورده از تقسیمات زمین شناسی ایران قرار گرفته است [۱۳]. چینه شناسی سنگ های ساختگاه و مخزن سد شامل سنگ های مارنی، آهکی، نهشته های تبخیری، ماسه سنگ و کنگلومرای سازندهای مختلف از کرتاسه تا عهد حاضر می باشد. از جمله این سازندها می توان سازندهای آسماری، گچساران، آغا جاری، بختیاری و رسوبات آبرفتی عهد حاضر اشاره کرد (شکل ۲).

همان طور که در (شکل ۳) مشاهده می گردد تکیه گاه ها و بستر سد خرسان ۲، بر روی سازند آسماری قرار گرفته است [۱۴]. این سازند به لحاظ خصوصیات زمین شناختی به سه واحد آسماری بالایی، آسماری میانی و آسماری زیرین قابل تفکیک می باشد [۱۵]. سنگ های آهک آسماری بالایی از لحاظ کانی شناسی عمدتاً از کلسیت، آراگونیت و کانی های اپاک (اکسید، هیدروکسید آهن، مواد آلی) و از درصد خیلی ناچیز رس و کوارتز تشکیل شده اند. میزان کلسیت دانه ریز (۱ تا ۴ میکرون) از ۲۰ تا ۸۰ درصد در این سنگ ها متغیر است و بعضاً حاوی مقدار چشم گیری فسیل است. از آن جا که بیش از ۵۰ درصد کانی های تشکیل دهنده شامل کانی های کربنات و از نوع کلسیت است این سنگ ها جزء سنگ های کربناته به حساب می آیند. میانگین وزن واحد حجم آهک آسماری در حالت خشک و اشباع به ترتیب برابر با ۲/۵۴۱ و ۲/۵۹۵ گرم در سانتی متر مکعب است. نزدیک بودن این مقادیر، به دلیل کمبود میزان تخلخل در آهک ها (میانگین ۵/۶۶۸ درصد)، نشان دهنده این است که وجود آب تأثیر چندانی روی وزن واحد حجم ندارد. محدوده ی تغییرات ویژگی های فیزیکی آهک های آسماری در جدول (۱) ارائه شده است [۱۶].



شکل ۲ - نقشه زمین‌شناسی سد خرسان ۲ [۱۱]



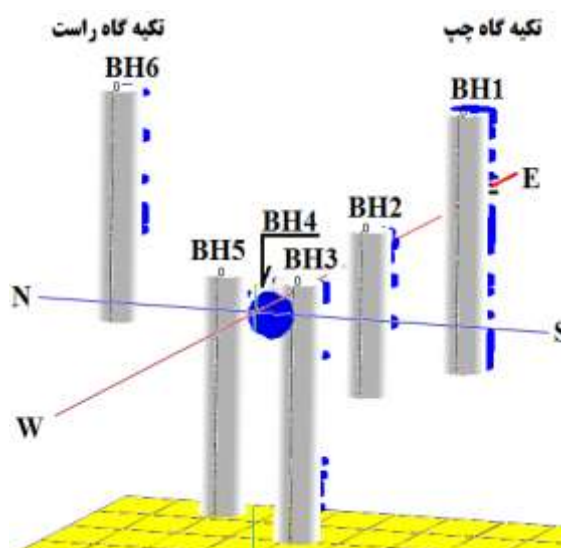
شکل ۳ - (الف) مدل سه‌بعدی منطقه مورد مطالعه [۱۷] و (ب) مقطع زمین‌شناسی دره محل احداث سد

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی سنگ آهک آسماری [۱۶]

تخلخل (درصد)	جذب آب (درصد)	دانسیتة اشباع (gr/cm^3)	دانسیتة خشک (gr/cm^3)	میانگین
۵/۶۶۸	۲/۱۹۹	۲/۵۹۵	۲/۵۴۱	انحراف معیار
۳/۷۲۷	۱/۶۰۲	۰/۰۷۶	۰/۱۰۷	حداقل
۰/۲۰۰	۰/۱۰۰	۲/۲۹۹	۲/۰۹۸	حداکثر
۲۰/۰۹۴	۱۱/۱۴۸	۲/۷۴۰	۲/۷۲۰	

۳. روش انجام پژوهش

به منظور بررسی تغییرات نفوذپذیری توده سنگ‌های سازند آسماری در تکیه‌گاه‌های سد خرسان ۲ از نتایج آزمایش لوژان و شاخص کیفی توده سنگ استفاده شده است. آزمایش لوژان در محل تکیه‌گاه‌های سد خرسان ۲ در ۶ گمانه اکتشافی در اعماق مختلف در سازند آسماری انجام شده است. در (شکل ۴) موقعیت این گمانه‌ها نسبت به هم در محور سد، نمایش داده شده است. همان‌طور که در (شکل ۴) مشاهده می‌شود، تعداد ۳ گمانه در تکیه‌گاه راست و ۳ گمانه در تکیه‌گاه چپ حفار شده است. به منظور ارزیابی تغییرات نفوذپذیری در منطقه مورد مطالعه و ارائه مدل سه بعدی، مقادیر میانگین عدد لوژان و شاخص کیفی توده سنگ در هر گمانه به تفکیک سازندها محاسبه شده است.



شکل ۴ - موقعیت گمانه‌های حفاری شده در تکیه‌گاه‌های سد خرسان ۲

۴. آزمایش لوژان

نفوذپذیری کمیته برای بیان توانایی یک فضا به منظور عبور دادن سیال از منافذ به هم مرتبط آن است [۴]. از آن‌جا که اندازه - گیری نفوذپذیری در آزمایشگاه کاملاً دقیق نیست، معمولاً برای پروژه‌های بزرگ تعیین نفوذپذیری در محل انجام می‌گیرد [۱۸]. از جمله آزمایش‌های برجا و روش‌های مطالعاتی مرسوم و با اهمیت جهت تعیین تراوایی سنگ‌های درزه‌دار در محل سد - ها، آزمون لوژان می‌باشد [۱۹]. آزمایش لوژان که در سال ۱۹۳۳ توسط موریس لوژان ارائه گردید، روشی است تزریقی که داخل گمانه اجرا می‌شود [۴]. در (شکل ۵) نحوه انجام آزمایش لوژان نمایش داده شده است.



شکل ۵ - نحوه انجام آزمایش لوژان

لوژان جذب یک لیتر آب در یک دقیقه در یک متر طول گمانه تحت فشار ۱۰ بار می‌باشد [۲۰]. معمولاً روش لوژان در گمانه‌ای به قطر ۴۶ تا ۶۶ میلی‌متر و در محدوده‌ای که توسط پکر محدود شده است، اجرا می‌گردد. وضعیت نفوذپذیری نسبت به تغییرات لوژان مطابق (جدول ۲) می‌باشد [۲۱]. معمولاً در لوژان کمتر از ۵ نیاز به عملیات تزریق نمی‌باشد [۲۲].

جدول ۲- وضعیت نفوذپذیری نسبت به تغییرات لوژان

تغییرات لوژان	۳-۰	۱۰-۳	۳۰-۱۰	۶۰-۳۰	۶۰ <
وضعیت نفوذپذیری	نفوذناپذیری	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد

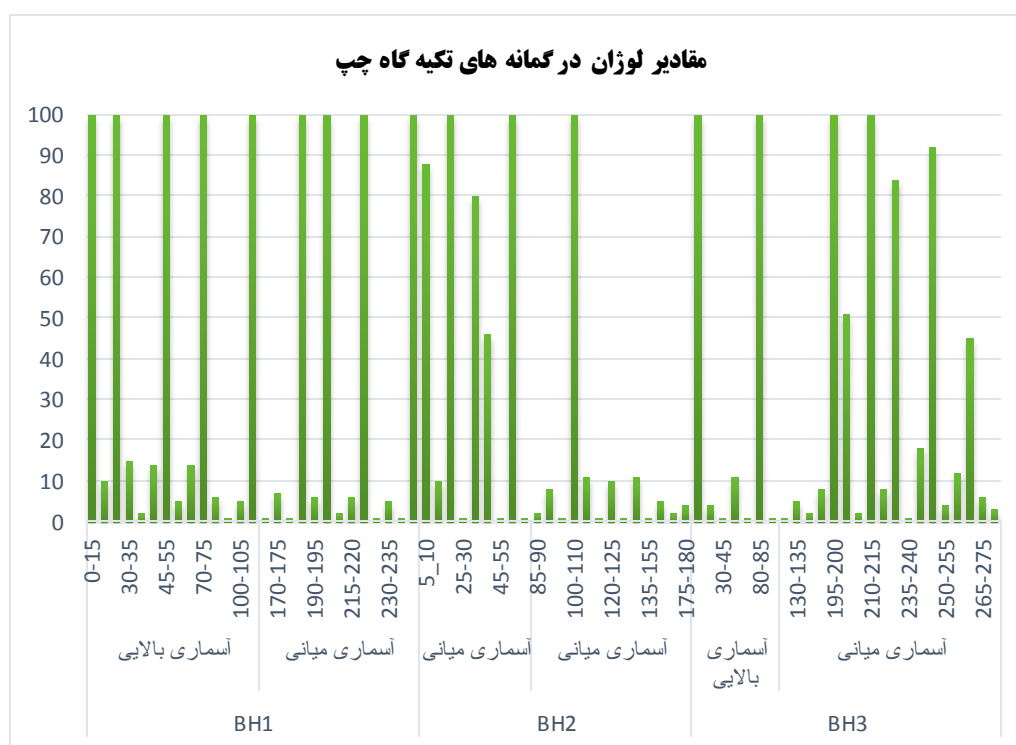
در طی عملیات حفاری، آزمایش‌های لوژان در ساختگاه سد خرسان ۲ انجام گردید. هدف اصلی این آزمایش، تعیین نفوذپذیری هر بخش از توده سنگ در تکیه‌گاه‌ها می‌باشد که امکان تعیین زون‌های مختلف به منظور بهسازی را فراهم می‌نماید. تعداد ۱۴۵ آزمایش لوژان در گمانه‌های تکیه‌گاه چپ (BH۱،۲،۳) و ۱۱۴ آزمایش لوژان در سه گمانه BH۴،۵،۶ در تکیه‌گاه راست انجام شده است.

۵. بررسی و تحلیل نفوذپذیری تکیه‌گاه‌ها بر اساس لوژان در واحدهای مختلف سنگی

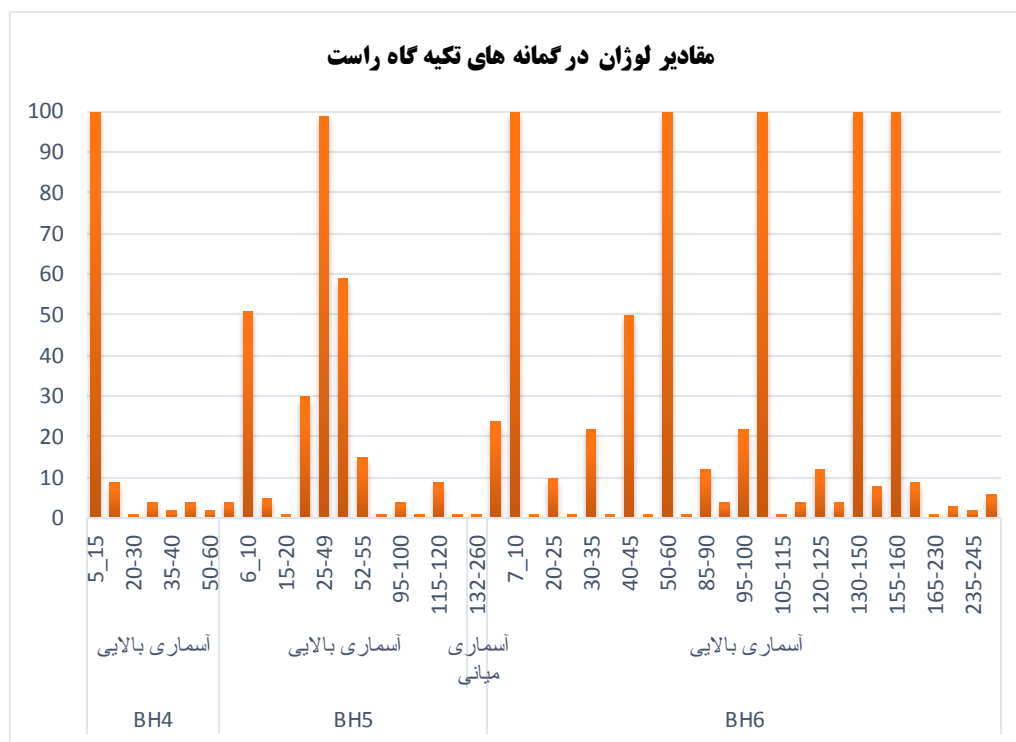
بر اساس نتایج ۱۴۵ آزمایش لوژان که در گمانه‌های تکیه‌گاه چپ (BH۱،۲،۳) انجام شده‌اند؛ متوسط نفوذپذیری واحدهای سنگی این تکیه‌گاه ۳۵/۸ لوژان و وضعیت نفوذپذیری آن «زیاد» برآورد شده است. با تفکیک نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری در آسماری بالایی و آسماری میانی مشاهده می‌شود که با افزایش عمق مقدار نفوذپذیری کاسته می‌شود به طوری که این مقدار برای آسماری بالایی ۴۸/۶ لوژان (زیاد) و برای آسماری میانی ۲۷/۲۵ لوژان (متوسط) می‌باشد. وجود میان لایه‌های مارنی و شکل‌پذیر در آسماری میانی با تعدیل تنش‌های وارده بر ساختگاه، گسترش ناپیوستگی‌ها (درزه‌ها و گسل‌های کوچک فرعی) را در عمق محدودتر ساخته است و بر همین اساس و همچنین طبیعت نفوذناپذیر این سنگ‌ها، مقدار نفوذپذیری در عمق کاهش یافته است (شکل ۶). در تکیه‌گاه راست نیز مقدار نفوذپذیری با انجام ۱۱۴ آزمایش لوژان در سه گمانه BH۴،۵،۶ بررسی شده است. مطابق نتایج آزمایش‌های مذکور، میانگین مقدار نفوذپذیری در تکیه‌گاه راست حدود ۱۶/۹۴ لوژان برآورد شده است که این عدد، وضعیت سنگ این جناح را در بازه متوسط، قرار می‌دهد. در تکیه‌گاه راست نیز مشابه تکیه‌گاه چپ، با

افزایش عمق مقدار نفوذپذیری کم می‌شود؛ به طوری که این مقدار برای آسماری بالایی ۲۱/۹ لوژان و برای آسماری میانی کمتر از یک لوژان برآورد شده است (شکل ۷).

در آزمایش‌های نفوذپذیری سنگ، علاوه بر به دست آوردن میزان آبخوری سنگ تحت فشارهای گوناگون، می‌توان به عکس‌العمل درزه‌ها و ناپیوستگی‌های سنگ در مقابل جریان تحت فشار آب نیز پی برد. نتیجه حاصل از رفتارنگاری توده سنگ تکیه‌گاه‌های سد در جدول (۳) ارائه شده است. براساس جدول (۳) در تکیه‌گاه چپ بیش از ۳۰ درصد از کل مقاطع آزمایش‌های انجام‌شده نفوذپذیر و حدود ۲۴ درصد نیز نفوذناپذیر می‌باشند. جریان آشفته با بیش از ۱۷ درصد، رفتار غالب بوده و مربوط به مقاطعی می‌باشد که بازشدگی درزه‌های سنگ تحت تأثیر فشار آب افزایش یافته است. تقریباً ۱۰ درصد رفتارها خطی می‌باشند. رفتارهای انبساطی که دارای طبیعت موقت می‌باشند حدود ۷/۵ درصد و جریان آبشستگی تقریباً ۷ درصد رفتارها را به خود اختصاص می‌دهند. جریان آبشستگی بیان از پرشدگی درزه‌ها و سیستم‌های ناپیوستگی با مصالح رسی و قابل شستشو را دارد، به طوری که فشار آب این مصالح را از داخل درزه‌ها و ناپیوستگی‌ها شسته شده و معبر جریان آب باز می‌شود. در تکیه‌گاه راست نیز صرف‌نظر از تقابل رفتارهای نفوذپذیر و نفوذناپذیر، وضعیت و مقادیر درصد سایر رفتارها با اندکی اختلاف مشابه تکیه‌گاه چپ می‌باشد. در این تکیه‌گاه، حدود ۵۱ درصد از کل مقاطع آزمایش‌های لوژان نفوذناپذیر و حدود ۱۲ درصد نفوذپذیر می‌باشند. بررسی نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری نسبت به عمق آزمایش‌های لوژان نشان می‌دهد که مقاطع آزمایش واقع در رقوم بالاتر، به دلیل بازشدگی بیشتر درزه‌های کششی دارای نفوذپذیری بیشتری نسبت به مقاطع عمیق‌تر می‌باشند؛ ضمن این که در عمق، با نزدیک شدن به واحد میانی سازند آسماری، با توجه به ماهیت آهکی-مارنی این واحد، نفوذپذیری کاهش می‌یابد.



شکل ۶ - توزیع اعداد لوژان در سازند آسماری در اعماق مختلف (تکیه‌گاه چپ)



شکل ۷ - توزیع اعداد لوژان در سازند آسماری در اعماق مختلف (تکیه گاه راست)

جدول ۳ - رفتارنگاری آزمایش های نفوذپذیری توده سنگ (لوژان) در گمانه های تکیه گاه های چپ و راست سد

گمانه	عمق (متر)	خطی	آشفته	آبشستگی	پرشدگی	انبساط	نفوذپذیر	نفوذناپذیر	کل
BH ^۱	۲۸۰	۲	۱	۴	۳	۹	۲۹	۷	۵۵
BH ^۲	۱۸۰	۵	۲	۵	۱	۲	۸	۱۲	۳۵
BH ^۳	۲۸۰	۸	۲۲	۱	۱		۷	۱۶	۵۵
BH ^۴	۶۰	۱		۷	۱	۲			۱۱
BH ^۵	۲۶۰		۳	۲	۲	۱	۵	۴۰	۵۳
BH ^۶	۲۵۰	۳	۴	۸	۱	۷	۹	۱۸	۵۰

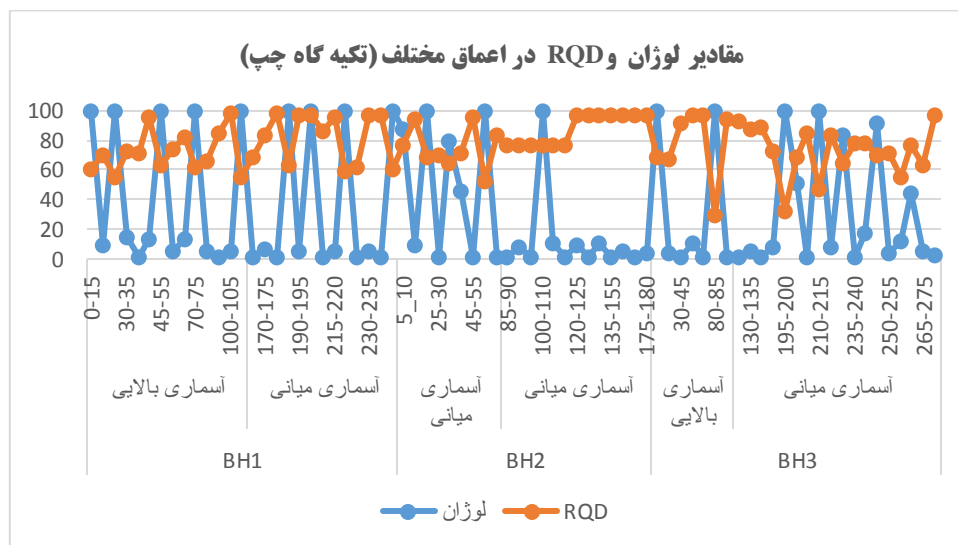
۶. ارزیابی نفوذپذیری بر اساس RQD در واحدهای مختلف سنگی

به منظور توصیف کیفی دقیق تر و کاربردی تر سنگ بستر و تکیه گاه ها، شاخص کیفی توده سنگ (RQD) برای بخش سنگی سازندهای آسماری بالایی و میانی، در مغزه های به دست آمده از حفاری گمانه های مذکور در شکل های (۸) و (۹) نمایش داده شده است. گمانه BH^۱ تا عمق حدود ۱۵۵ متری در آسماری بالایی و تا عمق ۲۸۰ متری در آسماری میانی حفاری شده است. متوسط شاخص کیفی سنگ در آسماری بالایی در این گمانه، این بخش از آسماری را در رده سنگ های متوسط (۶۸ درصد) قرار می دهد و مطابق RQD محاسبه شده برای آسماری میانی، بخش مذکور در رده سنگ های با کیفیت خوب (۷۷ درصد) قرار می گیرد. گمانه BH^۲ در رقوم پایین تری نسبت به گمانه BH^۱ حفاری شده است. ضخامت آسماری بالایی ۸۵ متر و شاخص کیفی آن ۶۱ درصد تعیین شده است. از عمق ۸۵ متری تا ۱۸۰ متری حفاری در آسماری میانی انجام شده است. میزان شاخص کیفی سنگ در این بخش بیش از آسماری بالایی است اما سنگ همچنان در رده متوسط (۶۷ درصد) قرار می -

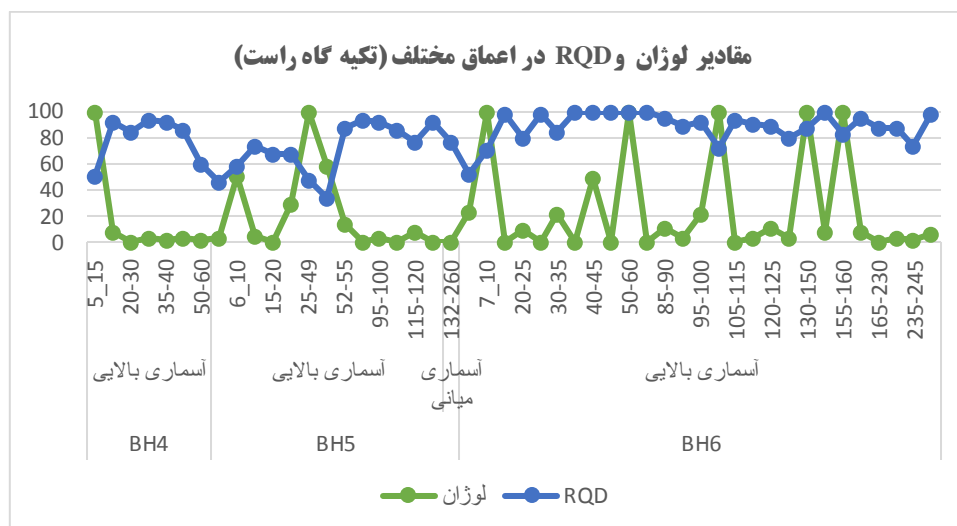
گیرد. گمانه BH۳ در پایین‌ترین رقوم تکیه‌گاه چپ و در ساحل رودخانه خرسان حفاری شده است. ضخامت آسماری بالایی در این گمانه ۸۸ متر و شاخص کیفی سنگ آن ۸۶ درصد (رده خوب) می‌باشد. ادامه گمانه در آسماری میانی با شاخص کیفی ۷۷ درصد (خوب) حفاری شده است (شکل ۸). براساس نتایج گمانه‌های مذکور متوسط شاخص کیفی توده سنگ در تکیه‌گاه چپ محور سد در آسماری بالایی حدود ۷۱/۶۷ و در آسماری میانی حدود ۷۳/۶۷ درصد می‌باشد؛ بنابراین تکیه‌گاه چپ از نظر کیفیت سنگ در رده متوسط قرار می‌گیرد.

در تکیه‌گاه راست محور سد از رقوم پایین به بالا گمانه‌های BH۴، BH۵ و BH۶ حفاری شده‌اند. گمانه BH۴ با عمق ۶۰ متر به طور کامل در آسماری بالایی حفاری شده است. متوسط شاخص کیفی سنگ در این گمانه ۷۶ درصد بوده و سنگ در رده خوب قرار می‌گیرد. مطابق نتایج حاصل از حفاری گمانه BH۵، ضخامت آسماری بالایی در این نقطه تقریباً ۱۳۲ متر و شاخص کیفی سنگ ۷۸ درصد (رده خوب) می‌باشد. گمانه مذکور از عمق ۱۳۲ متر تا آخر (۲۶۰ متر) در آسماری میانی با شاخص کیفی ۶۸ درصد (رده متوسط) حفاری شده است. گمانه BH۶ در بالاترین رقوم در تکیه‌گاه راست به عمق ۲۵۰ متر به طور کامل در آسماری بالایی حفاری شده است. شاخص کیفی سنگ در مغزه‌های به دست آمده از این گمانه ۹۲ درصد می‌باشد و سنگ حاصل در رده عالی تقسیم‌بندی می‌شود. همان‌طور که در شکل (۹) ملاحظه می‌شود، کیفیت سنگ در بخش بالایی آسماری در تکیه‌گاه راست، خوب بوده و میزان شاخص کیفی سنگ، ۸۲ درصد برآورد شده است. آسماری میانی در این تکیه‌گاه در رده سنگ‌های با کیفیت متوسط قرار می‌گیرد.

جهت بررسی ارتباط بین تغییرات شاخص کیفی توده سنگ با تغییرات عدد لوژان، در شکل‌های (۸) و (۹) مقادیر عدد لوژان در گمانه‌های مذکور آورده شده است. به‌طور کلی با مقایسه مقادیر لوژان و شاخص کیفی توده سنگ در شکل‌های (۸) و (۹) می‌توان بیان نمود که به طور کلی بین مقادیر لوژان و شاخص کیفی توده سنگ رابطه عکس وجود دارد.



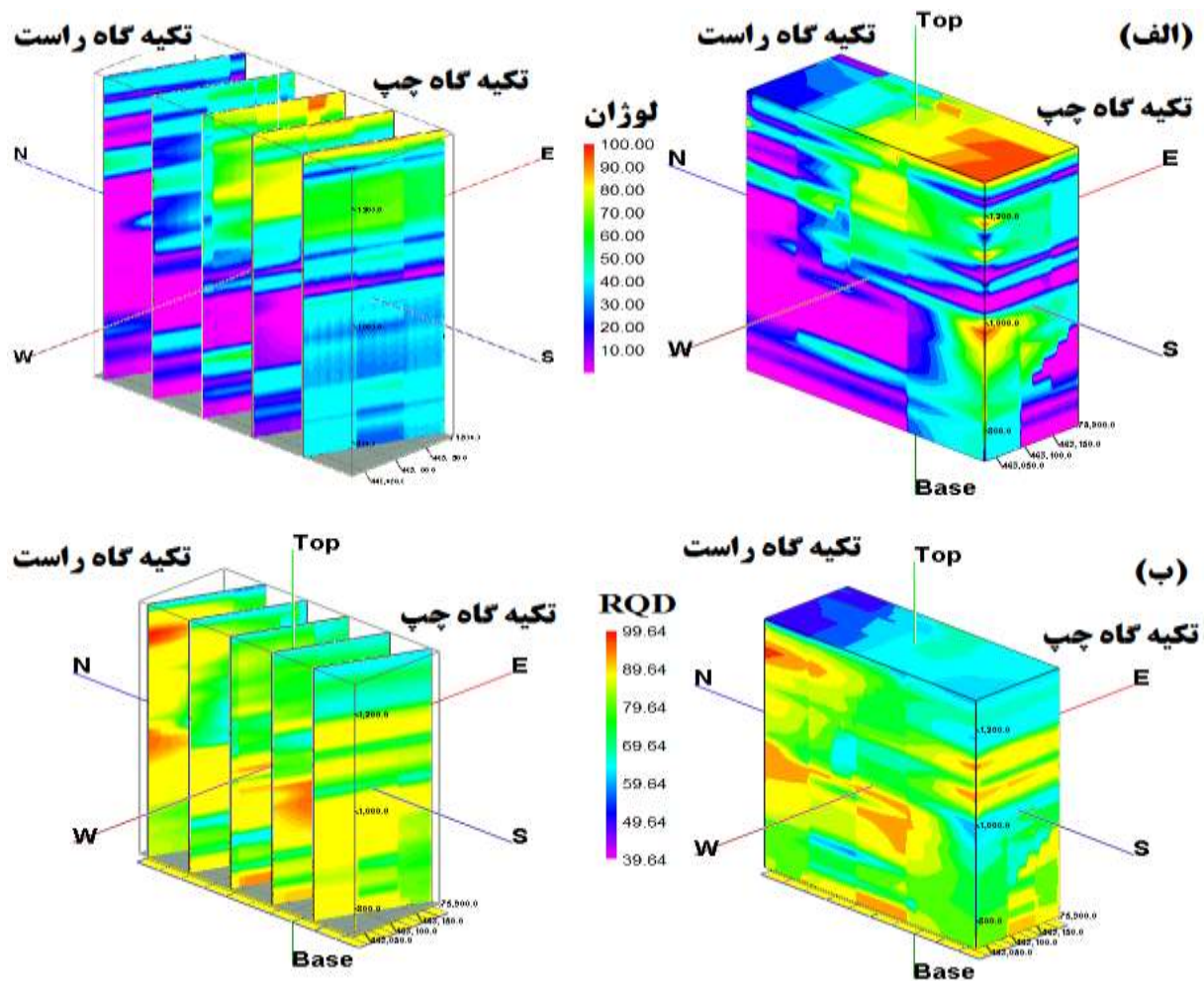
شکل ۸ - مقادیر RQD و لوژان نسبت به عمق در گمانه‌های تکیه‌گاه چپ سازند آسماری



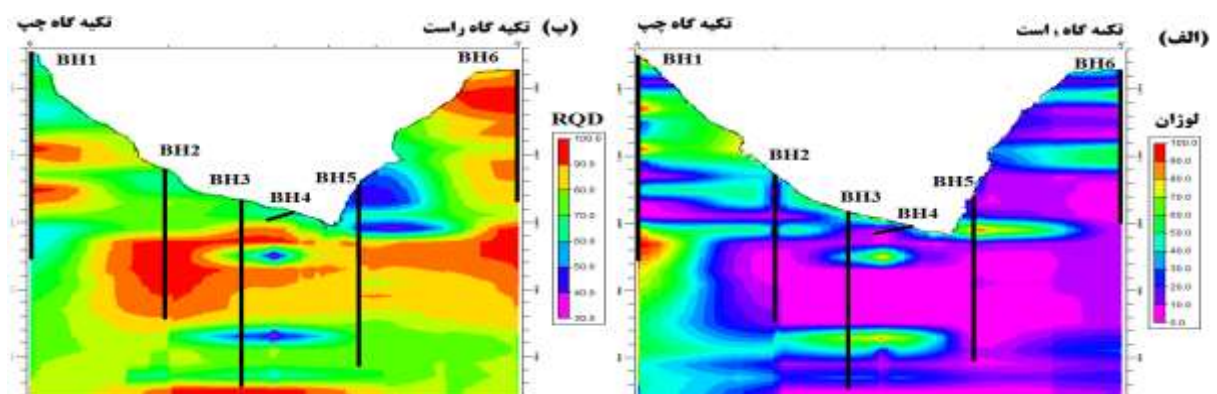
شکل ۹ - مقادیر RQD و لوزان نسبت به عمق در گمانه‌های تکیه‌گاه راست سازند آسماری

۷. مدل‌سازی سه‌بعدی نفوذپذیری در ساختگاه سد خرسان ۲

از جمله پارامترهای ارزیابی نفوذپذیری توده‌سنگ، عدد لوزان می‌باشد. این پارامتر نقش مهمی در شناسایی پتانسیل فرار آب و مسیرهای جریان آب زیرزمینی دارند [۲۳]. به‌منظور مدل‌سازی سه‌بعدی پارامتر فوق در تکیه‌گاه‌های سد خرسان ۲، اطلاعات به‌دست‌آمده از ۶ گمانه اکتشافی حفاری‌شده، توسط نرم‌افزار راکورک ۱۴ مورد آنالیز قرار گرفتند (شکل ۱۰). این نرم‌افزار با مدل‌سازی سه‌بعدی پارامترهای موردنظر، امکان بررسی روند افزایشی، کاهش و یا ردیابی حالات ممکن پارامترهای برداشت‌شده را فراهم می‌کند [۲۳]. این نرم‌افزار یکی از ابزارهای مدل‌سازی قدرتمند چندگانه در زمین‌شناسی می‌باشد و تقریباً در زمره نرم‌افزارهایی است که بیشتر از دیگر نرم‌افزارهای زمین‌شناسی امکان آنالیزهای سه‌بعدی را فراهم می‌نماید [۲۳]. فرآیند مدل‌سازی به‌گونه‌ای بوده که نتایج آزمایش‌های موردنظر در کلیه گمانه‌ها به اشتراک گذاشته‌شده و یک همبستگی بین گمانه‌ای انجام شده است. بدین ترتیب مقادیر حدواسط پارامترهای موردنظر در بین گمانه‌ها نیز بدست آمده است. درنهایت مقایسه مدل‌های سه‌بعدی با داده‌های زمین‌شناسی سطحی و زیرسطحی، شرایط مناسبی برای تجزیه و تحلیل مسیرهای فرار آب در زیر پی سد فراهم نموده است. در شکل (۱۱) تغییرات شاخص کیفیت توده سنگ و لوزان در طول محور سد با استفاده از نرم‌افزار راکورک ۱۴ پهنه‌بندی گردیده است. مدل‌های سه‌بعدی ارائه شده نیز رابطه عکس بین مقادیر لوزان و شاخص کیفی توده سنگ را تأیید می‌نمایند. همان‌طور که در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) نیز مشاهده می‌شود تکیه‌گاه راست نفوذپذیری کمتری دارد به‌طوری که با افزایش عمق نفوذپذیری این تکیه‌گاه به صفر نزدیک می‌شود.



شکل ۱۰- مدل سه بعدی نفوذپذیری توده سنگ براساس (الف) لوژان و (ب) شاخص کیفیت توده سنگ (RQD) با استفاده از نرم افزار RockWork ۱۴



شکل ۱۱- تغییرات (الف) لوژان و (ب) شاخص کیفیت توده سنگ (RQD) در طول محور سد

۸. تعیین عمق مناسب پرده آببند

باتوجه به پتانسیل کارستی و تراوایی بالای سنگ‌های ساختمانی (آهک آسماری بالایی) و همچنین ارتفاع نسبتاً زیاد هیدرولیکی در پشت سد و ایجاد گرادیان هیدرولیکی تند در اطراف سد، به دلیل نوع بدنه سد (بتنی دوقوسی)، برای جلوگیری از نشت آب و همچنین جلوگیری از فرسایش پی و تکیه‌گاه‌ها، اجرای سیستم آب‌بندی ضروری می‌باشد. پرده آب‌بند علاوه بر کاهش نفوذپذیری می‌تواند در کاهش و کنترل فشار برکنش مؤثر باشد. مناسب‌ترین عمق برای احداث پرده آب‌بند عمقی است که نفوذپذیری توده‌سنگ به کمینه مقدار خود رسیده و یا گستره پرده به لایه‌های نفوذناپذیر طبیعی موجود در ساختمانی منتهی گردد. برپایه نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش لوژان در گمانه‌های ذکرشده عمق پرده آب‌بند در گمانه BH۱؛ ۲۳۵ متر، BH۲؛ ۱۲۵ متر، BH۳؛ ۲۷۵ متر، BH۴؛ ۳۰ متر، BH۵؛ ۵۵ متر و BH۶؛ ۲۳۰ متر پیشنهاد می‌شود.

۹. نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق به‌صورت زیر قابل جمع‌بندی است:

۱. نتایج آزمایش لوژان و مدل‌سازی سه‌بعدی توسط نرم‌افزار Rock work ۱۴ نشان می‌دهد که لوژان در تکیه‌گاه چپ برای آسماری بالایی ۴۸/۶ (زیاد) و برای آسماری میانی ۲۷/۲۵ (متوسط) می‌باشد. عدد لوژان در تکیه‌گاه راست برای آسماری بالایی ۲۱/۹ و برای آسماری میانی کمتر از یک می‌باشد.
۲. در اعماق کم، به دلیل بازشدگی بیش‌تر درزه‌های کششی، نفوذپذیری بیشتر می‌باشد ولی با افزایش عمق با نزدیک شدن به واحد میانی سازند آسماری (باتوجه به ماهیت آهکی-مارنی این واحد) نفوذپذیری کاهش می‌یابد.
۳. میانگین مقادیر شاخص کیفی توده‌سنگ در تکیه‌گاه چپ در سازند آسماری بالایی ۷۱/۶۷ درصد و در آسماری میانی ۷۳/۶۷ درصد می‌باشد. میانگین مقادیر شاخص کیفی توده‌سنگ در تکیه‌گاه راست در سازند آسماری بالایی ۸۲ درصد و در آسماری میانی ۶۸ درصد می‌باشد؛ بنابراین تکیه‌گاه راست بر اساس شاخص کیفی توده‌سنگ در وضعیت بهتری قرار دارد.
۴. به‌طورکلی در تمام گمانه‌های موردبررسی در تکیه‌گاه‌های راست و چپ سد، رابطه عکس بین تغییرات شاخص کیفی توده‌سنگ و عدد لوژان وجود دارد. بنابراین عامل اصلی وجود مقادیر بالای لوژان، وجود زون‌های خرد شده در سنگ‌های سازند آسماری می‌باشد که در اثر نیروهای فشارشی و کششی چین‌های موجود در منطقه به‌وجود آمده‌اند. این زون‌های خرد شده در تکیه‌گاه چپ در سطح زمین قابل مشاهده است.
۵. برپایه نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش لوژان و مقادیر شاخص کیفی توده‌سنگ در گمانه‌های ذکرشده عمق پرده آب-بند در گمانه BH۱؛ ۲۳۵ متر، BH۲؛ ۱۲۵ متر، BH۳؛ ۲۷۵ متر، BH۴؛ ۳۰ متر، BH۵؛ ۵۵ متر و BH۶؛ ۲۳۰ متر پیشنهاد می‌شود.

۹. قدردانی

در پایان از همکاری و مساعدت مدیریت محترم شرکت‌های آزمون فولاد و مه‌اب قدس، جهت در اختیار گذاشتن اطلاعات موردنیاز و همچنین بسترسازی برای مطالعات پژوهشی و همچنین از جناب آقای دکتر محمد هفتانی به خاطر همکاری صمیمانه کمال تشکر و قدردانی را داریم.

۱۰. منابع

۱. Elhassadi. A., (۲۰۰۸), Pollution of water resources from industrial effluents: a case study- Benghazi, Libya. Desalination ۲۲۲, pp ۲۸۶-۲۹۳.
۲. کریم کشته. م.ح.، کوپاهی. م.، کیمیا. ا.ج.، (۱۳۸۰)، "استفاده بهینه از آب رودخانه سیستان (مطالعه موردی بخش شیب آب)"، اقتصاد کشاورزی و توسعه، شماره ۳۵، ص ۱۹۷-۲۲۱.
۳. عابدینی. ع.، بابایی. ه.، خداپرست شریفی. ح.، پورمجیب. ا.، (۱۳۸۳)، "بررسی آلودگی فلزات سنگین (Cd, Fe, Pb, Zn, Cu) در آب دریاچه سد مخزنی حسنلو (آذربایجان غربی)"، دومین همایش ملی بحران‌های زیست‌محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن‌ها، ۴ تا ۶ آذر ۱۳۸۳، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات مرکز اهواز، ۷ ص.
۴. فهمی‌فر. ا.، سروش. ح.، (۱۳۸۹)، "آزمایش‌های مکانیک سنگ مبانی نظری و استانداردها، جلد دوم (آزمون‌های صحرایی)"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ دوم، تهران، ۶۱۲ ص.
۵. Charrua-Graqa. J. G., (۱۹۷۹), Dilatometer tests in the study of the deformability of rock masses, Proc. ۴th ISRM Congr. Vol. (۲), pp. ۷۳-۷۶.
۶. Bieniawski. Z.T., (۱۹۸۹), Engineering Rock Mass Classification, John Wiley, Newyork, ۳۲۳ p.
۷. فاتحی مرجی. م.، (۱۳۸۹)، "مکانیک سنگ برای مهندسين"، انتشارات نورنار، چاپ اول شهریور ۱۳۸۹، ۲۴۶ ص.
۸. معماریان. ح.، (۱۳۸۴)، "زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، تهران، ۹۵۴ ص.
۹. Chamanzadeh A., Moshrefy-far M.R., Rahimi Shahid M., Moosavi S.M., (۲۰۱۶), Statistical analysis of the rock masses permeability in Shahid dam site, International Conference on Civil Engineering, Architecture, Urban Management and Environment in the Third Millennium, Rasht, Iran, ۱۲ p.
۱۰. Chamanzadeh A., Moshrefy-far M.R., Rahimi Shahid M., Moosavi S.M., (۲۰۱۶), Grout curtain optimum position design of Shahid dam using RockWork ۱۵ software, International Conference on Civil Engineering, Architecture, Urban Management and Environment in the Third Millennium, Rasht, Iran, ۱۶ p.
۱۱. Rahimi Shahid, M., Moshrefy-far, M.R., and Rahimi, N. (۲۰۱۶), Three-dimensional modeling of the permeability of the rock masses of Khersan ۲ dam using geostatistical methods, The Specialty Journal of Architecture and Construction (SJAC), ۲, pp. ۲۱-۴۲.
۱۲. Rahimi Shahid M., Kargaranbafghi F., Moosavi S.M., Rahimi N., (۲۰۱۶), Engineering geological assessment of the Shahid dam site (Semirom, Iran), Journal of Geotechnical Geology, ۲, pp. ۱۹۳-۲۰۵.
۱۳. شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، (۱۳۸۹)، "طرح سد و نیروگاه خرسان ۲"، گزارش زمین‌شناسی مهندسی، جلد ۷، ۱۹۶ ص.
۱۴. مهتاب قدس، (۱۳۸۹)، "مطالعات توجیهی سد و نیروگاه آبی سد خرسان ۲"، گزارش زمین‌شناسی منطقه سد خرسان ۲، ۱۹۶ ص.
۱۵. آفانباتی. ع.، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات دایره سبز، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.

۱۶. اجل لوئیان. ر.، محمدی. م.، (۱۳۹۰)، "ارزیابی خصوصیات ژئومکانیکی سنگ‌های آهکی سازند آسماری در ساختگاه سدهای خرسان ۱ و ۲"، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۰، ص ۱۰۵۹-۱۰۷۶.
۱۷. Rahimi Shahid, M. Moshrefy-Far, M.R. (۲۰۱۵), Compare modules deformable estimated Dilatometers and Plat load tests of the Khersan ۲ dam, National conference of Geology and Exploration of Resources, ۷ p.
۱۸. توکلی. ب.، (۱۳۹۰)، "زمین‌شناسی مهندسی"، انتشارات دانشگاه پیام‌نور، چاپ اول شهریور ۱۳۹۰، ۳۰۵ ص.
۱۹. عظیمی. ر.، الله‌بخش. گ.، (۱۳۸۶)، "بررسی نفوذپذیری پی سد کمال صالح بر اساس نتایج آزمایشات لوژان"، مجموعه مقالات یازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ص ۲۷۸۵-۲۷۹۲.
۲۰. Lugeon. M., (۱۹۳۳), Barrageset Geologe. Dunod, Paris, ۱۳۸ p.
۲۱. سازمان برنامه‌وبودجه، (۱۳۷۸)، "دستورالعمل آزمایش‌های تراوایی"، انتشارات سازمان برنامه‌وبودجه، نشریه شماره ۱۸۸، ۵۰ ص.
۲۲. Kutzner, T.C., (۱۹۹۶), Grouting of Rock and Soil, A., A., Balkema, Rotterdam, Brook Field, ۲۷۱ p.
۲۳. اجل لوئیان. ر.، عظیمیان. ع.، حافظی مقدس. ن.، بهرامی سامانی. ف.، (۱۳۹۲)، "ارزیابی نفوذپذیری و تزریق‌پذیری نهشته‌های کواترنری و توده‌سنگ‌های رسوبی ساختگاه سد نرگسی"، مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، جلد ششم، شماره ۱ و ۲، ص ۱۳-۳۲.

Assessment permeability of rock mass of the Asmari formation Khersan ۲ dam

Mojtaba Rahimi Shahid^{۱*}, Nima Rahimi^۲

^{۱*} Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Mr۶۱۹htt@gmail.com

^۲ Faculty of Geology, University of Tehran.

Abstract

Khersan ۲ dam Concrete is located ۶۰ kilometers southwest of the Lordegan city. The upstream portion of the dam, the Lower Cretaceous formations Geology to the present Covenant, including Asmari, Gachsaran, Aghajari, Bakhtiari sediments present age outcrop. Abutment and bed Khersan ۲ dam is located on the Asmari. To study the permeability of the dam abutment Asmari formation limestone mass is used of test results Lugeon and RQD. Lugeon test results at Asmari formation rock mass show that the right abutment permeability is less than the left abutment. RQD values mean more of the left abutment is on the right abutment. Compare Lugeon and RQD values in drill holes indicate that the increase of the number Lugeon RQD reduced. In order to better compare the permeability variations along the dam axis, three-dimensional models is provided by the RockWork ۱۴ software. Three-dimensional models presented above confirms the results.

Key words: Lugeon test, RQD, Khersan ۲ dam, Asmari formation, RockWork ۱۴ software.