

# ارزیابی کیفیت توده‌های سنگی مسیر تونل انحراف آب سد حاجیلرچای



کاظم دهقانی، دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد،  
kazimdehghani@gmail.com  
محمد غفوری، استاد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، ghafoori@um.ac.ir  
غلامرضا لشکری پور، استاد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، Lashkaripour@um.ac.ir



## چکیده:

به منظور بررسی دقیق رفتار مهندسی پروژه‌هایی نظیر سد و تونل، شناخت ویژگی‌های مهندسی توده سنگ‌های ساختگاه از جمله کیفیت توده سنگ، ضروری به نظر می‌رسد. یکی از روش‌های رایج بررسی کیفیت توده سنگ‌ها طبقه بندی مهندسی آنهاست. با طبقه‌بندی توده سنگ‌های مسیر تونل، می‌توان اقدامات لازم را برای طراحی و نگهداری آنها فراهم نمود. بدین منظور تونل انحراف آب سد حاجیلرچای با توجه به اطلاعات حاصل از گمانه‌های اکتشافی، ویژگی‌های سنگ-شناسی، بررسی ناپیوستگی‌ها، گسل‌ها و سطح آب زیرزمینی به چهار زون مشابه تقسیم بندی گردید. پارامترهای مهندسی نظیر مقاومت تراکمی تک محوری سنگ (UCS)، شاخص کیفی سنگ (RQD) برای هر کدام از زون‌ها و همچنین ویژگی‌های مهندسی کل ناپیوستگی‌های مسیر تونل مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس این اطلاعات طبقه‌بندی‌های ژئومکانیکی (RMR) و شاخص کیفی تونل‌سازی (Q) انجام گرفته است. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان می‌دهد که توده سنگ‌های دربرگیرنده تونل انحراف آب در زون‌های ۱ و ۲ از لحاظ طبقه بندی RMR در رده سنگ‌های متوسط ولی توده سنگ‌های موجود در زون ۳ و ۴ در رده سنگ‌های ضعیف قرار می‌گیرند. همچنین در رده بندی بر اساس سیستم Q توده سنگ‌های دربرگیرنده تونل در زون‌های ۱، ۲ و ۳ در رده سنگ‌های ضعیف ولی توده سنگ‌های موجود در زون ۴ در رده سنگ‌های خیلی ضعیف قرار می‌گیرند. کلید واژه‌ها: توده سنگ، تونل انحراف، طبقه بندی RMR، طبقه بندی Q

## Abstract:

In order to review of engineering projects such as dams and tunnel, knowledge the engineering properties of the rock masses of site, seems to be necessary. One of the common methods to check the rock mass quality is engineering classifications. To design support system for tunnel, you can use the rock mass classifications. So, the diversion tunnel of Hajilarchay dam is divided into four zones according to data that determined by boreholes, properties of rock, investigation of discontinuities, faults and groundwater. Engineering parameters such as Uniaxial Compressive Strength and Rock Quality Index was investigated for each of zones and also investigated properties of total discontinuity of tunnel route. Based on this informations, RMR and Q classifications has been done. The results of this study show that the rock masses of the diversion tunnel are fair in zone 1 and 2 according to RMR system, but the rock masses of the diversion tunnel are poor in zone 3, 4. Also according to Q system, the rock masses of diversion tunnel are poor in zone 1, 2, 3 and are very poor in zone 4.

Keywords: Rock mass, Diversion tunnel, RMR and Q classification



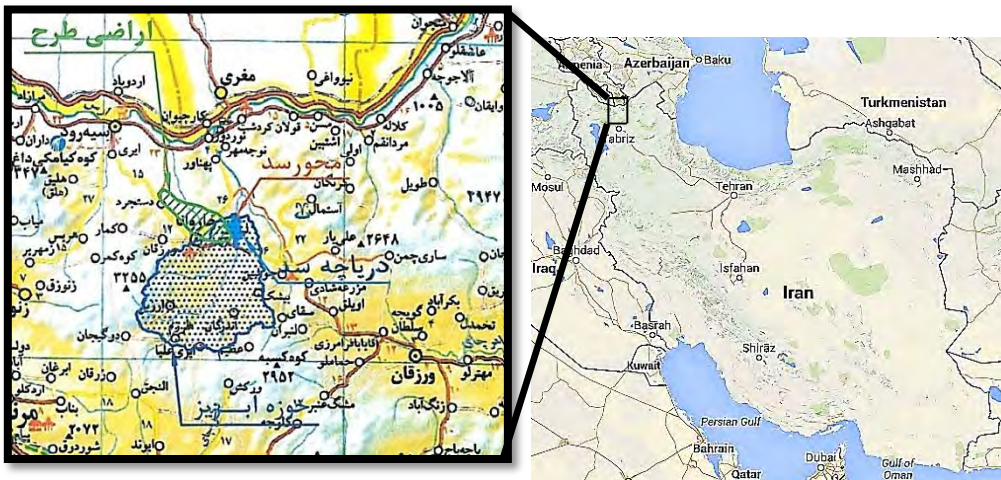
## مقدمه :

بررسی کیفیت توده سنگ، از پارامترهای مهمی است که نقش اساسی در طراحی و ساخت یک سد ایفا می‌کند. طبقه بندی توده سنگ‌ها، یکی از روش‌های مرسوم برای شناسایی کیفیت آنها بوده

که به طور گسترده در مهندسی سنگ و در مرحله طراحی مقدماتی استفاده می‌شود و ابزاری مناسب جهت برآورد پایداری توده‌ای در هر سنگ و پیش بینی برخی خصوصیات رفتاری سنگ می‌باشد [9]. جهت بررسی کیفیت توده سنگ با استفاده از سیستم‌های رده بندی ساختگاه مورد نظر باید به چند مقطع که دارای ویژگی‌های ساختاری و زمین‌شناسی مشابه هستند، تقسیم شده سپس برای هر مقطع رده بندی انجام گردد.

### موقعیت جغرافیایی ساختگاه سد

سد مخزنی حاجیلرچای در استان آذربایجان شرقی بر روی رودخانه حاجیلرچای از سرشاخه‌های رودخانه ارس در حال احداث است. ساختگاه سد در نزدیکی روستای قره قیه، به مختصات جغرافیایی "۱۶' ۴۱" ۳۸° عرض شمالی و "۳۳' ۱۶" ۴۶° طول شرقی واقع شده است. ساختگاه سد در فاصله ۱۳۵ کیلومتری شمال تبریز و ۵۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان ورزقان قرار دارد. این سد از نوع خاکی با هسته رسی ناتراوا به طول تاج ۲۶۵ متر و عرض ۱۰ متر، با هدف مهار بخشی از پتانسیل آزاد رودخانه حاجیلرچای با متوسط آورد ۱۲۰ میلیون متر مکعب و تامین ۴۰ میلیون متر مکعب آب برای نیازهای شهری احداث خواهد شد. دسترسی به ساختگاه سد از طریق کیلومتر ۵۰ جاده آسفالتی ورزقان- خاروانا، سپس جاده آسفالتی کارخانه خاروانا و ادامه مسیر خاکی روستای قره قیه به سمت شمال به طول ۳ کیلومتر، میسر است. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه ب خوبی نشان داده شده است [2].



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ساختگاه سد



### بحث :

#### زمین شناسی محدوده ساختگاه سد

منطقه مورد مطالعه در زون ساختی البرز- آذربایجان واقع شده است [3]. شیب عمومی دامنه‌ها در محدوده بدنه سد کم و بیش یکسان و حدود ۳۵ درجه است که نشان دهنده متقارن بودن دره است. مقطع دره در محل محور سد به شکل V بازی است که زاویه داخلی آن حدود ۱۰۰ درجه می‌باشد.

مجموعه واحدهای لیتولوژی موجود در ساختگاه سد به دو بخش اصلی تقسیم می‌شود. بخش غیرسنگی یا خاکی کواترن که شامل آبرفت بستر رودخانه، پادگانه‌های آبرفتی، مخروط افکنه‌ها، واریزه و سنگریزش می‌باشد و بخش سنگی آن، رخساره تپ فلیش به سن ائوسن است. واحدهای سنگی محدوده ساختگاه سد عبارتند از: واحدهای آذرآواری (پیروکلاست و توف) و توالی سنگ‌های رسوبی و آذرین که به صورت توده‌های نفوذی رخمون یافته است. مهمترین گسل منطقه، گسل استرخان- کمار با امتداد شمال‌غرب- جنوب شرق در شمال‌شرق روستای ارزیل است. این گسل با طول قابل رویت ۱۳/۲ کیلومتر در بخش غربی به گسل‌هایی با روند شمالی- جنوبی می‌رسد. گسل استرخان-کمار با سازوکار معکوس، سوی شیبی به سمت شرق دارد و واحدهای قدیمی‌تر کرتاسه را در کنار واحدهای جوان‌تر کرتاسه و ائوسن قرار می‌دهد.

#### طبقه بندی مهندسی توده سنگ‌های مسیر تونل

سیستم‌های طبقه‌بندی RMR و Q در ابتدا با هدف برآورد سیستم نگهداری تونل‌ها مطرح و به تدریج تکمیل گردیدند ولی بعدها به منظور برآورد خصوصیات توده سنگ از قبیل مدول تغییرشکل پذیری،

تفسیر سرعت‌های لرزه‌ای و کمک به تفسیر نتایج رفتارسنجی حین ساخت نیز به کار گرفته شدند [4].

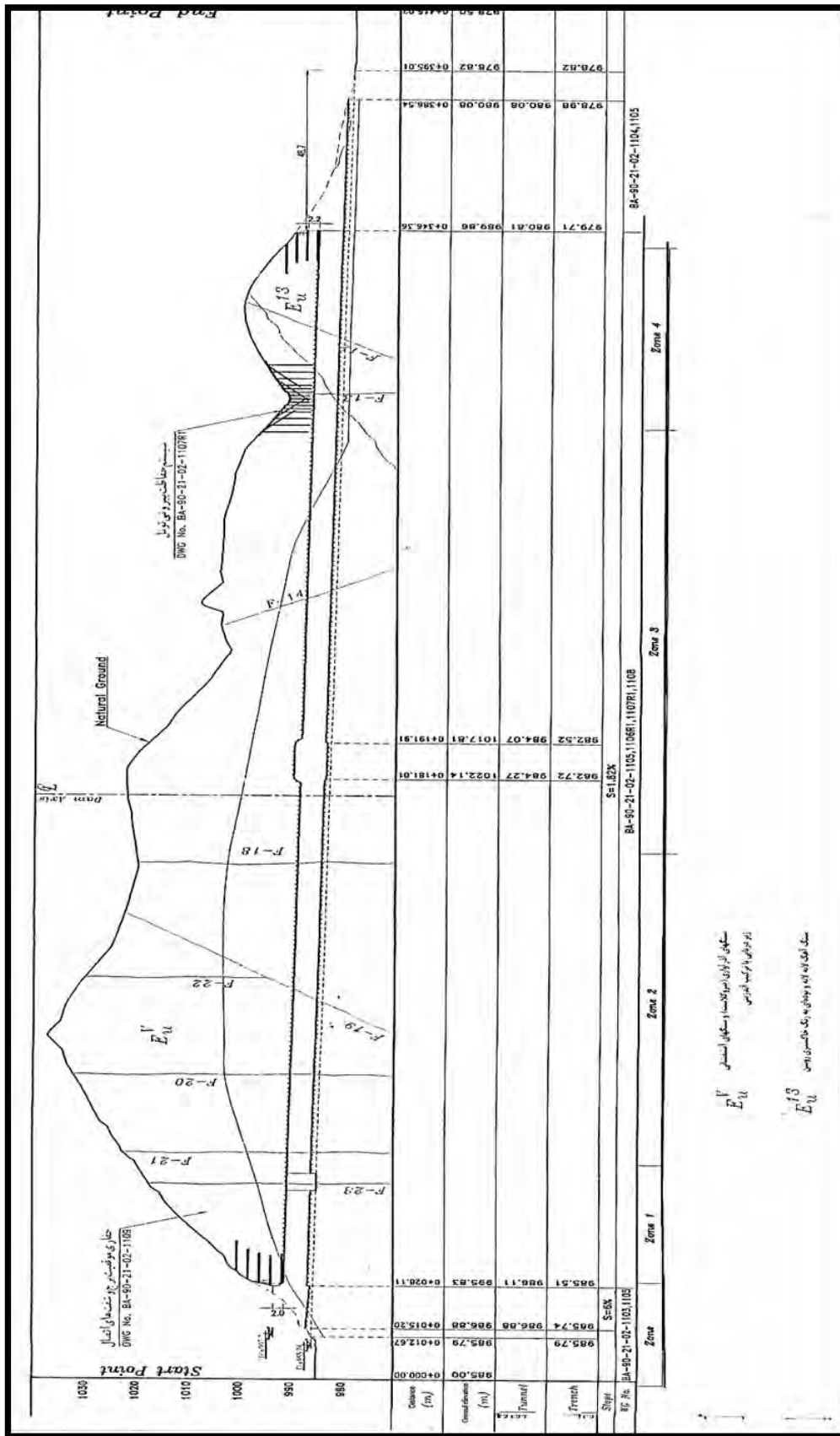
این سیستم‌ها بهترین کارایی در زمان برنامه‌ریزی پروژه‌های تونل‌سازی و در هنگامی دارند که برآورد اولیه نیازهای سیستم نگهداری بر اساس مطالعات اولیه مغزه‌ها، برداشت‌های زمین‌شناسی و مطالعات لرزه‌خیزی مورد ارزیابی قرار گیرد. در حین ساخت، کاربرد این سیستم‌ها ضروری می‌باشد و گروه نگهداری بر اساس طبقه‌بندی‌ها باید همواره با افزایش اطلاعات و به صورت روزانه تدقیق گردد [5].

مفهوم رده بندی توده سنگ بیشتر به منظور ارزشیابی ویژگی‌های اصلی و اساسی توده سنگ و همچنین ارزیابی کمی از هر یک از پارامترهای موثر در رفتار مهندسی توده سنگ است [1].

تونل انحراف آب سد حاجیلرچای به طول ۳۱۴ متر و به قطر ۴/۶ متر، در جناح چپ ساختگاه سد قرار گرفته است. به منظور ارزیابی کیفیت توده سنگ‌های مسیر تونل انحراف، ابتدا مسیر تونل به چهار

زون تقسیم گردیده سپس رده‌بندی RMR و Q برای هر زون انجام شده است.

در طول مسیر تونل حدود ۱۹۴ ناپیوستگی (۹ گسل اصلی و ۱۸۵ درزه و لایه‌بندی) برداشت گردیده که جهت بررسی دقیق درزه‌ها و برآورد اثر آنها بر پارامترهای مقاومتی توده سنگ مشخصات درزه‌ها شامل درصد بازشدگی، درصد پرشدگی، تداوم، فاصله‌داری و زبری سطوح مورد بررسی قرار گرفته است. به طور کلی ۷ گمانه در محدوده تونل طی مطالعات مرحله اول و دوم طرح، حفاری شده است که در طبقه‌بندی‌های مهندسی توده سنگ از اطلاعات گمانه‌های حفاری شده، آزمایشات آزمایشگاهی و بررسی‌های صحرائی استفاده شده است. شکل ۱ پروفیل طولی تونل انحراف به همراه گسل‌های اصلی، را نشان می‌دهد.



شکل ۱- پروفیل طولی تونل انحراف آب

### طبقه‌بندی مهندسی توده سنگ‌های مسیر تونل به روش RMR

یکی از مهمترین و متداولترین روش‌های طبقه‌بندی، سیستم رده‌بندی RMR می‌باشد. این روش طبقه‌بندی توسط بیناوسکی در سال ۱۹۷۴ ارائه شده است [7]. در تحقیق حاضر این طبقه‌بندی بر اساس نسخه ۱۹۸۹ میلادی که توسط بیناوسکی ارائه شده است، استفاده گردیده است [8]. طبقه‌بندی توده سنگ‌های مسیر تونل به روش RMR، به شرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱- طبقه‌بندی توده‌های سنگی مسیر تونل انحراف به روش RMR [8]

پارامتر	زون ۱		زون ۲		زون ۳		زون ۴	
	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز
UCS (Mpa)	۳۵	۲	۳۹	۴	۳۴	۲	۳۳	۲
%RQD	۸۴	۱۷	۷۱	۱۲	۵۰	۸	۵۹	۱۰
فاصله ناپیوستگی‌ها (متر)	۰/۳-۰/۶	۱۰	۰/۶-۲	۱۵	۰/۶-۲	۱۵	۰/۳-۰/۶	۱۰
شرایط ناپیوستگی‌ها								
تداوم (متر)	۳-۱۰	۲	۳-۱۰	۲	۱۰-۲۰	۱	۱۰-۲۰	۱
بازشدگی (mm)	۱۰-۱۰۰	۰	۱۰-۱۰۰	۰	۱۰-۱۰۰	۰	>۱۰	۰
ناهمواری	زیر	۵	زیر	۵	زیر	۵	زیر	۵
پرشدگی	Hardfilling	۲	Hardfilling	۲	Hardfilling	۲	Hardfilling	۲
هوازگی	MW	۳	SW	۵	SW	۵	MW	۲
شرایط آب زیرزمینی	Damp	۱۰	Damp	۱۰	Wet	۷	Wet	۷
تعدیل جهت پابی درزه‌ها	Fair	-۵	Fair	-۵	Fair	-۵	Fair	-۵
امتیاز RMR	۴۷		۵۰		۴۰		۳۶	
توصیف سنگ	Fair rock		Fair rock		Poor rock		Poor rock	

### طبقه‌بندی مهندسی توده سنگ‌های مسیر تونل به روش Q

بارتون و همکارانش از انستیتو ژئوتکنیک نروژ (NGI) بر مبنای ارزیابی تعداد زیادی از حفاریات زیرزمینی، شاخصی موسوم به شاخص کیفیت تونلسازی را ارائه کردند که به نام شاخص Q معروف است [6]. این رده بندی برای طراحی سیستم نگهدارنده تونلها به کار می‌رود. شاخص Q با رابطه

ریاضی زیر تعریف می‌شود و اندازه عددی که بصورت مقیاس لگاریتمی بین ۰/۰۰۱ تا ۱۰۰۰ در تغییر است:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

که در رابطه فوق:

RQD = شاخص کیفی سنگ  
 $J_n$  = ضریب مربوط به تعداد درزه ها  
 $J_r$  = ضریب مربوط به زبری درزه ها  
 $J_a$  = ضریب مربوط به دگرسانی سطح درزه  
 $J_w$  = ضریب مربوط به کاهش آب درزه ها  
 SRF = ضریب مربوط به کاهش تنش  
 برای تعیین مقدار شاخص Q برای هر سنگ، ابتدا باید مقادیر عددی مناسب برای هر یک از فاکتورهایی که در رابطه فوق آورده شده است، بدست آورد و با قرار دادن آنها در معادله Q، مقدار Q را برای هر سنگ محاسبه کرد [6].  
 در این مطالعه توده‌سنگهای دربرگیرنده تونل انحراف آب بر اساس طبقه‌بندی سیستم Q در زون‌های مختلف تونل تحت بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- طبقه‌بندی توده‌های سنگی مسیر تونل انحراف به روش Q

پارامتر	زون ۱		زون ۲		زون ۳		زون ۴	
	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز
RQD%	۸۴	۸۴	۷۱	۷۱	۵۰	۵۰	۵۹	۵۹
$J_n$	سه دسته + درزه درزه‌های تصادفی	۱۲×۲	سه دسته درزه	۹	چهار دسته درزه	۱۵	چهار دسته درزه	۱۵×۲
$J_r$	زبر، نامنظم و مسطح	۱/۵	زبر، نامنظم و مسطح	۱/۵	زبر، نامنظم و مسطح	۱/۵	زبر، نامنظم و مسطح	۱/۵
$J_a$	Silty or sandy clay coating	۳	Silty or sandy clay coating	۳	Silty or sandy clay coating	۳	Silty or sandy clay coating	۳
$J_w$	متوسط	۰/۶۶	متوسط	۰/۶۶	متوسط	۰/۶۶	متوسط	۰/۶۶
SRF	متوسط	۱	متوسط	۱	متوسط	۱	متوسط	۱
Q	۱/۱۵	۲/۶	۱/۱	۰/۶۴				



## نتیجه گیری :

با توجه به خصوصیات مکانیکی و پارامترهای مهندسی نظیر مقاومت تراکمی تک محوری، شاخص کیفی سنگ و ویژگی‌های مهندسی ناپیوستگی‌ها، واحدهای سنگی مسیر تونل بر طبق رده‌بندی RMR و Q طبقه‌بندی گردید. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که سنگ‌های مسیر تونل در زون‌های ۱ و ۲ طبق طبقه‌بندی RMR در رده سنگ‌های متوسط و توده سنگ‌های موجود در زون‌های ۳ و ۴ به ترتیب دارای امتیاز ۴۰ و ۳۶ بوده، لذا در رده سنگ‌های ضعیف قرار می‌گیرند. همچنین بر اساس نتایج حاصل از طبقه‌بندی سیستم Q توده سنگ‌های دربرگیرنده تونل انحراف در زون‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب دارای امتیاز ۱/۱۵، ۲/۶ و ۱/۱ بوده که در رده سنگ‌های ضعیف (Poor) قرار می‌گیرند، در حالیکه توده سنگ-های زون ۴ با امتیاز ۰/۶۴ در رده سنگ‌های خیلی ضعیف (Very Poor) قرار دارند.  
 با توجه به نتایج حاصل از طبقه‌بندی RMR می‌توان سیستم نگهدارنده برای این تونل را به شرح زیر پیشنهاد نمود:

برای زون ۱ و ۲ حفاری با روش سینه کار بالایی و سکوی پائینی، مقدار پیشروی در سینه کار بالایی ۱/۵ تا ۳ متر، پس از ۱۰ متر پیشروی سیستم نگهداری کامل اجرا گردد. استفاده از پیچ سنگ به طول ۴ متر و فاصله ۱/۵ تا ۲ متر در تاج و دیواره‌ها و استفاده از شانکریت به ضخامت ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر در تاج و ۳۰ میلی‌متر در دیواره‌ها.

برای زون ۳ و ۴ حفاری با روش سینه کار بالایی و سکوی پائینی؛ مقدار پیشروی در سینه کار بالایی ۱ تا ۱/۵ متر؛ پس از ۱۰ متر پیشروی، سیستم نگهداری کامل اجرا گردد. استفاده از پیچ سنگ به طول ۴

تا ۵ متر و فاصله ۱ تا ۱/۵ متر در تاج و دیواره‌ها و استفاده از شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیمتر در تاج و ۱۰۰ میلیمتر در دیواره‌ها.



## منابع فارسی :

۱. خانلری، غ.، ۱۳۸۹، اصول مکانیک سنگ (برای مهندسين زمین شناسی، عمران و معدن)، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان.
۲. مهندسين مشاور بندآب، ۱۳۸۸، طرح توسعه رودخانه حاجیلر- مطالعات مرحله دوم- گزارش فنی سد و تاسیسات وابسته، جلد یکم.
۳. نبوی، م.، ۱۳۵۵، دیپاچه‌ای بر زمین شناسی ایران، تهران: انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.



## References:

4. Barton, N., 2002, Some New Q-Value Correlations To Assist In Site characterization and tunnel design, Int. J. Rock Mech. Min. Sci.39,PP. 185-216.
5. Barton, N. & Bieniawski, Z.T., 2008, RMR and Q setting records straight, tunnel and tunneling international, February 2008, PP. 26-29.
6. Barton, N., Lien, R. and Lunde, J., 1974, Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, Rock Mech. 6, 189-236.
7. Bieniawski, Z.T., 1974, Geomechanics classification of rock masses and its application to tunneling. Proceeding of the 3<sup>rd</sup> Congress of the International Society of rock mechanics, PP. 27-32.
8. Bieniawski, Z.T., 1989, Engineering Rock Mass Classification, Willey, NewYork, 251p.
9. Rahmamejad, R. & Mohammadi, H., 2007, Comparison of rock mass classification systems, PP. 404-408.