طبقه‌بندی مهندسی توده‌سنگ و تحلیل عددی ساختگاه تونل انحراف سد گرین نهاوند

۱- سید مرتضی حسینی، دانشجوی دوره کارشناسی ارشد استخراج معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران
Email: s_morteza_h2003@yahoo.com
۲- کاوه آهنگری، عضو هیئت علمی گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران
۳- کامران گشتاسبی گوهربزی، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس

چکیده :

طراحی یک سازه زیرزمینی با استفاده از روشهای تجربی و عددی امکان‌پذیر می‌باشد. مهندسین معمولا ترجیح می‌دهند که از روش‌های تجربی به‌دلیل سهولت استفاده و کاربردی بودن آن استفاده کنند. در طراحی تونل‌ها با استفاده از روش‌های تجربی، ابتدا توده‌سنگ‌های مسیر با استفاده از سیستم‌های طبقه بندی مانند RMR، Q و RMi ارزیابی شده، سپس نگهداری مناسب انتخاب می‌شود. این مقاله به بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، شرایط و مشخصات درزه‌ها و طبقه‌بندی توده‌سنگ‌های مسیر تونل انحراف آب سد گرین نهاوند می‌پردازد. سد گرین در استان همدان و در حدود ۱۶ کیلومتری جنوب شهرستان نهاوند با هدف ذخیره‌سازی آب چشمه گاماسیاب مورد مطالعه قرار گرفته است. نظر به پیچیدگی ساختار زمین‌شناسی در ساختگاه سد گرین و مشکلات متعدد در تحلیل و طراحی تونل انحراف آب سد گرین که باعث اختلاف نظر اساسی در انتخاب سازه انحراف آب (تونل یا کالورت) شده بود، در نهایت گزینه تونل جهت انحراف آب انتخاب گردید.

Abstract:

The design of an underground structure is applicable by using empirical and numerical methods. Empirical methods are generally preferred by engineers and engineering geologists because they are more practical and usable. In designing tunnels by using empirical approaches, initially rock masses of route tunnel are estimated by rock mass classification systems such as RMR, Q and RMi, then appropriate option is selected for excavation and support phases. This paper investigates the engineering geological properties, joint conditions and classification of rock masses of Garin dam diversion tunnel route. Garin dam is located in Hamedan province about 16 km in southern Nahavand. Considering the complexity geological structure in Garin dam site and diverse problems in design and analysis of the diversion tunnel which had led in two options for water diversion structure (diversion tunnel and culvert), finally, tunnel was selected as water diversion structure.

۱- مقدمه

تعیین صحیح پارامترهای ژئوتکنیکی در ساختگاه سدها از مسائل مهم و حیاتی در طراحی صحیح آنها می‌باشد. علی‌رغم پیشرفت‌هایی که در این زمینه در دهه‌های اخیر ایجاد شده و همچنین روابط و نظریاتی که در این خصوص ارائه شده است اما همچنان به‌علت پیچیده بودن ماهیت سنگ‌ها و توده‌سنگ‌ها اعتبار تحلیل‌ها و پارامترهای به‌دست آمده با سؤالات جدی روبروست. از این رو در این مقاله سعی می‌شود علاوه بر ارزیابی دقیق وضعیت زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه تونل انحراف آب سد گرین نهاوند، یک طبقه بندی مهندسی مناسب با استفاده از سیستم های طبقه بندی RMR، Q و RMi انجام گیرد.

ساختگاه سد گرین در استان همدان، در حدود ۱۶ کیلومتری جنوب شهرستان نهاوند قرار دارد. دسترسی به ساختگاه سد، با طی حدود ۹ کیلومتر مسیر از نهاوند به‌سمت بروجرد، تغییر مسیر به سمت نورآباد درمحل سه‌راهی قلعه قیاد و طی حدود ۷ کیلومتر در جاده نهاوند- نورآباد امکانپذیر می‌باشد. موقعیت ساختگاه پس از گذر از روستای ورآینه در فاصله حدود ۳۰۰-۱۵۰ متری بالادست نیروگاه برقابی گاماسیاب و در مجاورت پل فلزی ساخته شده بر روی رودخانه، قرار دارد. جاده اصلی نهاوند- نورآباد در تکیه‌گاه چپ ساختگاه، بخشی از ساحل چپ مخزن آن واقع شده و پس از آبگیری مخزن سد بخشی از آن به زیر آب خواهد رفت.

به منظور انحراف دبی پایه و نیز سیلاب‌های رودخانه گاماسیاب از محدوده پی سد در طول دوره ساختمان سد هدایت جریان آب از بالا دست به سمت پایین دست توسط تونل انحراف صورت خواهد گرفت. جریان آب به وسیله یک کانال ذوزنقه ای با

رقوم کف ۱۷۹۰ متر از سطح دریا به داخل دهانه ورودی تونل هدایت خواهد شد. مقطع تونل انحراف به‌شکل نعل اسبی با کف صاف در نظر گرفته شده است. طول تونل انحراف، حدود ۵۳۰ متر بوده و تراز ورودی و خروجی آن به ترتیب ۱۷۹۰ و ۱۷۶۵ متر از سطح دریا می‌باشد. جریان خروجی از تونل توسط یک کانال افقی با مقطع ذوزنقه ای شکل به سمت پایین دست هدایت می شود. با توجه به قرار گیری تونل انحراف در تکیه گاه راست، وضعیت عمومی زمین شناسی محل آن از شرایط زمین شناسی این تکیه گاه تبعیت می‌نماید [۱].

۲- وضعیت زمین شناسی مسیر تونل

باتوجه به کاوش‌های سطحی زمین‌شناسی و اطلاعات حاصل از گمانه‌های اکتشافی، سنگ بستر ساختگاه گرین شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین، آذرآواری، دگرگونی و رسوبی است که متعلق به دوره کرتاسه می‌باشند (شکل ۱). نهشته‌های عهد حاضر نیز به‌صورت آبرفت‌های رودخانه‌ای در بستر رودخانه، پادگانه‌های آبرفتی در حاشیه رودخانه، آبشست‌های دامنه‌ای و رسوبات مربوط به دوره پلئیستوسن در تکیه‌گاه های راست و چپ سد دیده می‌شوند [۲].

بر همین اساس سنگ‌های آذرآواری (توف و آگلومرا) دارای بیشترین فراوانی بوده و لایه‌های اسلیت-فیلیت نیز در رده بعدی از لحاظ فراوانی قرار دارند. بخش ابتدایی تونل انحراف در واحد آندزیتی (K^{an}) قرار گرفته است و پس از عبور از واحدهای اسلیت- فیلیت (K^{s-p}) و متادیاباز (K^{MD}) در انتها از داخل واحد آذرآواری-رسوبی (K^{v-s}) عبور می‌نماید. . بخش رسوبی شامل شیل به ضخامت یک تا دو متر می‌باشد که در واحد آذر آواری نفوذ کرده است. همانگونه که در مقطع زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی مسیر تونل مشاهده می شود بخش زیادی از تونل در سنگهای فیلیتی قرار می گیرد که در این میان واحد اسلیت-فیلیت (K^{s-p}) دارای بیشترین فراوانی است و طول قابل توجهی از تونل در داخل این واحد قرار گرفته است. با توجه به ماهیت این واحد، اجرای تونل در آن و یا سایر سنگ‌های فیلیتی مسیر دارای مسائل ژئوتکنیکی خاص خود است و باید در متراژهایی که تونل این واحدها را قطع می‌نماید تمهیدات ویژه ای از لحاظ نگهداری و پایداری تونل اندیشیده شود (شکل ۱).

با توجه به برخورد تونل با گسل F2 در محدوده کانال خروجی، امکان وجود خردشدگی در ترانشه های خروجی کانال وجود دارد. گمانه های G-02، G-216، G-217، G-224 و G-229 در مسیر تونل حفاری شده است. با توجه به نتایج حاصل از گمانه‌های حفاری شده در مسیر تونل انحراف، ضخامت مصالح روبار در محدوده ورودی و خروجی آن قابل توجه می باشد. با توجه به نتایج گمانه‌های G-216 و G-229 ضخامت روبار در محدوده ورودی و خروجی تونل حدود ۱۵-۱۰ متر برآورد می‌گردد. ضخامت قابل توجه مصالح روبار به‌دلیل نزدیکی زمین لغزش تکیه‌گاه راست به ورودی تونل انحراف است (شکل۲) [۱].

۳- مشخصات سیستم ناپیوستگی‌ها

به‌منظور بررسی و شناسایی شکستگی‌ها و سیستم ناپیوستگی‌های موجود در توده‌سنگ، درزه‌نگاری[1] در تکیه‌گاه راست صورت گرفت. در این مرحله از مطالعات به‌منظور بررسی دقیق‌تر درزه‌نگاری با توجه به تغییرات سنگ‌شناسی در ساختگاه تا حد ممکن سعی بر این بوده تا برداشت درزه در واحدهای سنگی مختلف به‌طور جداگانه انجام شود. با توجه به رخنمون‌های سنگی موجود، تعداد درزه‌های برداشت شده در واحد های مختلف به صورت زیر می‌باشد:

- واحد آندزیتی (K^{an}): در این واحد پس از برداشت و پردازش ۲۳۴ درزه تعداد پنج دسته درزه با شیب و جهت شیب J1:۸۴/۰۶۲ ، J2: ۸۱/۰۰۵ ، J3: ۷۶/۱۶۵ ، J4: ۶۲/۰۳۳ ، J5: ۲۵/۰۷۵ قابل تشخیص می‌باشد.
- واحد متادیاباز (K^{MD}): در این واحد پس از برداشت و پردازش ۱۷۷ درزه، تعداد شش دسته درزه با شیب و جهت شیب که به‌ترتیب اهمیت؛ شامل J1: ۵۱/۱۱۴ ، J2: ۴۲/۲۳۷ ، J3: ۷۸/۲۶۶ ، J4: ۸۶/۱۸۰ ، J5: ۷۵/۰۴۵ ، J6: ۵۰/۰۳۰ می‌باشند.

[1] Joint Survey

- واحد آذرآواری- رسوبی (K^{vs}): در این واحد علاوه بر لایه‌بندی (با شیب ۵۵ تا ۷۰ درجه و جهت شیب ۳۵۵ و ۱۰ درجه) تعداد ۱۴۱ درزه برداشت و مورد پردازش قرار گرفت که چهار دسته درزه با شیب و جهت شیب J1: ۷۰/۳۵۵ ، J2: ۷۸/۰۱۱ ، J3: ۶۲/۰۴۵ ، J4: ۷۵/۱۱۵ قابل تشخیص می‌باشند.[۱]
- واحد اسلیت- فیلیت (K^{sp}): در این واحد به‌دلیل خردشدگی شدید، برداشت درزه مشکل بوده و درزه‌نگاری انجام نگرفته است. در این واحد شیب لایه بندی و تورق در بخش‌های مختلف متغیر است. در تکیه‌گاه راست شیب لایه‌بندی اسلیت‌ها ۶۵ درجه و جهت شیب آن نیز ۰۱۰ درجه می‌باشد.

در جدول ۱ مشخصاتی شامل فاصله‌داری، طول، بازشدگی، زبری، پرشدگی و شکل درزه‌ها در واحدهای مختلف به‌همراه درصد توزیع آنها آورده شده است، این ویژگی‌ها جهت انجام طبقه‌بندی توده‌سنگ با استفاده از سیستم‌های طبقه‌بندی تجربی مورد نیاز می‌باشند.

۴- پارامترهای ژئومکانیکی واحدهای مختلف سنگی

بر اساس نتایج حاصل از آزمایش‌های مختلف صورت‌گرفته از جمله آزمایش‌های مقاومت فشاری تک‌محوره و سه‌محوره، پارامترهای مربوط به سنگ یکپارچه و توده‌سنگ تعیین گردید. این پارامترها در جدول ۲ ارائه گردیده است.

۵- جهت و شکل بهینه تونل انحراف آب سد گرین

همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است از فاصله صفر تا فاصله ۱۴۸ امتداد تونل در جهت N 88 E و از فاصله ۱۴۸ تا فاصله ۲۱۰ امتداد تونل N 65 E و از فاصله ۲۱۰ تا ۴۷۰ امتداد تونل N 32 E خواهد بود. شکل تونل به صورت نعل اسبی با قطر ۶ و ارتفاع ۵/۵ متر و طول تونل به‌همراه کانال های ورودی و خروجی تونل تقریبا برابر ۵۳۰ متر خواهد بود.

۶- طبقه بندی توده‌سنگ

سیستم‌های طبقه‌بندی توده‌سنگ به لحاظ توصیف کمی از وضعیت کیفیت توده سنگ دارای اهمیت فراوانی هستند. این امر منجر به توسعه تعداد زیادی از سیستم‌های طبقه‌بندی تجربی گردید. محققین زیادی سیستم‌های مختلفی ارائه داده اند که از این بین دو روش RMR و Q بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند، در سال‌های اخیر استفاده از روش اندیس توده سنگ RMi نیز رواج پیدا کرده است.

در هر سیستم طبقه‌بندی کمی، کمترین امتیاز به ضعیف ترین توده سنگ و بیشترین امتیاز به توده سنگ بسیار خوب داده می شود. بنابراین در یک طبقه بندی، هر پارامتر نقش مهمی در تغییر امتیاز ها بازی می کند. یقیناً بسیاری از طبقه بندی ها در هر دو شرایط سنگ ضعیف و سنگ بسیار خوب، دقت کافی را دارا می باشند. اما ممکن است در شرایط سنگ متوسط، اعتبار آنها کم شود. باید پذیرفت که هیچ طبقه بندی به تنهایی برای تعیین پارامترهای سنگ کارآیی ندارد. بنابراین تجربه، مبنایی برای طبقه بندی پارامترهای سنگ می باشد.

در این تحقیق با توجه به مشاهدات و نتایجی که از بررسی های ساختگاهی این تونل حاصل شده است ارزیابی توده سنگ بر اساس سیستم های طبقه بندی Q،RMR و RMi و مقایسه بین آنها بدست آمده است [۳].

الف) سیستم طبقه بندی RMR:

اولین بار بنیاوسکی در سال ۱۹۷۶ روش امتیاز توده سنگ RMR را بر اساس تجربیات در تونلی واقع در آفریقای جنوبی ارائه داد. در سال ۱۹۸۹ اصلاحاتی بر روی این روش صورت گرفت، این اصلاحات عمدتاً به علت امتیازات اضافه شده مربوط به آب‌های زیرزمینی، جهت گیری درزه‌ها نسبت به محور تونل بود. پارامترهای مورد استفاده در این سیستم شامل مقاومت فشاری تک محوره سنگ بکر، RQD، فاصله داری درزه ها، جهت گیری درزه ها نسبت به محور تونل، طول درزه ها، شرایط هوازدگی، وضعیت آب های زیرزمینی، شکل و سطح درزه‌ها می‌باشد.[۳]

پ) سیستم طبقه‌بندی Q:

بارتون و همکارانش در سال ۱۹۷۴ این روش را ارائه نمودند. همچنین سیستم Q به‌عنوان سیستم طبقه‌بندی انجمن ژئوتکنیک نروژ NGI نیز شناخته می‌شود. مقدار عددی شاخص Q به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Q = \frac{RQD}{J_n}.\frac{J_r}{J_a}.\frac{J_w}{SRF} \qquad (۱)$$

RQD: ضریب کیفیت سنگ، J_n : عدد مجموعه دسته درزه ها، J_r : عدد زبری درزه ها، J_a : عدد دگرگونی درز، J_w : ضریب کاهش آب درز، SRF : ضریب کاهش تنش

بارتون درسال ۲۰۰۲ اصلاحی بر روی این روش انجام داد و فاکتور مقاومت ذرات سنگ را بر آن تاثیر داد، سیستم جدید Q_c نامیده شد و با رابطه زیر ارائه گردید:

$$Q_c = Q.\frac{\sigma_{ci}}{100} \qquad (۲)$$

σ_{ci}: مقاومت فشاری تک محوره سنگ بکر(MPa) [۴]

پ) سیستم طبقه بند ی RMi:

اندیس توده‌سنگ RMi توسط آقای پالمستروم[1] در سال ۱۹۹۵ به منظور توصیف کمی کیفیت توده سنگ، طراحی سیستم نگهداری برای تونل ها و محاسبه ثابت های معیار شکست هوک و براون ارائه گردید. در سال ۲۰۰۰، بعد از پنج سال کاربرد عملی RMi، اصلاحاتی به‌منظور تخمین اولیه نگهداری سنگ با استفاده از حجم بلوک و قطر تونل انجام گرفت. محدوده مقدار RMi بین کمتر از ۰/۰۱ برای سنگ‌های خیلی ضعیف تا بیشتر از ۱۰ برای سنگهای خیلی مقاوم می باشد. روابط ارائه شده برای محاسبه اندیس توده سنگ RMi به صورت زیر می باشد:

- برای توده‌سنگ بلوکی یا درزه دار:

$$RMi = \sigma_{ci}.JP = 0.2\sqrt{JC} \times V_b^D \qquad (۳)$$

$$D = 0.37JC^{-0.2} \qquad (۴)$$

$$JC = JL \times \frac{JR}{JA} \qquad (۵)$$

- برای توده‌سنگ پیوسته:

$$RMi = \sigma_{ci}(0.05/D_b)^{0.2} \qquad (۶)$$

$$D_b = \sqrt[3]{V_b} \qquad (۷)$$

در این روابط: σ_{ci} : مقاومت فشاری تک محوره سنگ بکر (MPa)، V_b : حجم بلوک (m^3)، D_b : قطر معادل بلوک (m)، JP : پارامتر درزه داری، JC : ضریب شرایط درزه، JL : ضریب اندازه درزه، JR : ضریب زبری درزه، JA : ضریب دگرگونی درزه می‌باشند. پارامترهای اشاره شده در روابط RMi با استفاده از جداول و نمودارهایی قابل محاسبه و ارزیابی می باشد [۵].

پس از جمع‌آوری و ارزیابی اطلاعات مورد نظر، توده سنگهای مسیر تونل انحراف آب سد گرین نهاوند با استفاده از روش‌های اشاره شده طبقه بندی گردید که نتایج در جدول ۳ ارائه شده است همچنین حائل مورد نیاز براساس سیستم‌های طبقه‌بندی اشاره شده نیز تعیین گردید.(جدول ۴).

۷- تحلیل عددی

به منظور بررسی صحت و درستی نتایج حاصل از تحلیل تجربی، از نرم افزار دو بعدی المان محدود Phase[2] جهت تحلیل عددی در بخش میانی تونل یعنی واحد متادیاباز استفاده گردید. مشخصات توده‌سنگ جهت اطلاعات ورودی به نرم‌افزار

[1] Palmstrom

براساس جدول ۲ می‌باشد، همچنین معیار شکست هوک و براون برای تحلیل استفاده شده و شرایط توده‌سنگ الاستیک در نظر گرفته می‌شود. شرایط آب زیرزمینی و درزه‌ها در مدل اعمال گردیده است. مرز خارجی تونل تا فاصله ۳ برابر دهانه تونل در نظر گرفته می‌شود. در مجموع ۲۳۵۸ المان مثلثی شکل حاصل گردید. پس از تحلیل مدل ایجاد شده توسط نرم‌افزار بیشترین میزان جابجایی برابر ۰/۰۰۲۴ متر و در کف تونل می‌باشد(شکل ۳)، همچنین وضعیت تنشهای حداکثر (σ_1) و حداقل (σ_3) در شکل‌های ۴ و ۵ نمایش داده شده است.

۸- نتیجه‌گیری

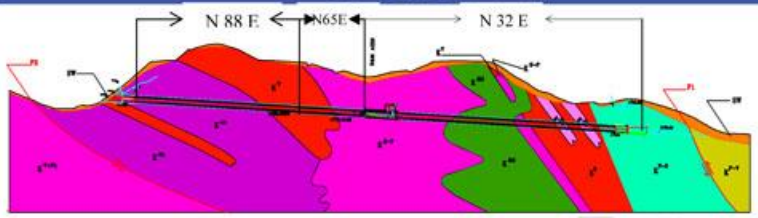
- نتایج حاصل از مطالعات صحرایی و نتایج حاصل از نرم افزار Dips نشان‌دهنده وجود چهار تا شش دسته درزه در اکثر مناطق می‌باشد که این موضوع بیانگر تکتونیزه بودن ساختگاه می‌باشد. در این رابطه بایستی تمهیدات لازم را جهت نگهداری دیواره و سقف تونل در نظر گرفت.
- نتایج طبقه‌بندی توده‌سنگ‌های مسیر تونل با استفاده از سیستم‌های متداول طبقه‌بندی بیانگر این نکته است که اکثر توده‌سنگ‌های موجود، در محدودهٔ متوسط تا خیلی ضعیف قرار دادند و نتایج این سیستم‌ها تقریباً همخوانی خوبی با یکدیگر دارند. از نتایج حاصل از روش‌های تجربی که برای پیش‌بینی حائل مورد نیاز برای تونل بدست آمده است، می‌توان به عنوان اطلاعات ورودی در مدل‌سازی عددی استفاده نمود و شرایط جابجایی‌ها را پس از اعمال ارزیابی کرد.
- پیشنهاد می‌گردد برای تکمیل اطلاعات زمین‌شناسی مهندسی و پارامترهای ژئومکانیکی تونل، چند گمانه دیگر در مسیر عبور تونل حفاری گردد و نمونه‌برداری‌های صحیحی برا ی انجام تست‌های آزمایشگاهی صورت پذیرد.
- نظر به اینکه شروع اجرای این طرح در صورت تامین منابع مالی در سال آینده می‌باشد، نتایج این مقاله می‌تواند راهنمای مناسبی برای طراحی و اجرای دقیق طرح تونل انحراف آب سد گرین نهاوند باشد.

۹- منابع

۱. شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس، بهمن ۱۳۸۷،گزارش میانکار مطالعات زمین شناسی مهندسی، مطالعات مرحله دوم
۲. مهندسان مشاور آب نیرو، مرداد ۱۳۸۵، گزارش سنتز و سیمای طرح، جلد یازدهم، مطالعات مرحله یکم
3. Zulfu Gurocak, Pranshoo Solanki, Musharraf, Zaman, 2007, " Empirical and numerical analyses of support requirements for a diversion tunnel at the Boztepe dam site, eastern Turkey, Engineering Geology 91 (2007) 194–208
4. Nick Barton, 2002, "Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 39 (2002) 185–216
5. Arild Palmstrom, 2000, "Recent developments in rock support estimates by the RMi", Journal of Rock Mechanics and Tunnelling Technology, vol 6, no 1, May 2000, 1-19

۱۰- اشکال و جداول

شکل ۱- نمایی از تکیه گاه راست، مسیر تونل انحراف آب



شکل ۲- مقطع طولی مسیر تونل انحراف آب سد گرین

جدول ۱- ویژگی مهندسی درزه ها و درصد توزیع آنها

مشخصات		توصیف	واحد آندزیتی K^{an}	واحد متادیاباز K^{MD}	واحدآذرآواری-رسوبی K^{v-s}
فاصله درزه‌ها Spacing (mm)	< ۶۰	فاصله داری خیلی نزدیک	٪۲۱	٪۱۲	٪۴/۲۵
	۶۰-۲۰۰	فاصله داری نزدیک	٪۳۰	٪۱۹/۲	٪۱۲/۷۵
	۲۰۰-۶۰۰	فاصله داری متوسط	٪۴۱	٪۶۵/۴	٪۸۰/۲
	۶۰۰-۲۰۰۰	فاصله داری زیاد	٪۳	-	-
	۲۰۰۰-۶۰۰۰	فاصله داری خیلی زیاد	٪۴	-	٪۲/۸
	> ۶۰۰۰	فاصله داری فوق العاده زیاد	٪۲	-	-
طول Persistence (m)	< ۱	خیلی کوتاه	٪۹۱	-	-
	۱-۳	کوتاه	٪۷/۸	٪۴/۴	-
	۳-۱۰	متوسط	٪۰/۴	٪۹۱/۲	٪۴۲/۵۵
	۱۰-۲۰	بلند	٪۰/۴	٪۱/۱	٪۵۶/۷۳
	> ۲۰	خیلی بلند	٪۰/۴	-	-
بازشدگی Aperture (mm)	< ۰/۱	کاملا بسته	-	-	-
	۰/۱-۰/۲۵	بسته	٪۱۷/۱	٪۲۴/۲	-
	۰/۲۵-۰/۵۰	نسبتا باز	٪۲۵/۶	٪۵۲/۷	٪۱۰۰
	۰/۵۰-۲/۵	باز	٪۲۱/۲	٪۱۶/۵	-
	۲/۵-۱۰	خیلی باز	٪۱۷/۵	٪۲/۲	-
	> ۱۰	کاملا باز	٪۸/۶	-	-
زبری Roughness		زبر	٪۵۱/۳	٪۱۰۰	٪۱۰۰
		صاف	٪۴۸/۷	-	-
		صیقلی	-	-	-
پرشدگی Infilling		تمیز (بدون پرشدگی)	٪۹ لوم + اکسید آهن	٪۱۷ تمیز	٪۱۰۰ درزه ها لوم+ کلسیت
		زنگ زدگی سطح (حاوی اکسید آهن)	٪۳۰ لوم + اکسید آهن+ کلسیت	٪۶۵/۴ اکسید آهن	
		لوم	٪۵۲/۵ اکسید آهن+کلسیت	٪۱۲/۱ لوم + اکسید آهن	
		کلسیت	٪۸/۵ لوم		
شکل Shape		پله ای	٪۸	-	-
		موجدار	-	٪۱۱/۵	-
		صفحه ای (مسطوی)	٪۹۲	٪۸۸/۵	٪۱۰۰

جدول ۲- پارامترهای ژئومکانیکی واحدها

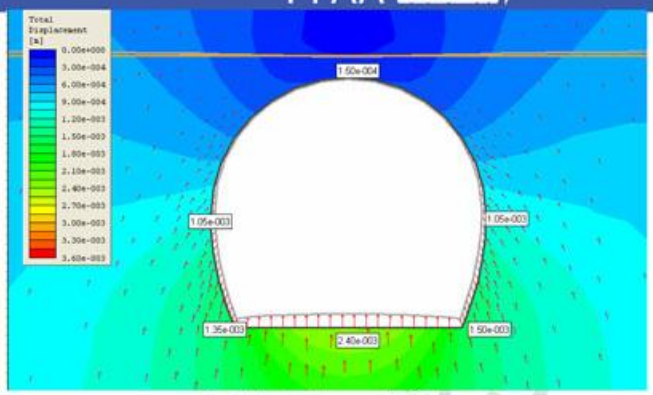
پارامترها	آندزیت	متادیاباز	توف و آگلومرا	اسلیت و فیلیت
مقاومت فشاری سنگ σ_{ci}(MPa)	۵۰-۶۵	۴۸-۵۸	۴۳-۴۸	۳-۸
مدول الاستیسیته E(GPa)	۳/۱۱-۵/۹۵	۲/۹۲-۵/۸۲	۳/۵-۵	۰/۱۲۵-۰/۴۵
نسبت پواسون υ	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۳
چگالی γ (t/m^3)	۲/۷۷-۲/۷۹	۲/۷۷-۲/۷۹	۲/۷۷-۲/۷۹	۲/۳
چسبندگی C (MPa)	۰/۳۰۴	۰/۳۸۱	۰/۳۱۳	۰/۰۶
زاویه اصطکاک داخلی φ(درجه)	۵۸	۵۳	۵۶	۲۴

جدول ۳- نتایج طبقه بندی مهندسی توده سنگ های مسیر تونل انحراف آب سد گرین نهاوند

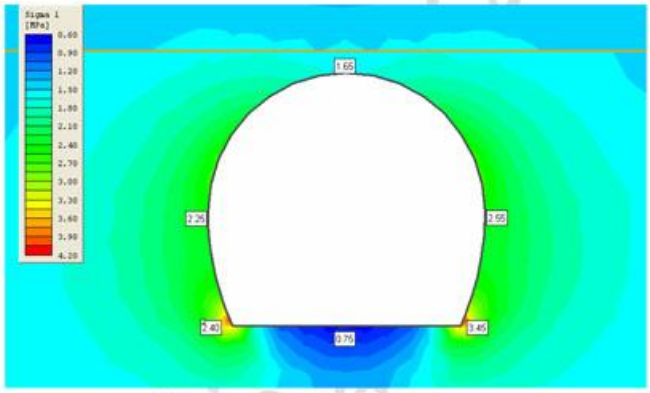
واحدهای زمین شناسی	RQD	RMR	Q	Q_c	RMi
		توصیف	توصیف	توصیف	توصیف
واحد آندزیتی K^{an}	۱۵	۴۲	۰/۱۷۲	۰/۱۰۳	۰/۹۴۸
		متوسط	خیلی ضعیف	خیلی ضعیف	متوسط
واحد متادیاباز K^{MD}	۳۰	۳۳	۱/۰۰۷	۰/۵۵	۱/۰۴۵
		ضعیف	ضعیف	خیلی ضعیف	خوب
واحدآذرآواری K^{py}	۶۷	۴۱	۰/۲۲۴	۰/۱۰۳	۰/۸۶۳
		متوسط	خیلی ضعیف	خیلی ضعیف	متوسط
واحد اسلیت - فیلیت K^{sp}	۰	قابل محاسبه نمی باشد	قابل محاسبه نمی باشد	قابل محاسبه نمی باشد	۰/۰۱۵ خیلی ضعیف

جدول ۴- تعیین حائل مورد نیاز بر اساس سیستمهای طبقه‌بندی مختلف

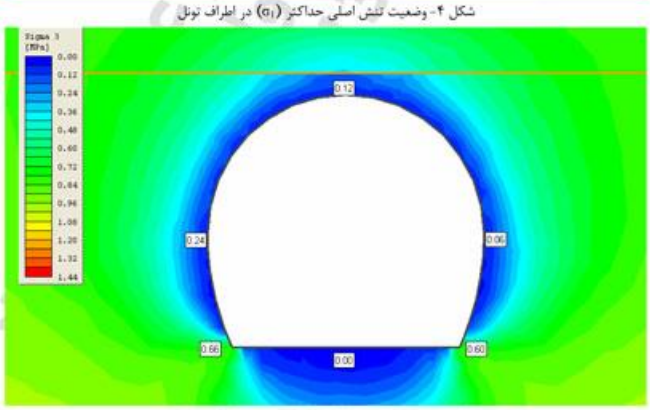
سیستم‌های طبقه‌بندی		واحد آندزیتی	واحد متادیاباز	واحدآذرآواری	واحد اسلیت - فیلیت
RMR		استفاده از سنگ‌دوز با قطر ۲۰ میلیمتر و بصورت کامل گیردار و به طور منظم با طول ۴ متر و با فاصله بندی ۱/۵ تا ۲ متر در تاج و دیواره‌ها و مش سیمی در تاج ، ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر شاتکریت در تاج و ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها	استفاده از سنگ‌دوز با قطر ۲۰ میلیمتر و بصورت کامل گیردار و به طور منظم با طول ۴ تا ۵ متر و با فاصله بندی ۱ تا ۱/۵ متر در تاج و دیواره‌ها همراه با مش سیمی ، ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر شاتکریت در تاج و ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها	استفاده از سنگ‌دوز با قطر ۲۰ میلیمتر و بصورت کامل گیردار و به طور منظم با طول ۴ متر و با فاصله بندی ۱/۵ تا ۲ متر در تاج و دیواره‌ها و مش سیمی در تاج ، ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر شاتکریت در تاج و ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها	-
Q	span=۵/۵	۷/۵ تا ۱۵ سانتیمتر شاتکریت تقویت شده با مش سیمی	۲/۵ تا ۵ سانتیمتر شاتکریت	۵ تا ۷/۵ سانتیمتر شاتکریت تقویت شده با مش سیمی به همراه سنگ دوز پیش تنیده تزریقی با فاصله‌بندی یک متر	-
	ESR=۱/۶				
	D_e=۳/۴۴				
RMi		۲۰ سانتیمتر شاتکریت تقویت شده با مش سیمی به همراه سنگ‌دوز با فاصله بندی یک متردر داخل شاتکریت	۱۵ تا ۲۰ سانتیمتر شاتکریت تقویت شده با مش سیمی به همراه سنگ‌دوز با فاصله بندی ۱ تا ۱/۲۵ متردر داخل شاتکریت	۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر شاتکریت تقویت شده با مش سیمی به همراه سنگ‌دوز با فاصله بندی ۱/۲۵ متردر داخل شاتکریت	۱۰ تا ۲۵ سانتیمتر شاتکریت تقویت شده با مش سیمی به همراه سنگ‌دوز با فاصله بندی۰/۵ تا ۱/۵ متردر داخل شاتکریت، طراحی لاینیگ بتنی به طور ویژه



شکل ۳- وضعیت جابجایی‌ها در اطراف تونل



شکل ۴- وضعیت تنش اصلی حداکثر (σ_1) در اطراف تونل



شکل ۵- وضعیت تنش اصلی حداقل (σ_3) در اطراف تونل