

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

عنوان پروژه

انتخاب روش بهینه حفاری و نگهداری در تونل دوم رخ در

استان چهار محال و بختیاری

فصل اول

وضعیت زمین شناسی منطقه

۱- ویژگی های زمین ساختی گستره مورد مطالعه

۱-۱- بررسی خطر زمین لرزه - گسلش

بررسی نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گستره مورد مطالعه نشان می دهد که در محل احداث تونل دو گسل اصلی بزرگ به نامهای گسل شمالی رخ و گسل جنوبی رخ وجود دارد، که ویژگی های هر کدام از آنها به شرح ذیل می باشد:

الف- گسل شمالی رخ (North Rokh Fault)

گسل رخ شمالی در پای گردنه رخ واقع شده و مرز میان دشت زرین شهر (با ارتفاع میانگین ۱۷۰۰ متر) در شمال خاوری و کوههای پنجه، شاه لرا، قورقورک و بیدگان در جنوب باختری را تشکیل می دهد. اختلاف شدید و ناگهانی بلندی میان دشت زرین شهر با بلندی ۱۷۰۰ متر و نزدیکترین ستیغ کوه نزدیک به آن (کوه شاه لرا با بلندی ۲۹۱۰ متر) یکی از ویژگی های این گستره است که نتیجه کارکرد گسل رخ می باشد. این گسل دارای راستای شمال باختری - جنوب خاوری و شیب به سوی جنوب باختری است. و در راستای آن، کوه های جنوب باختری با آهک های کرتاسه بر روی دشت زرین شهر رانده شده اند. طول شناخته شده گسل شمالی رخ حداقل ۹۸ کیلومتر است. هیچگونه داده لرزه خیزی و یا سنی از گسل شمالی رخ در دسترس نیست.

ب- گسل جنوبی رخ (South Rokh Fault)

این گسل به موازات گسل شمالی رخ و در فاصله ۲ کیلومتری جنوب باختری آن قرار دارد. این گسل دارای راستای شمال باختری - جنوب خاوری، شیب به سوی شمال خاوری و ساز و کار آن راندگی می باشد. در راستای این گسل، سنگ های آهکی کرتاسه شمال خاوری بر روی خود و یا بر روی کنگلومرای ائوسن (در جنوب باختری) رانده شده اند. طول شناخته شده گسل جنوبی رخ ۷۸ کیلومتر است. هیچگونه داده لرزه خیزی و یا سنی از گسل جنوبی رخ در دست نیست.

۲-۱- وضعیت مصالح ورودی و خروجی تونل

با توجه به سیمای عمومی منطقه برای حفاظت ورودی تونل از سنگ افتها و ریزش خاک های واقع در سمت چپ دهانه ورودی تونل احداث ۲۰ متر گالری مسلح و برای محافظت مسیر از ریزش های سمت چپ و در محل دهانه خروجی احداث ۸۰ متر گالری مسلح ضروری است.

مصالح سنگی استخراجی از تونل از سمت دهانه ورودی شامل آهک برشی خردشده داری اربی تولیدین ها و آهک مارنی سفید خاکستری نازک لایه، برای مصرف در بتن مناسب نمی باشند ولی مصرف آهک خاکستری در بتن بدون اشکال است.

۲- مطالعات زمین شناسی

۲-۱- ضرورت اجرای طرح

محور اصفهان - شهرکرد در کیلومتر ۲۰، از منطقه پر عارضه گردنه رخ عبور می نماید. وضعیت توپوگرافی منطقه موجب شده که راه موجود از نظر پلان و پروفیل طولی، از مشخصات فنی و هندسی مناسبی برخوردار نباشد. از طرفی شرایط اقلیمی سردسیر منطقه نیز مزید بر علت گردیده و سبب شده که راه موجود فاقد شرایط مطلوب و مناسب یک راه اصلی ارتباطی بین مراکز استان های اصفهان و چهارمحال و بختیاری گردد. بر این اساس، جهت کاهش مشکلات ذکر شده، گزینه احداث تونل بعنوان یک راهکار اساسی پیشنهاد می گردد.

۲-۲- موقعیت جغرافیایی و ویژگی های عمومی گستره مورد مطالعه

محور تونل پیشنهادی در امتداد ۲۸ درجه شمالی قرار دارد، لذا روند آن شمال شرقی - جنوب غربی می باشد. بر اساس مقاطع طولی توپوگرافی و زمین شناسی، زاویه شیب دامنه ورودی تقریباً در حدود ۳۰ تا ۳۵ درجه می باشد.

در دامنه خروجی با توجه به پوشیدگی رخنمون های سنگی توسط رسوبات عهد حاضر و عدم دسترسی به اطلاعات گمانه های اکتشافی، تخمین زده می شود که شیب طبقات (لایه های سنگ آهک مارنی با تناوب مارن) بین ۳۰ درجه تا ۴۰ درجه باشد. که این شیب با شیب توپوگرافی سطح زمین همخوانی ندارد.

در بخش های میانی تونل، ۲ واحد سنگی شامل سنگ آهک خاکستری و سنگ آهک برشی دیده می شود که شیب لایه بندی آنها در سطح زمین بین ۱۳ تا ۱۹ درجه و در اعماق با توجه به سبک چین خوردگی منطقه، احتمالاً کمی بیشتر (حداکثر تا ۳۰ درجه) می باشد. در سمت دهانه ورودی، یک آبراهه اصلی وجود دارد که ضروریست امنیت مسیر جاده با احداث یک پل با دهانه و ارتفاع مناسب تامین گردد.

در مجموع در ارتباط با دهانه ورودی تونل نکات زیر قابل ذکر می باشند:

➤ سنگ های دهانه ورودی از نظر رده بندی بر اساس طبقه بندی ژئومکانیکی بنیاوسکی (۱۹۸۹) در گروه سنگ های ضعیف () تا متوسط () طبقه بندی می شوند.

به همین ترتیب در ارتباط با بخش میانی تونل موارد ذیل قابل ذکر است:

➤ سنگ های قسمت های میانی از نظر رده بندی بر اساس طبقه بندی ژئومکانیکی بنیاوسکی (۱۹۸۹) در گروه سنگ های خوب تا متوسط ()، و در قسمت هایی که عملکرد گسلش وجود دارد در گروه سنگ های ضعیف () طبقه بندی می شوند. میزان بارندگی بالا و درجه خردشدگی سنگ های کربناته در این بخش، موجب شده تا میزان کارستی شدن سنگ ها، احتمالاً از درجه متوسطی برخوردار گردد. در بخش میانی بر اساس مقاطع توپوگرافی، حداکثر عمق تونل از سطح زمین در حدود ۱۷۰ متر می باشد.

در ارتباط با دهانه خروجی تونل موارد ذیل قابل ذکر می باشد:

➤ شیب طبقات (لایه های آهک های مارنی در تناوب با مارن) در خلاف جهت شیب مسیر تونل می باشد. اگر چه سنگ های دهانه خروجی از نظر مقاومت مستقیماً قابل ارزیابی نیستند، ولی با این حال بر اساس تجربیات، قضاوت و بازدید صحرایی از رخنمون های آن در حوالی محدوده طرح، این سنگ ها را می توان در گروه سنگ های ضعیف (کلاس) طبقه بندی نمود.

۲-۳- جایگاه زمین شناسی گستره مورد مطالعه:

منطقه مورد مطالعه بر اساس نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور، از ساختاری چین خورده برخوردار است که روند عمومی چین ها در این ناحیه در راستای شمال غرب - جنوب شرق می باشد.

از نظر سنگ شناسی این منطقه بطور کلی از توالی های رسوبی آهکی زمان کرتاسه و ائوسن تشکیل شده که در برخی قسمت ها با سنگ های تخریبی همراه شده اند. بررسی نقشه زمین شناسی فوق الذکر نشانگر آنست که در محدوده تونل، از قدیم به جدید، واحدهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ و رسوبات کواترنر رخنمون یافته اند که در این میان واحد ۳ از وسعت و تراکم بیشتری برخوردار است. ویژگی های سنگ شناسی این واحدها به ترتیب زیر است:

واحد ۱: این واحد از تناوب آهک، شیل، مارن و ماسه سنگ نازک لایه با سن کرتاسه زیرین تشکیل شده که در روی آن واحد ۲ قرار گرفته است.

واحد ۲: این واحد شامل ماسه سنگ قرمز و کنگلومرا با میان لایه هایی از شیل ماسه ای قرمز با سن کرتاسه زیرین است که در روی آن واحد ۳ قرار گرفته است.

واحد ۳: این واحد از آهک خاکستری تیره با سن کرتاسه میانی تشکیل شده که با واحد ۴ دارای مرز بین انگشتی است. بر روی این واحد، واحد ۵ قرار گرفته است.

واحد ۴: جنس این واحد از نوع آهک برشی بوده و سن آن کرتاسه میانی می باشد. در روی این واحد، واحد ۵ قرار گرفته است.

واحد ۵: این واحد از آهک های مارنی سبز رنگ نازک لایه با سن کرتاسه بالایی تشکیل شده است.

واحدهای ۶ و ۷: جنس واحد ۶ از کنگلومرا با میان لایه هایی از آهک دولومیتی و جنس واحد ۷ شامل کنگلومرای آهکی و آهک نومولیتی است و سن این واحدها ائوسن می باشد.

در گستره مورد مطالعه دو سیستم گسلی تقریبا موازی رخ شمالی و رخ جنوبی باعث شده تا تمام واحدهای سنگی فوق به شدت خرد شوند.

۳- زمین شناسی عمومی، سنگ شناسی و چینه شناسی محدوده تونل

محدوده تونل از ساختار تکنونیک و ویژه ای برخوردار است. در این ناحیه، بدلیل چین خوردگی، ناهمواری سطوح لایه بندی و احتمالا تشکیل برخی از گسل های فرعی، شیب و امتداد لایه ها ثابت و یکنواخت نیست. امتداد لایه ها در دهانه ورودی N^{۳۱۵}، در قسمت میانی تونل بین N^۳ تا N^{۲۸۵}، و در سمت دهانه خروجی بعلت رخنمون نبودن نامشخص است. زاویه شیب لایه ها نیز بدلیل چین خوردگی و گسلش در محدوده دهانه ورودی در حدود NE^{۳۵}، در بخش های میانی بین NE^{۱۷} تا SW^{۳۰}، و در محدوده دهانه خروجی تونل بعلت رخنمون نبودن نامشخص است.

در منطقه مورد مطالعه، سازندهای زمین شناسی تقریبا در تمامی نقاط رخنمون دارند. از این رو بررسی جنس سنگ های تشکیل دهنده، اندازه گیری مشخصات هندسی لایه ها و ترسیم نقشه و مقطع طولی زمین شناسی با دقت ۷۰٪ امکان پذیر است.

بطور کلی مسیر تونل شامل چهار منطقه لیتولوژیکی می باشد. منطقه ۱ شامل زمین هایی با کد ۳، منطقه ۲ شامل زمین هایی با کد ۴، منطقه ۳ شامل زمین هایی با کد ۶ و منطقه ۴ شامل زمین هایی با کد ۵ می باشند.

۳-۱- خصوصیات سنگ شناسی محدوده تونل

۳-۱-۱- از کیلومتر ۲۵۰ + ۵ تا کیلومتر ۴۴۰ + ۵

این بخش از مسیر شامل منطقه لیتولوژیکی شماره ۱ می باشد. سنگهای تشکیل دهنده این بخش از مسیر شامل آهک خاکستری با کد K^۳ (با سن کرتاسه میانی) می باشد. در این منطقه لیتولوژیکی ، لایه ها بسیار ضخیم و توده ای می باشند، از این رو تشخیص لایه بندی در این منطقه بسیار دشوار است. در کیلومتر ۲۵۰ + ۵، بعلت عملکرد هوازنگی فیزیکی و شیمیایی، مقاومت سنگها ۸۰ تا ۱۰۰ مگاپاسکال ارزیابی شده است. مقاومت فشاری این منطقه لیتولوژیکی در قسمتهای میانی حدود ۱۰۰ - ۲۵۰ مگاپاسکال است و در نهایت در حدود کیلومتر ۴۴۰ + ۵، به علت عملکرد گسل F^۱ و امکان جریان آب در خط گسل، مقاومت فشاری سنگهای این منطقه لیتولوژیکی ، حدود ۶۰ - ۱۰۰ مگاپاسکال ارزیابی شده است.

۳-۱-۲- از حدود کیلومتر ۴۴۰ + ۵ تا حدود کیلومتر ۵۷۲ + ۵

این بخش از مسیر شامل منطقه لیتولوژیکی شماره ۲ می باشد. در این بخش از مسیر تخمین زده می شود که با آهک خاکستری تیره با کد K^۳ (با سن کرتاسه میانی) یا با آهک برشی با کد K^۴ (با سن کرتاسه میانی) برخورد شود. پیش بینی می شود که به علت عملکرد گسل F^۱ در محدوده کیلومتر ۴۴۰ + ۵، مقاومت فشاری سنگهای این محدوده حدود ۶۰ - ۱۲۰ مگاپاسکال باشد.

۳-۱-۳- از حدود کیلومتر ۵۷۲ + ۵ تا کیلومتر ۲۰۰ + ۶

منطقه لیتولوژیکی این بخش از مسیر در واقع همان منطقه لیتولوژیکی شماره ۱ می باشد. در این محدوده، آهکهای خاکستری تیره با کد K^۳ (با سن کرتاسه میانی) رخنمون یافته اند. وضعیت مقاومت مکانیکی این بخش از مسیر، باتوجه

به خصوصیات مکانیکی آن، خوب می باشد؛ ولی در ۱۰۰ متر انتهائی مسیر، بعلت عملکرد گسل F^۲، مقاومت فشاری آن ۶۰ - ۱۱۰ مگاپاسکال ارزیابی می باشد.

۳-۱-۴ - از حدود کیلومتر ۶ + ۲۰۰ تا حدود کیلومتر ۶ + ۳۹۰

در این محدوده از مسیر، منطقه لیتولوژیکی شماره ۳ واقع شده است. در این محدوده، باتوجه به اینکه هیچگونه اطلاعاتی در مورد ضخامت کد E^۱ در دست نیست؛ لذا در مقطع زمین شناسی، مرز آن با کد K^۳ با علامت سوال ترسیم گردیده است. کد E^۱ از نظر سنگ شناسی شامل کنگلومرای آهکی با میان لایه هائی از آهک بوده؛ و از نظر مقاومت مکانیکی عموماً در وضعیت خوبی قرار دارد. به هر حال از آنجا که ۱۰۰ متر ابتدائی این محدوده در حاشیه گسل F^۲ قرار دارد، لذا مقاومت فشاری آن ۵۰ - ۱۱۰ مگاپاسکال ارزیابی می شود.

۳-۱-۵ - از حدود کیلومتر ۶ + ۳۹۰ تا حدود کیلومتر ۶ + ۷۰۰

در این محدوده از مسیر، منطقه لیتولوژیکی شماره ۴ واقع شده است. جنس زمین این محدوده که با کد K^۵ معرفی شده است، شامل آهک مارنی سبز تا سفید نازک لایه می باشد. مقاومت مکانیکی این منطقه، متوسط تا ضعیف می باشد. همچنین ، مقاومت میانگین این بخش، با توجه به عملکرد گسل، حدود ۵ - ۲۵ مگاپاسکال است.

۳-۲ - ویژگیهای شیمیائی - مکانیکی سنگهای محدوده تونل

در محدوده تونل ، گسترش رخساره های آهکی، عملکرد تکنونیکي شديد، و میزان نزولات جوی موجب شده تا واحدهای خرد شده انحلال پذیر، از قابلیت هوازدگی شیمیائی و فیزیکی بالایی برخوردار شوند. در سرتاسر این ناحیه، انواع سیماهای کارستی سطحی ، از مقیاس شیارهای سطحی (کارن ها) تا حفرات کوچک و بزرگ انحلالی قابل مشاهده می باشند. پیش بینی می شود که در سنگهای عمق تونل نیز، بویژه در مجاورت زونهای گسلی و یا زونهای خرد شده، سیماهای کارستی در ابعاد مختلف تشکیل شده باشند. تاثیر این رخساره های کارستی در هدایت، نفوذ و جریان آبها در

محدوده تونل با اجرای آب بندها و زهکش های طولی با ظرفیت و شیب مناسب، و نیز ایجاد شیب عرضی مناسب قابل کنترل می باشد.

به طور کلی، ویژگیهای مقاومت مکانیکی و هوازگی شیمیائی سنگها در محدوده مسیر تونل به شرح زیر می باشد :

۳-۲-۱- از حدود کیلومتر ۲۵۰ + ۵ تا کیلومتر ۴۴۳ + ۵ (منطقه لیتولوژیکی شماره ۱)

با توجه به اینکه سنگهای این منطقه در سطح با چند ضربه چکش خرد می شوند، لذا مقاومت آنها حدود ۲۵۰ Mpa - ۸۰ ارزیابی می شود. جدول شماره ۱ ، ویژگیهای دقیق تر این منطقه را براساس قضاوت از اطلاعات سطحی نشان می دهد.

جدول شماره ۱- ویژگی های فیزیکی - شیمیایی از حدود کیلومتر ۲۵۰+۵ تا ۴۴۰+۵

ویژگی های شیمیایی	ویژگی های مقاومت فیزیکی	کیلومتر ویژگی های فیزیکی-شیمیایی
هوازگی شیمیایی سطحی	مقاومت فشاری تک محوری حدود ۸۰-۱۲۰ مگاپاسکال	۵+۲۷۰ تا ۵+۲۵۰
	مقاومت فشاری تک محوری حدود ۸۰-۱۰۰ مگاپاسکال	۵+۳۶۳ تا ۵+۲۷۰
هوازگی شیمیایی و عملکرد انحلالی شدید	مقاومت فشاری تک محوری حدود ۶۰-۱۱۰ مگاپاسکال	۵+۴۴۳ تا ۵+۳۶۳

۳-۲-۲- از حدود کیلومتر ۴۴۳ + ۵ تا کیلومتر ۵۷۲+۵ (منطقه لیتولوژیکی شماره ۲)

با توجه به اینکه سنگهای منطقه فوق در سطح با چند ضربه چکش به سختی خرد می شوند، لذا مقاومت صحرایی آنها حداکثر حدود ۱۲۰ Mpa ارزیابی می شود. جدول شماره ۲ ویژگیهای دقیق تر این منطقه را براساس قضاوت از اطلاعات سطحی نشان می دهد.

جدول شماره ۲- ویژگی های فیزیکی - شیمیایی از حدود کیلومتر ۵+۴۴۰ تا ۵+۵۷۲

ویژگی های شیمیایی	ویژگی های مقاومت فیزیکی	کیلومتر ویژگی های فیزیکی-شیمیایی
هواز دگی بصورت عملکرد انحلالی آب احتمالا شدید	مقاومت فشاری تک محوری حدود ۶۰-۱۱۰ مگاپاسکال	۵+۴۴۳ تا ۵+۴۷۰
هواز دگی بصورت عملکرد انحلالی آب با درجه متوسط	مقاومت فشاری تک محوری ۶۰-۱۲۰ مگاپاسکال	۵+۴۷۰ تا ۵+۵۷۲ (گسل اصلی ۴۲)

۳-۲-۳- از حدود کیلومتر ۵+۵۷۲ تا کیلومتر ۶+۱۸۰ (منطقه لیتولوژیکی شماره ۱)

با توجه به اینکه سنگهای آهکی خاکستری این منطقه (که در مقطع با کد K^۳ معرفی شده اند) در سطح در مقابل چند ضربه چکش به سختی خرد می شوند، لذا مقاومت صحرائی آنها حداکثر حدود ۱۵۰ Mpa ارزیابی می شود. جدول شماره ۳ ویژگیهای دقیق تر این منطقه را براساس قضاوت از اطلاعات سطحی نشان می دهد.

جدول شماره ۳- ویژگی های فیزیکی - شیمیایی از حدود کیلومتر ۵+۵۷۲ تا ۶+۱۸۰

ویژگی های شیمیایی	ویژگی های مقاومت فیزیکی	کیلومتر ویژگی های فیزیکی-شیمیایی
درجه هواز دگی انحلالی و شیمیایی متوسط	مقاومت فشاری تک محوری حدود ۱۰۰-۱۵۰ مگاپاسکال	۶+۰۰۰ تا ۵+۵۷۲
درجه هواز دگی انحلالی و شیمیایی متوسط	مقاومت فشاری تک محوری ۶۰-۱۲۰ مگاپاسکال	۶+۱۸۰ تا ۶+۰۰۰

۳-۲-۴- از حدود کیلومتر ۶+۱۸۰ تا کیلومتر ۶+۳۹۰ (منطقه لیتولوژیکی شماره ۳)

با توجه به اینکه سنگهای این منطقه (سنگهای کد E¹ که شامل کنگلومرای آهکی با میان لایه هائی از آهک می باشند) در سطح در مقابل چند ضربه چکش به سختی خرد می شوند، لذا مقاومت صحرائی آنها حداکثر حدود ۱۱۰ Mpa ارزیابی می شود. جدول شماره ۴ ویژگیهای دقیق تر این منطقه را براساس قضاوت از اطلاعات سطحی نشان می دهد.

جدول شماره ۴- ویژگی های فیزیکی - شیمیایی از حدود کیلومتر ۶+۲۰۰ تا ۶+۳۹۰

کیلومتر ویژگی های فیزیکی- شیمیایی	ویژگی های مقاومت فیزیکی	ویژگی های شیمیایی
۶+۲۱۸ تا ۶+۱۸۰ گسل اصلی F ^۳	مقاومت فشاری تک محوری حدود ۶۰-۱۱۰ مگاپاسکال	هوازدگی انحلالی و شیمیایی احتمالا شدید
۶+۲۱۸ تا ۶+۳۹۰	مقاومت فشاری تک محوری ۵۰-۱۱۰ مگاپاسکال	هوازدگی انحلالی و شیمیایی متوسط

۳-۲-۵- از حدود کیلومتر ۶+۳۹۰ تا کیلومتر ۶+۷۰۰ (منطقه لیتولوژیکی شماره ۴)

با توجه به اینکه رخنمون سنگهای این منطقه (سنگهای کد K^۵ که شامل تناوب آهک مارنی و مارن نازک لایه سبز تا سفید می باشد.) در روی مسیر تونل بطور کامل قابل بررسی نیستند؛ لذا موارد زیر براساس قضاوت و بررسی سایر رخنمونها در محدوده مورد مطالعه ارزیابی شده اند. جدول شماره ۵ نمایش دهنده این ارزیابیها است. قابل ذکر است که با توجه به میزان بارندگی بالای منطقه و جنس نامناسب مسیر، امکان تورم سنگها در این محدوده وجود داشته، و تاثیر این تورم بر کف و بدنه تونل می بایست مورد بررسی قرار گیرد.

جدول شماره ۵- ویژگی های فیزیکی - شیمیایی از حدود کیلومتر ۶+۳۹۰ تا ۶+۷۰۰

کیلومتر ویژگی های فیزیکی- شیمیایی	ویژگی های مقاومت فیزیکی	ویژگی های شیمیایی
-----------------------------------	-------------------------	-------------------

قابلیت تورم دارند	مقاومت فشاری تک محوری حدود ۲۵-۵ مگاپاسکال	۶+۳۹۰ تا ۶+۴۶۵
قابلیت تورم دارند	مقاومت فشاری تک محوری ۲۵-۵ مگاپاسکال	۶+۴۶۵ تا ۶+۵۵۸ گسل F۴
قابلیت تورم دارند	مقاومت فشاری تک محوری ۲۵-۵ مگاپاسکال	۶+۷۰۰ تا ۶+۵۵۸

۳-۳- ویژگیهای چینه شناسی مسیر تونل

مسیر تونل، از نظر چینه شناسی از واحدهای مختلفی عبور می کند. این واحدها از قدیم به جدید، به ترتیب عبارتند از :

K^3 و k^4 و k^5 و E^1 و Qt^3 و Qt^1 . سن و جنس هر کدام از واحدها به شرح زیر می باشد :

- واحد K^3 : این واحد شامل آهک خاکستری اریبتولینادار با سن کرتاسه میانی می باشد. بخش عمده مسیر از این واحد تشکیل شده است.

- واحد K^4 : این واحد شامل آهک برشی اریبتالینادار است که گسترش خیلی کمی دارد. سن این واحد کرتاسه میانی است، و مرز آن با واحد K^5 به صورت بین انگشتی می باشد.

- واحد K^5 : این واحد شامل آهک مارنی و مارن خاکستری تا سفید نازک لایه بوده، و سن آن کرتاسه پایانی می باشد.

- واحد E^1 : این واحد شامل کنگلومرا با میان لایه هائی از سنگ آهک نومولیتی می باشد. سن آن ائوسن است.

- واحد Qt^1 و Qt^3 : این واحد شامل رسوبات آبرفتی به ترتیب قدیمی و عهد حاضر است.

۳-۴- زمین شناسی ساختمانی محدوده تونل

۳-۴-۱- جایگاه ساختمانی :

بررسی نقشه های زمین شناسی و مطالعات صحرایی نشانگر آن است که گسترده محدوده تونل از نظر ساختاری، در بخشی از پلانژ زین کوه (Saddle) یک ساختمان چین خوردگی (تاقدیسی) راندگی واقع شده است. این ساختار در اثر عملکرد گسلهای شمالی و جنوبی رخ، متحمل راندگی های شدید شده است. وضعیت ساختاری گسلهای شمالی و جنوبی رخ، این گمان را تقویت می کند که گستره مورد مطالعه به صورت یک ساختار بالاجسته (pop – up structure) است که در ارتباط با حرکات راندگی این گسلها ایجاد شده است.

در دهانه های ورودی و خروجی تونل، دو گسل اصلی شمال رخ و جنوب رخ، و در طول محور تونل یک زون گسله شامل تعدادی گسل همراه با شبکه ای از درزه و شکاف ها قابل مشاهده است. بررسی داده های دستگاهی زمین لرزه های به وقوع پیوسته در شعاع ۱۰۰ کیلومتری محدوده طرح، نشانگر آن است که پائین بودن نسبی فعالیت های لرزه ای در گستره طرح دلیل بر بی لرزه بودن گستره نیست، زیرا داده های لرزه ای فوق، فاصله زمانی کوتاهی را می پوشانند. بنابراین اگر چه سطح کلی لرزه خیزی گستره ممکن است که در حال حاضر پائین باشد ولی پتانسیل وقوع زمین لرزه با قدرت بالا در منطقه وجود دارد. براین اساس، دو گسل رخ شمالی و جنوبی با فرض ۵۰٪ احتمال وقوع حرکت درگسل، به ترتیب توان ایجاد زمین لرزه هایی به بزرگی ۷/۱۰ و ۶/۹۹ درجه در مقیاس ریشتر را دارند؛ که در صورت وقوع امکان مسدود شدن تونل وجود دارد.

بنابراین برای افزایش کارآیی پوشش تونل در هنگام زمین لرزه، ضروری است پس از برداشت مشخصات فنی گسلهای اصلی و فرعی و شبکه درزه ها در مطالعات مرحله اول و دوم، و هنگام اجرای کار، مدل نمودن آنها حداکثر تمهیدات فنی قابل اجرا و اقتصادی جهت کارآیی تونل بعنوان شریان حیاتی استان در هنگام وقوع زمین لرزه اندیشیده شود.

۳-۴-۲- گسلش :

در ناحیه مورد مطالعه دو گسل اصلی F^2 و F^3 ، و دو گسل فرعی F^1 و F^4 شناسایی گردیده است.

گسل اصلی F^۲، در حدود کیلومتر ۴۶۰ + ۵ به صورت یک دسته در درون سنگهای آهک خاکستری رنگ K^۳ عمل نموده است. مشخصات امتداد و شیب این گسل برابر SE ۴۵/۳۳۵ N اندازه گیری شده است. اثر سطحی این گسل به صورت موجدار می باشد.

گسل F^۳، در حدود کیلومتر ۱۸۰ + ۶ بصورت یک دسته در درون سنگهای K^۳ و E^۱ عمل نموده است. مشخصات امتداد و شیب این گسل برابر NE ۴۰/۳۱۵ N اندازه گیری شده است. اثر سطحی این گسل به صورت موجدار می باشد.

گسل فرعی F^۱ در حدود کیلومتر ۲۹۰ + ۶ بصورت یک دسته در درون سنگهای K^۳ عمل نموده است؛ و باعث پایین افتادن واحد K^۳ در سمت جنوب غربی گردیده است. مشخصات امتداد و شیب این گسل برابر NE ۷۵ / ۳۵۰ N اندازه گیری شده است.

گسل فرعی F^۴ در حدود کیلومتر ۵۲۰ + ۶ عمل نموده است و سبب پائین افتادگی سطح دشت گردیده است موقعیت این گسل تقریبی بوده، و عملکرد آن به صورت احتمالی ترسیم شده است.

۳-۴-۳- درزه و شکافها

با توجه به وضعیت ساختاری منطقه، و براساس اطلاعات ساختاری برداشت شده، مسیر تونل به ۱۳ ناحیه ساختاری تقسیم گردیده است. ویژگی هر کدام از نواحی ساختاری بشرح زیر می باشد :

۱) ناحیه ۱ ساختاری : در این ناحیه ۶ دسته درزه شناسائی و اندازه گیری شد که همگی اصلی هستند.

در جدول شماره ۶ ، وضعیت شیب و امتداد این دسته درزه ها ارائه شده است. ضمناً با توجه به اینکه امتداد مسیر تونل N۲۸° می باشد وضعیت عملکردی این درزه ها در رابطه با تونل نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول شماره ۶- مشخصات دسته درزه ها در ناحیه ۱ ساختاری

مشخصات درزه	امتداد	شیب	وضعیت درزه نسبت به تونل(جهت)
-------------	--------	-----	------------------------------

حفری از سمت دهانه ورودی			شماره دسته درزه
نسبتاً خوب	۶۰NW	N۸۰	S۱
نسبتاً خوب	۸۰NE	N۳۲۰	S۲
خیلی نامطلوب	۷۵NE	N۳۵۰	S۳
خیلی نامطلوب	۸۰SE	N۱۵	S۴
خیلی نامطلوب	۸۵NW	N۴۵	S۵
خیلی نامطلوب	۶۰NW	N۳۰	S۶

۲) ناحیه ۲ ساختاری: در این ناحیه ۷ دسته درزه شناسائی و اندازه گیری گردید.

در جدول شماره ۷ شیب و امتداد این دسته درزه ها ارائه شده است. ضمناً با توجه به اینکه امتداد مسیر تونل $N۲۸^{\circ}$ می باشد وضعیت عملکردی این درزه ها در رابطه با تونل نیز مورد بررسی قرار گرفته است. ضمناً بجز دسته درزه S۱۱ بقیه دسته درزه ها اصلی می باشند.

جدول شماره ۷- مشخصات دسته درزه ها در ناحیه ۲ ساختاری

وضعیت درزه نسبت به تونل (جهت حفری از سمت دهانه ورودی)	شیب	امتداد	مشخصات درزه شماره دسته درزه
خیلی نامطلوب	۷۵SW	N۳۵۵	S۷
خیلی نامطلوب	۸۵NW	N۱۵	S۸
نسبتاً خوب	۷۰NW	N۸۰	S۹
نسبتاً خوب	۸۰NE	N۳۲۵	S۱۰
خیلی نامطلوب	۸۰SE	N۵	S۱۱
نسبتاً خوب	۳۵SE	N۴۰	S۱۲
نسبتاً خوب	۶۰SE	N۶۵	S۱۳

۳) ناحیه ۳ ساختاری : در این ناحیه ۹ دسته درز شناسائی و برداشت شد که ۶ دسته شامل S₁₈ , S₁₉ , S₂₀ , S₂₁ , S₁₅ , S₁₇ , درزه های اصلی هستند.

در جدول شماره ۸ مشخصات شیب و امتداد درزه ها ارائه شده است. همچنین با توجه به اینکه امتداد مسیر تونل N₂₈^o می باشد. وضعیت عملکرد این درزه ها در رابطه با تونل نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول شماره ۸- مشخصات دسته درزه ها در ناحیه ۳ ساختاری

وضعیت درزه نسبت به تونل(جهت حفاری از سمت دهانه ورودی)	شیب	امتداد	مشخصات درزه شماره دسته درزه
خیلی مطلوب	۵۵SW	N ₂₉₅	S ₁₄
خیلی نامطلوب تا نسبتا خوب	۵۵SW	N ₃₃₅	S ₁₅
خیلی نامطلوب	۸۵NW	N ₃₀	S ₁₆
نسبتا خوب	۳۵NW	N ₅₅	S ₁₇
خیلی نامطلوب	۸۵NW	N ₇₅	S ₁₈
نسبتا خوب	۵۵NE	N ₃₂₅	S ₁₉
خیلی نامطلوب	۸۰NE	N ₃₄₅	S ₂₀
خیلی نامطلوب	۷۵SE	N ₅₅	S ₂₁
خیلی نامطلوب	۷۰SE	N ₇₅	S ₂₂

۴) ناحیه ۴ ساختاری : در این ناحیه ۸ دسته درز شناسائی و برداشت گردید. که ۶ دسته آن کد S₂₃ , S₂₄ , S₂₅ اصلی هستند.

مشخصات شیب و امتداد درزه ها در جدول شماره ۹ ارائه شده است.

جدول شماره ۹- مشخصات دسته درزه ها در ناحیه ۴ ساختاری

وضعیت درزه نسبت به تونل(جهت حفاری از سمت دهانه ورودی)	شیب	امتداد	مشخصات درزه
			شماره دسته درزه
خیلی مطلوب	۶۵SW	N۳۰۵	S۲۳
مطلوب	۲۵SW	N۳۱۵	S۲۴
خیلی مطلوب	۶۵SW	N۳۳۵	S۲۵
خیلی نامطلوب	۸۰NW	N۱۵	S۲۶
نسبتاً خوب	۶۵NE	N۳۱۵	S۲۷
خیلی نامطلوب	۸۰SE	N۶۵	S۲۸
خیلی نامطلوب	۸۵SW	N۳۵۵	S۲۹
خیلی نامطلوب	۸۵NW	N۳۵	S۳۰

۵) ناحیه ۵ ساختاری: در این ناحیه ۹ دسته درزه شناسائی و برداشت شده است که ۶ دسته بنامهای S۳۵ , S۳۸ , S۳۱ , S۳۲ , S۳۳ , S۳۴ اصلی می باشد. مشخصات شیب و امتداد درزه ها در جدول شماره ۹ ارائه شده است.

جدول شماره ۹- مشخصات دسته درزه ها در ناحیه ۵ ساختاری

وضعیت درزه نسبت به تونل(جهت حفاری از سمت دهانه ورودی)	شیب	امتداد	مشخصات درزه
			شماره دسته درزه
خیلی مطلوب	۷۵SW	N۳۳۵	S۳۱
خیلی نامطلوب	۸۵SW	N۳۵۵	S۳۲
خیلی نامطلوب	۵۵NW	N۵	S۳۳
خیلی نامطلوب	۹۰NW	N۴۵	S۳۴
نسبتاً خوب	۴۰NW	N۴۵	S۳۵
خیلی مطلوب	۶۰NW	N۸۵	S۳۶
نسبتاً خوب	۸۵NE	N۲۸۰	S۳۷
نسبتاً خوب تا نامطلوب	۴۵NE	N۳۳۵	S۳۸

خیلی نامطلوب	۸۵SE	N۶۰	S۳۹
--------------	------	-----	-----

۶ ناحیه ۶ ساختاری : در این ناحیه ۶ دسته درز شناسائی تو برداشت شده است که ۳ دسته S۴۰, S۴۲, S۴۳ اصلی و S۴۱ اتفاقی می باشند. مشخصات شیب و امتداد درزه ها در جدول شماره ۱۰ ارائه شده است.

جدول شماره ۱۰- مشخصات دسته درزه ها در ناحیه ۶ ساختاری

وضعیت درزه نسبت به تونل(جهت حفاری از سمت دهانه ورودی)	شیب	امتداد	مشخصات درزه
			شماره دسته درزه
نسبتا خوب	۴۵NW	N۴۵	S۴۰
نامطلوب	۴۰N	N۹۰	S۴۱
نسبتا خوب	۸۵NE	N۲۹۵	S۴۲
نامطلوب	۵۵NE	N۳۲۵	S۴۳
خیلی نامطلوب	۸۵SE	N۵	S۴۴
خیلی نامطلوب	۷۵SE	N۴۵	S۴۵

۷ ناحیه ۷ ساختاری : در این ناحیه ۶ دسته درز شناسائی و برداشت شده است که ۳ دسته S۴۶, S۴۹, S۵۱ اصلی هستند. مشخصات شیب و امتداد درزه ها در جدول شماره ۱۱ ارائه شده است.

جدول شماره ۱۱- مشخصات دسته درزه ها در ناحیه ۷ ساختاری

وضعیت درزه نسبت به تونل(جهت حفاری از سمت دهانه ورودی)	شیب	امتداد	مشخصات درزه
			شماره دسته درزه
خیلی نامطلوب	۸۵SW	N۳۱۰	S۴۶
خیلی نامطلوب	۸۵NE	N۰	S۴۷
خیلی نامطلوب	۸۵SE	N۵۵	S۴۸
نسبتا خوب	۸۵N	N۲۷۵	S۴۹

خیلی نامطلوب	۸۵NW	N۴۰	S۵۰
نسبتا خوب	۵۰NE	N۳۱۰	S۵۱

۸) ناحیه ۸ ساختاری : در این ناحیه ۱۱ دسته درز شناسائی و برداشت شده است که پنج دسته بنامهای S۶۱ , S۶۲ , S۵۳ , S۵۴ , S۵۷ اصلی هستند. مشخصات شیب و امتداد درزه ها در جدول شماره ۱۲ ارائه شده است.

جدول شماره ۱۲- مشخصات دسته درزه ها در ناحیه ۸ ساختاری

وضعیت درزه نسبت به تونل(جهت حفاری از سمت دهانه ورودی)	شیب	امتداد	مشخصات درزه
			شماره دسته درزه
نسبتا خوب	۸۵SW	N۳۳۰	S۵۲
خیلی نامطلوب	۸۰NW	N۲۵	S۵۳
خیلی نامطلوب	۷۵NW	N۷۰	S۵۴
خیلی مطلوب	۸۵NE	N۹۰	S۵۵
خیلی مطلوب	۷۵NE	N۳۲۵	S۵۶
خیلی نامطلوب	۴۰NE	N۳۴۵	S۵۷
خیلی نامطلوب	۸۵NE	N۳۵۰	S۵۸
خیلی نامطلوب	۶۰SE	N۳۰	S۵۹
خیلی نامطلوب	۸۰SE	N۶۵	S۶۰
نسبتا خوب تا مطلوب	۴۵SE	N۸۰	S۶۱
خیلی مطلوب	۹۰S	N۹۰	S۶۲

۹) ناحیه ۹ ساختاری : در این ناحیه ۱۲ دسته درزه شناسائی و برداشت شده است که ۳ دسته بنامهای S۷۰ , S۷۱ , S۶۷ اصلی می باشد. مشخصات شیب و امتداد درزه ها در جدول شماره ۱۳ ارائه شده است.

جدول شماره ۱۳- مشخصات دسته درزه ها در ناحیه ۹ ساختاری

وضعیت درزه نسبت به تونل(جهت حفاری از سمت دهانه ورودی)	شیب	امتداد	مشخصات درزه
			شماره دسته درزه
نسبتا خوب	۸۰SW	N۲۹۵	S۶۳
نسبتا خوب	۷۰SW	N۳۳۵	S۶۴
خیلی نامطلوب	۸۰NW	N۱۵	S۶۵
خیلی نامطلوب	۷۰NW	N۳۵	S۶۶
نسبتا خوب تا خیلی نامطلوب	۴۵NW	N۳۵	S۶۷
خیلی مطلوب	۷۵NE	N۲۸۰	S۶۸
خیلی مطلوب	۸۰NE	N۲۹۵	S۶۹
خیلی مطلوب	۷۵NE	N۳۳۰	S۷۰
خیلی نامطلوب	۸۰SE	N۵	S۷۱
نسبتا خوب تا خیلی نامطلوب	۴۵SE	N۱۰	S۷۲
خیلی نامطلوب	۷۰SE	N۵۰	S۷۳
نسبتا خوب تا خیلی نامطلوب	۴۵SE	N۷۵	S۷۴

۱۰) ناحیه ۱۰ ساختاری: در این ناحیه ۱۲ دسته درزه شناسائی و برداشت شده است که ۳ دسته درزه S۷۷, S۸۵, S۷۶ اصلی و S۸۰ یک دسته درزه تصادفی است. مشخصات شیب و امتداد درزه ها در جدول شماره ۱۴ ارائه شده است.

جدول شماره ۱۴- مشخصات دسته درزه ها در ناحیه ۱۰ ساختاری

وضعیت درزه نسبت به تونل(جهت حفاری از سمت دهانه ورودی)	شیب	امتداد	مشخصات درزه
			شماره دسته درزه
نسبتا خوب	۸۵SW	N۲۷۵	S۷۵
نسبتا خوب	۸۰SW	N۲۹۵	S۷۶
نامطلوب تا نسبتا خوب	۴۵SW	N۳۲۰	S۷۷
خیلی نامطلوب	۷۰NW	N۶۲	S۷۸

خیلی نامطلوب	۷۰NE	N۳۰۰	S۷۹
مطلوب	۴۰NE	N۳۰۰	S۸۰
خیلی مطلوب	۷۵NE	N۳۳۰	S۸۱
نسبتاً خوب تا خیلی نامطلوب	۴۵NE	N۳۵۰	S۸۲
خیلی نامطلوب	۸۰NE	N۳۵۰	S۸۳
نسبتاً خوب تا خیلی نامطلوب	۴۵SE	N۲۵	S۸۴
خیلی نامطلوب	۸۰SE	N۳۵	S۸۵
خیلی نامطلوب	۸۵SE	N۷۵	S۸۶

۱۱) ناحیه ۱۱ ساختاری: در این ناحیه ۱۱ دسته درزه شناسائی و برداشت شده است که ۸ دسته S۹۵, S۹۶, S۳۸, S۸۸, S۸۹, S۹۰, S۹۲, S۹۳, S۹۴ اصلی هستند. مشخصات شیب و امتداد درزه ها در جدول شماره ۱۵ ارائه شده است.

جدول شماره ۱۵- مشخصات دسته درزه ها در ناحیه ۱۱ ساختاری

وضعیت درزه نسبت به تونل(جهت حفاری از سمت دهانه ورودی)	شیب	امتداد	مشخصات درزه
			شماره دسته درزه
نسبتاً خوب	۴۵SW	N۲۸۵	S۸۷
خیلی نامطلوب	۷۰SW	N۳۵۰	S۸۸
خیلی مطلوب	۵۰NW	N۴۰	S۸۹
خیلی مطلوب	۷۵NE	N۲۷۵	S۹۰
خیلی مطلوب	۷۰NE	N۳۰۵	S۹۱
مطلوب	۴۰NE	N۳۱۵	S۹۲
خیلی مطلوب	۸۵NE	N۳۳۵	S۹۳
خیلی نامطلوب	۶۰SE	N۱۵	S۹۴
خیلی نامطلوب	۸۰SE	N۲۵	S۹۵
خیلی نامطلوب	۸۵SE	N۴۵	S۹۶
نسبتاً خوب	۸۰SE	N۸۰	S۹۷

۱۲) ناحیه ۱۲ ساختاری: در این ناحیه ۹ دسته درزه شناسائی و برداشت شده است که همگی آنها اصلی است. مشخصات شیب و امتداد درزه ها در جدول شماره ۱۶ ارائه شده است.

جدول شماره ۱۶- مشخصات دسته درزه ها در ناحیه ۱۲ ساختاری

وضعیت درزه نسبت به تونل(جهت حفاری از سمت دهانه ورودی)	شیب	امتداد	مشخصات درزه شماره دسته درزه
نسبتاً خوب	۷۵SW	N۳۲۵	S۹۹
خیلی نامطلوب	۷۵NW	N۴۰	S۱۰۰
خیلی نامطلوب	۸۵NW	N۶۰	S۱۰۱
خیلی مطلوب	۸۰NW	N۸۵	S۱۰۲
خیلی مطلوب	۵۰NE	N۲۹۰	S۱۰۳
خیلی مطلوب	۷۰NE	N۳۳۰	S۱۰۴
خیلی نامطلوب	۸۵SE	N۱۵	S۱۰۵
نسبتاً خوب	۲۵SE	N۲۵	S۱۰۶
نسبتاً خوب	۷۵SE	N۵۵	S۱۰۷

۱۳) ناحیه ۱۳ ساختاری: این ناحیه ساختاری در سطح توسط رسوبات کواترنر پوشیده شده است. با توجه به عدم حفر گمانه و نبود اطلاعات سطحی و زیرسطحی ، می توان چنین قضاوت نمود که این ناحیه ساختاری احتمالاً از وضعیتی مشابه ناحیه ۱۲ ساختاری برخوردار است.

فصل دوم

ویژگی های ژئومکانیکی

مسیر تونل

۱- ویژگی های ژئومکانیکی مسیر تونل

در این بخش ویژگیهای ژئومکانیکی مسیر تونل در ۱۳ ناحیه ساختاری شناسائی شده از سطح زمین، منطبق بر مسیر

تونل بشرح زیر ارائه می شود :

۱-۱- ناحیه ساختاری شماره ۱

در حد فاصل کیلومتر ۲۵۴+۵ تا کیلومتر ۳۱۳+۵ ناحیه ۱ ساختاری، ۶ دسته درزه با مشخصات زیر (جدول شماره ۱) شناسائی شد :

جدول شماره ۱- مشخصات درزه های ناحیه ساختاری شماره ۱

دسته درزه S ^۴		دسته درزه S ^۱	
N۱۵/۸۰SE	میانگین جهات درزه	N۸۰E/۶۰NW	میانگین جهات درزه
صاف و نرم	وضعیت سطح درزه ها	صاف و نرم	وضعیت سطح درزه ها
رس ممتد	ماده پرکننده	رس ممتد	ماده پرکننده
خشک	وضعیت آب	نم	وضعیت آب
بیشتر از ۲متر	فاصله درزه ها	بیشتر از ۲متر	فاصله درزه ها
۵ تا ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش
۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها	بیشتر از ۱۰متر	طول درزه ها
دسته درزه S ^۵		دسته درزه S ^۲	
N۴۵/۸۵NW	میانگین جهات درزه	N۲۲۰/۸۰NE	میانگین جهات درزه
صاف و نرم	وضعیت سطح درزه ها	صاف و نرم	وضعیت سطح درزه ها
رس ماسه ای	ماده پرکننده	رس و سیلت غیرممتد	ماده پرکننده
مرطوب	وضعیت آب	مرطوب	وضعیت آب
بیشتر از ۲ متر	فاصله درزه ها	بیشتر از ۲ متر	فاصله درزه ها
بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش
۱۰ تا ۲۰ متر	طول درزه ها	بیشتر از ۱۰متر	طول درزه ها
دسته درزه S ^۶		دسته درزه S ^۳	
N۳۰/۶۰NW	میانگین جهات درزه	N۳۵۰/۷۵NE	میانگین جهات درزه
موجدار - نرم	وضعیت سطح درزه ها	موجدار - نرم	وضعیت سطح درزه ها
رس ماسه ای غیرممتد	ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد	ماده پرکننده

وضعیت آب	مرطوب	وضعیت آب	مرطوب
فاصله درزه ها	بیشتر از ۲ متر	فاصله درزه ها	بیشتر از ۲ متر
جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	بیشتر از ۲۰ متر	طول درزه ها	بیشتر از ۲۰ متر

نتیجه گیری : در محدوده کیلومتر ۵+۲۵۰ تا کیلومتر ۵+۳۱۳، شش دسته درزه شناسائی شده است که همگی اصلی هستند. میانگین پارامترهای ژئومکانیکی این ناحیه در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول شماره ۲- میانگین پارامترهای ژئومکانیکی ناحیه ساختاری شماره ۱

اندیس کیفی توده سنگ	۹۰٪ تا ۱۰۰٪
مجموعه دسته درزه ها	۶ دسته درزه اصلی
وضعیت سطح درزه ها	موجدار - نرم
ماده پرکننده درزه ها	رس ماسه ای غیرممتد
مقدار آب درزه ها	خشک - نرم
فاصله بین درزه ها	بیشتر از ۲ متر
میانگین جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۱۰ تا ۲۰ متر
جهت درزه ها	نامطلوب

باتوجه به نتایج بدست آمده، و برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم RMR (بنیاسکی ۱۹۸۹) در محدوده ناحیه ۱ ساختاری امتیازهای مربوط به هر پارامتر طبق جدول شماره ۳ ارائه می شود.

جدول شماره ۳- امتیازدهی به پارامترهای RMR ناحیه ساختاری شماره ۱

ارزش	امتیاز	ردیف
۸۰ تا ۱۲۰ مگاپاسکال	۷ - ۱۲	مقاومت فشاری تک محوری
۹۰ تا ۱۰۰	۲۰	مقدار RQD
بیشتر از ۲ متر	۲۰	فاصله بندی درزه ها
بیشتر از ۱۰ میلیمتر	۰	شرایط ناپیوستگی
خشک تا نم	۱۰ - ۱۵	وضعیت آب
نامطلوب	-۱۰	جهت درزه ها
کلاس ۳ (سنگ متوسط)	۴۷ - ۵۷	جمع امتیاز توده سنگ

$C = 235-285 \text{ Kpa}$	چسبندگی توده سنگ بر اساس RMR
$\varphi = 29 - 34$	زاویه اصطکاک توده سنگ بر اساس RMR

کلاس سنگ در دهانه ورودی III و کلاس سنگ بعد از دهانه ورودی در کیلومتر ۵+۲۷۰ تا کیلومتر ۵+۳۱۳، IV است. همچنین برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس Q در این ناحیه ساختاری طبق جدول شماره ۴، امتیازهای زیر حاصل شد :

جدول شماره ۴- طبقه بندی ژئومکانیکی بر اساس رده بندی Q

$RQD = 90-100$	سنگ عالی	اندیس کیفی سنگ
$J_n = 15-30$	۶دسته درزه اصلی	تعداد دسته درزه ها
$J_r = 2$	موجدار - نرم	وضعیت سطوح درزه ها
$J_a = 3$	اندوذهای سیلیس یا رس ماسه ای	ماده پرکننده درزه ها
$J_w = 0/8 - 1$	خشک	مقدار آب بین درزه ها
$SRF = 1$	تنش متوسط	ضریب کاهش تنش
$Q = 2 - 3/55$		سنگ ضعیف

۲-۱- ناحیه ساختاری شماره ۲

در حد فاصل کیلومتر ۳۱۳+۵ تا کیلومتر ۳۴۳+۵ ناحیه ساختاری ۲ تا ۷ دسته درزه با مشخصات زیر (جدول شماره ۵) شناسائی شد :

جدول شماره ۵- مشخصات درزه های ناحیه ساختاری شماره ۲

دسته درزه S۸		دسته درزه S۷	
N۱۵/۸۵NW	میانگین جهات درزه	N۳۵۵/۷۵SW	میانگین جهات درزه
موجدار و زبر	وضعیت سطح درزه ها	موجدار و زبر	وضعیت سطح درزه ها
رس ماسه ای	ماده پرکننده	رس ماسه ای	ماده پرکننده
نم	وضعیت آب	نم	وضعیت آب
بیشتر از ۲متر	فاصله درزه ها	بیشتر از ۲متر	فاصله درزه ها
بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش
۱۰ تا ۲۰ متر	طول درزه ها	بیشتر از ۲۰ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۱۰		دسته درزه S۹	
N۳۲۵/۸۰NE	میانگین جهات درزه	N۸۰/۷۰NW	میانگین جهات درزه
موجدار - صاف	وضعیت سطح درزه ها	موجدار - صاف	وضعیت سطح درزه ها
رس غیرممتد	ماده پرکننده	رس ماسه ای	ماده پرکننده
نم	وضعیت آب	نم	وضعیت آب
بیشتر از ۲متر	فاصله درزه ها	بیشتر از ۲متر	فاصله درزه ها
بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش
بیشتر از ۲۰ متر	طول درزه ها	بیشتر از ۲۰ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۱۲		دسته درزه S۱۱	

N۴۰/۳۵SE	میانگین جهات درزه	N۵/۸۰SE	میانگین جهات درزه
مواج و زبر	وضعیت سطح درزه ها	مواج - صاف	وضعیت سطح درزه ها
رس ماسه ای	ماده پرکننده	کلسیت	ماده پرکننده
نم	وضعیت آب	خشک	وضعیت آب
بیشتر از ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	کمتر از ۰/۱ میلیمتر	جدایش
۱۰ تا ۲۰ متر	طول درزه ها	۱ تا ۳ متر	طول درزه ها

دسته درزه S۱۳	
N۶۵/۶۰SE	میانگین جهات درزه
موجدار - زبر	وضعیت سطح درزه ها
تمیز	ماده پرکننده
نم	وضعیت آب
بیشتر از ۲ متر	فاصله درزه ها
بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش
۱۰ تا ۲۰ متر	طول درزه ها

به جز درزه S۱۱ بقیه درزه ها اصلی هستند.

نتیجه گیری :

در این ناحیه ساختاری براساس مشخصات فنی و عمومی دسته درزه ها، میانگین پارامترهای ژئومکانیکی بشرح جدول

شماره ۶ می باشد :

جدول شماره ۶- میانگین پارامترهای ژئومکانیکی ناحیه ساختاری شماره ۲

اندیس کیفی توده سنگ	۹۰٪ تا ۱۰۰٪
مجموعه دسته درزه ها	۶ دسته درزه اصلی
وضعیت سطح درزه ها	موجدار - نرم
ماده پرکننده درزه ها	رس - کلسیت
مقدار آب درزه ها	نم
فاصله بین درزه ها	بیشتر از ۲ متر
میانگین جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۱۰ تا ۲۰ متر
جهت درزه ها	نامطلوب

باتوجه به نتایج بدست آمده و برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم RMR بنیادسکی ۱۹۸۹ در محدوده منطقه ۲ ساختاری امتیازهای مربوط به هرذ پارامتر طبق جدول شماره ۷ ارائه می شود.

جدول شماره ۷- امتیازدهی به پارامترهای RMR ناحیه ساختاری شماره ۲

امتیاز	ارزش	ردیف
۱۲	۱۰۰ تا ۲۵۰ مگاپاسکال	مقاومت فشاری تک محوری
۲۰	۹۰ تا ۱۰۰	مقدار RQD
۲۰	بیشتر از ۲ متر	فاصله بندی درزه ها
۰	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	شرایط ناپیوستگی
۱۰	نم	وضعیت آب
-۱۰	نامطلوب	جهت درزه ها
۵۲	کلاس ۳ (سنگ متوسط)	جمع امتیاز توده سنگ

C= ۲۶۰ Kpa	چسبندگی توده سنگ بر اساس RMR
------------	------------------------------

$\varphi = 31$	زاویه اصطکاک توده سنگ بر اساس RMR
----------------	-----------------------------------

برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم Q در این ناحیه ساختاری طبق جدول شماره ۸ امتیازهای زیر بدست آمد :

جدول شماره ۸- طبقه بندی ژئومکانیکی بر اساس رده بندی Q

$RQD = 90-100$	سنگ عالی	اندیس کیفی سنگ
$J_n = 15$	۶دسته درزه اصلی	تعداد دسته درزه ها
$J_r = 3$	موجدار - زبر	وضعیت سطوح درزه ها
$J_a = 3$	اندود سیلتی یا رس ماسه ای با نسبت کمی رس	ماده پرکننده درزه ها
$J_w = 0/9$	خشک	مقدار آب بین درزه ها
$SRF = 1$	تنش متوسط	ضریب کاهش تنش
$Q = 5/4 - 6$		سنگ مناسب

۳-۱- ناحیه ساختاری شماره ۳

در حد فاصل کیلومتر ۳۴۳+۵ تا کیلومتر ۳۶۳+۵ ناحیه ساختاری ۳ با ۹ دسته درزه با مشخصات زیر (جدول شماره ۹) شناسائی شد.

جدول شماره ۹- مشخصات درزه های ناحیه ساختاری شماره ۳

دسته درزه S۱۸		دسته درزه S۱۴	
N۷۵/۸۵NW	میانگین جهات درزه	N۲۹۵/۵۵SW	میانگین جهات درزه

وضعیت سطح درزه ها	نرم - موجدار	وضعیت سطح درزه ها	مسطح و زبر
ماده پرکننده	رس غیرممتد	ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد
وضعیت آب	نم	وضعیت آب	نم
فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	۱ تا ۳ متر
دسته درزه S۱۵		دسته درزه S۱۹	
میانگین جهات درزه	N۳۵۵/۵۵SW	میانگین جهات درزه	N۳۲۵/۵۵NE
وضعیت سطح درزه ها	مسطح و نرم	وضعیت سطح درزه ها	مواج و زبر
ماده پرکننده	رس غیرممتد	ماده پرکننده	کلسیت غیرممتد
وضعیت آب	مرطوب	وضعیت آب	خشک
فاصله درزه ها	بیشتر از ۲متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۱۰ تا ۲۰ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر
دسته درزه S۱۶		دسته درزه S۲۰	
میانگین جهات درزه	N۳۰/۸۵NW	میانگین جهات درزه	N۳۴۵/۸۰NE
وضعیت سطح درزه ها	مسطح و نرم	وضعیت سطح درزه ها	نرم و موجدار
ماده پرکننده	رس غیرممتد	ماده پرکننده	رس غیرممتد
وضعیت آب	خشک	وضعیت آب	مرطوب
فاصله درزه ها	۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها	بیشتر از ۲ متر
جدایش	۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	۱۰ تا ۲۰ متر
دسته درزه S۱۷		دسته درزه S۲۱	
میانگین جهات درزه	N۵۵/۳۵NW	میانگین جهات درزه	N۵۵/۷۵SE
وضعیت سطح درزه ها	نرم - موجدار	وضعیت سطح درزه ها	موجدار و صاف

ماده پرکننده	رس غیرممتد	ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد
وضعیت آب	خشک	وضعیت آب	مرطوب
فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر

دسته درزه S۲۲	
میانگین جهات درزه	N۷۵/۷۰SE
وضعیت سطح درزه ها	مسطح و نرم
ماده پرکننده	کلسیت
وضعیت آب	خشک
فاصله درزه ها	۰/۲ تا ۰/۶ متر
جدایش	کمتر از ۰/۱ میلیمتر
طول درزه ها	۱ تا ۳ متر

نتیجه گیری : در محدوده کیلومتر ۳۴۳+۵ تا کیلومتر ۳۶۳+۵ ، ۹ دسته درزه شناسائی شده است ۶ دسته درزه شامل

S۲۱, S۲۰, S۱۹, S۱۸, S۱۷, S۱۵ اصلی هستند میانگین پارامترهای ژئومکانیکی به شرح جدول شماره ۱۰ است :

جدول شماره ۱۰- میانگین پارامترهای ژئومکانیکی ناحیه ساختاری شماره ۳

اندیس کیفی توده سنگ	۹۰٪ تا ۷۵٪
مجموعه دسته درزه ها	۶ دسته درزه اصلی
وضعیت سطح درزه ها	موجدار - نرم
ماده پرکننده درزه ها	رس - کلسیت غیر ممتد
مقدار آب درزه ها	نم تا مرطوب

فاصله بین درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
میانگین جدایش	۰/۱ تا بیش از ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر
جهت درزه ها	نامطلوب

باتوجه به نتایج بدست آمده، برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم RMR بنیادسکی ۱۹۸۹ در محدوده ناحیه ۳ ساختاری امتیازهای مربوط به هر پارامتر طبق جدول شماره ۱۱ ارائه می شود.

جدول شماره ۱۱- امتیازدهی به پارامترهای RMR ناحیه ساختاری شماره ۳

امتیاز	ارزش	ردیف
۱۲	۱۰۰ تا ۲۵۰ مگاپاسکال	مقاومت فشاری تک محوری
۲۰	۷۵ تا ۹۰	مقدار RQD
۱۵	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله بندی درزه ها
۰	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	شرایط ناپیوستگی
۷ - ۱۰	نم - مرطوب	وضعیت آب
-۱۰	نامطلوب	جهت درزه ها
۴۱ - ۴۴	کلاس ۳ (سنگ متوسط)	جمع امتیاز توده سنگ

$C = 205 - 220 \text{ Kpa}$	چسبندگی توده سنگ بر اساس RMR
$\varphi = 25 - 27$	زاویه اصطکاک توده سنگ بر اساس RMR

همچنین برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس Q در این ناحیه ساختاری طبق جدول شماره ۱۲، امتیازهای زیر حاصل شد :

جدول شماره ۱۲- طبقه بندی ژئومکانیکی بر اساس رده بندی Q

RQD = ۷۵-۹۰	سنگ عالی	اندیس کیفی سنگ
Jn = ۱۵	۶دسته درزه اصلی	تعداد دسته درزه ها
Jr = ۲	موجدار - نرم	وضعیت سطوح درزه ها
Ja = ۳	سیلت و رس ماسه ای و گراول	ماده پرکننده درزه ها
Jw = ۰/۶۶	جریان با فشار متوسط آب	مقدار آب بین درزه ها
SRF = ۱	تنش متوسط	ضریب کاهش تنش
Q = ۲/۲ - ۲/۶۴		سنگ مناسب

۴-۱- ناحیه ساختاری شماره ۴

در حد فاصل کیلومتر ۵+۳۶۳ تا کیلومتر ۵+۴۲۶ ناحیه ۴ ساختاری با ۸ دسته درزه با مشخصات زیر (جدول شماره ۱۳) شناسائی شد :

جدول شماره ۱۳- مشخصات درزه های ناحیه ساختاری شماره ۴

دسته درزه S۲۷		دسته درزه S۲۳	
N۳۱۵/۶۵NE	میانگین جهات درزه	N۳۱۵/۲۵SW	میانگین جهات درزه
صاف و زبر	وضعیت سطح درزه ها	زبر و موجدار	وضعیت سطح درزه ها
کلسیت و رس غیرممتد	ماده پرکننده	رس	ماده پرکننده
خشک	وضعیت آب	خشک	وضعیت آب
۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
۲/۵ تا ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش
۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	۱ تا ۳ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۲۸		دسته درزه S۲۴	

N۴۵/۸۰SW	میانگین جهات درزه	N۳۱۵/۲۵SW	میانگین جهات درزه
صاف و زبر	وضعیت سطح درزه ها	صاف و موجدار	وضعیت سطح درزه ها
کلسیت و رس غیرممتد	ماده پرکننده	رس	ماده پرکننده
خشک	وضعیت آب	خشک تا مرطوب	وضعیت آب
۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	بیشتر از ۲متر	فاصله درزه ها
بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش
۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	بیشتر از ۲۰ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۲۹		دسته درزه S۲۵	
N۳۵۵/۸۵SW	میانگین جهات درزه	N۳۳۵/۶۵SW	میانگین جهات درزه
صاف - نرم	وضعیت سطح درزه ها	نرم - موجدار	وضعیت سطح درزه ها
کلسیت ممتد	ماده پرکننده	رس ممتد	ماده پرکننده
خشک	وضعیت آب	خشک	وضعیت آب
۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
۰/۲ تا ۰/۶ متر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش
۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۳۰		دسته درزه S۲۶	
N۳۵/۸۵NW	میانگین جهات درزه	N۱۵/۸۰NW	میانگین جهات درزه
نرم و موجدار	وضعیت سطح درزه ها	صاف و زبر	وضعیت سطح درزه ها
رس ممتد	ماده پرکننده	کلسیت و رس غیرممتد	ماده پرکننده
خشک	وضعیت آب	خشک تا مرطوب	وضعیت آب
۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش
۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها

نتیجه گیری :

در محدوده کیلومتر ۵+۳۶۳ تا کیلومتر ۵+۴۲۶ دسته درزه شناسائی شده است که ۶ دسته درزه شامل S۳۰, S۲۸, S۲۶, S۲۵, S۲۴, S۲۳ اصلی ها هستند. میانگین پارامترهای ژئومکانیکی بشرح جدول شماره ۱۴ است:

جدول شماره ۱۴- میانگین پارامترهای ژئومکانیکی ناحیه ساختاری شماره ۴

اندیس کیفی توده سنگ	۷۵٪ تا ۹۰٪
مجموعه دسته درزه ها	۶ دسته درزه اصلی
وضعیت سطح درزه ها	صاف - موجدار
ماده پرکننده درزه ها	رس - کلسیت
مقدار آب درزه ها	نم تا مرطوب
فاصله بین درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
میانگین جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	بیشتر از ۲۰ متر
جهت درزه ها	نامطلوب

باتوجه به نتایج بدست آمده، برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم RMR بنیابوسی ۱۹۸۹ در محدوده ناحیه ۴ ساختاری امتیازهای مربوط به هر پارامتر طبق جدول شماره ۱۵ ارائه می شود.

جدول شماره ۱۵- امتیازدهی به پارامترهای RMR ناحیه ساختاری شماره ۴

امتیاز	ارزش	ردیف
۱۲	۱۰۰ تا ۱۲۰ مگاپاسکال	مقاومت فشاری تک محوری
۲۰	۷۵ تا ۹۰	مقدار RQD
۲۰-۱۵	بیشتر از ۰/۶ متر	فاصله بندی درزه ها
۰	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	شرایط ناپیوستگی
۷-۱۰	نم تا مرطوب	وضعیت آب

جهت درزه ها	نامطلوب	-۱۰
جمع امتیاز توده سنگ	کلاس ۳ (سنگ متوسط)	۴۱-۴۹

چسبندگی توده سنگ بر اساس RMR	$C = 205 - 245 \text{ Kpa}$
زاویه اصطکاک توده سنگ بر اساس RMR	$\phi = 25 - 30$

برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم Q در این ناحیه ساختاری طبق جدول شماره ۱۶ امتیازهای زیر بدست آمد :

جدول شماره ۱۶- طبقه بندی ژئومکانیکی بر اساس رده بندی Q

انديس کيفی سنگ	سنگ خوب	$RQD = 75-90$
تعداد دسته درزه ها	۶ دسته درزه اصلی	$J_n = 15$
وضعیت سطوح درزه ها	صاف موجدار	$J_r = 2$
ماده پرکننده درزه ها	اندود سیلتی یا رس ماسه ای با نسبت کمی رس	$J_a = 3$
مقدار آب بین درزه ها	جریان یا فشار متوسط آب	$J_w = 0/73$
ضریب کاهش تنش	تنش متوسط	$SRF = 1$
سنگ ضعیف		$Q = 2/43 - 2/92$

۱-۵- ناحیه ساختاری شماره ۵

در حد فاصل کیلومتر ۴۲۶+۵ تا کیلومتر ۴۷۰+۵ ناحیه ۵ ساختاری با ۹ دسته درزه اصلی و مهم با مشخصات زیر شناسائی شد :

جدول شماره ۱۷- مشخصات درزه های ناحیه ساختاری شماره ۵

دسته درزه S۳۵		دسته درزه S۳۱	
N۴۵/۴۰NW	میانگین جهات درزه	N۳۳۵/۷۵SW	میانگین جهات درزه
مواج و نرم	وضعیت سطح درزه ها	مواج و نرم	وضعیت سطح درزه ها
رس غیرممتد	ماده پرکننده	رس غیرممتد	ماده پرکننده
خشک	وضعیت آب	خشک	وضعیت آب
بیشتر از ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
۲/۵ تا ۱۰ میلیمتر	جدایش	۲/۵ تا ۱۰ میلیمتر	جدایش
۱۰ تا ۲۰ متر	طول درزه ها	۱ تا ۳ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۳۶		دسته درزه S۳۲	
N۸۵/۶۰NW	میانگین جهات درزه	N۳۵۵/۸۵SW	میانگین جهات درزه
مواج و نرم	وضعیت سطح درزه ها	مواج و نرم	وضعیت سطح درزه ها
رس تمیز غیرممتد	ماده پرکننده	رس غیرممتد	ماده پرکننده
خشک - مرطوب	وضعیت آب	مرطوب	وضعیت آب
بیشتر از ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
۰/۵ تا ۲/۵ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش
۱۰ تا ۲۰ متر	طول درزه ها	بیشتر از ۲۰ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۳۷		دسته درزه S۳۳	
N۲۸۰/۸۵SW	میانگین جهات درزه	N۵/۵۵NW	میانگین جهات درزه
صاف - نرم	وضعیت سطح درزه ها	مواج - زیر	وضعیت سطح درزه ها
کلسیت ممتد	ماده پرکننده	رس غیر ممتد	ماده پرکننده
خشک	وضعیت آب	مرطوب -	وضعیت آب
۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
کمتر از ۰/۱ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش

طول درزه ها	بیشتر از ۲۰ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر
دسته درزه S۳۴		دسته درزه S۳۸	
میانگین جهات درزه	N۴۵/۹۰NW	میانگین جهات درزه	N۳۳۵/۴۵NE
وضعیت سطح درزه ها	مسطح و زبر	وضعیت سطح درزه ها	مواج و نرم
ماده پرکننده	رس غیرممتد	ماده پرکننده	رس تمیز ممتد
وضعیت آب	خشک - مرطوب	وضعیت آب	مرطوب
فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	بیشتر از ۲ متر
جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۱۰ تا ۲۰ متر	طول درزه ها	۱۰ تا ۲۰ متر

دسته درزه S۳۹	
میانگین جهات درزه	N۶۰/۸۵SE
وضعیت سطح درزه ها	مواج و زبر
ماده پرکننده	کلسیت و رس غیرممتد
وضعیت آب	خشک
فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	۱۰ تا ۲۰ متر
طول درزه ها	۱۰ تا ۲۰ متر

نتیجه گیری: در محدوده کیلومتر ۵+۴۲۶ تا کیلومتر ۵+۵۱۱، ۹ دسته درزه شناسائی شده است که ۶ دسته درزه شامل S۳۸, S۳۵, S۳۴, S۳۳, S۳۲, S۳۱ اصلی ها هستند. براساس مشخصات فنی و عمومی دسته درزه ها، میانگین پارامترهایی ژئومکانیکی بشرح جدول شماره ۱۸ می باشد:

جدول شماره ۱۸- میانگین پارامترهای ژئومکانیکی ناحیه ساختاری شماره ۵

اندیس کیفی توده سنگ	۷۵٪ تا ۹۰٪
مجموعه دسته درزه ها	۶ دسته درزه اصلی
وضعیت سطح درزه ها	مواج - زبر
ماده پرکننده درزه ها	رس غیرممتد - کلسیت
مقدار آب درزه ها	چکه چکه تا جریان
فاصله بین درزه ها	بیشتر از ۰/۲ متر
میانگین جدایش	۰/۱ تا ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	بیشتر از ۱ متر
جهت درزه ها	نامطلوب

باتوجه به نتایج بدست آمده، برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم RMR بنیابوسکی ۱۹۸۹ در محدوده ناحیه ۵ ساختاری امتیازهای مربوط به هر پارامتر طبق جدول شماره ۱۹ ارائه می شود.

جدول شماره ۱۹- امتیازدهی به پارامترهای RMR ناحیه ساختاری شماره ۵

امتیاز	ارزش	ردیف
۱۲- ۷	۶۰ تا ۱۱۰ مگاپاسکال	مقاومت فشاری تک محوری
۱۷	۷۵ تا ۹۰	مقدار RQD
۱۵	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله بندی درزه ها
۰	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	شرایط ناپیوستگی
۷- ۴	چکه چکه تا مرطوب	وضعیت آب
-۱۰	نامطلوب	جهت درزه ها
۴۱- ۳۳	کلاس ۳-۴ (سنگ متوسط تا ضعیف)	جمع امتیاز توده سنگ

C= ۱۶۵ - ۲۰۵ Kpa	چسبندگی توده سنگ بر اساس RMR
------------------	------------------------------

$\phi = 21 - 25$	زاویه اصطکاک توده سنگ بر اساس RMR
------------------	-----------------------------------

برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ بر اساس سیستم Q در این ناحیه ساختاری طبق جدول شماره ۱۰ امتیازهای زیر بدست آمد.

جدول شماره ۲۰- طبقه بندی ژئومکانیکی بر اساس رده بندی Q

$RQD = 75-90$	سنگ خوب	اندیس کیفی سنگ
$J_n = 15$	۶دسته درزه اصلی	تعداد دسته درزه ها
$J_r = 3$	زبر مواج	وضعیت سطوح درزه ها
$J_a = 5$	زون ها یا نوار رس ماسه ای	ماده پرکننده درزه ها
$J_w = 0/73$	جریان زیاد یا فشار بالای آب	مقدار آب بین درزه ها
$SRF = 2/5$	نواحی رسی ضعیف در عمق بیش از ۵۰ متر	ضریب کاهش تنش
$Q = 0/876 - 1/05$		سنگ خیلی ضعیف تا ضعیف

۱-۶- ناحیه ساختاری شماره ۶

در حد فاصل کیلومتر ۴۷۰+۵ تا کیلومتر ۵۷۲+۵ ناحیه ۶ ساختاری با ۶ دسته درزه با مشخصات زیرشناسائی شد :

جدول شماره ۲۱- مشخصات درزه های ناحیه ساختاری شماره ۶

دسته درزه S ^{۴۳}		دسته درزه S ^{۴۰}	
N۳۲۵/۵۵NW	میانگین جهات درزه	N۴۵/۴۵NW	میانگین جهات درزه
پله ای- زبر	وضعیت سطح درزه ها	مسطح- زبر	وضعیت سطح درزه ها
کلسیت غیرممتد	ماده پرکننده	تمیز غیرممتد	ماده پرکننده
خشک	وضعیت آب	خشک	وضعیت آب

فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۲ تا ۰/۶ متر
جدایش	۲/۵ تا ۱۰ میلیمتر	جدایش	۵/۵ تا ۲/۵ میلیمتر
طول درزه ها	۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	۱ تا ۳ متر
دسته درزه S۴۴		دسته درزه S۴۱	
میانگین جهات درزه	N۹۰/۴۰N	میانگین جهات درزه	N۵/۸۵SE
وضعیت سطح درزه ها	مواج - زیر	وضعیت سطح درزه ها	مواج - نرم
ماده پرکننده	تمیز ممتد	ماده پرکننده	کلسیت غیرممتد
وضعیت آب	خشک	وضعیت آب	خشک
فاصله درزه ها	کمتر از ۱ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	۲/۵ تا ۵/۵ میلیمتر	جدایش	کمتر از ۱/۱ میلیمتر
طول درزه ها	۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	۱ تا ۳ متر
دسته درزه S۴۲		دسته درزه S۴۵	
میانگین جهات درزه	N۲۹۵/۸۵NE	میانگین جهات درزه	N۴۵/۷۵SE
وضعیت سطح درزه ها	نرم - موجدار	وضعیت سطح درزه ها	مواج - نرم
ماده پرکننده	کلسیت غیرممتد	ماده پرکننده	کلسیت
وضعیت آب	خشک	وضعیت آب	خشک - تر
فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	۲/۵ تا ۵/۵ میلیمتر	جدایش	۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر
طول درزه ها	۱۰ تا ۳ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر

نتیجه گیری : در محدوده کیلومتر ۴۷۰+۵ تا کیلومتر ۵۷۲+۵، ۶، دسته درزه شناسائی شده است که ۳ دسته درزه

شامل S۴۰, S۴۲, S۴۳ اصلی و S۴۱ اتفاقی هستند. میانگین پارامترهای ژئومکانیکی بشرح زیر است:

جدول شماره ۲۲- میانگین پارامترهای ژئومکانیکی ناحیه ساختاری شماره ۶

اندیس کیفی توده سنگ	۹۰٪ تا ۱۰۰٪
مجموعه دسته درزه ها	۳ دسته درزه اصلی و ۱ دسته اتفاقی

وضعیت سطح درزه ها	صاف - موجدار
ماده پرکننده درزه ها	رس غیرممتد - کلسیت
مقدار آب درزه ها	مرطوب تا چکه چکه
فاصله بین درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
میانگین جدایش	کمتر از ۵ میلیمتر
طول درزه ها	۰/۲ تا ۱۰ متر
جهت درزه ها	نامطلوب

باتوجه به نتایج بدست آمده، برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم RMR بنیابوسکی ۱۹۸۹ در محدوده ناحیه ۶ ساختاری امتیازهای مربوط به هر پارامتر طبق جدول شماره ۲۳ ارائه می شود.

جدول شماره ۲۳ - امتیازدهی به پارامترهای RMR ناحیه ساختاری شماره ۶

امتیاز	ارزش	ردیف
۷ - ۱۲	۶۰ تا ۱۲۰ مگاپاسکال	مقاومت فشاری تک محوری
۲۰	۹۰ تا ۱۰۰	مقدار RQD
۱۵	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله بندی درزه ها
۰	کمتر از ۵ میلیمتر	شرایط ناپیوستگی
۷	مرطوب	وضعیت آب
-۱۰	نامطلوب	جهت درزه ها
۴۹ - ۵۴	کلاس ۳ (سنگ متوسط)	جمع امتیاز توده سنگ

$C = 245 - 270 \text{ Kpa}$	چسبندگی توده سنگ بر اساس RMR
$\phi = 30 - 32$	زاویه اصطکاک توده سنگ بر اساس RMR

برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم Q در این ناحیه ساختاری طبق جدول شماره ۲۴ امتیازهای زیر بدست آمد :

جدول شماره ۲۴- طبقه بندی ژئومکانیکی بر اساس رده بندی Q

RQD = ۹۰-۱۰۰	سنگ عالی	اندیس کیفی سنگ
Jn = ۱۲	۳دسته درزه اصلی و ۱دسته اتفاقی	تعداد دسته درزه ها
Jr = ۲	صاف مواج	وضعیت سطوح درزه ها
Ja = ۳	زون ها یا نوار رس ماسه ای	ماده پرکننده درزه ها
Jw = ۰/۸	جریان زیاد یا فشار بالای آب	مقدار آب بین درزه ها
SRF = ۱	نواحی رسی ضعیف در عمق بیش از ۵۰ متر	ضریب کاهش تنش
Q = ۴ - ۴/۴۴		سنگ ضعیف

۷-۱- ناحیه ساختاری شماره ۷

در داخل طبقات سنگ آهک خاکستری این ناحیه ۶ دسته درزه بشرح زیر شناسائی شدند:

جدول شماره ۲۵- مشخصات درزه های ناحیه ساختاری شماره ۷

دسته درزه S۴۹		دسته درزه S۴۶	
N۲۷۵/۸۵NE	میانگین جهات درزه	N۳۱۰/۸۵SW	میانگین جهات درزه
مسطح - نرم	وضعیت سطح درزه ها	مواج - نرم	وضعیت سطح درزه ها
رس ماسه ای غیرممتد	ماده پرکننده	کلسیت غیرممتد	ماده پرکننده
مرطوب	وضعیت آب	خشک	وضعیت آب
۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
۲/۵ تا ۵ میلیمتر	جدایش	کمتر از ۰/۱ میلیمتر	جدایش

طول درزه ها	طول درزه ها	طول درزه ها	طول درزه ها
طول درزه ها	طول درزه ها	طول درزه ها	طول درزه ها
دسته درزه S50		دسته درزه S47	
میانگین جهات درزه	میانگین جهات درزه	میانگین جهات درزه	میانگین جهات درزه
وضعیت سطح درزه ها	وضعیت سطح درزه ها	وضعیت سطح درزه ها	وضعیت سطح درزه ها
ماده پرکننده	ماده پرکننده	ماده پرکننده	ماده پرکننده
وضعیت آب	وضعیت آب	وضعیت آب	وضعیت آب
فاصله درزه ها	فاصله درزه ها	فاصله درزه ها	فاصله درزه ها
جدایش	جدایش	جدایش	جدایش
طول درزه ها	طول درزه ها	طول درزه ها	طول درزه ها
دسته درزه S51		دسته درزه S48	
میانگین جهات درزه	میانگین جهات درزه	میانگین جهات درزه	میانگین جهات درزه
وضعیت سطح درزه ها	وضعیت سطح درزه ها	وضعیت سطح درزه ها	وضعیت سطح درزه ها
ماده پرکننده	ماده پرکننده	ماده پرکننده	ماده پرکننده
وضعیت آب	وضعیت آب	وضعیت آب	وضعیت آب
فاصله درزه ها	فاصله درزه ها	فاصله درزه ها	فاصله درزه ها
جدایش	جدایش	جدایش	جدایش
طول درزه ها	طول درزه ها	طول درزه ها	طول درزه ها

نتیجه گیری : در محدوده کیلومتر ۵+۵۷۲ تا کیلومتر ۵+۷۵۲ دسته درزه شناسائی شده است که ۳ دسته درزه شامل

S51, S49, S46 اصلی ها هستند. میانگین پارامترهای ژئومکانیکی بشرح جدول شماره ۲۶ است:

جدول شماره ۲۶- میانگین پارامترهای ژئومکانیکی ناحیه ساختاری شماره ۷

اندیس کیفی توده سنگ	۹۰٪ تا ۱۰۰٪
مجموعه دسته درزه ها	۳ دسته درزه اصلی
وضعیت سطح درزه ها	نرم - موجدار
ماده پرکننده درزه ها	رس غیرممتد - کلسیت

مقدار آب درزه ها	مرطوب تا چکه چکه
فاصله بین درزه ها	کمتر از ۲ متر
میانگین جدایش	۰/۱ تا ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۱ تا ۲۰ متر
جهت درزه ها	نسبتا خوب

باتوجه به نتایج بدست آمده، برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم RMR بنیادسکی ۱۹۸۹ در محدوده ناحیه ۷ ساختاری امتیازهای مربوط به هر پارامتر طبق جدول شماره ۲۷ ارائه می شود.

جدول شماره ۲۷- امتیازدهی به پارامترهای RMR ناحیه ساختاری شماره ۷

امتیاز	ارزش	ردیف
۱۲	۱۰۰ تا ۱۵۰ مگاپاسکال	مقاومت فشاری تک محوری
۲۰	۹۰ تا ۱۰۰	مقدار RQD
۲۰	بیشتر از ۲ متر	فاصله بندی درزه ها
۱۵	۱ تا ۵ میلیمتر	شرایط ناپیوستگی
۴-۷	مرطوب تا چکه چکه	وضعیت آب
-۲ - ۵-	نسبتا خوب - مطلوب	جهت درزه ها
۷۱ - ۷۷	کلاس ۲ (سنگ خوب)	جمع امتیاز توده سنگ

$C = 355 - 385 \text{ Kpa}$	چسبندگی توده سنگ بر اساس RMR
$\phi = 40 - 44$	زاویه اصطکاک توده سنگ بر اساس RMR

برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم Q در این ناحیه ساختاری طبق جدول شماره ۲۸ امتیازهای زیر

بدست آمد :

جدول شماره ۲۸- طبقه بندی ژئومکانیکی بر اساس رده بندی Q

RQD = ۹۰-۱۰۰	سنگ عالی	اندیس کیفی سنگ
Jn = ۹	۳دسته درزه اصلی	تعداد دسته درزه ها
Jr = ۲	نرم مواج	وضعیت سطوح درزه ها
Ja = ۱-۲	زون ها یا نوار رس ماسه ای	ماده پرکننده درزه ها
Jw = ۰/۸	جریان یا فشار متوسط آب	مقدار آب بین درزه ها
SRF = ۱	تنش متوسط	ضریب کاهش تنش
Q = ۱۰/۶۶ - ۱۱/۵۵		سنگ ضعیف

۸-۱- ناحیه ساختاری شماره ۸

در داخل طبقات سنگ آهک خاکستری این ناحیه ۱۱ دسته درزه بشرح زیر شناسائی شدند:

جدول شماره ۲۹- مشخصات درزه های ناحیه ساختاری شماره ۸

دسته درزه S۵۸		دسته درزه S۵۲	
N۳۵۰/۸۵NE	میانگین جهات درزه	N۳۳۰/۸۵SW	میانگین جهات درزه
مسطح - زبر	وضعیت سطح درزه ها	مواج - نرم	وضعیت سطح درزه ها
رس ماسه ای غیرممتد	ماده پرکننده	کلسیت غیرممتد	ماده پرکننده
نم	وضعیت آب	خشک	وضعیت آب
۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
۲/۵ تا ۱۰ میلیمتر	جدایش	ندارد	جدایش
۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها	کمتر از ۱ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۵۹		دسته درزه S۵۳	
N۳۰/۶۰SE	میانگین جهات درزه	N۲۵/۸۰NW	میانگین جهات درزه

وضعیت سطح درزه ها	مسطح - نرم	وضعیت سطح درزه ها	مواج - زبر
ماده پرکننده	رس غیرممتد	ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد
وضعیت آب	مرطوب	وضعیت آب	خشک
فاصله درزه ها	۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	۰/۵ تا ۲/۵ میلیمتر
طول درزه ها	بیشتر از ۲۰ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر
دسته درزه S۵۴		دسته درزه S۶۰	
میانگین جهات درزه	N۷۰/۷۵NW	میانگین جهات درزه	N۶۵/۸۰SE
وضعیت سطح درزه ها	مسطح - نرم	وضعیت سطح درزه ها	مواج - زبر
ماده پرکننده	رس - کلسیت غیرممتد	ماده پرکننده	رس غیرممتد
وضعیت آب	خشک	وضعیت آب	خشک
فاصله درزه ها	۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	ندارد	جدایش	۰/۵ تا ۲/۵ میلیمتر
طول درزه ها	کمتر از ۱ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر
دسته درزه S۵۵		دسته درزه S۶۱	
میانگین جهات درزه	N۹۰/۸۵N	میانگین جهات درزه	N۸۰/۴۵SE
وضعیت سطح درزه ها	مسطح زبر	وضعیت سطح درزه ها	پله ای - زبر
ماده پرکننده	رس ماسه ای	ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد
وضعیت آب	خشک	وضعیت آب	نم
فاصله درزه ها	۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	۱/۵ تا ۱/۵ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	۱۰ تا ۲۰ متر
دسته درزه S۵۶		دسته درزه S۶۲	
میانگین جهات درزه	N۳۲۵/۷۵NE	میانگین جهات درزه	N۹۰/۹۰S
وضعیت سطح درزه ها	مواج - زبر	وضعیت سطح درزه ها	مواج - زبر

ماده پرکننده	کلسیت غیرممتد	ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد
وضعیت آب	مرطوب	وضعیت آب	نم
فاصله درزه ها	بیشتر از ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	۲/۵ تا ۱۰ میلیمتر	جدایش	۲/۵ تا ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۱۰ تا ۲۰ متر	طول درزه ها	۱۰ تا ۲۰ متر
دسته درزه S۵۷			
میانگین جهات درزه	N۳۴۵/۴۰NE	میانگین جهات درزه	
وضعیت سطح درزه ها	مسطح با خش لغزه	وضعیت سطح درزه ها	
ماده پرکننده	رس غیرممتد	ماده پرکننده	
وضعیت آب	مرطوب	وضعیت آب	
فاصله درزه ها	۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها	
جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	
طول درزه ها	بیشتر از ۲۰ متر	طول درزه ها	

نتیجه گیری : در محدوده کیلومتر ۷۵۲+۵ تا کیلومتر ۸۹۴+۵ دسته درزه شناسائی شده است که ۵ دسته درزه شامل S۶۲, S۶۱, S۵۷, S۵۶, S۵۳ اصلی ها هستند. میانگین پارامترهای ژئومکانیکی بشرح جدول شماره ۳۰ است:

جدول شماره ۳۰- میانگین پارامترهای ژئومکانیکی ناحیه ساختاری شماره ۸

اندیس کیفی توده سنگ	۷۵٪ تا ۹۰٪
مجموعه دسته درزه ها	دسته درزه اصلی
وضعیت سطح درزه ها	نرم - موجدار
ماده پرکننده درزه ها	رس ماسه ای غیرممتد
مقدار آب درزه ها	نم
فاصله بین درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر

میانگین جدایش	کمتر از ۰/۱ میلیمتر
طول درزه ها	بیشتر از ۲۰ متر
جهت درزه ها	نسبتا خوب

باتوجه به نتایج بدست آمده، برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم RMR بنیادوسی ۱۹۸۹ در محدوده ناحیه ۸ ساختاری امتیازهای مربوط به هر پارامتر طبق جدول شماره ۳۱ ارائه می شود.

جدول شماره ۳۱- امتیازدهی به پارامترهای RMR ناحیه ساختاری شماره ۸

امتیاز	ارزش	ردیف
۱۲	۱۰۰ تا ۱۲۰ مگاپاسکال	مقاومت فشاری تک محوری
۱۷	۷۵ تا ۹۰	مقدار RQD
۱۵	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله بندی درزه ها
۲۰	کمتر از ۱ میلیمتر	شرایط ناپیوستگی
۱۵ - ۱۰	نم تا خشک	وضعیت آب
-۵	نسبتا خوب	جهت درزه ها
۶۹ - ۷۴	کلاس ۲ (سنگ خوب)	جمع امتیاز توده سنگ

$C = 345 - 370 \text{ Kpa}$	چسبندگی توده سنگ بر اساس RMR
$\phi = 39 - 42$	زاویه اصطکاک توده سنگ بر اساس RMR

برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم Q در این ناحیه ساختاری طبق جدول شماره ۳۲ امتیازهای زیر بدست آمد :

جدول شماره ۳۲- طبقه بندی ژئومکانیکی بر اساس رده بندی Q

$RQD = 75-90$	سنگ خوب	اندیس کیفی سنگ
$J_n = 15$	دسته درزه اصلی	تعداد دسته درزه ها
$J_r = 2$	صاف مواج	وضعیت سطوح درزه ها
$J_a = 1/5$	زون ها یا نوار رس ماسه ای تا دیواره های هوازده نشده	ماده پرکننده درزه ها
$J_w = 0/9$	خشک تا جریان	مقدار آب بین درزه ها
$SRF = 1/75$	میانگین تنش متوسط تا کم	ضریب کاهش تنش
$Q = 3/43 - 4/11$		سنگ ضعیف تا مناسب

۹-۱- ناحیه ساختاری شماره ۹

در داخل طبقات سنگ آهک خاکستری این ناحیه ۱۲ دسته درزه بشرح زیر (جدول شماره ۳۳) شناسائی شدند:

جدول شماره ۳۳- مشخصات درزه های ناحیه ساختاری شماره ۹

دسته درزه S۶۹		دسته درزه S۶۳	
N۲۹۵/۸۰NE	میانگین جهات درزه	N۲۹۵/۸۰SW	میانگین جهات درزه
مسطح - زبر	وضعیت سطح درزه ها	مسطح - نرم	وضعیت سطح درزه ها
کلسیت غیرممتد	ماده پرکننده	کلسیت غیرممتد	ماده پرکننده
خشک	وضعیت آب	خشک	وضعیت آب
۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها	۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها
۰/۵ تا ۲/۵ میلیمتر	جدایش	۰/۵ تا ۲/۵ میلیمتر	جدایش
۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	۱ تا ۳ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۷۰		دسته درزه S۶۴	
N۳۳۰/۷۵NE	میانگین جهات درزه	N۳۳۵/۷۰SW	میانگین جهات درزه
مواج - صاف	وضعیت سطح درزه ها	مواج - زبر	وضعیت سطح درزه ها

ماده پرکننده	رس غیرممتد	ماده پرکننده	رس غیرممتد
وضعیت آب	نم	وضعیت آب	مرطوب
فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	۰/۵ تا ۲/۵ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر
دسته درزه S۶۵		دسته درزه S۷۱	
میانگین جهات درزه	N۱۵/۸۰NW	میانگین جهات درزه	N۵/۸۰SE
وضعیت سطح درزه ها	پله ای - نرم	وضعیت سطح درزه ها	پله ای - نرم
ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد	ماده پرکننده	رس غیرممتد
وضعیت آب	خشک	وضعیت آب	مرطوب
فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	۰/۵ تا ۲/۵ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	۱ تا ۳ متر
دسته درزه S۶۶		دسته درزه S۷۲	
میانگین جهات درزه	N۳۵/۷۰NW	میانگین جهات درزه	N۱۰/۴۵SE
وضعیت سطح درزه ها	مواج - زبر	وضعیت سطح درزه ها	مسطح - نرم
ماده پرکننده	رس غیرممتد	ماده پرکننده	کلسیت غیرممتد
وضعیت آب	خشک	وضعیت آب	خشک
فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۲ تا ۰/۶ متر
جدایش	۰/۵ تا ۲/۵ میلیمتر	جدایش	۰/۵ تا ۲/۵ میلیمتر
طول درزه ها	۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	۱ تا ۳ متر
دسته درزه S۶۷		دسته درزه S۷۳	
میانگین جهات درزه	N۳۵/۴۵NW	میانگین جهات درزه	N۵۰/۷۰SE
وضعیت سطح درزه ها	مواج - زبر	وضعیت سطح درزه ها	مواج - زبر
ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد	ماده پرکننده	رس غیرممتد

وضعیت آب	خشک	وضعیت آب	نم تا مرطوب
فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	۲/۵ تا ۱۰ میلیمتر	جدایش	۰/۱ تا ۵/۵ میلیمتر
طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر
دسته درزه S۶۸		دسته درزه S۷۴	
میانگین جهات درزه	N۲۸۰/۷۵NE	میانگین جهات درزه	N۷۵/۴SE
وضعیت سطح درزه ها	مواج - صاف	وضعیت سطح درزه ها	مواج - زبر
ماده پرکننده	رس غیرممتد	ماده پرکننده	کلسیت ممتد
وضعیت آب	خشک	وضعیت آب	خشک
فاصله درزه ها	۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	۲/۵ تا ۱۰ میلیمتر	جدایش	۰/۵ تا ۲/۵ میلیمتر
طول درزه ها	۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	۱ تا ۳ متر

نتیجه گیری : در محدوده کیلومتر ۵+۸۹۴ تا کیلومتر ۶+۰۰۰ ، ۱۲ دسته درزه شناسائی شده است که ۳ دسته درزه شامل S۶۷, S۷۰, S۷۱ اصلی ها و S۶۸ فرعی هستند. میانگین پارامترهای ژئومکانیکی بشرح جدول شماره ۳۴ است:

جدول شماره ۳۴- میانگین پارامترهای ژئومکانیکی ناحیه ساختاری شماره ۹

اندیس کیفی توده سنگ	۸۰٪ تا ۹۵٪
مجموعه دسته درزه ها	۳ دسته درزه اصلی و ۱ دسته فرعی
وضعیت سطح درزه ها	صاف موجدار
ماده پرکننده درزه ها	رس ماسه ای غیرممتد و کلسیت
مقدار آب درزه ها	نم تا مرطوب
فاصله بین درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
میانگین جدایش	۰/۱ میلیمتر

طول درزه ها	۱ تا ۱۰ متر
جهت درزه ها	نامطلوب

باتوجه به نتایج بدست آمده، برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم RMR بنیادوسکی ۱۹۸۹ در محدوده ناحیه ۹ ساختاری امتیازهای مربوط به هر پارامتر طبق جدول شماره ۳۵ ارائه می شود.

جدول شماره ۳۵- امتیازدهی به پارامترهای RMR ناحیه ساختاری شماره ۹

امتیاز	ارزش	ردیف
۱۲	۱۰۰ تا ۱۵۰ مگاپاسکال	مقاومت فشاری تک محوری
۱۷ - ۲۰	۸۰ تا ۹۵	مقدار RQD
۱۵	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله بندی درزه ها
۱۰ - ۲۰	کمتر از ۱ میلیمتر	شرایط ناپیوستگی
۱۰ - ۱۵	نم تا خشک	وضعیت آب
-۱۰	نامطلوب	جهت درزه ها
۵۴ - ۷۲	کلاس ۳-۲ (سنگ متوسط تا خوب)	جمع امتیاز توده سنگ

$C = ۲۷۰ - ۳۶۰ \text{ Kpa}$	چسبندگی توده سنگ بر اساس RMR
$\varphi = ۳۲ - ۴۱$	زاویه اصطکاک توده سنگ بر اساس RMR

برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم Q در این ناحیه ساختاری طبق جدول شماره ۳۶ امتیازهای زیر بدست آمد :

جدول شماره ۳۶- طبقه بندی ژئومکانیکی بر اساس رده بندی Q

$RQD = ۸۰-۹۵$	سنگ خوب	اندیس کیفی سنگ
$Jn = ۱۲$	۳ دسته درزه اصلی و ۱ دسته تصادفی	تعداد دسته درزه ها
$Jr = ۲/۵$	صاف مواج	وضعیت سطوح درزه ها
$Ja = ۲$	زون ها یا نوار رس ماسه ای تا دیواره های هوازده نشده	ماده پرکننده درزه ها
$Jw = ۰/۹$	جریان متوسط	مقدار آب بین درزه ها
$SRF = ۱/۷۵$	تنش متوسط	ضریب کاهش تنش
$Q = ۷/۵ - ۸/۹$		سنگ مناسب

۱۰-۱- ناحیه ساختاری شماره ۱۰

در داخل طبقات سنگ آهک خاکستری این ناحیه ۱۲ دسته درزه بشرح زیر (جدول شماره ۳۷) شناسائی شدند:

جدول شماره ۳۷- مشخصات درزه های ناحیه ساختاری شماره ۱۰

دسته درزه S۸۱		دسته درزه S۷۵	
N۳۳۰/۷۵NE	میانگین جهات درزه	N۲۷۵	میانگین جهات درزه
مسطح - نرم	وضعیت سطح درزه ها	مسطح - نرم	وضعیت سطح درزه ها
کلسیت ممتد	ماده پرکننده	کلسیت غیرممتد	ماده پرکننده
خشک	وضعیت آب	خشک	وضعیت آب
۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
ندارد	جدایش	۲/۵ تا ۵ میلیمتر	جدایش
۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۸۲		دسته درزه S۷۶	
N۳۵۰/۴۵NE	میانگین جهات درزه	N۲۹۵/۸۰SW	میانگین جهات درزه
مسطح - زبر	وضعیت سطح درزه ها	مواج - نرم	وضعیت سطح درزه ها

ماده پرکننده	رس غیرممتد	ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد
وضعیت آب	نم	وضعیت آب	نم
فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	۲/۵ تا ۱۰ میلیمتر	جدایش	۰/۵ تا ۲/۵ میلیمتر
طول درزه ها	۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	۱ تا ۳ متر
دسته درزه S۸۳		دسته درزه S۷۷	
میانگین جهات درزه	N۳۵۰/۸۰NE	میانگین جهات درزه	N۳۲۰/۴۵SW
وضعیت سطح درزه ها	مواج - نرم	وضعیت سطح درزه ها	مسطح - زبر
ماده پرکننده	کلسیت غیرممتد	ماده پرکننده	رس غیرممتد
وضعیت آب	خشک	وضعیت آب	نم
فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	۰/۱ تا ۵ میلیمتر	جدایش	۲/۵ تا ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر
دسته درزه S۸۴		دسته درزه S۷۸	
میانگین جهات درزه	N۲۵/۴۵SE	میانگین جهات درزه	N۴۲/۷۰NW
وضعیت سطح درزه ها	مواج - زبر	وضعیت سطح درزه ها	مسطح نرم
ماده پرکننده	کلسیت غیرممتد	ماده پرکننده	کلسیت غیرممتد
وضعیت آب	خشک	وضعیت آب	خشک
فاصله درزه ها	۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها	۰/۲ تا ۰/۶ متر
جدایش	کمتر از ۰/۱ میلیمتر	جدایش	۰/۵ تا ۲/۵ میلیمتر
طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر
دسته درزه S۸۵		دسته درزه S۷۹	
میانگین جهات درزه	N۳۵/۸۰SE	میانگین جهات درزه	N۳۰۰/۷۰NE
وضعیت سطح درزه ها	مسطح - نرم	وضعیت سطح درزه ها	مسطح - نرم
ماده پرکننده	رس غیرممتد	ماده پرکننده	رس غیرممتد

وضعیت آب	خشک	وضعیت آب	مرطوب
فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر	جدایش	۲/۵ تا ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر
دسته درزه S۸۰		دسته درزه S۸۶	
میانگین جهات درزه	N۳۰,۰/۴۰NE	میانگین جهات درزه	N۷۵/۸۵SE
وضعیت سطح درزه ها	مواج - زیر	وضعیت سطح درزه ها	مسطح - نرم
ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد	ماده پرکننده	کلسیت ممتد
وضعیت آب	نم	وضعیت آب	خشک
فاصله درزه ها	بیشتر از ۲ متر	فاصله درزه ها	۲/۶ تا ۲/۶ متر
جدایش	۵/۵ تا ۲/۵ میلیمتر	جدایش	ندارد
طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها	۱ تا ۳ متر

نتیجه گیری : در محدوده کیلومتر ۶۰۰+۰۰۰ تا کیلومتر ۶+۱۳۶، ۱۲ دسته درزه شناسائی شده است که ۳ دسته درزه شامل S۸۵, S۷۷, S۷۶ اصلی ها و S۸۰ به عنوان یک دسته درزه تصادفی هستند. میانگین پارامترهای ژئومکانیکی بشرح جدول شماره ۳۸ است:

جدول شماره ۳۸- میانگین پارامترهای ژئومکانیکی ناحیه ساختاری شماره ۱۰

اندیس کیفی توده سنگ	۸۰٪ تا ۹۱٪
مجموعه دسته درزه ها	۳ دسته درزه اصلی
وضعیت سطح درزه ها	صاف موجدار
ماده پرکننده درزه ها	رس ماسه ای غیرممتد و کلسیت

مقدار آب درزه ها	نم تا مرطوب
فاصله بین درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
میانگین جدایش	کمتر از ۰/۱ تا ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر
جهت درزه ها	نسبتا خوب

باتوجه به نتایج بدست آمده، برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم RMR بنیادسکی ۱۹۸۹ در محدوده ناحیه ۱۰ ساختاری امتیازهای مربوط به هر پارامتر طبق جدول شماره ۱۹ ارائه می شود.

جدول شماره ۳۹- امتیازدهی به پارامترهای RMR ناحیه ساختاری شماره ۱۰

ردیف	ارزش	امتیاز
مقاومت فشاری تک محوری	۷۰ تا ۱۲۰ مگاپاسکال	۷ - ۱۲
مقدار RQD	۸۰ تا ۹۱	۱۷ - ۲۰
فاصله بندی درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	۱۵
شرایط ناپیوستگی	کمتر از ۱ میلیمتر	۲۰
وضعیت آب	نم	۱۵ - ۱۰
جهت درزه ها	نامطلوب	-۱۰
جمع امتیاز توده سنگ	کلاس ۲ و ۳ (سنگ متوسط و خوب)	۵۹ - ۶۷

$C = 290 - 225 \text{ Kpa}$	چسبندگی توده سنگ بر اساس RMR
$\phi = 34 - 38$	زاویه اصطکاک توده سنگ بر اساس RMR

برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم Q در این ناحیه ساختاری طبق جدول شماره ۴۰ امتیازهای

زیر بدست آمد :

جدول شماره ۴۰- طبقه بندی ژئومکانیکی بر اساس رده بندی Q

$RQD = ۸۰-۹۱$	سنگ خوب	اندیس کیفی سنگ
$J_n = ۹$	۳ دسته درزه اصلی	تعداد دسته درزه ها
$J_r = ۲$	صاف موج	وضعیت سطوح درزه ها
$J_a = ۱/۵$	اندکی هوازده اندودی از ذرات ماسه ای	ماده پرکننده درزه ها
$J_w = ۰/۶۶$	جریان متوسط	مقدار آب بین درزه ها
$SRF = ۲/۵$	نواحی برشی منفرد در سنگ محکم عمق بیش از ۵۰ متر	ضریب کاهش تنش
$Q = ۳/۱۳ - ۲/۵۲$		سنگ ضعیف

۱۱-۱- ناحیه ساختاری شماره ۱۱

در داخل طبقات سنگ آهک خاکستری این ناحیه ۱۱ دسته درزه بشرح زیر(جدول شماره ۴۱) شناسائی شدند:

جدول شماره ۴۱- مشخصات درزه های ناحیه ساختاری شماره ۱۱

دسته درزه S۹۳		دسته درزه S۸۷	
N۳۳۵/۸۵NE	میانگین جهات درزه	N۲۸۵/۶۵SE	میانگین جهات درزه
مسطح - زبر	وضعیت سطح درزه ها	مسطح - نرم	وضعیت سطح درزه ها
رس ماسه ای غیرممتد	ماده پرکننده	تمیز	ماده پرکننده
مرطوب	وضعیت آب	خشک	وضعیت آب
بیشتر از ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها
بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	ندارد	جدایش
۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها	بیشتر از ۲۰ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۹۴		دسته درزه S۸۸	

N۱۵/۶۰SE	میانگین جهات درزه	N۳۵۰/۷۰SW	میانگین جهات درزه
مواج - زبر	وضعیت سطح درزه ها	پله ای - زبر	وضعیت سطح درزه ها
رس ممتد	ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد	ماده پرکننده
خشک	وضعیت آب	خشک	وضعیت آب
۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش
۱ تا ۳ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۹۵		دسته درزه S۸۹	
N۲۵/۸۰SE	میانگین جهات درزه	N۴۰/۵۰NW	میانگین جهات درزه
مواج - نرم	وضعیت سطح درزه ها	مسطح - زبر	وضعیت سطح درزه ها
رس ماسه ای ممتد	ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد	ماده پرکننده
مرطوب	وضعیت آب	مرطوب	وضعیت آب
۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش
۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها	بیشتر از ۲۰ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۹۶		دسته درزه S۹۰	
N۴۵/۸۵SE	میانگین جهات درزه	N۲۷۵/۷۵NE	میانگین جهات درزه
پله ای - زبر	وضعیت سطح درزه ها	مواج - زبر	وضعیت سطح درزه ها
رس و کلسیت غیرممتد	ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد	ماده پرکننده
مرطوب	وضعیت آب	مرطوب	وضعیت آب
بیشتر از ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	۲/۵ تا ۱۰ میلیمتر	جدایش
۱۰ تا ۲۰ متر	طول درزه ها	۱۰ تا ۲۰ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۹۷		دسته درزه S۹۱	
N۸۰/۸۰SE	میانگین جهات درزه	N۳۰۵/۷۰NE	میانگین جهات درزه

وضعیت سطح درزه ها	مسطح - زبر	وضعیت سطح درزه ها	مسطح - زبر
ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد	ماده پرکننده	کلسیت غیرممتد
وضعیت آب	خشک	وضعیت آب	خشک
فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر	جدایش	۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر
طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر
دسته درزه S۹۲			
میانگین جهات درزه	N۳۱۵/۴۰NE	میانگین جهات درزه	N۳۱۵/۴۰NE
وضعیت سطح درزه ها	مواج - زبر	وضعیت سطح درزه ها	مواج - زبر
ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد	ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد
وضعیت آب	نم	وضعیت آب	نم
فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر

نتیجه گیری : در محدوده کیلومتر ۶+۱۳۶ تا کیلومتر ۶+۲۱۸ ، ۱۱ دسته درزه شناسائی شده است که ۸ دسته درزه شامل S۸۸, S۸۹, S۹۰, S۹۲, S۹۳, S۹۴, S۹۵, S۹۶ اصلی ها هستند. میانگین پارامترهای ژئومکانیکی بشرح جدول شماره ۴۲ است:

جدول شماره ۴۲- میانگین پارامترهای ژئومکانیکی ناحیه ساختاری شماره ۱۱

اندیس کیفی توده سنگ	۷۵٪ تا ۸۰٪
مجموعه دسته درزه ها	۸ دسته درزه اصلی
وضعیت سطح درزه ها	صاف - موجدار
ماده پرکننده درزه ها	رس ماسه ای غیرممتد

مقدار آب درزه ها	چکه چکه تا جریان
فاصله بین درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
میانگین جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	بیشتر از ۲۰ متر
جهت درزه ها	نسبتا خوب

باتوجه به نتایج بدست آمده، برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم RMR بنیادوسکی ۱۹۸۹ در محدوده ناحیه ۱۱ ساختاری امتیازهای مربوط به هر پارامتر طبق جدول شماره ۴۳ ارائه می شود.

جدول شماره ۴۳- امتیازدهی به پارامترهای RMR ناحیه ساختاری شماره ۱۱

امتیاز	ارزش	ردیف
۷ - ۱۲	۶۰ تا ۱۱۰ مگاپاسکال	مقاومت فشاری تک محوری
۱۷	۷۵ تا ۸۰	مقدار RQD
۱۵	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله بندی درزه ها
۰	بیشتر از ۵ میلیمتر	شرایط ناپیوستگی
۰ - ۴	چکه چکه تا جریان	وضعیت آب
-۵	نسبتا خوب	جهت درزه ها
۳۴ - ۴۳	کلاس ۴ (سنگ ضعیف)	جمع امتیاز توده سنگ

$C = 170 - 215 \text{ Kpa}$	چسبندگی توده سنگ بر اساس RMR
$\phi = 22 - 27$	زاویه اصطکاک توده سنگ بر اساس RMR

برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم Q در این ناحیه ساختاری طبق جدول شماره ۴۴ امتیازهای

زیر بدست آمد :

جدول شماره ۴۴- طبقه بندی ژئومکانیکی بر اساس رده بندی Q

RQD = ۷۵-۸۰	سنگ خوب	اندیس کیفی سنگ
Jn = ۱۵	۳ دسته درزه اصلی	تعداد دسته درزه ها
Jr = ۲	صاف موج	وضعیت سطوح درزه ها
Ja = ۳	اندکی هوازده اندودی از ذرات رس ماسه ای	ماده پرکننده درزه ها
Jw = ۰/۵	جریان متوسط	مقدار آب بین درزه ها
SRF = ۱۰	نواحی برشی منفرد در سنگ محکم عمق بیش از ۵۰ متر	ضریب کاهش تنش
Q = ۰/۱۶۶ - ۰/۱۸		سنگ ضعیف تا مناسب

۱۲-۱- ناحیه ساختاری شماره ۱۲

در داخل طبقات سنگی این ناحیه ۹ دسته درزه بشرح زیر (جدول شماره ۴۵) شناسائی شدند:

جدول شماره ۴۵- مشخصات درزه های ناحیه ساختاری شماره ۱۲

دسته درزه S۱۰۴		دسته درزه S۹۹	
N۳۳۰/۷۰NE	میانگین جهات درزه	N۳۲۵/۷۵SW	میانگین جهات درزه
مسطح - نرم	وضعیت سطح درزه ها	مسطح - نرم	وضعیت سطح درزه ها
رس غیرممتد	ماده پرکننده	کلسیت رس غیرممتد	ماده پرکننده
نم تا مرطوب	وضعیت آب	نم تا مرطوب	وضعیت آب
۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش
۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۱۰۵		دسته درزه S۱۰۰	

N۱۵/۸۵SE	میانگین جهات درزه	N۴۰/۷۵NW	میانگین جهات درزه
مواج - زبر	وضعیت سطح درزه ها	مواج - نرم	وضعیت سطح درزه ها
رس غیرممتد	ماده پرکننده	رس ماسه ای غیرممتد	ماده پرکننده
خشک	وضعیت آب	نم تا مرطوب	وضعیت آب
۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش
۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۱۰۶		دسته درزه S۱۰۱	
N۲۵/۲۵SE	میانگین جهات درزه	N۶۰/۸۵NW	میانگین جهات درزه
مواج - نرم	وضعیت سطح درزه ها	مواج - زبر	وضعیت سطح درزه ها
کلسیت ممتد	ماده پرکننده	رس غیرممتد	ماده پرکننده
خشک	وضعیت آب	نم تا مرطوب	وضعیت آب
بیشتر از ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش
۱۰ تا ۲۰ متر	طول درزه ها	بیشتر از ۲۰ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۱۰۷		دسته درزه S۱۰۲	
N۵۵/۷۵SE	میانگین جهات درزه	N۸۵/۸۰NW	میانگین جهات درزه
مسطح - زبر	وضعیت سطح درزه ها	مواج - زبر	وضعیت سطح درزه ها
رس غیرممتد	ماده پرکننده	رس غیرممتد	ماده پرکننده
خشک	وضعیت آب	نم تا مرطوب	وضعیت آب
بیشتر از ۲ متر	فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله درزه ها
بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر	جدایش
بیشتر از ۲۰ متر	طول درزه ها	بیشتر از ۲۰ متر	طول درزه ها
دسته درزه S۱۰۳			
		N۲۹۰/۵۰NE	میانگین جهات درزه

وضعیت سطح درزه ها	مواج - زیر
ماده پرکننده	رس غیرممتد
وضعیت آب	نم تا مرطوب
فاصله درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
جدایش	۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر
طول درزه ها	۳ تا ۱۰ متر

نتیجه گیری : در محدوده کیلومتر ۶+۲۱۸ تا کیلومتر ۶+۳۶۶ ، ۹ دسته درزه شناسائی شده است که همگی اصلی هستند. میانگین پارامترهای ژئومکانیکی بشرح جدول شماره ۴۶ است:

جدول شماره ۴۶- میانگین پارامترهای ژئومکانیکی ناحیه ساختاری شماره ۱۲

اندیس کیفی توده سنگ	۷۵٪ تا ۹۰٪
مجموعه دسته درزه ها	۹ دسته درزه اصلی
وضعیت سطح درزه ها	زیر - موجدار
ماده پرکننده درزه ها	رس ماسه ای - کلسیت
مقدار آب درزه ها	نم تا مرطوب
فاصله بین درزه ها	۰/۶ تا ۲ متر
میانگین جدایش	بیشتر از ۱۰ میلیمتر
طول درزه ها	بیشتر از ۲ متر
جهت درزه ها	نسبتا خوب

باتوجه به نتایج بدست آمده، برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم RMR بنیابوسکی ۱۹۸۹ در محدوده ناحیه ۱۲ ساختاری امتیازهای مربوط به هر پارامتر طبق جدول شماره ۴۷ ارائه می شود.

جدول شماره ۴۷- امتیازدهی به پارامترهای RMR ناحیه ساختاری شماره ۱۲

امتیاز	ارزش	ردیف
۷ - ۱۲	۸۰ تا ۱۲۰ مگاپاسکال	مقاومت فشاری تک محوری
۱۷	۷۵ تا ۹۰	مقدار RQD
۱۵	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله بندی درزه ها
۰	بیشتر از ۵ میلیمتر	شرایط ناپیوستگی
۷ - ۱۰	نم تا مرطوب	وضعیت آب
-۵	نسبتا خوب	جهت درزه ها
۴۱ - ۴۹	کلاس ۳ (سنگ متوسط)	جمع امتیاز توده سنگ

$C = 205 - 245 \text{ Kpa}$	چسبندگی توده سنگ بر اساس RMR
$\phi = 26 - 30$	زاویه اصطکاک توده سنگ بر اساس RMR

برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم Q در این ناحیه ساختاری طبق جدول شماره ۴۸ امتیازهای زیر بدست آمد :

جدول شماره ۴۸- طبقه بندی ژئومکانیکی بر اساس رده بندی Q

$RQD = 75-90$	سنگ خوب	اندیس کیفی سنگ
$J_n = 15$	۹ دسته درزه اصلی	تعداد دسته درزه ها
$J_r = 3$	زبر مواج	وضعیت سطوح درزه ها
$J_a = 3$	اندودی از ذرات رس ماسه ای	ماده پرکننده درزه ها
$J_w = 0/66$	جریان زیاد	مقدار آب بین درزه ها
$SRF = 2/5$	تنش کم	ضریب کاهش تنش
$Q = 1/32 - 1/58$		سنگ ضعیف تا مناسب

۱-۱۳- ناحیه ساختاری شماره ۱۳

در محدوده کیلومتر ۶+۳۶۶ تا کیلومتر ۶+۷۰۰، ناحیه ۱۳ ساختاری است که خود شامل ۲ ناحیه می شود. با توجه به اینکه ناحیه فوق کلاً توسط رسوبات کواترنر پوشیده شده بود با بررسی مشابه که در پای گردنه رخنمون دارند، چنین قضاوت گردید که مشخصات عمومی درزه های حدودی مشابه ناحیه ۱۲ ساختاری می باشد ولی از نظر مقاومت تک محوری و RQD تفاوت هایی می باشد.

۱- زیر ساختاری از کیلومتر ۶+۳۶۶ تا کیلومتر ۶+۴۶۵: برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم RMR بنیادسکی ۱۹۸۹ در این ناحیه امتیازهای مربوط به هر پارامتر طبق جدول شماره ۴۹ ارائه می شود.

جدول شماره ۴۹- امتیازدهی به پارامترهای RMR ناحیه ساختاری شماره ۱۳

امتیاز	ارزش	ردیف
۲	۵ تا ۲۵ مگاپاسکال	مقاومت فشاری تک محوری
۱۷	۳۰ تا ۵۰	مقدار RQD
۱۵	۰/۶ تا ۲ متر	فاصله بندی درزه ها
۱۰	سطوح جانبی صاف با پرشدگی کمتر از ۵ میلیمتر	شرایط ناپیوستگی
۰ - ۴	چکه چکه تا جریان ضعیف	وضعیت آب
-۵	نسبتاً خوب	جهت درزه ها
۳۰ - ۳۴	کلاس ۴ (سنگ ضعیف)	جمع امتیاز توده سنگ

$C = 150 - 170 \text{ Kpa}$	چسبندگی توده سنگ بر اساس RMR
$\phi = 20 - 22$	زاویه اصطکاک توده سنگ بر اساس RMR

برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم Q در این ناحیه ساختاری طبق جدول شماره ۵۰ امتیازهای زیر بدست آمد :

جدول شماره ۵۰- طبقه بندی ژئومکانیکی بر اساس رده بندی Q

RQD = ۳۰-۵۰	سنگ ضعیف	اندیس کیفی سنگ
Jn = ۱۵	۸ دسته درزه اصلی	تعداد دسته درزه ها
Jr = ۳	زبر موج	وضعیت سطوح درزه ها
Ja = ۳	اندودی از ذرات رس ماسه ای	ماده پرکننده درزه ها
Jw = ۰/۳	جریان زیاد	مقدار آب بین درزه ها
SRF = ۷/۵	فشار آماسی ملایم	ضریب کاهش تنش
$Q = ۰/۰۸ - ۰/۱۳$		سنگ ضعیف تا مناسب

که بطور استثنایی بعد از عملیات آتشیاری پدید می آید و با گذشت زمان شدت آن در تونل کاهش می یابد.

۲- زیر ناحیه ساختاری از کیلومتر ۶+۴۶۵ تا کیلومتر ۶+۵۵۸ : برای طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم

RMR بنیادسکی ۱۹۸۹ در این ناحیه امتیازهای مربوط به هر پارامتر طبق جدول شماره ۵۱ ارائه می شود.

جدول شماره ۵۱-

امتیاز	ارزش	ردیف
۲	۵ تا ۲۵ مگاپاسکال	مقاومت فشاری تک محوری
۳ - ۸	۲۲ تا ۴۰	مقدار RQD
۱۰	۰/۲ تا ۰/۶ متر	فاصله بندی درزه ها
۱۰	سطوح جانبی صاف با پرشدگی کمتر از ۵ میلیمتر	شرایط ناپیوستگی
۰ - ۴	چکه چکه تا جریان ضعیف	وضعیت آب

۵-	نسبتا خوب	جهات درزه ها
۲۰ - ۲۹	کلاس ۴ (سنگ ضعیف)	جمع امتیاز توده سنگ

$C = 100 - 150 \text{ Kpa}$	چسبندگی توده سنگ بر اساس RMR
$\phi = 15 - 20$	زاویه اصطکاک توده سنگ بر اساس RMR

طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ براساس سیستم Q در این ناحیه ساختاری طبق جدول شماره ۵۲ امتیازهای زیر بدست آمد :

جدول شماره ۵۲

$RQD = 22-40$	سنگ خوب	اندیس کیفی سنگ
$J_n = 15$	۸ دسته درزه اصلی	تعداد دسته درزه ها
$J_r = 3$	زبر مواج	وضعیت سطوح درزه ها
$J_a = 3$	اندودی از ذرات رس ماسه ای	ماده پرکننده درزه ها
$J_w = 0/3$	جریان زیاد	مقدار آب بین درزه ها
$SRF = 7/5$	فشار آماسی ملایم	ضریب کاهش تنش
$Q = 0/058 - 0/107$		سنگ ضعیف تا مناسب

فصل سوم

محاسبه پارامترهای مهندسی سنگ مسیر تونل رخ

در مرحله امکان پذیری و اولیه طراحی یک پروژه، اطلاعات جامع بسیار کمی در رابطه با خواص ژئوتکنیکی توده های سنگی، مقدار تنش موجود در آن و همچنین مشخصات آب شناختی در دسترس می باشند. از اینرو استفاده از طبقه بندی مهندسی توده های سنگی می تواند بسیار مفید باشد. برای کسب تصویری از ترکیب و مشخصات یک توده سنگی می توان از یک یا چند نوع طبقه بندی بطور همزمان استفاده نمود تا در طی آن ارزیابی های اولیه از ملزومات اولیه سیستم نگهداری و همچنین ارزیابی هایی از خواص مقاومتی و تغییر شکل پذیری توده های سنگی بدست آیند. در هر سیستم طبقه بندی کمی، کمترین امتیاز به ضعیفترین توده سنگ و بیشترین امتیاز به توده سنگ بسیار خوب داده می شود. بنابراین در یک طبقه بندی، هر پارامتر نقش مهمی در تغییر امتیازها بازی می کند.

طرح های مختلف طبقه بندی توده های سنگی از حدود ۱۳۰ سال پیش تاکنون در حال گسترش بوده اند در آن زمان ریتر (۱۸۷۹) کوشید تا رهیافت جهانی را برای طراحی تونل بویژه برای تعیین ملزومات سیستم نگهداری تونلها ارائه نماید. سالها بعد ترزاقی طبقه بندی خود را بر اساس بارسنگ در سال ۱۹۴۶ ارائه نمود. از آن به بعد این طبقه بندی توسط دیر و همکاران در سال ۱۹۷۰ اصلاح گردید و سیستم های طبقه بندی سنگ جدید سنگ پیشنهاد گردیده است. این سیستمها باعث آگاهی و رهنمود های نوینی در تکنولوژی نگهداری سنگ یعنی مهار سنگ و شاتکریت بر اساس پروژه های مختلف مهندسی مانند تونلها، فضاهای بزرگ زیرزمینی معادن، دیواره های شیبدار و شالوده ها گردیدند.

در فصل قبل (فصل دوم) ۱۳ ناحیه ساختاری مسیر تونل رخ با مشخصات مهندسی سنگی و زمین شناسی، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. در این فصل به بررسی خصوصیات مقاومتی سنگهای مسیر تونل که تأثیر بسزایی در تحلیل پایداری و سیستم نگهداری تونل دارند، پرداخته می شود.

۲- محاسبه پارامترها بر اساس روش RMR

بنیادیسکی (۱۹۷۶) برای اولین بار جزئیات طبقه بندی دیگری از توده های سنگی، با نام طبقه بندی ژئومکانیکی یا سیستم امتیاز دهی به توده های سنگی (RMR) را منتشر ساخت. خواص مهندسی توده سنگ را می توان با استفاده از این سیستم تعیین کرد.

۲-۱- چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ

از مقدار RMR برای تخمین چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ مطابق جدول (۳-۱) استفاده می شود. معمولاً پارامترهای مقاومتی در بخش مقاومت حداکثری و پسماند متفاوت می باشند. جدول (۳-۲) مربوط به مقادیر مقاومت حداکثری توده سنگ می باشد. دیده شده است که این مقادیر فقط برای شیروانیهای موجود در توده سنگهای اشباع و هوازده قابل کاربرد می باشد. در مورد تونلها به دلیل وجود درزه های نسبتاً بسته، چسبندگی کمی بیشتر می باشد.

جدول ۳-۱ تعیین کلاس و پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ توسط سیستم RMR.

امتیاز RMR	۸۱ - ۱۰۰	۶۱ - ۸۰	۴۱ - ۶۰	۲۱ - ۴۰	< ۲۱
کلاس سنگ	خیلی خوب	خوب	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف
شماره سنگ	I	II	III	IV	V
چسبندگی توده سنگ (KPa)	۴۰۰ <	۳۰۰ - ۴۰۰	۲۰۰ - ۳۰۰	۱۰۰ - ۲۰۰	< ۱۰۰
زاویه اصطکاک توده سنگ (درجه)	> ۴۵	۳۵ - ۴۵	۲۵ - ۳۵	۱۵ - ۲۵	< ۱۵

۲-۲- طبقه بندی توده سنگ اطراف تونل دوم رخ چهارمحال بختیاری با استفاده از طبقه بندی

RMR

جهت طبقه بندی توده سنگ مسیر تونل تونل دوم رخ چهارمحال بختیاری از طبقه بندی RMR استفاده شد. در این روش نخست پنج پارامتر پایه ای و آنگاه جهت گیری ناپیوستگیها، در نظر گرفته می شود و به هر یک از آنها امتیاز (R) داده می شود و به این ترتیب مجموع آنها به عنوان امتیاز RMR بدست می آید، این پارامترها و امتیاز آنها در زیر برای سنگ آهک سازند شماره یک توضیح داده شده است. برای دیگر سازندها نیز به همین ترتیب مقدار RMR محاسبه شده است و نتایج مربوط در جدول (۳-۳) آورده شده است.

الف- مقاومت فشاری سنگ سالم: 90×10^3 مگا پاسکال، $R = 78$

ب- RQD: مقدار آن 100×90 درصد است و در نتیجه $R = 20$ بدست می آید.

پ- SP: امتیاز فاصله داری درزه ها را می توان با استفاده از نمودارهای پیشنهادی بیناویسکی (۱۹۸۹) بدست آورد. امتیاز ۲۰ را در نظر می گیریم.

ت- وضعیت درزه ها (cd): بنا بر پیشنهاد بیناویسکی برای این پارامتر کلی پنج پارامتر وابسته به آنها در نظر گرفته می شود که عبارتند از درازا، بازشدگی، زبری، پرکننده و هوازدگی. نتیجه محاسبه کلی امتیاز وضعیت درزه ها به صورت میانگین وزنی و یا انتخاب نامناسبترین پارامترهای پنجگانه، کم و بیش یک مقدار را بدست می دهد و بنابراین $R = 0$ خواهد بود.

ث- آب زیرزمینی: در سطح زمین نشانه ای از آب و خیزی وجود ندارد اما در موقعیت تونل بی تردید آب زیرزمینی وجود دارد، از آنجا که چگالی واحد سنگ در حالت حالت طبیعی و اشباع تغییری کرده بنابراین $R = 10$ خواهد بود

ج- امتیاز جهت گیری ناپیوستگیها: زاویه ناپیوستگیها با محور تونل در دو دسته درزه حدود ۲۰ درجه است که در

حقیقت موازی تونل بشمار می آیند و با توجه به شیب زیاد، در امتیازدهی از نوع بسیار نامناسب می باشند. دسته سوم درزه ها بسیار مناسب است. بنابراین مقدار امتیاز به صورت محاسبه میانگین $R=-10$ می باشد.

چ- امتیاز کل: $RMR = 47 \setminus 57$ توده سنگ گروه سه

در این تحقیق مشخص شد که توده سنگهای موجود در مسیر تونل در رده سنگهای متوسط قرار می گیرند. در جدول (۳-۳) مقادیر RMR آورده شده است.

جدول ۳-۳- طبقه بندی توده سنگ اطراف تونل دوم رخ چهارمحال بختیاری با استفاده از روش طبقه بندی RMR.

شماره ساختار	RS	ROD	RCD	RSD	RW	RRQD	RMR
۱	۷ - ۱۲	-۱۰	۰	۲۰	۱۰ - ۱۵	۲۰	۴۷ - ۵۷
۲	۱۲	-۱۰	۰	۲۰	۱۰	۲۰	۵۲
۳	۱۲	-۱۰	۰	۱۵	۷ - ۱۰	۲۰	۴۱ - ۴۴
۴	۱۲	-۱۰	۰	۱۵ - ۲۰	۷ - ۱۰	۲۰	۴۱ - ۴۹
۵	۷ - ۱۲	-۱۰	۰	۱۵	۴ - ۷	۱۷	۳۱ - ۴۱
۶	۷ - ۱۲	-۱۰	۰	۱۵	۷	۲۰	۴۹ - ۵۴
۷	۱۲	-۲ - ۵	۱۵	۲۰	۴ - ۷	۲۰	۷۱ - ۷۷
۸	۱۲	-۵	۲۰	۱۵	۱۰ - ۱۵	۱۷	۶۹ - ۷۴
۹	۱۲	-۱۰	۱۰ - ۲۰	۱۵	۱۰ - ۱۵	۱۷ - ۲۰	۵۴ - ۷۲
۱۰	۷ - ۱۲	-۱۰	۲۰	۱۵	۱۰ - ۱۵	۱۷ - ۲۰	۵۹ - ۶۷
۱۱	۷ - ۱۲	-۵	۰	۱۵	۰ - ۴	۱۷	۳۴ - ۴۳
۱۲	۷ - ۱۲	-۵	۰	۱۵	۷ - ۱۰	۱۷	۴۱ - ۴۹

۳۰ - ۳۴	۱۷	۰ - ۴	۱۵	۱۰	-۵	۲	۱۳
---------	----	-------	----	----	----	---	----

۲-۳ - مدول تغییر شکل پذیری توده سنگ

طبقه بندی های ژئومکانیکی روش مفیدی برای تخمین مدول توده سنگ می باشند. بنیائوسکی (۱۹۷۸) از نتایج طبقه

بندی روابط زیر را برای تخمین مدول تغییر شکل پذیری درجا در سنگهای سخت بدست آورد. اگر $RMR > 50$:

$$E_d = 2RMR - 100 \quad (1-3)$$

E_d : مدول تغییر شکل پذیری برجا بر حسب گیگا پاسکال

σ_c : مقاومت تک محوری سنگ بکر بر حسب مگا پاسکال

سرافیم و پیرا برای $RMR \leq 50$ رابطه (۲-۳) را ارائه کردند :

$$E_d = 10^{(RMR-10)/40} \quad (2-3)$$

همانطور که در بالا ذکر شد، روش بینیاویسکی برای RMR های بالای ۵۰ مناسب است، و چون در تونل مورد

مطالعه این شرط برقرار نیست، محاسبه مدول تغییر شکل پذیری با استفاده از روش بینیاویسکی امکان پذیر نمی باشد.

هوک و براون (H & B)، در سال ۱۹۹۷ تصحیحی برای رابطه (۲-۳) برای توده سنگهای ضعیفتر ($\sigma_c \leq 100 MPa$)،

به صورت رابطه (۳-۳) ارائه نمودند.

$$E_d = \frac{\sqrt{\sigma_c}}{10} \cdot 10^{(GSI-10)/40} \quad (3-3)$$

هوک-دیدریچز (H & D)، در سال ۲۰۰۶، فرمولی را برای محاسبه مدول تغییر شکل پذیری توده سنگ ارائه کردند

که محدودیت‌های رابطه (۳-۳) را ندارد، و به صورت رابطه (۴-۳) می باشد :

$$E_d = (1 - D/2) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{1000}} \times 10^{\frac{(RMR-10)}{4}} \quad (4-3)$$

در رابطه بالا D ضریب اغتشاش آتشیاری سنگ می باشد که در اینجا مقدار آن با توجه به استفاده از آتشیاری در تونل برابر با $0/5$ گرفته شده است. در جدول (4-3) مقادیر مدول تغییر شکل پذیری توده سنگ به روش هوک و براون و هوک-دیدریچز آورده شده است.

E_d $H \& D$	E_d $H \& B$	E_d <i>Serafim</i>	σ_c	ساختار
-------------------	-------------------	-------------------------	------------	--------

جدول 4-3- مدول تغییر شکل پذیری برای سنگهای اطراف تونل به روش سرافیم، هوک شماره هوک-دیدریچز.

۱/۸۷	۵/۶۱	۸/۴۱	۸۰	۱
۲/۸۰۵	۸/۴۱	۱۰/۴۷	۱۰۰	۲
۱/۴۸	۴/۴۴	۵/۹۵	۱۰۰	۳
۱/۴۸	۴/۴۶	۵/۹۵	۱۰۰	۴
۰/۷۲	۲/۱۸	۳/۷۵	۶۰	۵
۱/۸۲	۵/۴۷	۹/۴۴	۶۰	۶
۸/۳۷	۲۵/۱۱	۳۳/۴۹	۱۰۰	۷
۷/۴۶	۲۲/۳۸	۲۹/۸۵	۱۰۰	۸
۳/۱۴	۹/۴۴	۱۲/۵۸	۱۰۰	۹
۳/۵۱	۱۰/۵۲	۱۶/۷۸	۷۰	۱۰
۰/۷۷	۲/۳۱	۳/۹۸	۶۰	۱۱
۱/۳۲	۳/۹۷	۵/۹۵	۸۰	۱۲
۰/۶۶	۰/۵۲۸	۳/۱۶	۵	۱۳

توضیح:

در کلیه محاسبات و جاگذاری پارامترها با توجه به افزایش ضریب ایمنی کمترین مقاومت فشاری و کمترین مقاومت ژئومکانیکی یا RMR را در نظر گرفته ایم.

۲-۴ - شاخص مقاومت زمین شناسی (GSI) ۱:

هوک و همکاران (۱۹۹۵) شاخص مقاومت زمین شناسی (GSI) را هم برای سنگهای سخت و هم برای سنگهای ضعیف معرفی کردند. که این شاخص علاوه بر این که تکمیل کننده معیارهای شکست، از جمله معیارهای شکست هوک-براون و موهر-کلمب می باشد، بلکه راهی برای برآورد پارامترهایی مثل S ، a و M_m می باشد.

معمولاً زمین شناسان و مهندسیین با تجربه به طبقه بندی های ساده، سریع و واقعی علاقمند می باشند که بر مبنای بررسی وضعیت زمین شناسی از طریق مشاهده استوار باشد. تجربیات گذشته نشان می دهد که چون مقاومت در اثر هوازدگی شدیداً کاهش می یابد، بنابراین یک سیستم طبقه بندی باید برای سنگهای ضعیف غیر خطی باشد. از طرفی باید با استفاده از مدل سازیهای سنگی به کمک کامپیوتر سازگار باشد. برای بدست آوردن شاخص مقاومت زمین شناسی (GSI) سه راه وجود دارد:

الف) هوک و براون (۱۹۹۷) جداول ساده ای را برای تخمین مقدار GSI تهیه کردند که بر پایه دو روش بعدی، این جداول طرح شده اند.

از آوردن این جداول، که برای بدست آوردن GSI بکار می روند، در این تحقیق صرف نظر شده است، اما با دسترسی به این جداول، متخصصین می توانند فقط از طریق بررسی مشاهده ای توده سنگ را طبقه بندی نمایند.

ب) استفاده از سیستم طبقه بندی RMR برای توده سنگهای با کیفیت بهتر: هوک و همکاران بخاطر تغییرات طبقه بندیها مقدار GSI را از RMR'_{v_f} و RMR'_{u_f} محاسبه کردند. برای محاسبه RMR'_{u_f} از جداول ویژه ای استفاده می شود، به این طریق که شرایط آب زیر زمینی، خشک فرض می شود و مقدار امتیاز مربوط به جهت داری درزه ها نادیده گرفته می شود.

با محاسبه RMR بصورت ذکر شده مقدار GSI بصورت رابطه زیر تخمین زده می شود.

$$GSI = RMR'_{v_f} \quad \text{برای } RMR'_{v_f} > 18 \quad (5-3)$$

$$RMR'_{\lambda_9} - 5 \text{ GSI} =$$

(۶-۳)

برای $RMR'_{\lambda_9} > 23$

(ج) استفاده از سیستم طبقه بندی Q :

$$\text{GSI} = 9 + 24 Q' \ln$$

برای $RMR'_{\lambda_9} < 23$ یا $RMR'_{\lambda_9} < 18$ (۷-۳)

در واقع در اینجا بایستی ضریب کاهش آب ناپیوستگیها (j_w) و ضریب کاهش تنش (SRF) برابر یک فرض شود.

$$Q' = \frac{RQD}{j_n} \times \frac{j_r}{j_a} \quad (۸-۳)$$

در جدول (۵-۳) مقدار GSI با استفاده از RMR بر اساس رابطه (۷-۳) محاسبه شده است، همانطور که در این جدول دیده می شود امتیاز آب در حالت خشک ۱۵ در نظر گرفته شده است، و از امتیاز منفی جهت داری درزه ها نیز صرف نظر شده است.

GSI	RMR	RRQD	RW	RSD	RCD	ROD	RS	شماره ساختار
۴۲	۴۷	۲۰	۱۰	۲۰	۰	-۱۰	۷	۱
۴۷	۵۲	۲۰	۱۰	۲۰	۰	-۱۰	۱۲	۲
۳۶	۴۱	۲۰	۷	۱۵	۰	-۱۰	۱۲	۳
۳۶	۴۱	۲۰	۷	۱۵	۰	-۱۰	۱۲	۴
۲۸	۳۳	۱۷	۴	۱۵	۰	-۱۰	۷	۵
۴۴	۴۹	۲۰	۷	۱۵	۰	-۱۰	۷	۶
۶۶	۷۱	۲۰	۴	۲۰	۱۵	-۵	۱۲	۷

۶۴	۶۹	۱۷	۱۰	۱۵	۲۰	-۵	۱۲	۸
۴۹	۵۴	۱۷	۱۰	۱۵	۱۰	-۱۰	۱۲	۹
۵۴	۵۹	۱۷	۱۰	۱۵	۲۰	-۱۰	۷	۱۰
۲۹	۳۴	۱۷	۰	۱۵	۰	-۵	۷	۱۱
۳۶	۴۱	۱۷	۷	۱۵	۰	-۵	۷	۱۲
۲۵	۳۰	۱۷	۰	۱۵	۱۰	-۵	۲	۱۳

۳- تعیین پارامترهای توده سنگ توسط نرم افزار Rocklab

این نرم افزار برای تعیین پارامترهای مقاومتی توده سنگ با استفاده از معیار شکست هوک و براون در سال ۲۰۰۲ و در محیط ویندوز طراحی شده است. این نرم افزار قادر به تعیین پارامترهای مقاومتی توده سنگ از قبیل چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی، مقاومت فشاری و کششی، مدول تغییر شکل پذیری به همراه ثابت های مورد نیاز معیار شکست هوک و براون (۲۰۰۲) می باشد. پارامترهای ورودی مورد نیاز نرم افزار شامل مقاومت فشاری سنگ بکر، شاخص مقاومت زمین شناسی (GSI)، m_i برای سنگ بکر و ضریب آشفستگی (D) و در صورت وجود وزن مخصوص سنگ و عمق تونل می باشد.

۳-۱- محاسبه پارامترهای ژئومکانیکی تونل مورد مطالعه با نرم افزار Rocklab

در جداول (۳-۶) و (۳-۷) به ترتیب مقادیر ورودی و خروجی نرم افزار Rocklab، برای سنگهای اطراف تونل دوم رخ آورده شده است.

در جدول (۳-۶) مقادیر GSI بر اساس رابطه (۳-۶) محاسبه شده است. مقدار m_i نیز از جدول مربوطه در نرم افزار Rocklab بدست آمده و مقدار D با توجه به فشارندگی و استفاده از آتشیاری و کف بند موضعی، از جدول مربوط در نرم افزار بدست آمده و مقدار آن ۰/۵ در نظر گرفته شده است.

جدول ۳-۶- ورودی داده های نرم افزار **Rocklab** برای توده سنگ های تونل دوم رخ

شماره ساختار	σ_{ci} (MPa)	D	GSI	H	mi	γ (MN/m ³)
۱	۸۰	۰/۵	۴۲	۱۷۰	۷	۰/۰۲۶
۲	۱۰۰	۰/۵	۴۷	۱۷۰	۷	۰/۰۲۶
۳	۱۰۰	۰/۵	۳۶	۱۷۰	۷	۰/۰۲۶
۴	۱۰۰	۰/۵	۳۶	۱۷۰	۷	۰/۰۲۶
۵	۶۰	۰/۵	۲۸	۱۷۰	۷	۰/۰۲۶
۶	۶۰	۰/۵	۴۴	۱۷۰	۷	۰/۰۲۶
۷	۱۰۰	۰/۵	۶۶	۱۷۰	۷	۰/۰۲۶
۸	۱۰۰	۰/۵	۶۴	۱۷۰	۷	۰/۰۲۶
۹	۱۰۰	۰/۵	۴۹	۱۷۰	۷	۰/۰۲۶
۱۰	۷۰	۰/۵	۵۴	۱۷۰	۷	۰/۰۲۶
۱۱	۶۰	۰/۵	۲۹	۱۷۰	۷	۰/۰۲۶
۱۲	۸۰	۰/۵	۳۶	۱۷۰	۷	۰/۰۲۶
۱۳	۵۰	۰/۵	۲۵	۱۷۰	۷	۰/۰۲۶

بعد از وارد کردن داده های نرم افزار **Rocklab** خروجی های آن برای مدلسازی تونل مورد مطالعه بدست می آید. در

اشکال زیر تحلیلهای انجام گرفته با این نرم افزار آورده شده است.

نتایج Roclab برای ساختارهای مختلف مسیر تونل رخ

۱- ساختار شماره ۱

Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 80 MPa
GSI = 42 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0.5

Hoek-Brown Criterion

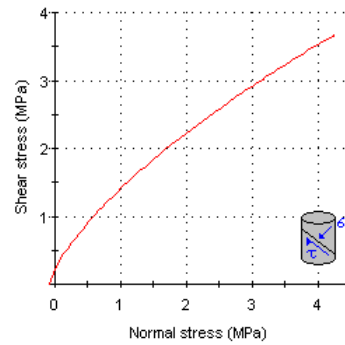
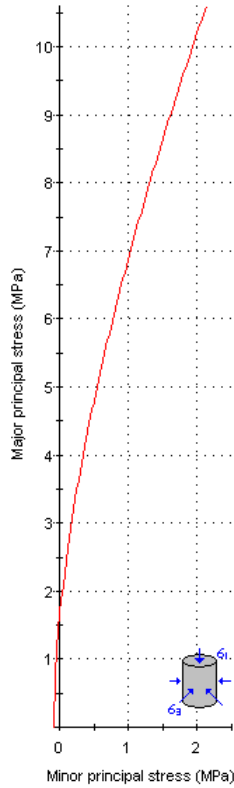
$m_b = 0.442$ $s = 0.0004$ $a = 0.510$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.602 MPa friction angle = 37.38 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.079 MPa
uniaxial compressive strength = 1.551 MPa
global strength = 6.827 MPa
modulus of deformation = 4232.59 MPa



۲- ساختار شماره ۲

Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 100 MPa
GSI = 47 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0.5

Hoek-Brown Criterion

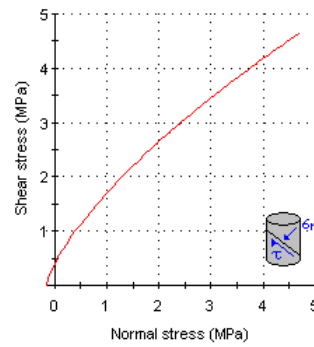
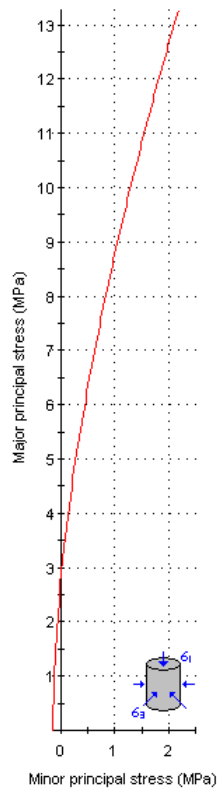
$m_b = 0.561$ $s = 0.0009$ $a = 0.507$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.791 MPa friction angle = 41.07 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.152 MPa
uniaxial compressive strength = 2.779 MPa
global strength = 9.849 MPa
modulus of deformation = 6310.46 MPa



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 100 MPa
GSI = 36 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0.5

Hoek-Brown Criterion

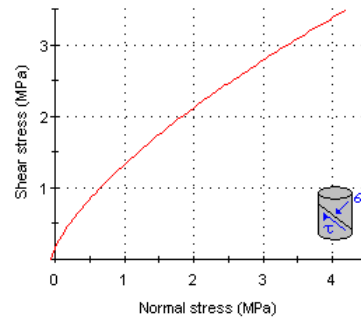
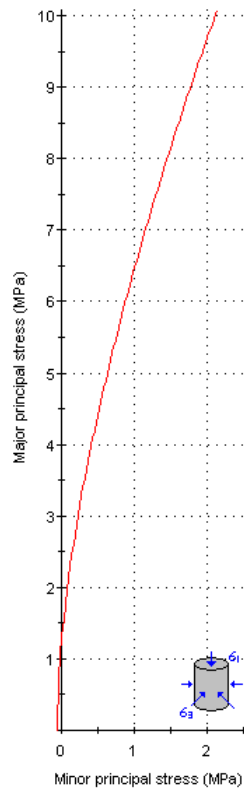
$m_b = 0.332$ $s = 0.0002$ $a = 0.515$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.554 MPa friction angle = 36.47 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.059 MPa
uniaxial compressive strength = 1.235 MPa
global strength = 7.134 MPa
modulus of deformation = 3350.13 MPa



۴ - ساختار شماره ۴

Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 100 MPa
GSI = 36 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0.5

Hoek-Brown Criterion

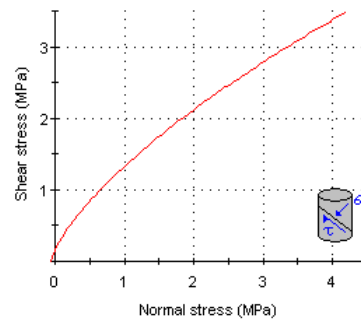
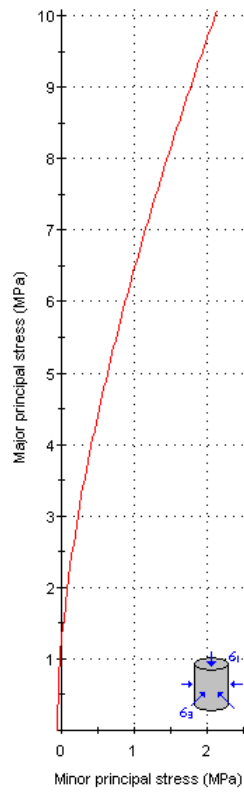
$m_b = 0.332$ $s = 0.0002$ $a = 0.515$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.554 MPa friction angle = 36.47 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.059 MPa
uniaxial compressive strength = 1.235 MPa
global strength = 7.134 MPa
modulus of deformation = 3350.13 MPa



۵- ساختار شماره ۵

Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 60 MPa
GSI = 28 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0.5

Hoek-Brown Criterion

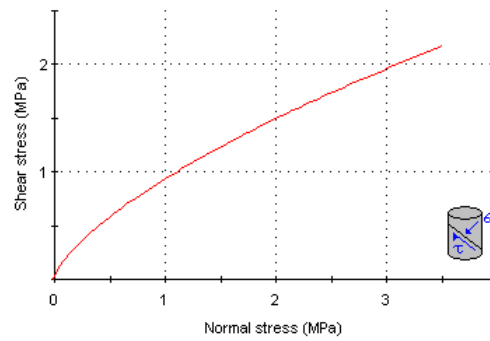
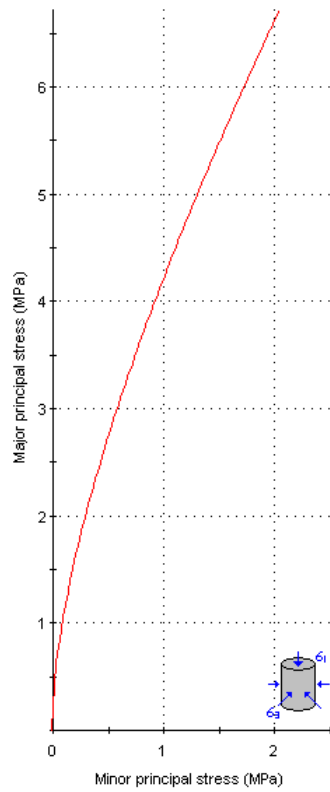
$m_b = 0.227$ $s = 0.0001$ $a = 0.526$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.350 MPa friction angle = 28.80 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.018 MPa
uniaxial compressive strength = 0.386 MPa
global strength = 3.286 MPa
modulus of deformation = 1637.33 MPa



۶- ساختار شماره ۶

Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 60 MPa
GSI = 44 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0.5

Hoek-Brown Criterion

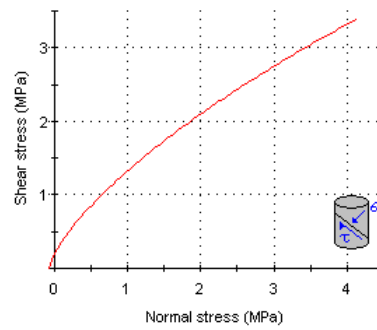
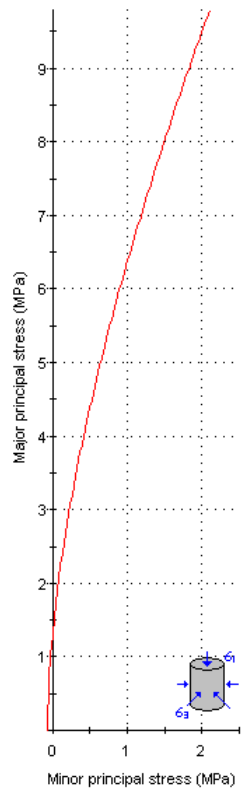
$m_b = 0.486$ $s = 0.0006$ $a = 0.509$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.560 MPa friction angle = 36.01 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.071 MPa
uniaxial compressive strength = 1.345 MPa
global strength = 5.425 MPa
modulus of deformation = 4112.79 MPa



۷- ساختار شماره ۷

Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 100 MPa
GSI = 66 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0.5

Hoek-Brown Criterion

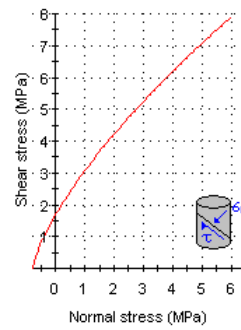
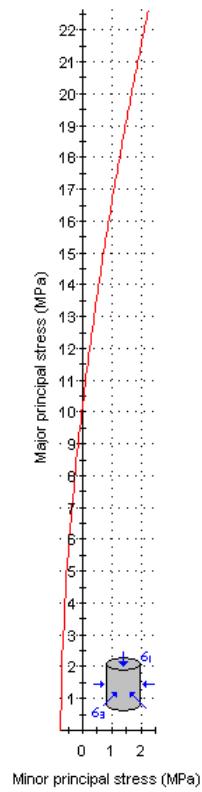
$m_b = 1.387$ $s = 0.0107$ $a = 0.502$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 1.895 MPa friction angle = 46.83 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.775 MPa
uniaxial compressive strength = 10.260 MPa
global strength = 17.260 MPa
modulus of deformation = 18839.15 MPa



۸- ساختار شماره ۸

Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 100 MPa
GSI = 64 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0.5

Hoek-Brown Criterion

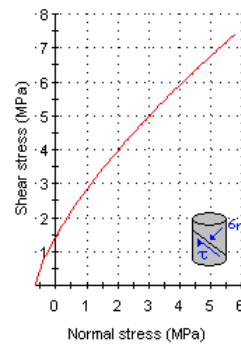
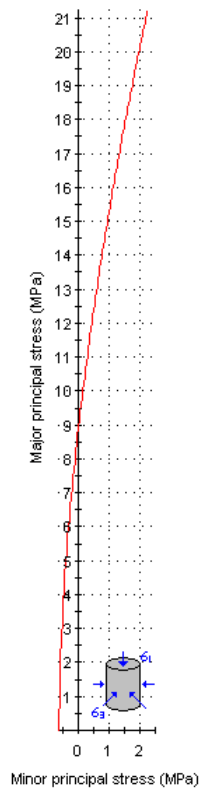
$m_b = 1.261$ $s = 0.0082$ $a = 0.502$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 1.691 MPa friction angle = 46.40 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.653 MPa
uniaxial compressive strength = 8.980 MPa
global strength = 16.187 MPa
modulus of deformation = 16790.41 MPa



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 100 MPa
GSI = 49 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0.5

Hoek-Brown Criterion

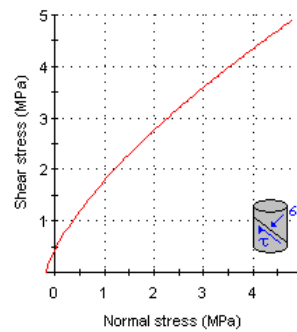
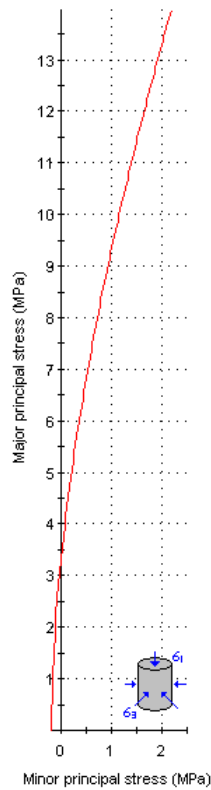
$m_b = 0.617$ $s = 0.0011$ $a = 0.506$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.850 MPa friction angle = 41.82 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.180 MPa
uniaxial compressive strength = 3.201 MPa
global strength = 10.423 MPa
modulus of deformation = 7080.46 MPa



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 70 MPa
GSI = 54 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0.5

Hoek-Brown Criterion

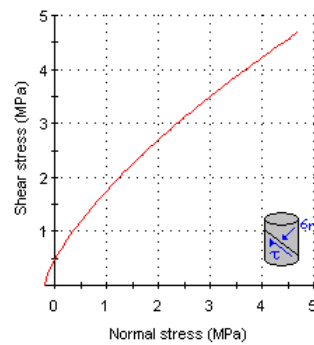
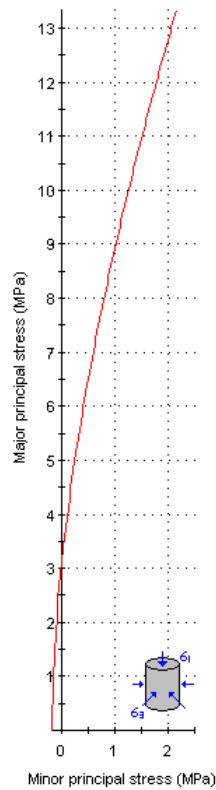
$m_b = 0.783$ $s = 0.0022$ $a = 0.504$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.839 MPa friction angle = 41.00 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.194 MPa
uniaxial compressive strength = 3.175 MPa
global strength = 8.409 MPa
modulus of deformation = 7899.69 MPa



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 60 MPa
GSI = 29 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0.5

Hoek-Brown Criterion

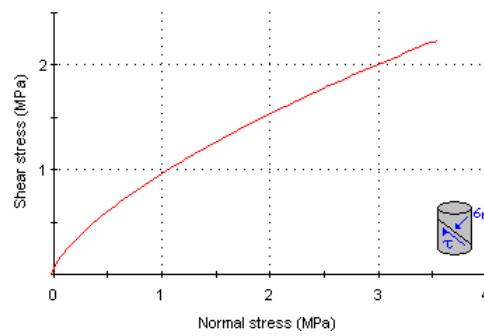
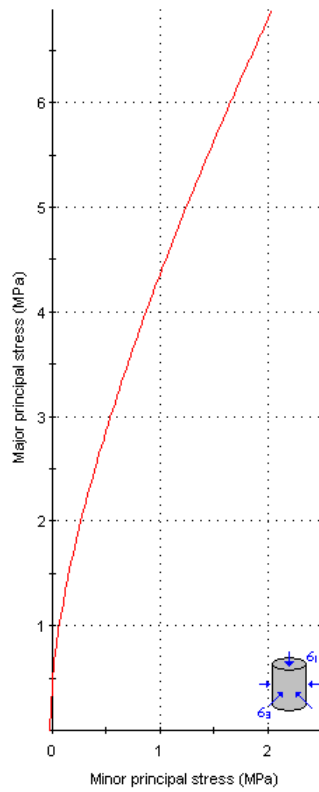
$m_b = 0.238$ $s = 0.0001$ $a = 0.524$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.362 MPa friction angle = 29.30 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.020 MPa
uniaxial compressive strength = 0.421 MPa
global strength = 3.405 MPa
modulus of deformation = 1734.35 MPa



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 80 MPa
GSI = 36 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0.5

Hoek-Brown Criterion

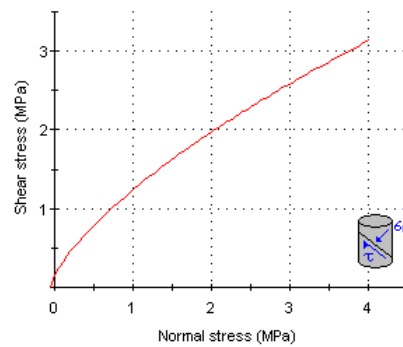
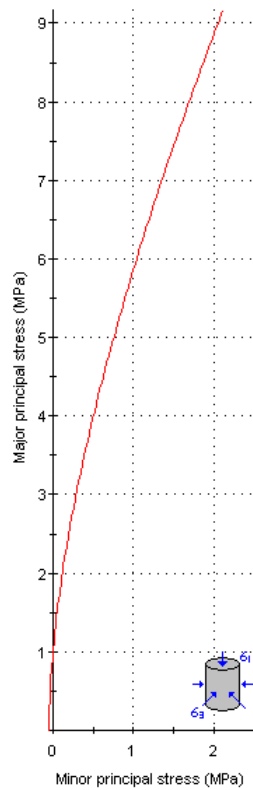
$m_b = 0.332$ $s = 0.0002$ $a = 0.515$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.503 MPa friction angle = 34.77 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.047 MPa
uniaxial compressive strength = 0.988 MPa
global strength = 5.708 MPa
modulus of deformation = 2996.44 MPa



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 5 MPa
GSI = 25 $m_i = 7$ Disturbance factor = 0.5

Hoek-Brown Criterion

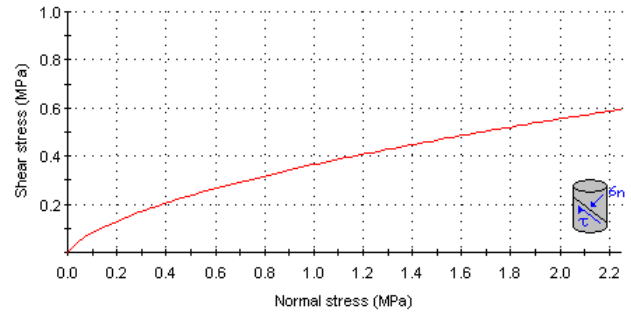
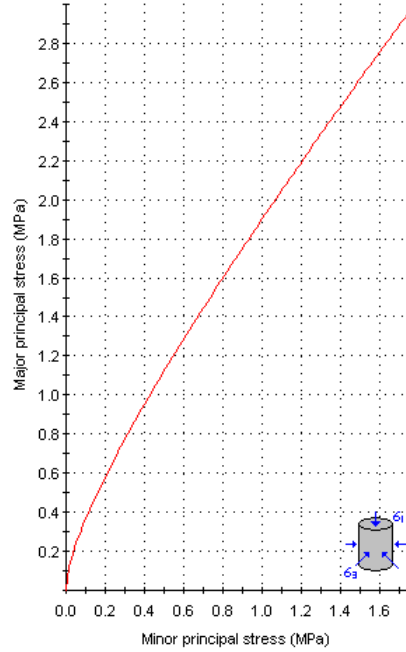
$m_b = 0.197$ $s = 4.54e-5$ $a = 0.531$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.117 MPa friction angle = 12.77 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.001 MPa
uniaxial compressive strength = 0.025 MPa
global strength = 0.245 MPa
modulus of deformation = 397.69 MPa



جدول ۳-۷- پارامترهای خروجی نرم افزار Rocklab برای توده سنگ های تونل دوم رخ

شماره ساختار	C (MPa)	Φ (deg)	σ_t (MPa)	σ_{cm} (MPa).	E_d GPa
۱	۰/۶۰۲	۳۷/۳۸	-۰/۰۷۹	۶/۸۲۷	۴/۲۳۲
۲	۰/۷۱۹	۴۱/۰۷	-۰/۱۵۲	۹/۸۴۹	۶/۳۱۰
۳	۰/۵۵۴	۳۶/۴۷	-۰/۰۵۹	۷/۱۳۴	۳/۳۵۰
۴	۰/۵۵۴	۳۶/۴۷	-۰/۰۵۹	۷/۱۳۴	۳/۳۵۰
۵	۰/۳۵۰	۲۸/۸۰	-۰/۰۱۸	۳/۲۸۶	۱/۶۳۷
۶	۰/۵۶۰	۳۶/۰۱	-۰/۰۷۱	۵/۴۲۵	۴/۱۱۲
۷	۱/۸۹۵	۴۶/۸۳	-۰/۷۷۵	۱۷/۲۶۰	۱۸/۸۳۹
۸	۱/۶۹۱	۴۶/۴۰	-۰/۶۵۳	۱۶/۱۸۷	۱۶/۷۹۰
۹	۰/۸۵۰	۴۱/۸۲	-۰/۱۸۰	۱۰/۴۲۳	۷/۰۸۰
۱۰	۰/۸۳۹	۴۱	-۰/۱۹۴	۸/۴۰۹	۷/۸۹۹
۱۱	۰/۳۶۲	۲۹/۳۰	-۰/۰۲۰	۳/۴۰۵	۱/۷۳۴۴
۱۲	۰/۵۰۳	۳۴/۷۷	-۰/۰۴۷	۵/۷۰۸	۲/۹۹۶
۱۳	۰/۱۱۷	۱۲/۷۷	-۰/۰۰۱	۰/۲۵۴	۰/۳۹۷

۳-۲- مقادیر بحرانی پارامترهای توده سنگ

برای بررسی پایداری توده سنگ اطراف تونل بایستی مقدار تراز هشدار خطر برای توده سنگ تعیین و با پارامتر اندازه گیری شده (مانند کرنش بحرانی) مقایسه گردد. اگر مقدار اندازه گیری شده از سطح هشدار خطر کمتر باشد، توده سنگ و سازه پایدار می باشد. در ادامه تعدادی از این پارامترها مورد بررسی قرار می گیرد.

۳-۲-۱- کرنش بحرانی

استفاده از کرنش بحرانی یکی از روشهایی است که به وسیله آن همگرایی ها و تغییر شکلها در توده سنگ اطراف تونل و پایداری آنها مورد بررسی قرار می گیرد. تعریف کرنش بحرانی با استفاده از رابطه (۹-۳) صورت می گیرد.

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E} \quad (9-3)$$

σ_c : مقاومت فشاری تک محوری سنگ بکر

E : مدول تغییر شکل پذیری سنگ بکر

کرنش بحرانی همواره از کرنش گسیختگی کمتر است. برای خاک کرنش بحرانی در تستهای آزمایشگاهی و تستهای صحرایی مقادیر یکسانی به دست می آید. در توده سنگ کرنش مجاز سنگ بکر و توده سنگ را می توان با استفاده از رابطه (۱۰-۳) به یکدیگر مرتبط کرد.

$$\varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_{cm}}{E_{cm}} = \frac{m \cdot \sigma_c}{n \cdot E} = \left(\frac{m}{n} \right) \cdot \varepsilon_c \quad (10-3)$$

σ_{cm} : مقاومت فشاری توده سنگ (MPa)

E_{cm} : مدول تغییر شکل پذیری توده سنگ (MPa)

ε_{cm} : کرنش مجاز توده سنگ

ε_c : کرنش مجاز سنگ بکر

m و n ضرایب کاهنده ای هستند که به ترتیب مربوط به مقاومت تک محوری و مدول تغییر شکل پذیری سنگ بکر هستند. m و n بر اساس کارهای آزمایشگاهی و آزمایش های صحرایی تعیین می شوند که مقدار آنها بین ۰ تا ۱ تغییر

می کند. نسبت بین m و n بسته به نوع سنگ بین ۱-۳ متغیر است. بنابراین در بررسی پایداری تونل می توان از کرنش مجاز سنگ بکر به عنوان تراز هشدار خطر با ضریب ایمنی ۱-۳ استفاده کرد.

ساکورایی در سال ۱۹۸۶ روشی را برای ارزیابی پایداری سازه های زیرزمینی با توجه به کرنش بحرانی پیشنهاد کرده است که بر اساس نتایج آزمایشات فشاری تک محوری بر روی سنگهای مختلف تعریف می شود. این روش اغلب به عنوان روشی استاندارد برای محاسبه همگرایی (جابجایی نسبی دیواره های تونل) استفاده می شود که در طی بررسی تونلهای مختلف بدست آمده است. ساکورایی و همکارانش علاوه بر روابطی که بین مقاومت فشاری تک محوری و کرنش بحرانی برای توده سنگهای مختلف بیان کرده اند، رابطه های (۱۱-۳ الف) و (۱۱-۳ ب) و (۱۱-۳ ج) را نیز بین مدول تغییر شکل پذیری سنگهای مختلف با استفاده از آزمایشات انجام شده مطابق نمودار شکل (۲-۳) ارائه کرده اند. همان طور که مشاهده می شود، معادله (۱۱-۳ الف) نشان دهنده حد بالای مقدار کرنش بحرانی، معادله (۱۱-۳ ج) نشان دهنده حد پایین و معادله (۱۱-۳ ب) مقدار لگاریتمی متوسط معادلات (۱۱-۳ الف) و (۱۱-۳ ج) می باشد.

$$\text{Log}(\varepsilon_c) = -0.25 \text{Log}(E) - 0.85 \quad \text{تراز هشدار خطر I} \quad \text{(الف ۱۱-۳)}$$

$$\text{Log}(\varepsilon_c) = -0.25 \text{Log}(E) - 1.22 \quad \text{تراز هشدار خطر II} \quad \text{(ب ۱۱-۳)}$$

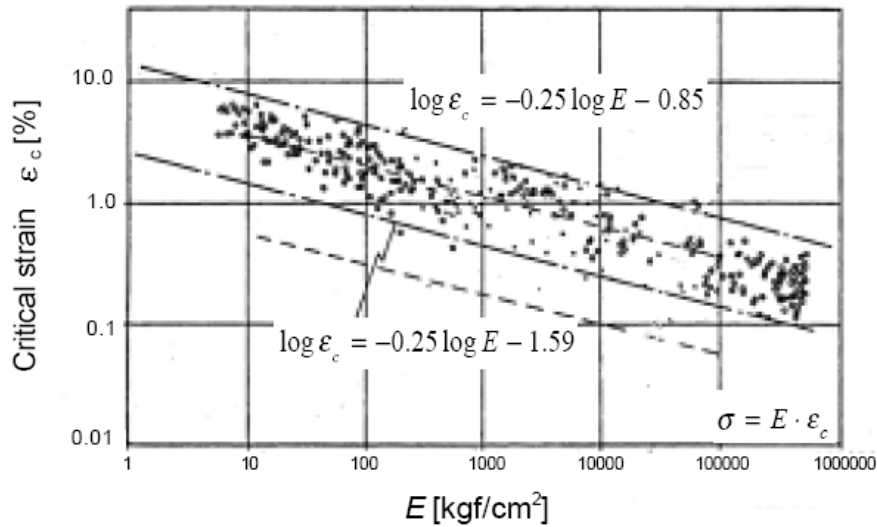
$$\text{III} \quad \text{Log}(\varepsilon_c) = -0.25 \text{Log}(E) - 1.59 \quad \text{تراز هشدار خطر III} \quad \text{(ج ۱۱-۳)}$$

ε_c : کرنش بحرانی در حالت مقاومت فشاری تک محوری

E : مدول تغییر شکل پذیری توده سنگ بر حسب Kgf.cm^{-2}

ساکورایی تراز هشدار خطر II را به عنوان مبنای طراحی تونلهای مهندسی عمران پیشنهاد کرده است. تراز هشدار

خطر III پایداری کوتاه مدت را نشان می دهد.



شکل ۳-۲- رابطه بین کرنش بحرانی و مدول تغییر شکل پذیری توده سنگ.

۳-۲-۲- کرنش برشی بحرانی

به طور کلی توده سنگ اطراف تونلها در معرض تنش سه محوری قرار دارد و معقول تر است که برای تحلیل پایداری مکانیکی از کرنش برشی ماکزیمم استفاده شود. در این حالت کرنش برشی بحرانی به عنوان مقدار مجاز استفاده می شود. ساکورایی و همکارانش در سال ۱۹۹۶ معادله (۳-۱۲) را برای محاسبه کرنش برشی بحرانی از کرنش نرمال پیشنهاد کردند.

$$\gamma_c = (1 + \nu) \cdot \varepsilon_c \quad (3-12)$$

که در این رابطه

ν : نسبت پواسون

γ_c : کرنش برشی بحرانی

برای ارزیابی پایداری از مقدار لگاریتمی متوسط کرنش نرمال بحرانی برای تعیین کرنش برشی استفاده می شود و دقت شود در صورتی که مقادیر کرنش برشی بزرگتر از مقدار بحرانی شود، حفاری تونل دچار مشکلاتی نظیر ناپایداری سینه کار، گسیختگی یا ترک خوردن شاتکریت، شکست پیچ سنگ، خمش در قاب فلزی، افتادن قطعات توده سنگ به داخل تونل و بالازدگی کف می شود. در این صورت باید تمهیداتی برای نگهداری تونل در نظر گرفت. جدول (۳-۸) مقادیر مدول برشی، مدول بالک، کرنش بحرانی تراز II ساکورایی و کرنش برشی بحرانی حداکثر برای توده سنگهای اطراف تونل مورد مطالعه را نشان می دهد. مقدار مدول تغییر شکل پذیری بکار رفته از روش JH، مذکور در فصل پنجم، در جدول (۳-۸) ارائه شده است.

جدول ۳-۸- مقادیر کرنش بحرانی و مقدار کرنش برشی بحرانی برای توده سنگهای اطراف تونل مورد مطالعه.

شماره ساختار	C (MPa)	Φ (deg)	E (Gpa)	ε_c	γ_c
۱	۰/۶۰۲	۳۷/۳۸	۲/۲۲۴	۰/۰۳۶۵	۰/۰۴۵۵
۲	۰/۷۱۹	۴۱/۰۷	۳/۳۶۶	۰/۰۲۹۷	۰/۰۳۸
۳	۰/۵۵۴	۳۶/۴۷	۱/۷۷۶	۰/۰۵۶۳	۰/۰۷۲
۴	۰/۵۵۴	۳۶/۴۷	۱/۷۷۶	۰/۰۵۶۳	۰/۰۷۲
۵	۰/۳۵۰	۲۸/۸۰	۰/۸۶۴	۰/۰۶۹۴	۰/۰۸۸
۶	۰/۵۶۰	۳۶/۰۱	۲/۱۸۴	۰/۰۲۷۴	۰/۰۳۵
۷	۱/۸۹۵	۴۶/۸۳	۱۰/۰۴۴	۰/۰۹۹	۰/۰۱۲۶
۸	۱/۶۹۱	۴۶/۴۰	۸/۹۵۲	۰/۰۱۱۱	۰/۰۱۴
۹	۰/۸۵۰	۴۱/۸۲	۳/۷۶۸	۰/۰۲۶۵	۰/۰۳۳
۱۰	۰/۸۳۹	۴۱	۴/۲۱۲	۰/۰۱۶۶	۰/۰۲۱۲
۱۱	۰/۳۶۲	۲۹/۳۰	۰/۹۲۴	۰/۰۶۴۸	۰/۰۸۲۹
۱۲	۰/۵۰۳	۳۴/۷۷	۰/۵۸۴	۰/۰۵۰۵	۰/۰۶۴۶
۱۳	۰/۱۱۷	۱۲/۷۷	۰/۷۹۲	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۸

همانطور که در جدول فوق مشاهده می‌شود کمترین مقدار کرنش برشی بحرانی مربوط به ساختار شماره ۱۳ می‌باشد که این موضوع به دلیل این است که این ساختار ضعیفترین سنگ را در مسیر تونل داراست که در مدلسازی عددی نیز از این ناحیه که بحرانی‌ترین وضعیت را دارد استفاده می‌شود. این اثبات دلیلی بر درستی تحلیلها و محاسبات مهندسی سنگ تا این بخش از کار می‌باشد.

فصل چهارم

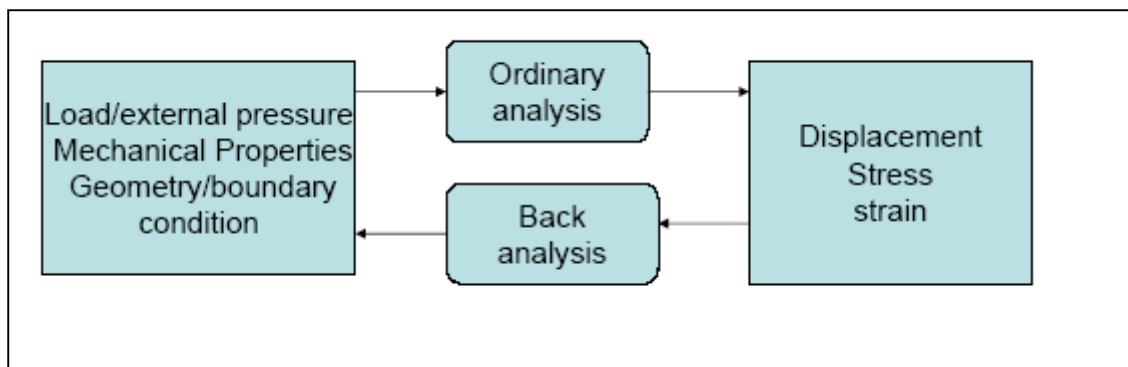
مدلسازی عددی سنگهای

مسیر تونل مورد مطالعه

یکی از مسائل بسیار مهمی که مهندسين طراح فضاهای زیرزمین باید نسبت به آن اشراف داشته باشند این است که با توجه به شرایط و ویژگی های طرح مورد نظر، بهترین روش تحلیل پایداری را به گونه ای انتخاب نمایند که علاوه بر رعایت جنبه های اقتصادی، از نظر کاربردی حتی المقدور ساده بوده و نتایج آن نیز با رعایت ضریب اطمینان کافی دقیق باشد.

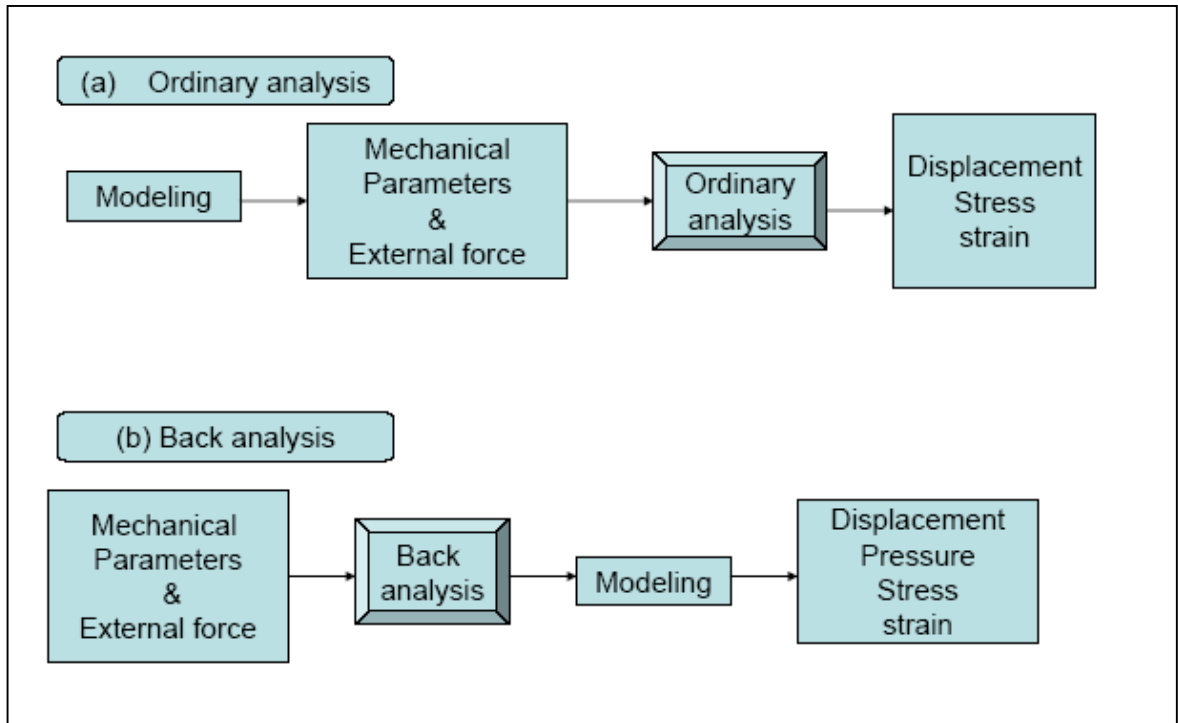
در چند دهه اخیر محققین بسیاری بر روی توسعه روش های مختلف تحلیل پایداری مطالعه نمودند. نکته بسیار مهم آنست که مهندسان طراح، مزایا و معایب و نیز مسائل کاربردی هر یک از این روش ها را به خوبی بشناسند تا با آگاهی کامل از نقاط ضعف و قوت هر یک از این روش ها، یک یا چند روش را مورد استفاده قرار دهند. بدین منظور در این فصل به بررسی هر یک از روش های طراحی و تحلیل پایداری و نیز مسائل کاربردی هر یک از آنها پرداخته شده است.

در یک تقسیم بندی کلی روشهای پایداری تونلها را می توان به دو گروه عمده تقسیم کرد: روشهای تحلیل مستقیم و معکوس. در تحلیل مستقیم با داشتن پارامترهایی نظیر وضعیت بارگذاری، فشارهای خارجی، خصوصیات مکانیکی محیط، هندسه و شرایط مرزی، توزیع تنش و جابجایی در اطراف تونل را بدست آورده و مکانیسم گسیختگی را تعیین شود. در صورتیکه آنالیز معکوس معمولاً به عنوان تکنیکی تعریف می شود که می تواند پارامترهای کنترل کننده یک سیستم را از آنالیز رفتار خروجی آن سیستم تعیین کند. در مسائل آنالیز معکوس مربوط به مکانیک سنگ شرایط فشارها مانند بارهای خارجی یا فشارهای سنگ و خصوصیات مکانیکی سنگها مثل مدول الاستیسیته، نسبت پواسون، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی از روی جابجاییها، کرنشها و فشارهای اندازه گیری شده در طول اجرای پروژه و پس از آن محاسبه می شوند. این روند محاسبات در حقیقت عکس روند آنالیز معمولی است. رابطه بین آنالیز معکوس و آنالیز معمولی در شکل (۴-۱) نشان داده شده است [۱۹].



شکل ۴-۱ رابطه بین آنالیز معکوس و آنالیز معمولی [۱۹].

در آنالیز معمولی، یک مدل مکانیکی معمولاً به طریقی که بتواند معرف رفتار سنگ باشد (مثلاً الاستیک، الاستوپلاستیک و ...) ساخته می‌شود. مقادیر ثابت های مکانیکی مدل را می توان با استفاده از آزمایش های بر جا و یا آزمایشگاهی تعیین نمود. این مقادیر به عنوان اطلاعات ورودی آنالیز معمولی برای محاسبه مقادیر جابجایی، تنش و کرنش مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورتیکه در آنالیز معکوس جابجاییها، کرنشها و مقادیر فشار ابتدا از طریق اندازه‌گیری برجا بدست می‌آیند و سپس مدل مکانیکی نیز با آنالیز معکوس داده‌های اندازه‌گیری شده تعیین می‌شود. ثابت های مکانیکی مدل و نیروهای خارجی از روی مقادیر قرائت‌های صحرائی و به صورت معکوس تعیین می‌شوند. دیده می‌شود که مقادیر بدست آمده در این روش بستگی شدیدی به مدل فرض شده برای محیط دارند تفاوت بین آنالیز معکوس و معمولی در فرض کردن مدل در شکل (۴-۲) نشان داده شده است.



شکل ۴-۲ مقایسه بین (a) آنالیز معمولی و (b) آنالیز معکوس [۱۹].

در این شکل دیده می‌شود که در آنالیز معمولی، بدست آوردن نتایج واحد حتمی است و این حتی در حالتی که رفتار واقعی سنگ و مدل یکسان نیستند نیز اتفاق خواهد افتاد. اما در مورد آنالیز معکوس واحد بودن نتایج حتمی نیست و این به آن علت است که مدل پس از جمع‌آوری اطلاعات ورودی در نظر گرفته می‌شود [۱۸ و ۱۹].

۲- تحلیل پایداری تونلها به روش مستقیم

روشهای طراحی که برای ارزیابی و تحلیل مستقیم پایداری تونلها به کار می‌روند به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند که در این جا به طور مختصر شرح داده می‌شوند:

۲-۱- روشهای تجربی

این روشها پایداری تونلها و معادن را با استفاده از تحلیل‌های آماری مشاهدات زیرزمینی ارزیابی می‌کنند. طبقه‌بندیهای مهندسی سنگ بهترین روش تجربی شناخته شده برای ارزیابی فضاهای زیرزمینی در سنگ هستند. در حقیقت در

بسیاری از پروژه‌ها طبقه‌بندی مهندسی سنگها به عنوان تنها معیار برای طراحی سازه‌های پیچیده زیرزمینی تلقی می‌شود. بیشتر تونلهایی که هم‌اکنون احداث می‌شوند از طبقه‌بندی سنگها برای طراحی استفاده می‌کنند. مهمترین این طبقه‌بندیها عبارتند از: طبقه‌بندی ژئومکانیکی توده سنگ (RMR) که توسط پروفیسور بینیاوسکی در سال ۱۹۷۳ ارائه گردید، شاخص کیفی توده سنگ (Q) که توسط بارتن و همکاران در سال ۱۹۷۳ ارائه شد و شاخص توده سنگ (RMI) که در سال ۱۹۹۵ توسط Palmstrom ارائه شد.

هر یک از این روشها با توجه به مشخصه های توده سنگ برای آن امتیازی در نظر می‌گیرند. همچنین جداول و دیاگرامهای مخصوص به خود دارند که با مراجعه به آنها می‌توان با توجه به نوع سنگ امتیاز آن را تعیین نموده و سپس سیستم نگهداری مناسبی را برای آن تعیین نمود. به این دلیل که روشهای تجربی مذکور حاصل جمع‌آوری و تحلیل تجارب گذشتگان در تونلهای احداث شده می‌باشد و نتایج بدست آمده جنبه کاربردی دارند، زمانی بهترین جواب را می‌دهند که تونل مورد نظر دارای شرایط روش مورد استفاده باشد. لذا باید حوزه کاربرد هر یک از این روشها مشخص گردد تا بتوان تشخیص داد که در هر مورد بایستی از چه روش طبقه‌بندی استفاده نمود.

۲-۲- روشهای مشاهدهای

این روشها بر مبنای اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و برجا استوار می‌باشند. طراحی تونلها و فضاهای زیرزمینی با روشهای مشاهدهای شامل تفسیر داده‌های رفتار سنجی در مدت ساخت و اجرا می‌باشد. بنابراین یک روش طراحی مشاهدهای طراحی همراه با پیشرفت کار می‌باشد. در این روشها تا حدودی از روشهای تجربی کمک گرفته می‌شود ولی به طور کلی اساس تحلیل و قضاوت مهندسی در مورد نحوه اجرای سازه و سیستم نگهداری بر اساس ابزاربندی و رفتارسنجی سازه مورد نظر می‌باشد.

در این مورد می‌توان از روش تونلسازی جدید اتریشی (NATM) و روش همگرایی - محدودیت^۲ و روش محاسبه مستقیم کرنش (DSET)^۳ و روشهای مدلسازی فیزیکی می‌توان نام برد که همه این روشها تأکید بر رفتار سنجی فضای زیرزمینی در طول اجرا دارند [۱۱].

۲-۳- روشهای تحلیلی

در این روشها از تحلیل تنشها و دگر شکلیها در اطراف تونل استفاده می‌شود. این روشها شامل تکنیکهایی از قبیل جوابهای فرم بسته^۴، روشهای عددی، شبیه‌سازی قیاسی (الکتریکی - فتوالاستیک) و مدلسازی فیزیکی می‌باشد [۸].

از روش فرم بسته برای تحلیل پایداری تونلهایی می‌توان استفاده نمود که شکل هندسی ساده‌ای دارند مانند دایره یا بیضی. برای تحلیل این گونه تونلها می‌توان از تئوری الاستیسیته و روابط kirsch استفاده نمود. اما از آنجاییکه تونلها به ندرت دارای شکل هندسی ساده می‌باشند این روش کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و بیشتر از روشهای عددی استفاده می‌شود.

اساس روشهای عددی شبیه‌سازی یک محیط با بی‌نهایت درجه آزادی توسط محیطی با درجه آزادی محدود در تعداد میعنی از نقاط می‌باشد. چنانچه اثر نیرو و بارگذاری در این نقاط بررسی شده و پس از تعیین میزان تغییر شکل در این نقاط، برای سایر نقاط با روشهای درون‌یابی تغییر شکل محاسبه می‌گردد. در اغلب این مسائل محیط دارای شکل دلخواه می‌باشد که تحت بارگذاری ثقلی، نیروهای خارجی، تنش‌های برجا، تغییرات درجه حرارت، فشار سیال، پیش‌تنیدگی، نیروهای دینامیکی و ... قرار گرفته و برای پیدا کردن تغییر شکلها از روابط تنش - کرنش در توده سنگ استفاده می‌شود [۱۱].

۲. Convergence-Confinement

۳. Direct Strain Evaluation Technique

۴. Closed form

روشهای عددی به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند: یک گروه برای محیط‌های پیوسته و گروه دوم برای محیط‌های ناپیوسته مورد استفاده قرار می‌گیرند. گروه اول، زمین را همانند یک محیط پیوسته در نظر گرفته و برای حل آن را به اجزایی تقسیم می‌کند. در صورتیکه گروه دوم زمین را به صورت مجموعه‌ای از بلوکهای مجزا در نظر می‌گیرد که در آن درزه‌ها و ناپیوستگیها مرز بین بلوکها را تشکیل می‌دهد. FEM، BEM و FDM مربوط به گروه اول و DEM از گروه دوم می‌باشد. FEM و FDM کل ناحیه را به المانهایی تقسیم‌بندی کرده و مسئله را حل می‌کند، در حالیکه BEM فقط مرز تونل را مدل می‌کند. این روش مخصوصاً برای نقاطی مفید است که شرایط بحرانی در مرز تونل باشد. مدل‌های فیزیکی اطلاعات مفیدی را مخصوصاً برای امتحان مد شکست^۵ فراهم می‌کنند. از مدل‌های فیزیکی مخصوصاً در معادن زغال سنگ بسیار استفاده شده است [۸].

۲-۳-۱- روشهای عددی

روش های عددی در دهه های گذشته توسعه زیادی پیدا کرده اند. این روش ها به واسطه پیشرفت سریع فن آوری کامپیوتری و قابلیت دسترسی به آن، در مهندسی عمومیت یافته اند. قبل از توسعه یافتن کامپیوتر، طراحی سازه های سنگی اکثراً بر اساس قوانین علمی و تجربی و روند سعی و خطا انجام می گرفت. در رابطه با ناپیوستگی‌های عمومی طبیعت توده سنگ، تصویر سطح سنگ منفجر شده در شکل (۳-۴) این حقیقت را روشن می‌سازد که توده سنگ افزون بر ناپیوستگی‌های ایجاد شده توسط حفاری دارای شکستگی‌های از پیش موجود و گذرنده از میان آن می‌باشد.



شکل ۳-۴ توانایی توصیف ناپیوستگی‌های مکانیکی در مدل کامپیوتری [۱۶].

۲-۳-۲- مدلسازی مکانیک سنگی برای ساخت و ساز و طراحی مهندسی سنگ^۶

طرح منسجم و همسان یک سازه مهندسی، جدای اینکه سازه سطحی بوده و یا در زیر زمین بنا شود، و یا اینکه وابسته به بخش عمران، مهندسی معدن، نفت و یا محیط زیست بوده نیازمند به برخی از اشکال قابلیت پیش‌بینی می‌باشد. قابلیت پیش‌بینی از طریق روشهای عددی گوناگون بدست می‌آید. حتی اگر بتوان به‌سادگی طراحی همانندی را از یک پروژه پیش‌تر ساخته شده را برای مدل تعمیم داد، بدلیل اینکه شرایط بیشتر توده سنگها وابسته به مکان آنهاست، می‌باید که یک مدل کامپیوتری را برای شرایط ویژه همان مکان توسعه داد به این منظور که رفتارهای همانندی را از توده سنگ نتیجه گرفت.

از آنجایی که مدلسازی عددی برای طراحی سازه‌های مهندسی سنگ با اهداف گوناگون توسعه یافته است، و نیز به این دلیل که روشهای عددی مختلفی توسعه یافته است، در حال حاضر طیفی گسترده‌ای از روش های عددی وجود دارد. بنابراین می‌توان آنها را به روشهای گوناگونی معرفی کرد، یکی از این روشها دسته‌بندی آنها به هشت رهیافت بر اساس چهار روش و دو تراز مختلف می‌باشد، همچنانکه در شکل (۴-۴) نمایش داده شده است [۱۶].

کار مدل سازی و طراحی با انتخاب هدف، بر اساس شکل (۴-۴)، شروع می شود. هشت روش مدل سازی و طراحی وجود دارد. چهار ستون در شکل مورد نظر بیانگر چهار روش پایه مدل سازی است [۱۶]:

روش A: طراحی بر اساس طراحی ها و تجربه های پیشین

روش B: طراحی بر اساس روشهای ساده شده

روش C: طراحی بر اساس مدلی که سعی دارد بیشتر مکانیزمهای مهم را بازتولید کند

روش D: طراحی بر اساس همه مدل های دربرگیرنده.

دو سطر در جعبه مرکزی شکل (۴-۴) وجود دارد. سطر بالایی دربردارنده روشهایی است که در آنها سعی می شود که مکانیزمهای با نداشت یک به یک را در مدل جا داد. به بیان دیگر مکانیزمی که به نظر می رسد در سنگ رخ می دهد و مستقیماً در مدل جای داده شده است، مانند روابط صریح و روشن تنش- کرنش. برعکس این روند، جعبه پایینی دربردارنده روشهایی است که در آنها مکانیزمهایی با نداشت مستقیم وجود ندارد. برای مثال پی آمدهای مدل ترکیبی و پارامترهای وابسته دقیقاً در داخل این چهار شیوه مدل سازی و طراحی قرار می گیرند، اما براحتی نمی توان روابط میان روشها را مشخص ساخت برای مثال روابط میان تکنیکهای طبقه بندی مهندسی سنگ.

برخی پارامترهای شاخص دهی توده سنگ می تواند از تحقیقات محلی مشاهده شود، (جعبه سمت چپ). سپس

طراحی و ساخت و ساز مهندسی سنگ، با یک حلقه باز خورد از ساخت و ساز به مدل سازی، شروع می شود.

نکته مهم در مکانیک سنگ و طراحی مهندسی این است که داشتن داده های ناکافی یک مشکل همیشگی است و

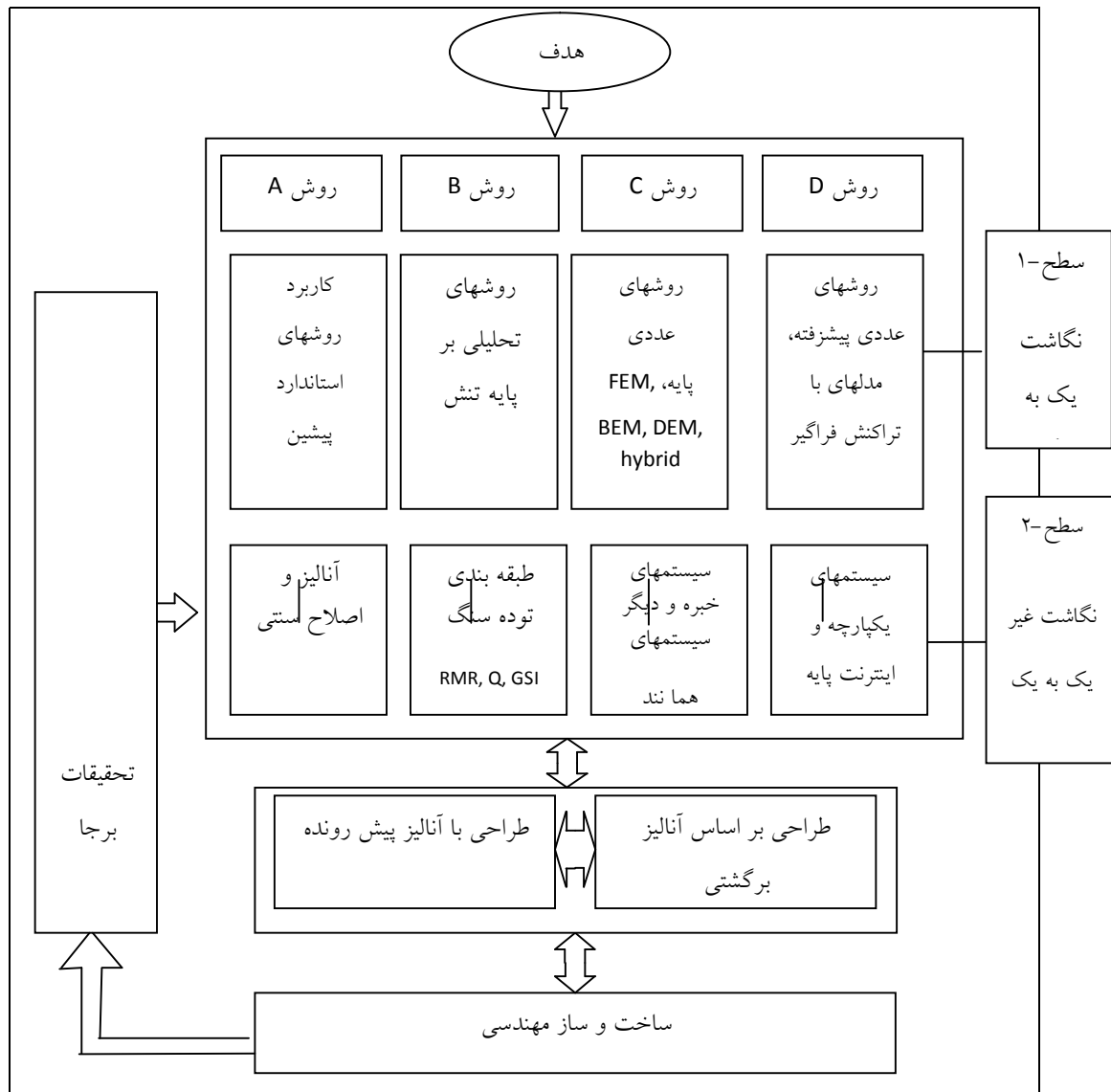
به همین دلیل رهیافت های تجربی (یعنی سیستم های طبقه بندی) توسعه یافته است و هنوز هم بکار می رود. بنابراین

هنوز هم بر سر پاسخ پارامترها با توجه با اندازه آنها، حجم المان معادل، همگن‌سازی^۷ بحث وجود دارد، زیرا که مشکلات اساسی در ارتباط با مدلسازی و آنچه که وابسته به چهار نوع روش ABCD در شکل (۴-۴) وجود دارد.

۲-۳-۳- روشهای عددی برای مدلسازی توده سنگ پیوسته و ناپیوسته

در مدلسازی عددی مسائل مهندسی برخی مسائل را می‌توان با شمار محدودی از مؤلفه‌های مشخص بصورت یک مدل ارائه کرد. رفتار چنین مؤلفه‌هایی بخوبی شناخته شده است و یا اینکه می‌توان آنها را بصورت مستقل و از راه محاسباتی بدست آورد. رفتار یک پارچه و سراسری سیستم را می‌توان با تعریف روابط مشترک میان مؤلفه‌های ویژه (المانها) بدست آورد. چنین مسائلی مجزا نام دارند و حل چنین مسائلی با روشهای عددی به راحتی امکان پذیر است [۱۶].

^۷ Upscaling



شکل ۴-۴ روشهای مختلف طراحی در مکانیک سنگ [۱۶].

توده سنگهای شکسته پوسته بالایی زمین یک سیستم گسسته می‌باشد. برای چنین هندسه‌هایی راه حل فرم بسته‌ای وجود ندارد و برای حل مسائل عملی می‌بایست که روشهای عددی را بکار برد. براساس فرضیات اساسی علم مواد، روشهای عددی متفاوتی برای سیستمهای گسسته و پیوسته توسعه یافته است. معمول‌ترین روشهای عددی بکار رفته در مکانیک سنگ به شرح زیر می‌باشند [۱۶]:

روشهای پیوسته

روش تفاضل محدود (FDM)

روش المان محدود (FEM)

روش المان مرزی (BEM)

• روشهای ناپیوسته

روش المان مجزا (DEM)

روش شبکه شکستگی مجزا (DFN)

روش CA

روش DDA

• مدل‌های هیبریدی گسسته/پیوسته

ترکیب FEM/BEM

ترکیب BEM/DEM

ترکیب FEM/DEM

و دیگر مدل‌های ترکیبی

۴-۲-۳-۱- روش تفاضل محدود[^] (FDM)

روش FDM یک تقریب مستقیم از معادلات مشتقات جزئی می‌باشد که با جایگذاری مشتقات جزئی با تفاوتها در

شبکه‌های منظم یا نامنظم سراسر پهنه مسئله بدست می‌آید. بنابراین معادلات مشتقات جزئی اصلی را به یک دستگاه

[^] Finite difference method

معادلات جبری در قالب عبارات مجهول در نقاط شبکه‌ای تبدیل می‌کند. حل معادلات دستگاه با وارد ساختن شرایط اولیه و مرزی شروع می‌شود. در طول سال‌ها روش‌های سنتی مانند برنامه‌المان محدود مرسوم بوده‌اند که اغلب ماتریس‌المان‌ها را ترکیب کرده و یک ماتریس سختی سراسری بزرگ را می‌سازند، در حالی که در روش تفاضل محدود به طور معمول این عمل انجام نمی‌یابد و قابلیت نسبی برای بازتولید معادله‌های تفاضل محدود در هر گام وجود دارد. آنجا که لازم نیست یک ماتریس سراسری تشکیل شود تجدید مختصات در هر گام زمانی در وضعیت کرنش‌های بزرگ، مسئله‌مشکلی نیست. تغییر مکان‌های جزئی‌گره‌ها به مختصات گره‌ها اضافه می‌شوند به نحوی که شبکه با مصالح ارائه شده آن حرکت می‌کند و تغییر مکان می‌دهد. نام این عمل، فرمول بندی لاگرانژی است که در این روش به کار گرفته شده است [۱۵].

تصور بعضی بر آن است که روش تفاضل محدود به شبکه‌های المانی مستطیلی محدود می‌شود که در واقع چنین نیست. روش به دست آوردن معادلات تفاضلی المان‌هایی که دارای شکل دلخواه می‌باشند توسط (۱۹۶۴) Wilkins ارائه شده است و بر این اساس می‌توان هر شکل دلخواهی برای المان‌ها تعریف نمود. از معایب این روش صرف زمان زیاد برای تحلیل مسائل استاتیکی خطی می‌باشد. این روش قدیمی‌ترین عضو خانواده روش‌های عددی می‌باشد، و به صورت گسترده‌ای بکار برده شده و اساس رهیافتهای DEM می‌باشد [۳].

۴-۲-۳-۲- روش المان محدود^۹ (FEM)

این تکنیک معمول‌ترین روش عددی در علوم مهندسی است. و در مسائل مختلفی از موضوعات مهندسی کاربرد دارد. کاربرد اصلی این روش در مسائل بار-جابجایی است. قسمت اعظم یک برنامه‌المان محدود از دید کاربر آن پنهان می‌ماند و کاربر با کمترین تلاش می‌تواند به جواب‌های مورد نظر برسد. این بدان معنا نیست که این یک روش آسان است و برای حل مسائل مهندسی نیاز به هیچ مهارتی نمی‌باشد، برعکس، برای کار با برنامه و تفسیر نتایج بدست آمده و ملاحظات کارشناسی، مهارت خاصی مورد نیاز است [۱۱].

^۹ Finite element method

روش FEM نیازمند تقسیم کردن پهنه مسئله به زیر بخشهای (المانهای) کوچکتر و با شکل استاندارد (مثلث، مربعی، چهارگوش و...) همراه با تعداد معینی گره در رئوس و یا در جوانب، می باشد. توابعی، عموماً چند جمله‌ای، بکار می‌روند تا رفتار معادلات مشتقات جزئی را در سطوح المانی تقریب زده تا اینکه معادلات جبری محلی نماینده المانها را تولید کنند. سپس بر اساس روابط مکانی میان گره‌ها و المانها، معادلات المانی محلی در یک دستگاه معادلات جبری کلی گردآوری می‌شوند که پس از وارد ساختن شرایط اولیه و مرزی، حل آنها اطلاعات مورد نیاز برای حل مسئله را بدست خواهد داد. این رویکرد (FEM)، بدلیل انعطلاف پذیری آن در رویارویی با ناهمگنی مواد، شرایط غیر خطی و مرزی، بیشترین روش بکار رفته در مهندسی امروزه می باشد که دارای برنامه‌های کامپیوتری اقتصادی و توسعه یافته زیادی همراه با قدرت محاسباتی فراوان، مواد تعریف شده پیچیده و کاربری آسان می باشد (این رویکرد همچنین اساسی برای DEM به شمار می آید [۱۲] .

۴-۲-۳-۳- روش المان مرزی^{۱۰} (BEM)

ضرورت روش المان مرزی در تعریف و حل مسائلی است که جابجایی ها و نیروهای سطحی وجود داشته باشند. بدلیل گسسته سازی داخلی، FDM و FEM نمی‌توانند پهنه‌های بزرگ نامحدود را شبیه سازی کنند (همچنانکه برخی مواقع در پروژه‌های مهندسی سنگ رخ می‌دهد، مانند مسائل نیم صفحه یا نیم فضا) و کارایی آنها با افزایش درجه آزادی، که در حالت کلی نسبتی است از شمار گره ها، کاهش می‌یابد. برای تحلیل مسائل در دامنه نامحدود یا بهینه محدود، فرم صریحی از اصل برهم نهی برای توسعه روش حل مسئله به کار می رود که بیشتر در الاستیسیته قابلیت کاربرد دارد. در این روش فقط سطح مرز توده سنگی که آنالیز می شود نیاز به المان بندی دارد. بنابر این در حالت دوبعدی، المان های خطی یا یک بعدی در مرز مسئله ظاهر می شوند و در مسائل سه بعدی المان های سطحی یا دوبعدی مورد نیاز است. هنگامی که تغییراتی در خواص مواد ظاهر شود، سطوح مشخص شده یا تعریف شده مرز جدایش، المان بندی می شوند. بنابراین اگر محدوده مسئله از چند لایه با خواص متفاوت تشکیل شده باشد، تهیه

^{۱۰} Boundary element method

اطلاعات ورودی تا حدودی پیچیده خواهد شد. همانند FEM و FDM اطلاعات مورد نیاز پهنه جداگانه از اطلاعات مرزها بدست می‌آیند که آنها نیز از حل معادلات انتگرالی مرزی بجای حل مستقیم معادلات مشتقات جزئی، محاسبه می‌شوند. در سطوح گسسته‌سازی یکسان BEM از دقت بیشتری نسبت FEM و FDM برخوردار است و برای آنالیز پخش شکستگی کاراترین تکنیک می‌باشد. همچنین در این روش به دلیل استفاده از راه‌حل‌های اساسی معادلات مشتقات جزئی، برای شبیه‌سازی پهنه‌های بزرگ نامحدود مناسبترین روش می‌باشد [۱۹].

۴-۲-۳-۳-۴- روش المان مجزا^{۱۱} (DEM)

تکنیک DEM برای مدل‌سازی یک محیط ناپیوسته در مقایسه با سه روش دیگر نسبتاً نوین بوده و به صورت ویژه‌ای بر کاربرد در پهنه‌های شکسته یا مناطق زمین‌شناسی ذره‌ای تمرکز یافته است. ماهیت DEM بازنمایی محیط شکسته شده بعنوان مجموعه‌ای از بلوکهای شکل گرفته با شکستگیهای متصل به هم در پهنه مسئله بوده، و معادلات حرکت این بلوکها را با آشکارسازی پشت‌سرهم تماس میان بلوکها حل می‌کند. بلوکها می‌توانند صلب یا تغییر شکل پذیر باشند همراه با گسسته‌سازی از نوع FDM و یا FEM. جابجایی‌های بزرگ ناشی از حرکت بدنه صلب بلوکهایی ویژه، بازشدگی شکستگی و گسستگی کامل در DEM آسان بوده اما در FEM، FDM یا BEM غیرممکن می‌باشد [۱۱].

به دلیل استفاده از نرم افزار UDEC در این تحقیق، که به روش DEM عمل می‌کند، در ادامه این روش به تفصیل معرفی خواهد شد.

۴-۲-۳-۳-۵- روش شبکه شکستگی مجزا^{۱۲} (DFN)

روش جانشین DEM برای جریان سیال در توده سنگ شکسته، روش DFN است که جریان سیال را در شبکه‌ای از شکستگی‌های مرتبط با هم و به همراه نفوذپذیری ماتریکس حذف‌شده یا تقریب‌زده شده با شگردهای ساده را شبیه‌سازی می‌کند. تنش و تغییرشکل شکستگی‌ها تقریباً نادیده تلقی می‌شود. هنگامی که نفوذپذیری ماتریکس سنگ در

^{۱۱} Distinct element method

^{۱۲} Discrete fracture network

مقایسه با شکستگی‌ها کم باشد، این روش برای شبیه‌سازی جریان سیال در سنگهای شکسته بسیار جالب می‌باشد و کاربرد وسیعی در جریان آب‌زیرزمینی در مهندسی عمران، شبیه‌سازی مخازن در مهندسی نفت و استخراج انرژی حرارتی در مهندسی زمین گرمایی دارد [۱۶].

۴-۲-۳-۳-۶- روش تغییر شکل ناپیوستگی‌ها^{۱۳} (DDA)

در سالهای ۱۹۸۴ و ۱۹۸۵، شی و گودمن از طریق محاسبات معکوس برای بهترین مکان هندسی تغییر شکل یافته یک سیستم بلوکی به واسطه اندازه‌گیری جابجایی‌ها و کرنش‌ها، مدل پسرود DDA را معرفی کردند و در مراحل بعدی DDA دو بعدی را بوجود آوردند که شامل قابلیت آنالیز رفتار مکانیکی سیستم‌های بلوکی به روش پیشرو بود. در مقام مقایسه، DDA در میان روش‌های عددی دیگر هم خانواده روش المان مجزا می‌باشد. در این روش شکل‌گیری بلوک‌ها بسیار شبیه به تعریفی است که از مش بندی به روش المان محدود شده است. در مسائلی که به کمک المان محدود حل می‌شوند، المان‌ها توسط سرحدات یا مرزهای فیزیکی که همان ناپیوستگی‌های طبیعی هستند، از هم جدا می‌شوند ولی المان‌ها یا بلوک‌هایی که در DDA به کار می‌روند می‌توانند هر شکل محدب یا مقعر داشته باشند. هنگامی که بلوک‌ها با هم کنتاکت دارند، در محل تلاقی و برخورد کنتاکت‌ها، قانون کولمب اعمال می‌شود و دستگاه معادلات تعادل انتخاب شده به ازای هر بارگذاری و نمو افزایش زمان حل می‌شوند. جابجایی‌ها و تغییر شکل‌های بزرگ از جمع شدن و انباشتگی جابجایی‌ها و تغییر شکل‌های کوچک در هر گام زمانی به وجود می‌آیند. در هر گام زمانی، جابجایی‌ها در هر نقطه کوچک می‌باشند، از این رو به طور قابل قبولی می‌توان جابجایی‌ها را با تقریبات مرتبه اول نمایش داد. این روش نیز اختصاصاً برای محیط ناپیوسته توسعه یافته است و منطق آن سازگاری بیشتری با این دارد [۱۵].

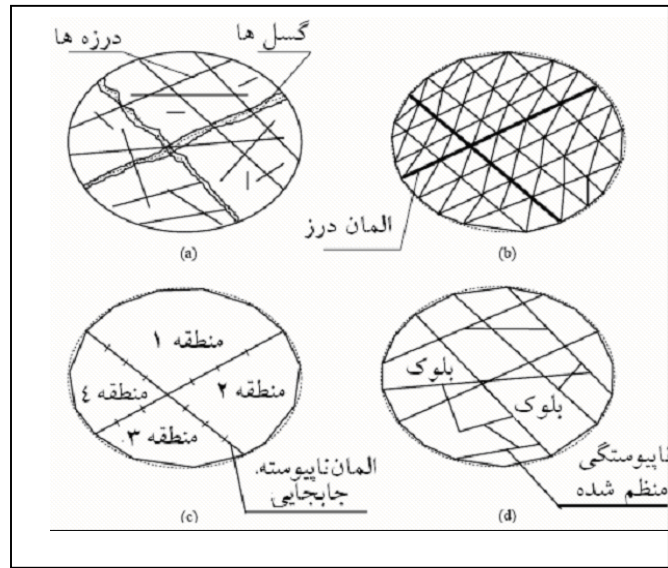
یک اختلاف مهم میان روشهای پیوسته و ناپیوسته نوع برخورد با شرایط سازگاری جابجایی می‌باشد. در روشهای پیوسته، سازگاری جابجایی می‌باید که حتماً میان المانهای داخلی برقرار باشد، که برای موارد FDM و BEM بطور

^{۱۳} Discontinuous deformation analysis

اتوماتیک صورت می‌گیرد، اما برای FEM با ثابت نگه‌داشتن لیست اتصال میان گره-المان و همسان‌سازی درجه توابع شکل میان المانهای همسایه صورت می‌گیرد. اما در DEM نیازی نیست که شرط سازگاری جابجایی میان بلوکها برقرار باشد و با شرایط برخورد (تماس) میان بلوکها همراه با مدل‌های ساختمانی توسعه‌یافته برای تماسهای نقطه‌ای یا شکستگی‌ها جانشین می‌شود.

انتخاب روش گسسته یا پیوسته به فاکتورهای بسیاری وابسته است اما بطور مؤثری وابسته به مقیاس و هندسه سیستم شکسته می‌باشد. شکل (۴-۵) شیوه انتخاب دیگری در مورد شرایط شکستگی گوناگون در مسائل مکانیک سنگ را نشان می‌دهد. تکنیکهای پیوسته می‌بایستی که برای توده سنگهای بدون شکستگی و یا با شکستگی کم بکار رود، در مورد دوم ویژگی‌های رفتاری هم‌ارز آن از طریق پروسه همگن‌سازی بدست خواهد آمد (شکل ۴-۵ a و ۴-۵ d). در صورتی که تنها چند شکستگی موجود باشد و هیچ بازشدگی شکستگی رخ ندهد و امکان جدایش کامل بلوک نباشد، تکنیکهای پیوسته را می‌توان بکار برد (شکل ۴-۵ b).

روش ناپیوسته بیشتر برای توده سنگهای نسبتاً شکسته کاربرد خوبی دارد، و یا برای هنگامی که شمار شکستگی‌ها برای سیستم پیوسته با المانهای ناپیوستگی خیلی زیاد باشد و یا اینکه جابجایی‌های در مقیاس بزرگ برای برخی بلوکها ممکن باشد (شکل ۴-۵ c).

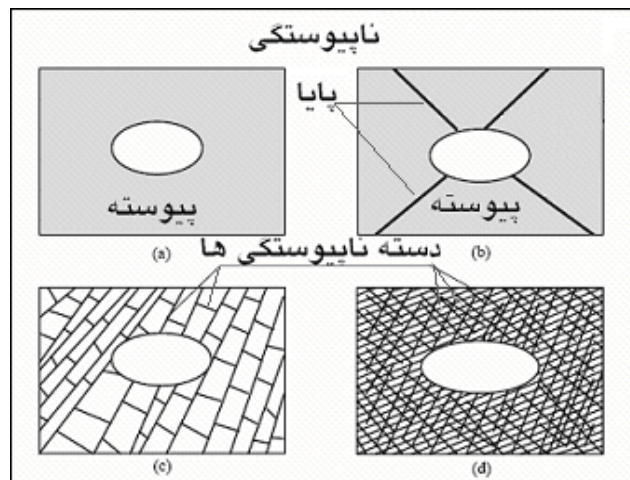


شکل ۴-۵ مفهوم گسسته سازی سنگهای شکسته (نمایش توده سنگ‌ها (a)) در تکنیکهای (b) FDM/FEM، (c) BEM، (d) DEM

[۱۶].

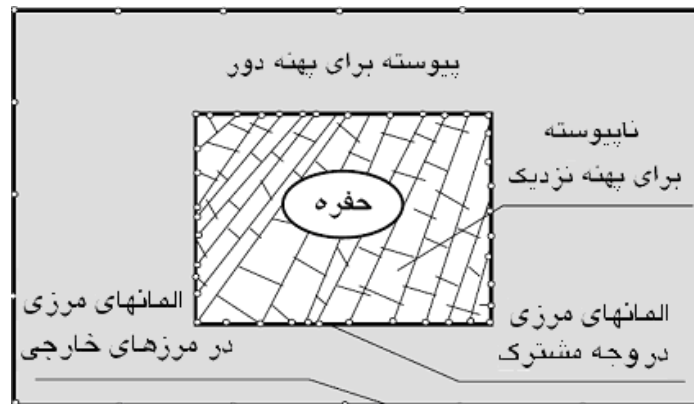
در شکل (۴-۶) انواع محیط های پیوسته (a-۴-۶)، ناپیوسته (b-۴-۶)، بلوکی (c-۴-۶) و شبه پیوسته (d-۴-۶) مشخص شده است.

مدلسازی سنگهای شکسته نیازمند روشهای عددی و برنامه‌های کامپیوتری با کارایی بالا می‌باشد برای آماده کردن ارائه مناسب از بیشتر ویژگیهای و پروسه های قابل توجه در عمل از روشهای هیبرید یا پروسه های چندگانه استفاده می‌شود. هیچ روشی دارای برتری مطلق نسبت به روش دیگر نمی‌باشد. اما برخی کاستی‌های ذاتی یک روش را می‌توان با ترکیب مدل‌های گسسته- پیوسته جبران کرد، که این شیوه اصطلاحاً هیبرید نام دارد [۱۶].



شکل ۴-۶ وضعیتهای مختلف برای انتخاب روش عددی پیوسته یا ناپیوسته [۱۶].

Brad و Lorig در سال ۱۹۸۴ یک برنامه کامپیوتری را ارائه کردند که در آن سنگ دور از منطقه با استفاده از BEM بصورت پیوسته همسانگرد متقاطع مدل شده و سنگ قرار گرفته در میدان نزدیک بصورت مجموعه ای از بلوکهای المان مجزا همراه با شکستگیهای سنگی مدل شده است. این نوع هیبرید BEM-DEM در شکل (۷-۴) نشان داده شده است.



شکل ۷-۴ مدل هیبرید، روش ترکیبی از دو یا چند روش عددی [۱۶].

مراحل مورد نیاز برای انجام یک تحلیل عددی موفق عبارت است از:

۱. تعیین اهداف آنالیز مدل
۲. ایجاد تصویری ذهنی از سیستم فیزیکی
۳. ایجاد و اجرای مدل‌های ساده
۴. گردآوری اطلاعات ویژه مساله
۵. تهیه مدل‌های با جزییات
۶. انجام محاسبات مدل

۷. ارائه نتایج جهت تفسیر

مرحله ۱: تعیین اهداف آنالیز مدل

میزان اعمال جزییات در مدل اغلب به هدف آنالیز وابسته می باشد. برای مثال اگر هدف تصمیم گیری بین دو مکانیزم متفاوت برای شرح رفتار باشد، در این صورت مدلی ساده ایجاد می شود (بشرط آنکه این مدل رویداد مکانیزم مورد نظر را ممکن سازد). پیچیده نمودن مدل تنها به این علت که در واقعیت وجود دارند امری اغواء کننده می باشد. در صورتیکه ساختارهای پیچیده کننده تاثیر اندکی را بر رفتار مدل داشته باشند و یا ارتباطی با هدف تحلیل نداشته باشند، قابل چشمپوشی بوده و از آنها صرفنظر می شود.

مرحله ۲: ایجاد تصویر ذهنی از سیستم فیزیکی

داشتن تصویر ذهنی از مساله برای ایجاد تخمین اولیه از رفتار مورد انتظار تحت شرایط اعمالی مهم است. خصوصیات اصلی مدل عبارتند از طرح هندسه مدل، نوع مدل رفتاری مواد، شرایط مرزی و تعادل اولیه مدل براساس این سوالات مشخص می شود که آیا مدل سه بعدی نیاز است و یا می توان از مدل دوبعدی استفاده نمود؟

مرحله ۳: ایجاد و اجرای مدل‌های ساده

به هنگام ایده ال سازی یک سیستم فیزیکی برای آنالیز عددی، بهتر است که قبل از ایجاد مدل شامل جزییات، ابتدا مدل‌های ساده ایجاد و اجرا شوند. انجام مدل‌های ساده در مراحل اولیه، مفید بوده و اطلاعات مناسبی حاصل می شود. نتایج حاصل از مدل‌های ساده می توانند بینش مناسبی را از تصویر ذهنی سیستم ایجاد نمایند.

مرحله ۴: گردآوری اطلاعات ویژه مساله

انواع اطلاعات مورد نیاز برای آنالیز یک مدل بشرح زیر می باشند:

جزییات هندسه (برای مثال پروفیل حفاری، توپوگرافی زمین، ساختار سنگ/ خاک، نمیرخ سد و...)

موقعیت ساختارهای زمین شناسی (برای مثال گسلها، صفحات لایه بندی و دسته درزه ها)

شرایط اولیه (برای مثال بارگذاری حاصل از انفجار، تونل تحت فشار)

چون در مورد شرایط حاکم (بوئزه وضعیت تنش، خصوصیات تغییر شکل پذیری و مقاومتی) عدم قطعیت بالایی وجود دارد، می بایست محدوده مناسبی از پارامترها جهت بررسی انتخاب شوند. نتایج اجرای مدل ساده (مرحله سوم) اغلب در تعیین این محدوده مفید بوده و بینش مناسبی را جهت جمع آوری اطلاعات مورد نیاز از آزمایشهای برجا و صحرایی مهیا می کند.

مرحله ۵: تهیه مدل با جزییات

آنالیزهای عددی اغلب شامل یکسری شبیه سازیهای رایانه ای می باشند که شامل مکانیزمهای مختلف تحت بررسی و تعیین محدوده پارامترهای حاصل از اطلاعات پایه است. به هنگام اجرای یکسری مدل، باید چند مطلب را در نظر داشت:

۱- زمان مورد نیاز برای اجرای محاسبات مدل چه میزان است؟ اگر زمان اجرای مدل بالا برود دستیابی به اطلاعات مناسب، برای رسیدن به نتیجه مناسب مشکل می شود.

۲- وضعیت مدل باید در چند مرحله از اجرای آن ذخیره شود. بطوریکه برای تغییر پارامتر نیاز به تکرار کل مدل نباشد. برای مثال اگر آنالیز شامل چندین مرحله بارگذاری و باربرداری باشد، کاربر باید قادر باشد که به هر مرحله از مدل که نیاز دارد رجوع و پارامتر مورد نظر را تغییر داده و آنالیز را از آن مرحله ادامه دهد.

۳- باید تعداد مناسبی نقاط رفتارنگاری در مدل انتخاب شود و تغییرات پارامترهایی خاص در این نقاط (جابجایی، سرعت یا تنش) در طی محاسبات ثبت شوند، تا براساس آن تفسیر مناسبی از نتایج مدل حاصل شود و بتوان نتایج محاسبه شده را با نتایج واقعی قیاس نمود. همچنین همواره باید نیروی نامتعادل کننده حداکثر مدل را ثبت نمود تا وضعیت تعادل یا حالت شکست در هر مرحله از آنالیز بررسی شود.

مرحله ۶: انجام محاسبات مدل

بهبتر است قبل از اجرای کامل مدل، مدل به دو یا چند بخش تقسیم شود و این بخشهای کوچک اجرا شوند. اجراها باید در هر مرحله، مورد بررسی قرار گیرند تا مشخص شود که رفتار مدل مشابه رفتار مورد انتظار می باشد و یا نه پس از مشخص شدن صحت مدل، مدل کامل اجرا می شود.

مرحله ۷: ارائه نتایج برای تفسیر

مرحله نهایی از حل مساله، ارائه نتایج برای تفسیر آنالیز می باشد. خروجی های مساله باید بطریقی باشند که بتوان با نتایج برجا قیاس نمود.

۴-۳- معرفی نرم افزار مورد استفاده در این تحقیق

۴-۳-۱- روش المان محدود^{۱۴} (FEM)

این تکنیک معمول ترین روش عددی در علوم مهندسی است. و در مسائل مختلفی از موضوعات مهندسی کاربرد دارد. کاربرد اصلی این روش در مسائل بار-جابجایی است. قسمت اعظم یک برنامه المان محدود از دید کاربر آن پنهان می ماند و کاربر با کمترین تلاش می تواند به جواب های مورد نظر برسد. این بدان معنا نیست که این روش آسان است و برای حل مسائل مهندسی نیاز به هیچ مهارتی نمی باشد، برعکس، برای کار با برنامه و تفسیر نتایج بدست آمده و ملاحظات کارشناسی، مهارت خاصی مورد نیاز است [۱۱].

روش FEM نیازمند تقسیم کردن پهنه مسئله به زیر بخشهای (المانهای) کوچکتر و با شکل استاندارد (مثلث، مربعی، چهارگوش و...) همراه با تعداد معینی گره در رئوس و یا در جوانب، می باشد. توابعی، عموماً چند جمله ای، بکار می روند تا رفتار معادلات مشتقات جزئی را در سطوح المانی تقریب زده تا اینکه معادلات جبری محلی نماینده المانها را تولید کنند. سپس بر اساس روابط مکانی میان گره ها و المانها، معادلات المانی محلی در یک دستگاه معادلات جبری کلی گردآوری می شوند که پس از وارد ساختن شرایط اولیه و مرزی، حل آنها اطلاعات مورد نیاز برای حل مسئله را

بدست خواهد داد. این رویکرد (FEM)، بدلیل انعطلاف پذیری آن در رویارویی با ناهمگنی مواد، شرایط غیر خطی و مرزی، بیشترین روش بکار رفته در مهندسی امروزه می باشد که دارای برنامه های کامپیوتری اقتصادی و توسعه یافته زیادی همراه با قدرت محاسباتی فراوان، مواد تعریف شده پیچیده و کاربری آسان می باشد (این رویکرد همچنین اساسی برای DEM به شمار می آید [۱۲] .

۴-۳-۲- معرفی نرم افزار phase ۲

این نرم افزار یکی از نرم افزارهایی است که از روش finite element استفاده می کند و قابلیت مدل کردن انواع حفاریهای زیر زمینی را دارد.

■ نرم افزار Phase ۲ از سه معیار شکست استفاده می کند

■ ۱- معیار شکست موهر کولمب

■ ۲- معیار شکست دراگر-پراگر

■ ۳- معیار شکست هوک و براون

■ پارامترهای زیر را پس از محاسبات میتوان به صورت گرافیکی مشاهده کرد.

■ تنش ها

■ کرنش ها

■ جابجایی های عمودی و افقی

■ کرنش های حجمی

منو های برنامه:

- ۱- boundaries
- ۲- mesh
- ۳- loading
- ۴- restraints
- ۵- support
- ۶- properties

۱- منوی boundaries

- عملیاتی را که در این منومیتوان انجام داد :
- ۱- ایجاد مقطع حفاری با شکل مورد نظر
- ۲- ایجاد مرز حفاری با شکل مورد نظر
- ۳- تعریف مواد مختلف در مناطق مختلف حفاری
- ۴- تعریف مراحل مختلف حفاری
- ۵- اضافه نمودن درزه ها
- ۶- اضافه نمودن pizometer

۲- منوی mesh

- عملیاتی که در این منو می توان انجام داد:
- ۱- تعریف نوع مش بندی و نوع المانها

■ ۲- افزایش یا کاهش دادن حجم مش ها در

■ مناطق مختلف

۳- منوی loading

■ عملیاتی که در این منو میتوان انجام داد:

■ ۱- تعیین مقدار تنش در منطقه

■ ۲- تعیین مقدار بار زلزله

■ ۳- تعیین جهت اعمال بار و تنش

■ ۴- اضافه کردن نیروهای گرهی

■ ۵- اضافه کردن فنر ها

۴- منوی Restraints

■ عملیاتی که در این منو میتوان انجام داد:

■ تعیین نوع تکیه گاههای مرزی (غلطکی، ثابت،...)

۵- منوی support

■ عملیاتی که در این منو میتوان انجام داد:

■ اضافه نمودن انواع ساپورت ها مانند Lining , bolt

۶- منوی properties

■ عملیاتی که در این منو می توان انجام داد:

■ خصوصیات ژئومکانیکی مواد تشکیل دهنده منطقه حفاری

■ خصوصیات ساپورت ها

■ شرایط آبهای زیر زمینی

■ خصوصیات درزه ها

نتیجه گیری: (تحلیل عددی تونل دوم رخ با استفاده از نرم افزار Phase^۲)

برای بررسی پایداری تونل مورد مطالعه از روش کرنش بحرانی ساکورایی که در بخش سوم مورد بررسی قرار گرفت، استفاده شده است. در صورتی که کرنش برشی تونل کمتر از کرنش برشی بحرانی باشد تونل پایدار و در صورتی که کرنش برشی تونل بیشتر از کرنش برشی بحرانی باشد تونل ناپایدار می باشد.

پارامترهای توده سنگ و شرایط اولیه زمین که برای تحلیل مورد استفاده قرار گرفته اند در بخشهای دوم و سوم مورد بحث قرار گرفتند.

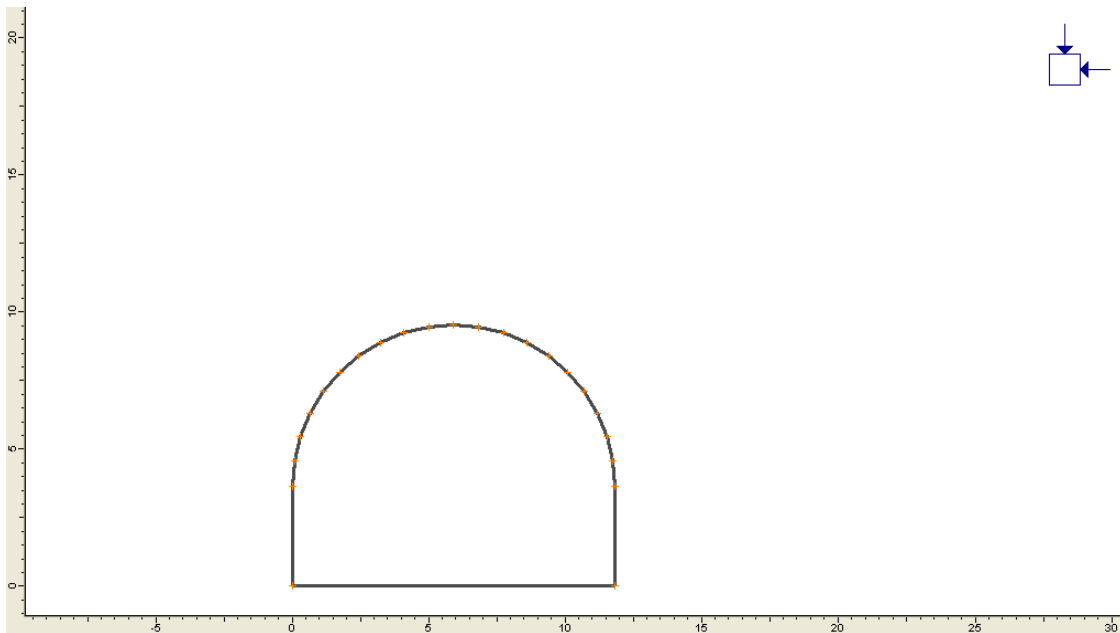
جهت انجام مدلسازی از نرم افزار Phase^۲ استفاده شد. فضای اطراف ابعاد مدل ساخته شده در نرم افزار، ۳ برابر ابعاد تونل می باشد. با توجه به شرایط منطقه و خصوصیات ژئومکانیکی توده سنگ مسیر این تونل از معیار موهر-کلمب استفاده شد زیرا که مدل الاستیک جهت مدل کردن توده سنگهای سخت، مدل دراگر پراگر، جهت مدل کردن خاکها به کار می رود ولی مدل موهر-کلمب جهت مدلسازی سنگ نرم و درزه دار و خاک به کار می رود.

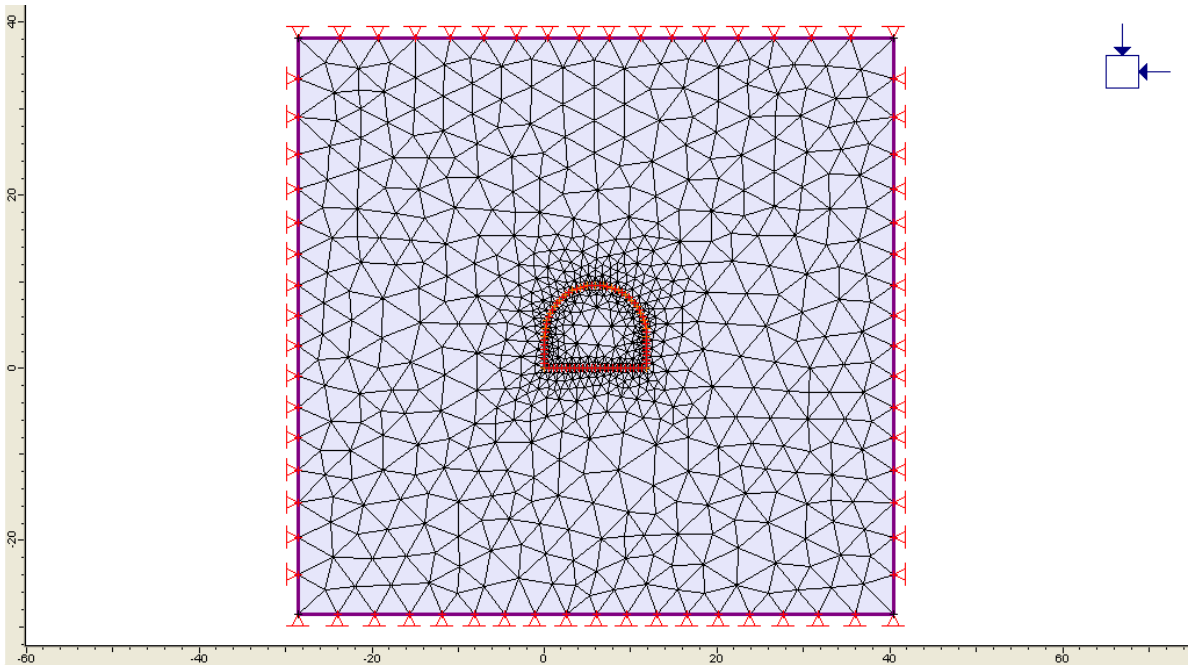
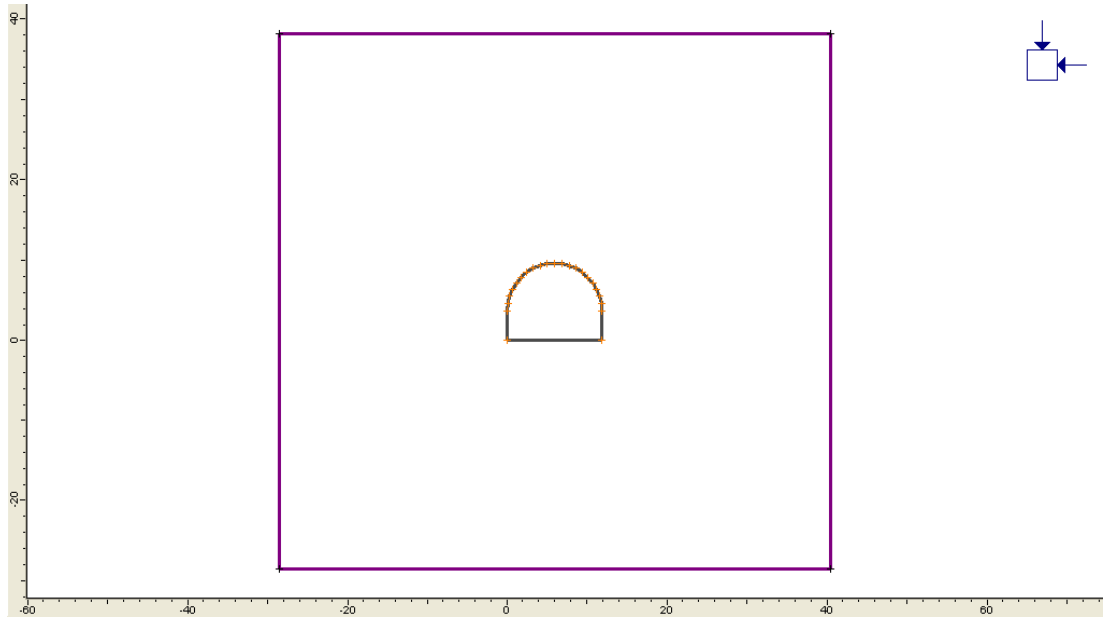
سنگوپتا (۱۹۹۸) تعداد زیادی آزمایش شکست هیدرولیکی در سنگهای ضعیف منطقه هیمالیا انجام داده است. وی رابطه زیر را برای بدست آوردن مقدار تنش افقی در اعماق کمتر از ۴۰۰ متر پیشنهاد کرده است.

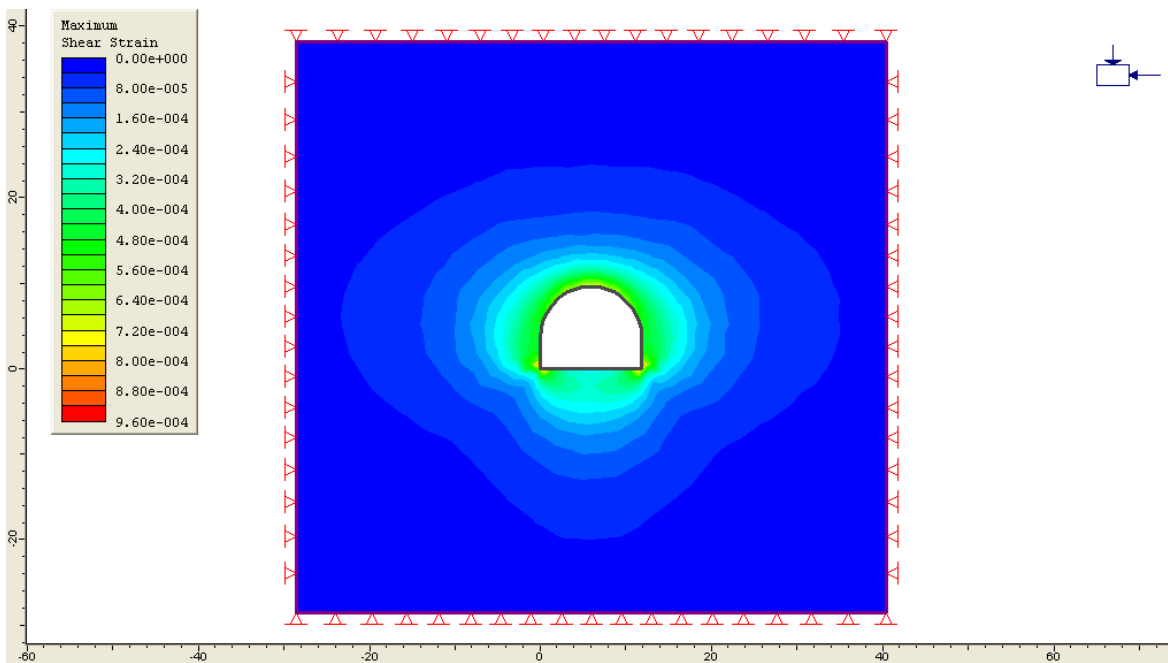
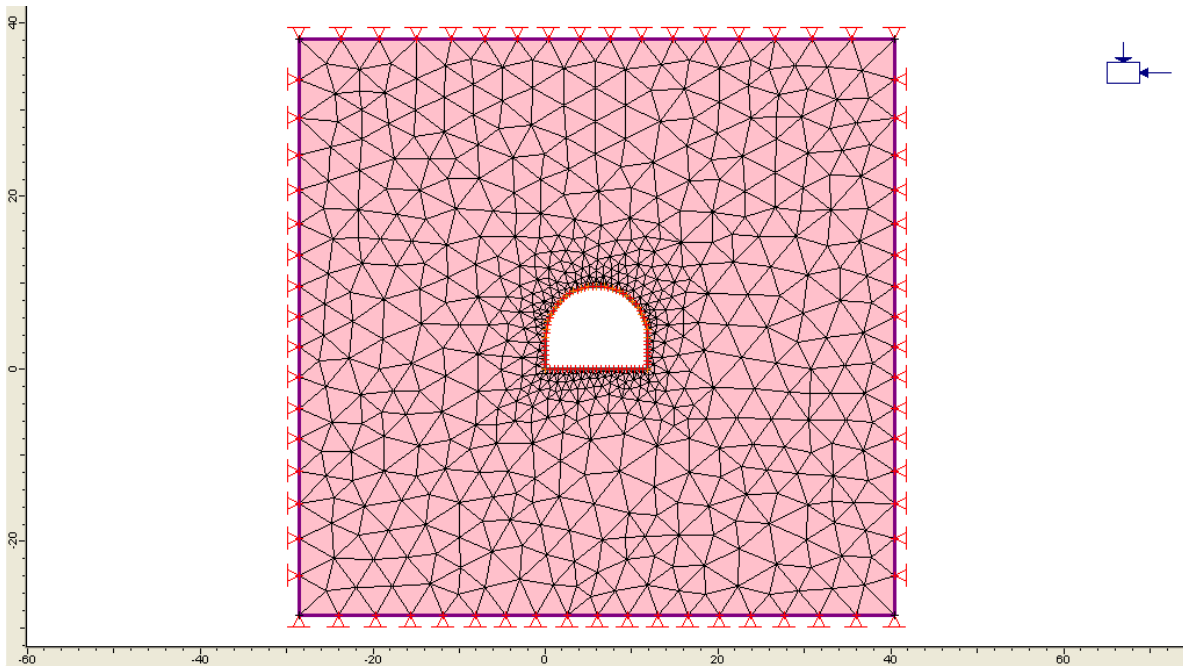
$$\sigma_h = 1.5 + 1.2 \cdot \sigma_v$$

$$Z < 400m$$

رابطه سنگوپتا در مناطق کوهستانی پرشیب که تنشهای برجای افقی بیشتر آزاد می گردد، قابل کاربردتر می باشد. برای تحلیل تونل، حداکثر تنشهای برجا که معمولاً مربوط به بیشترین عمق هر توده سنگ می باشد، در نظر گرفته می شود. با توجه به اینکه تونل مورد مطالعه در عمق کمتر از ۴۰۰ متر و در منطقه کوهستانی واقع شده (عمق تونل ۱۷۰ متر در نظر گرفته شده است)، بنابراین مقدار σ_v از رابطه $\sigma_v = \gamma h$ و مقدار σ_h از رابطه سنگوپتا محاسبه شده است. در نتیجه $\sigma_h = ۶.۸$ و $\sigma_v = ۴.۴۲$ می باشد.







مقادیر کرنش برشی توده سنگ در ساختار شماره ۱۳ مسیر تول دوم رخ

وضعیت پایداری	کرنش برشی حاصل از نرم افزار			γ_c (%)
	کف	دیواره	سقف	
پایدار	۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۰۸

با توجه به مقادیر بالا مقدار کرنش برشی حداکثر از مقدار کرنش برشی بحرانی توده سنگ کمتر است و این بدان معناست که وضعیت توده سنگ پایدار می‌باشد و سیستم نگهداری اعمال شده (پوشش بتنی) برای این تونل جوابگو می‌باشد.

منابع:

- ۱- سینگ بهاوانی و آر.ک گوئل، ترجمه: تقی پور، سیاوش، رخشنده، مهدی، ۱۳۸۲، "طبقه بندی توده سنگها"، انتشارات جهاددانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر، چاپ اول.
- ۲- هراتی، محمد رضا، تابستان ۱۳۷۴، "طبقه بندی مهندسی سنگها در ارتباط با طراحی فضاهاى زیرزمینی"، نشر اختر شمال.
- ۳- Palmstrom, Arild., Singh, Rajbal., ۲۰۰۴, "the Deformation modulus of rock mass", Tunneling and underground space technology, Vol. ۱۶, No.۳, pp. ۱۱۵-۱۳۱.
- ۴- Hoek, E., Diederichs, M.S., ۲۰۰۶, "Empirical estimation of rock mass modulus", International Journal of Rock Mechanical & Mining Science, ۴۳, pp. ۲۰۳-۲۱۵.
- ۵- Bhasin, R., Barton, N., Grimstad, E. And Chryssanthakis. P., ۱۹۹۶, "Engineering Geological Characterisation of low strength anisotropic rocks in the Himalayan region for assessment of tunnel support", proc. Conf. Recent advances in Tunneling Technology. New Dehli. pp. ۱۵۷-۱۸۱.
- ۶- Edelbro, Catrin., ۲۰۰۳, "Rock Mass Strength", Technical Report, Lulea.

- ۷- ۲۰۰۲, "ROCKLAB AND PHASE^۲ User Guide Rock science", www.rockscience.com
- ۸- Hoek, E., ۲۰۰۰, "Rock Engineering", online book, www.rockscience.com
- ۹- Singh, B., Goel, R. K., ۱۹۹۹, "Rock Mass Classification", Elsevier Science Ltd.
- ۱۰- Sakurai, S., ۱۹۹۵, "Lesson Learned From Field Measurements in Tunneling", Tunneling and underground space technology, Vol. ۱۲, No.۴, pp.۴۵۳-۴۶۰.
- ۱۱- اشجاری، رضا، ۱۳۸۴، "بررسی سه بعدی تنش در اطراف مغارها با نگرشی بر مغار مسجد سلیمان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک سنگ، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۲- الکین، جی، ای، ۱۳۷۶، "تحلیل اجزای محدود" ترجمه، مسعود مفید، ابوالحسن وفایی، دانشگاه صنعتی شریف، موسسه انتشارات علمی.
- ۱۳- دودانگه، داود، ۱۳۸۰، "روش های عددی در مکانیک سنگ و بررسی قابلیت انعطاف پذیری هر روش با شرایط توده سنگ"، سمینار کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک سنگ، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۴- شفیق زاده، نادیا، ۱۳۸۲، "طراحی، تحلیل پایداری و طراحی سیستم نگهداری مغار نیروگاه طرح سیاه بیشه"، پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک سنگ، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۵- "گزارش معرفی طرح سد و نیروگاه سیاه بیشه"، ۱۳۸۵، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.
- ۱۶- موسی زاده، سیف اله، ۱۳۸۳، "مقایسه روش های عددی در تحلیل پایداری و طراحی سیستم نگهداری مغار نیروگاه مسجد سلیمان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک سنگ، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۷- Aoki, K., ۲۰۰۷, "Rock engineering in underground space utilization in Japan- experience of underground energy storage projects", ۳rd Iranian Rock Mechanics Conference, PP.۱۰۳۱-۱۰۴۴.
- ۱۸- Beiniawski, Z. T., ۱۹۸۴, "Rock design in mining and tunneling".
- ۱۹- Bell, F. G., ۱۹۹۴, "Engineering in rock masses", Butter Worth Heinemann L.T.D.

- ٢٠-Engineering Report, ١٩٨٢, "Engineering geology and geotechnical investigations Phase٢", Lameyer & Moshanir.
- ٢١-Haimson, B.C., ١٩٧٧, "Design of underground powerhouse and the importance of pre-excavation stress measurement", Sixteenth Symposium on Rock Mechanics, Design Methods in Rock Mechanics, PP.١٩٧-٢٠٢.
- ٢٢-Hoek,E., ١٩٨١, "Geotechnical design of large opening at depth", RETC, Ch.٧٢, PP.١١٢٧-١١٨٠.
- ٢٣-Hoek, E., Brown,E. T., ١٩٨٠, "Underground excavation in rock" Institution of Mining and Metallurgy,London.
- ٢٤-Itasca Consulting Group, Inc., " UDEC, Universal Distinct Element Code", Version ٢, User's Manual.
- ٢٥-Jing L., ١٩٩٨, "Formulation of discontinuos analysis(DDA) an implicit discrete element model for block system", Eng. Geol., PP. ٣٧١-٣٨١.
- ٢٦-Jing L., Hudson J.A., ٢٠٠٢, "Numerical methods in rock mechanic", Int. Journal of Rock Mechanic & Mining Science ٣٩, ٢٠٩-٢٢٧.
- ٢٧-Kalkani, E. C., ١٩٨٨, "Finite-element stress analysis in underground power house cavern and support measure design", Rock Mechanics and Power Plants, Volume ١, PP. ١٨٧-١٩٢.
- ٢٨-Sakurai, S., ١٩٨٣, " Displacement measurement associated with the design of underground opening ", Int. Symp. On Field Measurement in Geomechanics, Edited by kovari, K., PP ١١٢٣-١١٧٨.
- ٢٩-Sakurai, S., ١٩٨٥, "Evaluation of plastic zone around underground opening by means of displacement measurement", Fifth Int. Conf. on Numerical Method in Geomechanics Edited by Kawamoto, T. and Ishicawa , Y., Nagoya, Japan. PP.١١١-١١٨.

30.- Ziping, H., Einar, B., and Ming, L., 2002, "Cavern roof stability-mechanism of arching and stabilization by rockbolting", Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 17, PP 249-261.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.