

ارزیابی خصوصیات ژئومکانیکی توده‌های سنگی مسیر تونل همرو جهت طراحی سیستم نگهدارنده اولیه

مجتبی شیری^۱، محمد غفوری^۲، غلامرضا لشکری پور^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، mojtabashiri۹۰۲@yahoo.com

^۲ استاد، گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد، ghafoori@um.ac.ir

چکیده

پروژه تونل همرو در غرب استان کردستان به طول ۱۳۱۲ متر و سطح مقطع 96 m^2 جهت افزایش ایمنی جاده جدید مریوان - سنندج و کوتاه شدن مسیر مذکور در استان کردستان طراحی شده است. در این مقاله پارامترهای ژئومکانیکی توده‌های سنگی، بر اساس روش تجربی (سیستم طبقه بندی، RMR و Q) و عددی با استفاده از نرم افزار Dips و مشخص کردن دسته درزه‌ها به منظور تشخیص احتمالی گسیختگی در مسیر تونل و همچنین به منظور برآورد کیفیت توده سنگ‌های در برگیرنده تونل و برآورد سیستم نگهدارنده مقدماتی استفاده شده است. در نهایت اینکه با استفاده از دو روش تجربی و عددی بر میزان دقت و اعتمادپذیری طراحی تونل افزوده شده است.

واژه‌های کلیدی

توده سنگ، تونل همرو، Q، RMR، سیستم طبقه بندی

۱- مقدمه

با افزایش جمعیت شهری و محدودیت ظرفیت جاده‌ها، جهت تأمین ایمنی مسیرهای تردد و افزایش سرعت حمل و نقل در مسیرهای بین شهری و نیز با توجه به مشخصات هندسی مسیرهای بین شهری، اجرای سازه‌های زیرزمینی نظیر تونل از جمله راهکارهای مناسب می‌باشد. با توجه به حجم ترافیکی بالا در مسیر سنندج به مریوان و محدودیت ظرفیت جاده و مشخصات هندسی مسیر موجود، تصمیم به احداث و بهسازی راه‌قدیمی سنندج به مریوان گرفته شد [۱].

تونل همرو در مسیر جاده جدید سنندج - مریوان واقع شده است، که جهت افزایش ایمنی مسیر طراحی شده است. این تونل به طول ۱۳۱۲ متر و قطر ۱۲ متر در مسیر جاده تیوتیژ-گاران در غرب استان کردستان و در ۵ کیلومتری شمال شویسه در محدوده ای با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۴۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲۷ دقیقه واقع شده است [۱]. با توجه به تقسیم بندی زون‌های ساختمانی ایران، منطقه مورد مطالعه در زون ساختمانی

سنندج - سیرجان واقع شده است که فعال‌ترین زون از نظر تکتونیکی می‌باشد [۲].

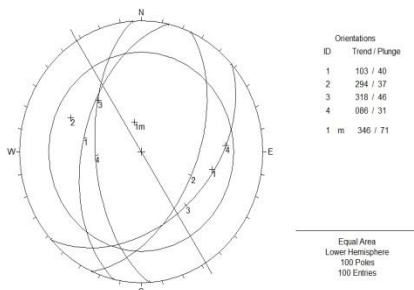
طبقه‌بندی توده‌سنگ بر اساس روش طراحی تجربی استوار است و به‌طور گسترده در مهندسی سنگ به کار می‌رود. طبقه‌بندی مهندسی توده‌سنگ اخیراً در طراحی سازه‌های مهندسی کاربرد زیادی پیدا کرده است [۵]. هنگامی که طبقه‌بندی توده‌سنگ به درستی مورد استفاده قرار گیرد یک ابزار قدرتمند در طراحی محسوب می‌شود. در بسیاری از پروژه‌های پیچیده‌ی زیرزمینی طبقه‌بندی توده سنگ در نزدیک شدن به طراحی پایه نقش مهمی دارد. در نروژ ورزشگاه زیرزمینی هاکی روی یخ گژوویک توسط روش طبقه‌بندی مهندسی توده سنگ طراحی شده است [۷].

باید توجه داشت که به کارگیری یک روش رده‌بندی توده‌های سنگی رانمی‌توان جایگزین روش‌های طراحی دقیق نمود. با این نوع طبقه بندی در واقع ابزار اولیه‌ای برای طراحی دقیق تر به شمار می‌آید. واضح است تحلیل دقیق پایداری، مستلزم آگاهی دقیق از وضعیت تنش‌های موثر بر توده سنگ و خاک و نیز جزئیات شیوه‌ی حفاری تونل است [۳].

زون جهت بررسی سیستم نگهدارنده تقسیم گردید. زون ۱ که زون بهم ریخته با سنگ‌های با مقاومت و پایداری کم است، وجود پهنه‌های برشی کوچک و بزرگ و یک گسل در میان آن در ناپایداری آن نقش زیادی داشته است. بیشترین سرباره ی تونل در زون ۷ و ۸ است، که حدود ۱۲۰ متر می‌باشد و کمترین سرباره در زون‌های ۱ و ۱۲ که حدود ۲۵ متر است می‌باشد. تراز تونل نیز از ۱۷۰۰ متر در دهانه‌ی ورودی تا ۱۶۸۰ متر در دهانه خروجی تونل متغیر است. به طور کل سنگ‌های در برگرفته‌ی مسیر تونل، سنگ‌های شیل، شیل آهکی، آهک، آهک‌شیلی و رسوبات عهد حاضر با خوردشدگی و بهم‌ریختگی زیاد می‌باشد. شکل ۲ پروفیل زمین شناسی تونل همرو را نشان می‌دهد.

۲-۳- برداشت ناپیوستگی‌ها

به طور کلی اطلاعات مربوط به ۱۱۶۵ ناپیوستگی در طول مسیر تونل برداشت شده است. تجزیه و تحلیل آماری این اطلاعات به کمک برنامه کامپیوتری ۲ DIPS انجام شده است. در شکل ۳-۹ تصویر استریوگرافی ناپیوستگی غالب مسیر تونل، در زون‌هایی که احتمال گسیختگی گوه‌ای وجود دارد نشان داده شده است. در صورتی که محل برخورد ناپیوستگی‌ها کمتر از زاویه ی اصطکاک داخلی باشد، امکان تشکیل گوه و لغزش آن به داخل تونل زیاد است. و باید تمهیدات لازم جهت پایداری آن صورت گیرد [۹]. (خط مستقیم، محور تونل و دایره، زاویه ی اصطکاک داخلی را در تصاویر استریوگرافی نشان می‌دهد).



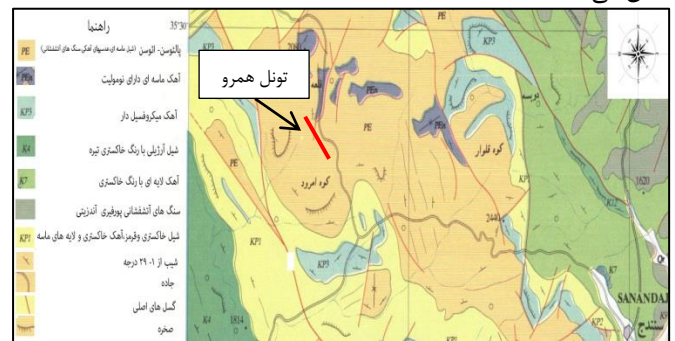
شکل ۳: تصویر استریوگرافی ناپیوستگی‌ها

۲- زمین شناسی مسیر تونل

از نظر زمین شناسی منطقه ای محل احداث تونل همرو جزو محدوده بین پهنه سنندج- سیرجان و گستره زاگرس خرد شده شمالی محسوب می‌شود، رسوبات کرتاسه- پالئوسن بصورت گسترده و یکنواخت در محل احداث تونل، نهشته‌های مربوط به رخساره‌های حوضه ای، شیب قاره ای تا پلاتفرمی را تشکیل می‌دهد.

از نظر لیتولوژی، سنگهای مسیر تونل های همرو شامل تناوب آهک متورق عدسی شکل و شیل خاکستری تیره که مربوط به ائوسن پائینی و دوره پالئوسن می‌باشند این ساختار زمین شناسی مربوط به سازند کشکان وتله زنگ (وجود آهک عدسی نازک) که غالباً در ایران زیر سازند شهبازان و بالاتر از سازند امیران قرار میگیرد که ضخامت کم لایه های نازک شیل و شیل آهکی و سیلتی و ماسه سنگ های نازک لایه از ویژگی‌ای این سازند میباشد، که در برابر نیروهای تکتونیکی و کوهزای ضعیف و در آنها به شدت چین خوردگی و گسلش به وجود می‌آید [۱].

شکل ۱ موقعیت تونل را در نقشه ی ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین شناسی منطقه را نشان می‌دهد [۴].



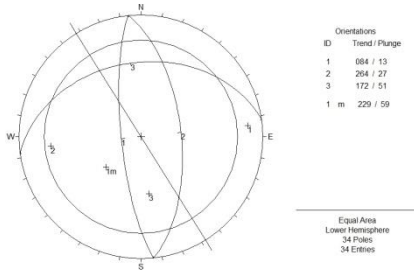
شکل ۱: موقعیت تونل همرو در نقشه ی زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ [۴].

۳- بحث و نتیجه گیری

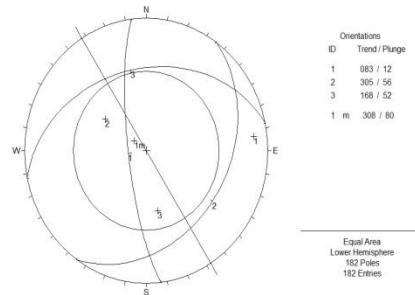
۳-۱- بررسی زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی توده‌های

سنگی مسیر تونل

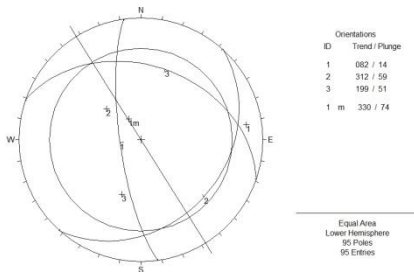
بررسی زمین‌شناسی مهندسی و مطالعات ژئوتکنیکی عمدتاً شامل: برداشت ناپیوستگی‌ها، حفاری‌های اکتشافی، آزمون‌های آزمایشگاهی و طبقه‌بندی مهندسی توده های سنگی می باشد. براساس مشخصات زمین شناسی محدودی دربرگیرنده تونل همرو در آذربیلت زمین شناسی به ۱۲



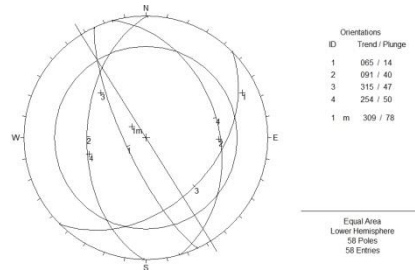
شکل ۸: تصویر استریوگرافی ناپیوستگی های غالب در زون ۹



شکل ۴: تصویر استریوگرافی ناپیوستگی های غالب در زون ۲



شکل ۹: تصویر استریوگرافی ناپیوستگی های غالب در زون ۱۱



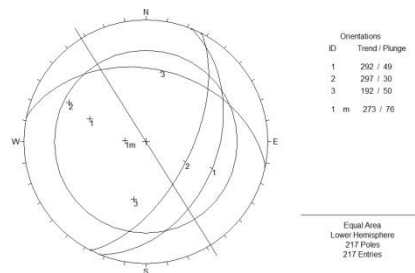
شکل ۵: تصویر استریوگرافی ناپیوستگی های غالب در زون ۳

۳-۳- طبقه‌بندی توده سنگ‌های مسیر تونل همرو به روش RMR

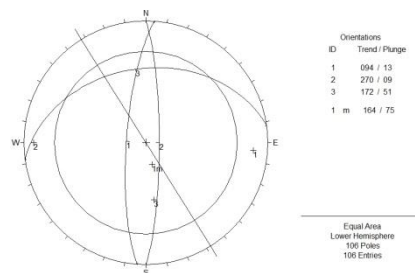
نتایج طبقه‌بندی RMR بر روی توده سنگ‌های مسیر تونل همرو در جدول شماره ۱ نشان داده شده‌است [۱]. بر اساس نتایج این جدول توده سنگ‌های در برگزیده تونل بر اساس سیستم RMR، زون‌های ۱ و ۹ در رده ی رده بندی سنگ‌های خیلی ضعیف، زون‌های ۳، ۵، ۶، ۸ و ۱۱ در رده ی سنگ‌های ضعیف و زون‌های ۲، ۴، ۷ و ۱۰ در رده ی سنگ‌های مناسب قرار دارند [۱۰]. شکل ۱۰ مقادیر زمان پایداری برای بخش های مختلف تونل بدون سیستم نگهدارنده و جدول ۲ مقادیر زمان پایداری برای بخش‌های مختلف تونل بدون سیستم نگهدارنده را نشان می‌دهد.

جدول ۱- طبقه‌بندی توده سنگ‌های مسیر تونل همرو به روش RMR [۱]

RMR	لیتولوژی	موقعیت (Km)		زون بندی
		km	km	
۲۰	کمپلکس	۵+۰۶۰	۴+۹۲۰	۱
۵۲	LI	۵+۱۷۰	۵+۰۶۰	۲
۲۵	SH,SHL	۵+۲۴۱	۵+۱۷۰	۳
۵۲	LI	۵+۳۶۴	۵+۲۴۱	۴



شکل ۶: تصویر استریوگرافی ناپیوستگی های غالب در زون ۵

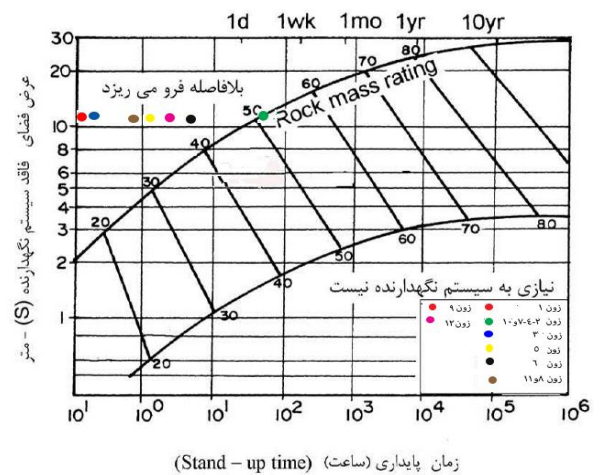
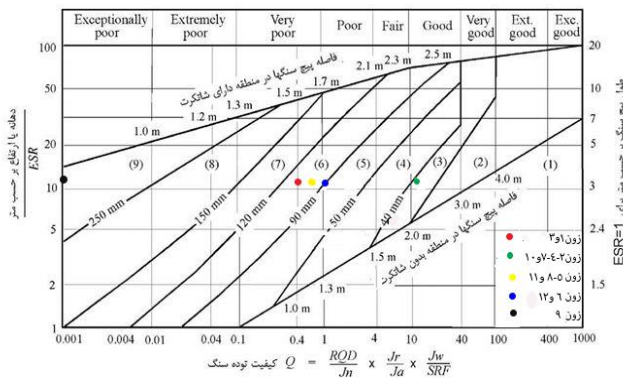


شکل ۷: تصویر استریوگرافی ناپیوستگی های غالب در زون ۸

جدول ۳- طبقه‌بندی توده سنگ‌های مسیر تونل همرو به روش Q [۱].

زون بندی	موقعیت (Km) km± km±	لیتولوژی	Q
۱	۵+۰۶۰-۴+۹۲۰	کمپلکس	۰/۴
۲	۵+۱۷۰-۵+۰۶۰	LI	۱۱/۵
۳	۵+۲۴۱-۵+۱۷۰	SH,SHL	۰/۴
۴	۵+۳۶۴-۵+۲۴۱	LI	۱۱/۵
۵	۵+۶۹۲-۵+۳۶۴	SHL,LSH	۰/۶۶
۶	۵+۸۰۰-۵+۶۹۲	SHS	۱/۱۶
۷	۵+۸۵۰-۵+۸۰۰	LI	۱۱/۵
۸	۵+۹۸۰-۵+۸۵۰	SHL	۰/۶۶
۹	۶+۰۳۵-۵+۹۸۰	SH	۰
۱۰	۶+۰۹۷-۶+۰۳۵	LI	۱۱/۵
۱۱	۶+۱۹۵-۶+۰۹۷	SHL	۰/۶۶
۱۲	۶+۲۳۲-۶+۱۹۵	LSH	۱/۱۶

۵	LSH,SHL	۵+۶۹۲-۵+۳۶۴	۳۶
۶	SHS	۵+۸۰۰-۵+۶۹۲	۴۰
۷	LI	۵+۸۵۰-۵+۸۰۰	۵۲
۸	SHL	۵+۹۸۰-۵+۸۵۰	۳۴
۹	SH	۶+۰۳۵-۵+۹۸۰	۰
۱۰	LI	۶+۰۹۷-۶+۰۳۵	۵۲
۱۱	SHL	۶+۱۹۵-۶+۰۹۷	۳۴
۱۲	LSH	۶+۲۳۲-۶+۱۹۵	۳۸



شکل ۱۰: ارتباط بین زمان پایداری با عرض فضای حفاری بر اساس مقدار RMR

جدول ۲: مقادیر زمان پایداری برای بخش‌های مختلف تونل بدون سیستم نگهدارنده

مقدار RMR	۳۴	۰	۲۵	۴۰	۳۸	۳۴	۵۲	۲۰	۳۶
Stand-up time (ساعت)	-	-	-	۸	۶	-	۸۰	-	۴

تمهیدات تقویت سنگ

- 1) Unsupported
- 2) Spot bolting
- 3) Systematic bolting
- 4) Systematic bolting with 40-100 mm unreinforced shotcrete
- 5) Fibre reinforced shotcrete, 50 - 90 mm, and bolting
- 6) Fibre reinforced shotcrete, 90 - 120 mm, and bolting
- 7) Fibre reinforced shotcrete, 120 - 150 mm, and bolting
- 8) Fibre reinforced shotcrete, > 150 mm, with reinforced ribs of shotcrete and bolting
- 9) Cast concrete lining

شکل ۱۱: تمهیدات نگهداری برای بخش‌های مختلف تونل، منطبق با سیستم Q [۶].

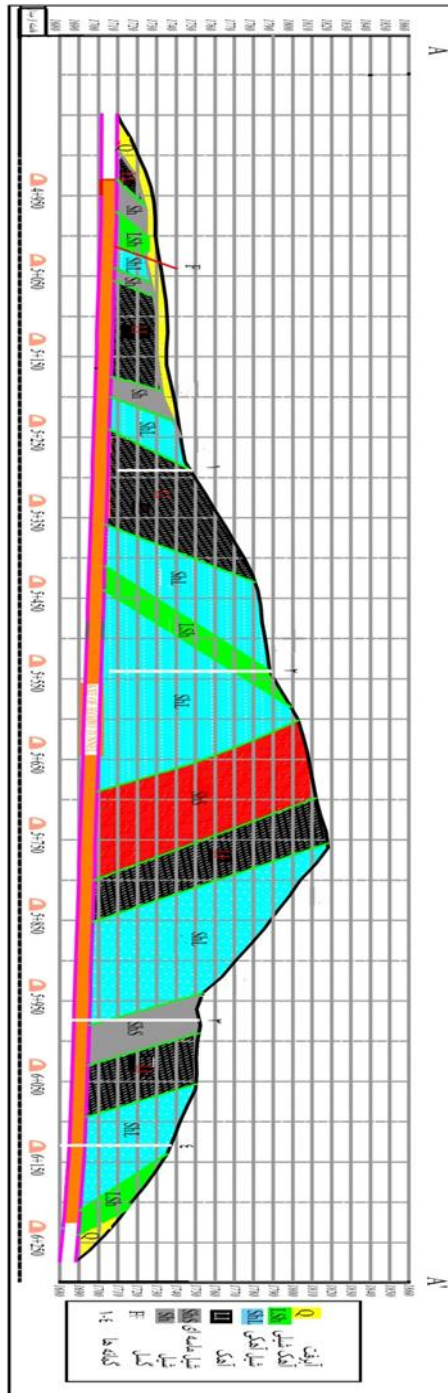
جدول ۵: تمهیدات نگهداری برای بخش‌های مختلف تونل، منطبق با سیستم Q [۱۱].

زون	رده توده سنگ	پیچ سنگ به قطر ۲۰ mm و کاملاً تزریق شده	شاکرت (mm)	قاب های فلزی
۳ و ۱	خیلی	پیچ سنگ به طول ۳/۵ متر	۹۰ - ۱۲۰	قاب های فلزی متوسط تا سنگین با فاصله ی ۱/۵ متر
۱۱ و ۸، ۵	ضعیف	فاصله ی ۱/۶ متر		متردد صورت لزوم، با لاگ های فولادی پورفلینگ

۳-۴- طبقه‌بندی توده سنگ‌های مسیر تونل همرو به روش Q

نتایج طبقه‌بندی Q بر روی توده سنگ‌های مسیر تونل همرو در جدول شماره ۳ نشان داده شده است [۱].

در شکل ۱۱ ارزیابی تمهیدات سیستم نگهدارنده برای مقاطع مختلف تونل بر اساس Q و جدول ۵ تمهیدات نگهداری برای بخش‌های مختلف تونل، منطبق با سیستم Q را نشان می‌دهد [۸].



شکل ۲: پروفیل زمین شناسی مسیر تونل

احتیاجی نیست	احتیاجی نیست	پیچ سنگ به طول ۳/۵ مترو فاصله ی ۲/۵ متر	خوب	۱۰ و ۷، ۴، ۲
قاب های فلزی سبک تا متوسط در فاصله ۱/۵ متر، در صورت لزوم	۹۰	پیچ سنگ به طول ۳/۵ مترو فاصله ی ۱/۷ متر	ضعیف	۱۲، ۶
قاب های فلزی متوسط تا سنگین با فاصله ی ۱/۵ متر در صورت لزوم، با لاگ های فولادی پورفلینگ	بتنی	دیوارسازی پیچ سنگ به طول ۳/۵ مترو فاصله ی ۰/۵ متر	به طور استثنایی ضعیف	۹

۵-۳- حفاری های اکتشافی

به منظور بررسی شرایط زیرسطحی و همچنین تهیه نمونه های سنگی جهت انجام آزمون های آزمایشگاهی، حفاری های اکتشافی در محدوده مسیر تونل انجام گرفته است. بطور کل در طول مسیر ۴ گمانه اکتشافی به ترتیب: HM۱, HM۲, HM۳ و HM۴ حفاری شده است که در شکل ۴ قابل مشاهده است [۱]. پارامتر ژئوتکنیکی (RQD) بدست آمده از حفاری های اکتشافی در جدول ۶ ارائه شده است [۱].

جدول ۶: پارامتر ژئوتکنیکی (RQD) بدست آمده از حفاری های اکتشافی [۱].

شماره ی گمانه	عمق (m)	%RQD	
		حداقل	حداکثر
HM۱	۰-۱۲	۰	۳۶
	۱۲-۲۴	۱۹	۷۷
	۲۴-۳۷	۰	۶۵
HM۲	۰-۲۸	۰	۸۶
	۲۸-۵۶	۰	۹۲
	۵۶-۸۴	۰	۸۷
HM۳	۰-۲۱	۰	۵۷
	۰-۴۲	۰	۵۵
	۴۲-۶۲	۰	۷۲
HM۴	۰-۱۸	۰	۵۷
	۱۸-۳۶	۰	۷۰
	۳۶-۵۴	۰	۰

۴- نتیجه گیری

- در هر ۱۲ زون بطور میانگین ۳ دسته ناپیوستگی وجود دارد، که نشان از بهم خوردگی و فعال بودن منطقه مذکور، با توجه به قرار داشتن این منطقه در فعالترین زون ساختاری ایران یعنی زون سنندج - سیرجان است.
- در زون های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۸، ۹ و ۱۱ امکان گسیختگی لغزش وجود دارد که جهت بررسی دقیق تر نیاز به نرم افزار Unwedge می باشد.
- با توجه به طبقه بندی RMR، زون ۱، که زون ورودی تونل می باشد و زون های ۳، ۸، ۹ و ۱۱ که زون های با جنس شیل و دارای بهم ریختگی زیادی می باشند، دارای کمترین زمان پایداری بدون ساپورت است، که در زون ورودی کمتر بودن سرباره به ناپایداری آن می افزاید.
- بیشترین زمان پایداری مربوط به زون های ۲، ۴، ۷ و ۱۰ است، که حدود سه شبانه روز بدون ساپورت پایدار است.
- با توجه به طبقه بندی Q ناپایدارترین زون تونل مربوط به زون ۹ می باشد که علاوه بر پیچ سنگ به طول ۳/۵ متر و فاصله ۰/۵ متر و قاب های فلزی متوسط تا سنگین با فاصله ۱/۵ متر در صورت لزوم، با لاگ های فولادی پورفلینگ و دیوارهای بتنی باید ساخته شود.
- با توجه به طبقه بندی Q پایدارترین زون هم مربوط به زون های ۲، ۴، ۷ و ۱۰ است، که به شاکریت و قاب های فلزی نیاز ندارد، فقط با پیچ سنگ های منظم به طول ۳/۵ متر و فاصله ۲/۵ متر پایداری این بخش تضمین است.
- با توجه به طبقه بندی Q زون های ۱، ۳، ۵، ۸ و ۱۱ در رده بندی سنگ های خیلی ضعیف قرار دارند و زون های ۶ و ۱۲ در رده بندی سنگ های ضعیف که پایداری آنها باید با توجه جدول ۵ تامین گردد.
- در گمانه های اکتشافی RQD از صفر در نزدیک سطح زمین یا در سنگ های خورد شده و داری لایه بندی نازک تا ۹۲ در سنگ های آهکی تغییر دارد.

۵- سپاسگزاری

از علیرضامرادیان دانشجوی کارشناسی ارشد زیست محیطی بخاطر کمک و شرکت مهندسین مشاور راه یاب ملل به علت در اختیار قرار دادن اطلاعات کمال تشکر را دارد.

مراجع

- [۱] شرکت مهندسین مشاور راه یاب ملل، گزارش مطالعات مرحله دوم تونل همرو (مسیر سنندج- مریوان)، سنندج، ۱۳۹۲.
- [۲] نبوی، محمد حسینی، دیباچه ای بر زمین شناسی ایران، تهران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صفحه ۱۰۶، ۱۳۵۵.
- [۳] زاهدی، مصطفی، حاجیان، جواد، نقشه ی زمین شناسی سنندج، ۱:۲۵۰،۰۰۰ (C5)، سازمان زمین شناسی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۶۴.
- [۴] مدنی، حسن، تونلسازی، تهران، انتشارات دانشگاه امیر کبیر (پلی تکنیک)، جلد ۳، ویرایش ۱، صفحه های ۳ و ۴، ۱۳۷۹.
- [۵] A. Palmstrom, & E. Broch. Use and Misuse of Rock Mass Classification Systems with Particular Reference to the Q-System, Tunnels and Underground Space Technology, vol. ۲۱, pp. ۵۷۵-۵۹۳, ۲۰۰۶.
- [۶] D.C. Wyllie & C.W. Mah, Rock Slope Engineering: Civil and mining ۴th edition, L& andan & New York: Spon Press. pp ۳۵-۳۷, ۲۰۰۴.
- [۷] H. Basarir, A. Ozsan, M. & Karakus, Analysis of support requirements for a shallow diversion tunnel at Guledar dam site, Turkey, Engineering Geology ۸۱, Springer, pp ۱۳۱- ۱۴۵, ۲۰۰۵.
- [۸] N. Barton, Some New Q-Value Correlations To Assist In Site characterization and tunnel design, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. ۳۹, PP ۱۸۵-۲۱۶, ۲۰۰۲.
- [۹] N.R. Barton, R. Lien & J. Lunde, Engineering Classification of Rock Masses for the design of tunnel support: Rock mechanics springer verlag, pp ۱۸۹-۲۳۶, ۱۹۷۴.
- [۱۰] R. K. Goel & B. Singh, Engineering Rock Mass Classification: Tunneling Foundations and Landslides, New York, Butterwrth- Heinemann, pp ۳۸۲, ۲۰۱۱.
- [۱۱] Z. T. Bieniawski, Engineering Rock Mass Classification, New York, A Wiley- Interscience Publication, pp ۲۵۰, ۱۹۸۹.