

تحلیل مکانیک سنگی تونل امام رضا واقع در جاده اردبیل-سرچم

علیرضا افرادی

دانشجوی دکترای تخصصی مهندسی معدن، واحد قایمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قایمشهر، ایران

alirezaparsi804@yahoo.com

سیامک رضازاده

استادیار و مدیرگروه معدن و زمین شناسی، واحد قایمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قایمشهر، ایران

siamak.rezazadeh@yahoo.com

چکیده

پیش بینی رفتار سنگ در معدنکاری زیرزمینی و روزمینی از اهمیت زیادی برای بهره برداری ایمن از معادن برخوردار است. امروزه بررسی و ثبت تغییرات میزان انحراف، تنش و کرنش در سنگها، از مهمترین شیوه های متداول در مطالعه و پیش بینی رفتار سنگ در فعالیتهای معدنی هستند. تونل مورد مطالعه در جاده اردبیل-سرچم واقع شده که امتداد تونل در جهت شمال غرب-جنوب شرق ($N 165$) با شیب ۵ درجه که مایل نسبت به امتداد غالب درزهها حفر شده است با توجه به نمودار استریوگرافی از روی مشخصات درزهها امتداد و شیب تونل ترسیم گردیده است و مشخص کننده این موضوع بود که جهت شیب درزهها به طرف جنوب غرب است و نتایج حاصل از اندازه گیری شاخص کیفی سنگ با در گمانه های حفاری شده از نظر کیفیت، در محدوده بسیار ضعیف تا ضعیف ($RQD \leq 50$) و گاهی در حد خوب $50 \leq RQD \leq 75$ می باشد. بر اساس بررسی درزهها در مغزه های به دست آمده از گمانه های اکتشافی و برداشت های انجام شده، مشخص گردید در ۲۷٪ موارد زون خرد شده با دگرسانی شدید، ۲۰٪ زون درزه دار، ۴٪ زون متلاشی شده وجود داشته است. درزهها در ۲۵٪ موارد زاویه بین ۱ تا ۳۰ درجه (تقریبی افقی)، ۶۵٪ زاویه بین ۳۰ تا ۷۰ درجه (مایل)، ۹٪ بین ۷۱ تا ۸۹ درجه (تقریبی قائم)، ۱٪ موارد درزهها قائم هستند، رطوبت درزهها در حد صفر هستند، بازشدگی دهانه درزه در این دسته ۹۰ تا حداکثر ۲۰۰ میلی متر است در محل های دگرسان شده دانه های ریز کوارتز آغشته به کانی های خاکی آهن دار مشاهده می شود، سطح درزهها زبر و نامنظم و دارای موج هستند.

واژگان کلیدی: شاخص کیفی سنگ، تنش، کرنش، تغییرات میزان انحراف

۱-مقدمه

برای انجام یک پروژه عمرانی وسیع قبل از هر کاری نیاز به شناخت و بررسی منطقه ای که قرار است سازه در آنجا بنا شود است. بررسی های ژئوتکنیکی به همین منظور و با توجه به برخی ویژگی های مهم سنگ و خاک صورت می گیرد. بدیهی است که آگاهی از این ویژگی ها مستلزم بازدید محل و آشنایی با مسایل سنگ و خاک و انجام آزمون های صحرایی و آزمایشگاهی به روی نمونه مورد نظر است. [۴]. مجموعه اطلاعاتی که به این منظور البته بعد از بررسی زمین شناسی عمومی منطقه گردآوری می شوند عبارت اند از:

(الف) رسم نیم رخ زمین شناسی

(ب) تعیین نوع سنگ و وضعیت آن

(ج) اندازه گیری مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ

(د) تعیین کیفیت مغزه حفاری یا فراوانی شکستگی های سنگ

ه) توصیف وضعیت درزه‌ها

و) شرایط آب زیرزمینی

۱-۱- بیان مساله

پیش بینی رفتار سنگ در معدنکاری زیرزمینی و روزمینی از اهمیت زیادی برای بهره برداری ایمن از معادن برخوردار است. استفاده از ابزارهای دقیق از روشهای مرسوم مطالعه رفتار سنگهای تحت تنش در علوم معدنکاری در سده اخیر به شمار می رود (۱). امروزه بررسی و ثبت تغییرات میزان انحراف، تنش و کرنش در سنگها، از مهمترین شیوه های متداول در مطالعه و پیش بینی رفتار سنگ در فعالیتهای معدنی هستند (۲). در مطالعات مکانیک سنگ، دو پارامتر انرژی و تعداد رخداد در واحد زمان بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند (۳). در بررسی حاضر، با تایید قابلیت مطالعه این پارامترها در مطالعه مراحل مختلف شکست سنگ و پیش بینی شکست نهایی آن در اثر افزایش تنش، میزان کارایی دو پارامتر انرژی و تعداد رخداد مورد مقایسه قرار گرفته است. در این تحقیق، ابتدا تعاریف و روشهای ثبت و مطالعه این امواج در مطالعات مهندسی سنگ و ژئوتکنیک ارائه گردیده و نتایج ثبت و اندازه گیریهای آزمایشگاهی در نمونه سنگهای ارائه شده است. (۴).

۱-۲- پیشینه تحقیق

از کارهای انجام شده در این رابطه در داخل و خارج کشور عبارتند: معماریان، حسین. ۱۳۸۷. زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک. چاپ پنجم. تهران. (۱) انتشارات دانشگاه تهران منشی زاده تهرانی، فرشاد، ۱۳۸۷، تحلیل رفتار تونل های سنگی با در نظر گیری اثر زمان. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر. (۲) کاظمی، م، ۱۳۹۳، مطالعه ژئوتکنیکی و تحلیل پایداری تونل های قطعه الف راه آهن اردبیل - میانه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اهر (۳)

بارتون و همکاران در سال ۱۹۷۴ به طبقه بندی مهندسی سنگ پرداختند (۴) بارتون و همکاران در سال ۱۹۸۵ به طراحی تصمیم گیری مکانیک سنگی پرداختند (۵) بارتون و همکاران در سال ۲۰۰۲ در مجله بین المللی مکانیک سنگ و علوم معدن به مسایل مکانیک سنگی تونل پرداختند. (۶) بینیاوسکی در سال ۱۹۸۴ به طراحی مکانیک سنگی تونل پرداخت. (۷) برادی و براون در سال ۱۹۹۲ به مسایل مکانیک سنگی برای استخراج پرداختند (۸) ترزاقی به پایداری دامنه های شیبدار و مسایل زیوتکتونیک در سال ۱۹۶۲ پرداخت (۹)

۱-۳- اهداف و جنبه نوآوری تحقیق

- ۱) تحلیل مکانیک سنگی تونل
- ۲) تعیین پارامترهای موثر سنگ
- ۳) بررسی نتایج آزمایشات مکانیک سنگی
- ۴) نسبت تنش به کرنش طولی و شعاعی برای تعیین مدول الاستیسیته سنگهای محل تونل

۲- مواد و روشها

۲-۱- آزمایشهای تعیین مشخصات لایه های زیرسطحی محل تونل

الف) بررسی‌های آزمایشگاهی

جهت شناسایی و طبقه‌بندی لایه‌های سنگی (تعیین ترکیب کانی‌شناسی و بافت سنگ) آزمایش بر روی نمونه‌های دستی و مقاطع تهیه‌شده مربوط صورت پذیرفت که به دلیل زیاد بودن اطلاعات مربوط به مشخصات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی نمونه‌های تهیه‌شده از آوردن آن‌ها در اینجا صرف نظر شده است ولی به‌طور کلی همان‌طور که در بالا اشاره گردید، جنس سنگ‌ها توف با ترکیب ریوداسیت با بافت آفانتیک و فرگمنتال و ساخت‌های به ترتیب از بالا به پایین خردشده، درزه‌دار، برشی و جریان‌می‌باشد. رنگ اکثر آن‌ها کرمی تا صورتی می‌باشد. (۵).

ب) آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی

برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی لایه‌های سنگ نیز آزمایش‌های زیر انجام شده است:

- آزمایش تعیین دانسیته سنگ به روش اشباع و غوطه‌وری بر اساس استاندارد ISRM
- آزمایش تعیین مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ بر اساس استاندارد ASTM:D7012-C
- آزمایش تعیین مدول الاستیسیته و ضریب پواسون سنگ بر اساس استاندارد ASTM:D7012-D
- آزمایش تعیین مقاومت فشاری سه محوری سنگ بر اساس استاندارد ASTM:D7012-A
- آزمایش تعیین برش مستقیم سنگ بر اساس استاندارد ASTM:D5607

۱) آزمایش تعیین چگالی و تخلخل سنگ به روش اشباع و غوطه‌وری بر اساس استاندارد ISRM

نتایج به‌دست‌آمده در گمانه BH1 که تا عمق ۳۵ متری، بر روی ۴ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. حاکی از آن است که با افزایش عمق چگالی خشک افزایش و درصد جذب آب و تخلخل سنگ‌ها کاهش می‌یابد. در گمانه BH2 که تا عمق ۲۲ متری حفر گردید، ۷ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. داده‌های به‌دست‌آمده نشانگر آن است که سنگ‌ها در محل این گمانه از درصد تخلخل کمتری نسبت به گمانه BH1 برخوردار هستند ولی به‌طور کلی با افزایش عمق درصد تخلخل و درصد جذب آب سنگ‌ها کاهش می‌یابد. مقدار چگالی خشک و چگالی اشباع در اعماق مختلف اعدادی نزدیک به هم را نشان می‌دهند. (۷). نتایج آزمایش در جدول (۱-۲) آورده شده است.

جدول (۲-۱): نتایج آزمایش تعیین چگالی و تخلخل سنگ به روش اشباع و غوطه‌وری بر اساس استاندارد

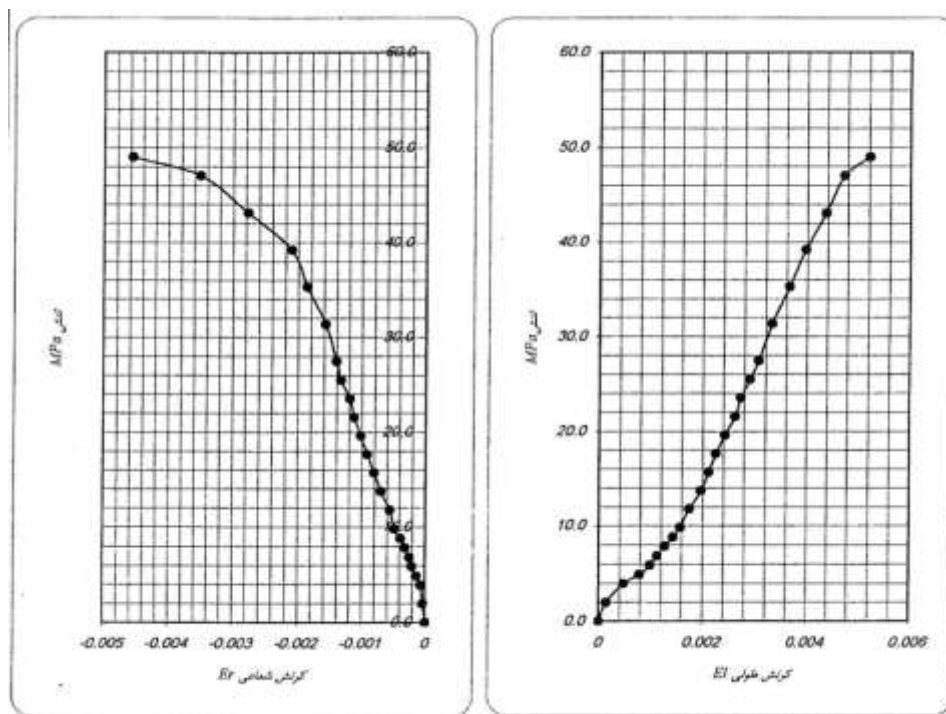
ISRM

| شماره گمانه | عمق نمونه (m) | چگالی اشباع (gr/cm ³) | چگالی خشک (gr/cm ³) | جذب آب % | تخلخل % |
|-------------|---------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------|---------|
| BH1 | ۲-۳ | ۲,۴۵ | ۲,۳۵ | ۴,۴ | ۱۰,۴ |
| BH1 | ۲-۳ | ۲,۴۳ | ۲,۳۴ | ۳,۹ | ۹,۱ |
| BH1 | ۳۴-۳۵ | ۲,۴۹ | ۲,۴۳ | ۲,۶ | ۶,۲ |
| BH1 | ۳۴-۳۵ | ۲,۵۰ | ۲,۴۴ | ۲,۶ | ۶,۴ |
| BH2 | ۷-۸ | ۲,۵۰ | ۲,۴۲ | ۳,۴ | ۸,۳ |
| BH2 | ۱۲-۱۳ | ۲,۴۴ | ۲,۳۴ | ۴,۱ | ۹,۷ |
| BH2 | ۱۲-۱۳ | ۲,۴۵ | ۲,۳۵ | ۴,۲ | ۹,۹ |
| BH2 | ۱۷-۱۸ | ۲,۴۹ | ۲,۴۲ | ۲,۹ | ۶,۹ |
| BH2 | ۱۷-۱۸ | ۲,۴۸ | ۲,۴۱ | ۳,۰ | ۷,۲ |
| BH2 | ۲۱-۲۲ | ۲,۴۸ | ۲,۴۱ | ۲,۸ | ۶,۸ |
| BH2 | ۲۱-۲۲ | ۲,۵۲ | ۲,۴۵ | ۲,۶ | ۶,۴ |

(۲) آزمایش تعیین مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ، مدول الاستیسیته و ضریب پواسون این آزمایش در گمانه BH1 و بر روی ۴ نمونه انجام گرفت، نتایج حاصل از داده‌ها نشانگر آن است که با افزایش عمق مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته و ضریب پواسون سنگ‌ها همگی افزایش می‌یابند. نکته قابل توجه این است که در عمق ۲۹-۳۰ متری افزایش قابل توجهی در مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته سنگ‌ها دیده می‌شود که حاکی از آن است که مقاومت سنگ‌ها در اعماق رفته‌رفته زیاد می‌شوند. همچنین شکست ایجاد شده در اثر اعمال تنش همگی از محل درزه‌ها و در محدوده بین ۵۰ تا ۷۰ درجه می‌باشد. در جدول (۲-۲) نتایج آزمایش تعیین مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ، مدول الاستیسیته و ضریب پواسون سنگ تونل و نمودارهای نسبت تنش به کرنش طولی و شعاعی برای تعیین مدول الاستیسیته آورده شده است. (۸).

جدول (۲-۲): نتایج آزمایش تعیین مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ، مدول الاستیسیته و ضریب پواسون

| شماره گمانه | عمق نمونه (m) | مقاومت فشاری (gr/cm ²) | شرایط نمونه | مدول الاستیسیته (GPa) | ضریب پواسون |
|-------------|---------------|------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| BH1 | ۳-۴ | ۲۱۲ | طبیعی | ۳,۵۱ | ۰,۲۸ |
| BH1 | ۲۳-۲۵ | ۱۰۲ | اشباع | ۲,۳۱ | ۰,۴۳ |
| BH1 | ۲۹-۳۰ | ۴۵۵ | طبیعی | ۱۲,۲۳ | ۰,۳۸ |
| BH1 | ۳۶-۳۸ | ۴۹۰ | طبیعی | ۱۲,۲۸ | ۰,۴۳ |



نمودار (۲-۱): نسبت تنش به کرنش طولی و شعاعی برای تعیین مدول الاستیسیته سنگ‌های محل تونل

(۳) آزمایش تعیین مقاومت فشاری سه محوری و برش مستقیم سنگ
 آزمایش موردنظر در گمانه BH2 بر روی سه مقطع در اعماق مختلف که بر روی دو نمونه از آنها آزمون سه محوری و بر روی یک نمونه آزمون برش مستقیم انجام گرفته است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که در آزمون سه محوری در حالت اشباع ضریب چسبندگی نسبت به حالت غیراشباع کمتر است و برعکس زاویه اصطکاک داخلی عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دهد. (۱۳). در آزمون برش مستقیم که با ایجاد یک درزه مصنوعی انجام گرفت، ضریب چسبندگی عدد صفر و زاویه اصطکاک داخلی نسبت به آزمون سه محوری عدد کمتری را نشان می‌دهند. نتایج آزمایش‌های در جدول (۲-۳) آورده شده است نمودار موهر براساس نتایج آزمایش‌های سه محوری سنگ با در نظر گرفتن مشخصات ابعادی نمونه‌ها رسم شده است.

جدول (۲-۳): نتایج آزمایش تعیین مقاومت فشاری سه محوری سنگ براساس استاندارد ASTM:D7012-A و

آزمایش برش مستقیم سنگ بر اساس استاندارد ASTM:D5607 برای تونل

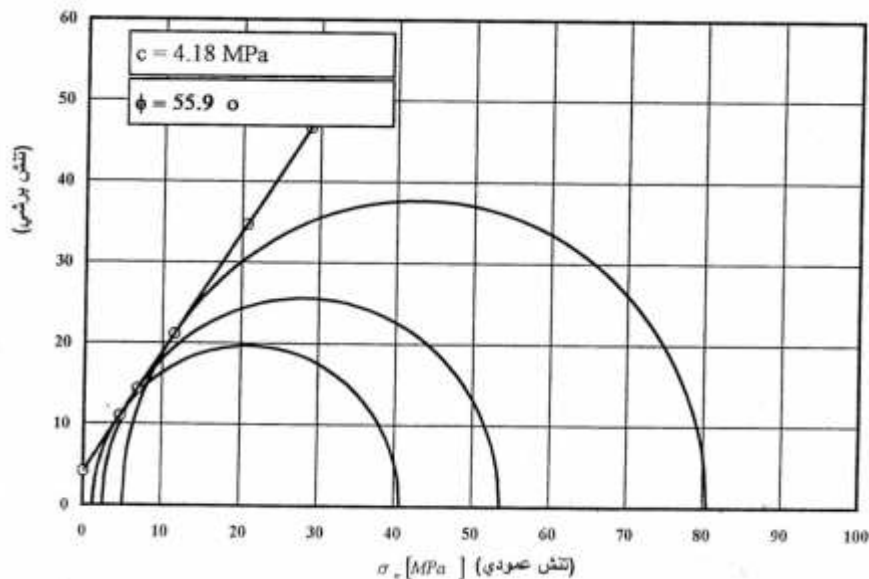
| شماره گمانه | عمق نمونه (m) | نوع آزمایش | شرایط نمونه | ضریب چسبندگی C (MPa) | زاویه اصطکاک داخلی ϕ (°) | ملاحظات |
|-------------|---------------|------------|-------------|----------------------|-------------------------------|-------------|
| BH2 | ۸-۹ | سه محوری | اشباع | ۴,۱۸ | ۵۵,۹ | - |
| BH2 | ۱۳-۱۴ | برش مستقیم | طبیعی | ۰,۰ | ۴۱,۰ | درزه مصنوعی |
| BH2 | ۱۷-۱۸ | سه محوری | طبیعی | ۵,۳۲ | ۵۵,۳ | - |

جدول (۲-۴): مشخصات ابعادی نمونه های مورد آزمایش سه محوری سنگ برای عمق ۸-۹ متری

| نوع سنگ توف (ریوداسیت) | | ارتفاع | قطر | | حالت نمونه اشباع *شکست از محل درزه ها رخ داد. |
|---|------------------------|---------|-----------------------|-----------------------|---|
| $H_1 =$ | ۱۲,۰ cm | | $D_1 =$ | ۵,۴ Cm | |
| $H_2 =$ | ۱۲,۰ cm | | $D_2 =$ | ۵,۵ Cm | |
| $H_3 =$ | ۱۱,۷ cm | $D_3 =$ | ۵,۵ Cm | | |
| حالت نمونه اشباع *شکست از محل درزه ها رخ داد. | | حجم | سطح | | |
| $V_1 =$ | ۲۷۴,۸۳ cm ³ | | $S_1 =$ | ۲۲,۹۰ Cm ² | |
| $V_2 =$ | ۲۸۵,۱ cm ³ | | $S_2 =$ | ۲۳,۷۶ Cm ² | |
| $V_3 =$ | ۲۷۷,۹۷ cm ³ | $S_3 =$ | ۲۳,۷۶ Cm ² | | |

جدول (۲-۵): نتایج نمونه های مورد آزمایش سه محوری سنگ برای عمق ۸-۹ متری

| | | | | | |
|-------|-------|-------|------------|-----|--------------------|
| ۱۹۵۰۰ | ۱۳۰۰۰ | ۹۵۰۰ | | Kg | بار وارده به نمونه |
| ۵,۰ | ۲,۵ | ۱,۲۵ | σ_3 | MPa | فشار جانبی |
| ۸۰,۵۲ | ۵۳,۶۸ | ۴۰,۶۹ | σ_1 | MPa | تنش در لحظه شکست |



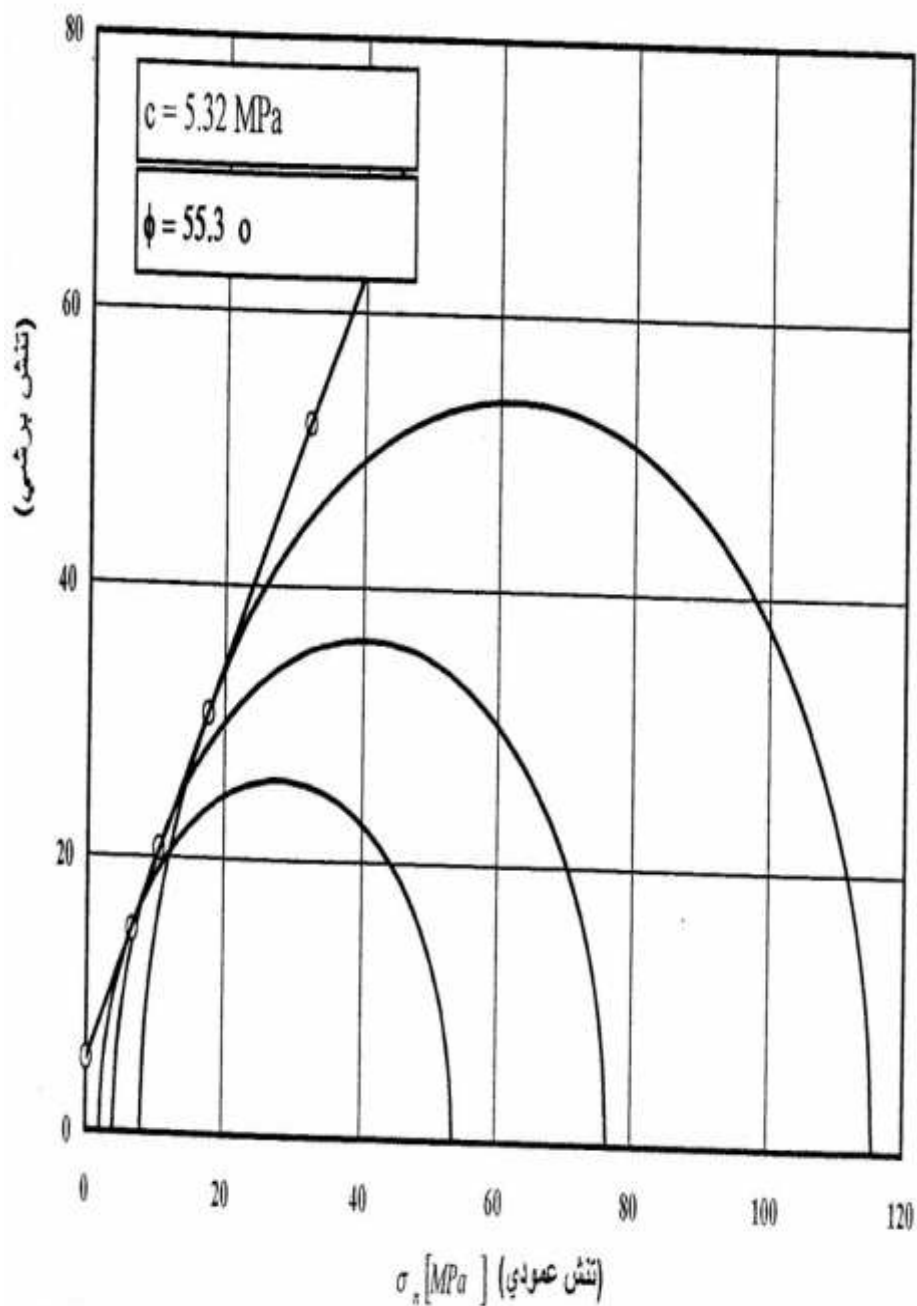
نمودار (۲-۲): نمودار موهر بر اساس نتایج آزمایش‌های سه محوری سنگ، عمق ۸-۹ متری

جدول (۲-۶): مشخصات و نتایج آزمایش‌های سه محوری سنگ، عمق ۱۷-۱۸ متری

| | | | | | | | | |
|---------|--------|-----------------|--------|---------|-------|-----------------|-----|-----------------------------|
| $H_1 =$ | ۱۱,۳ | cm | ارتفاع | $D_1 =$ | ۵,۵ | cm | قطر | نوع سنگ میکروگرانودیوریت |
| $H_2 =$ | ۱۲,۶ | cm | | $D_2 =$ | ۵,۵ | Cm | | |
| $H_3 =$ | ۱۲,۶ | cm | | $D_3 =$ | ۵,۵ | Cm | | |
| $V_1 =$ | ۲۶۸,۴۷ | cm ³ | حجم | $S_1 =$ | ۲۳,۷۶ | cm ² | سطح | حالت نمونه طبیعی |
| $V_2 =$ | ۲۹۹,۳۵ | cm ³ | | $S_2 =$ | ۲۳,۷۶ | cm ² | | |
| $V_3 =$ | ۲۹۹,۳۵ | cm ³ | | $S_3 =$ | ۲۳,۷۶ | cm ² | | |

جدول (۲-۷): نتایج نمونه‌های مورد آزمایش سه محوری سنگ برای عمق ۸-۹ متری

| | | | | | | |
|--------|-------|-------|--|------------|-----|--------------------|
| ۲۸۰۰۰ | ۱۸۵۰۰ | ۱۳۰۰۰ | | | kg | بار وارده به نمونه |
| ۸,۰ | ۴,۰ | ۲,۰ | | σ_3 | MPa | فشار جانبی |
| ۱۱۵,۶۱ | ۷۶,۳۹ | ۵۳,۶۸ | | σ_1 | Mpa | تنش در لحظه شکست |



نمودار (۲-۳): نمودار موهر بر اساس نتایج آزمایش‌های سه محوری سنگ، عمق ۱۷-۱۸ متری

آزمایش تعیین مقاومت فشاری سنگ بر روی ۴ نمونه در دو حالت اشباع و طبیعی انجام گرفت، نتایج حاصل از داده‌ها نشانگر آن است مقاومت سنگ‌ها در حالت اشباع نسبت به حالت غیراشباع بیش از ۵۰٪ کاسته می‌شوند. در جدول (۲-۸) نتایج آزمایش تعیین مقاومت فشاری سنگ آورده شده است

جدول (۲-۸): نتایج آزمایش مقاومت فشاری سنگ

| ارتفاع نمونه (cm) | قطر نمونه (cm) | سطح نمونه (cm ²) | بار وارده در لحظه شکست (kg) | مقاومت فشاری (kg/cm ²) | مقاومت فشاری تصحیح شده (kg/cm ²) | شرایط نمونه |
|----------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--|--|----------------|
| H | D | S | P | Cp | Cc | |
| ۱۲,۷ | ۵,۷ | ۲۵,۵ | ۵۴۰۰ | ۲۱۲ | ۲۱۲ | طبیعی |
| ۱۱,۷ | ۵,۵ | ۲۳,۸ | ۲۴۲۰ | ۱۰۲ | ۱۰۲ | اشباع |
| ۱۱,۸ | ۵,۶ | ۲۴,۶ | ۱۱۲۰۰ | ۴۵۵ | ۴۵۵ | طبیعی |
| ۱۲,۹ | ۷,۵ | ۲۵,۵ | ۱۲۵۰۰ | ۴۹۰ | ۴۹۰ | طبیعی |

۲-۲- شاخص کیفیت سنگ

با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص کیفی سنگ با فراوانی شکستگی‌های سنگ به‌طور کلی لایه‌های سنگی محل پروژه در گمانه‌های حفاری شده از نظر کیفیت، در محدوده بسیار ضعیف تا ضعیف ($RQD \leq 50$) و گاهی در حد خوب $50 \leq RQD \leq 75$ می‌باشد.

۲-۳- بررسی ژئوتکنیکی تونل

در بحث مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیک تونل گمانه‌های BH1 و BH2 حفاری و اختصاصات سنگ و خاک مبنی بر انجام مطالعات صحرایی و آزمایش‌های آزمایشگاهی در محل انجام و تهیه اطلاعات و پارامترهای مربوط به وضعیت لایه‌های زمین در گمانه‌ها و عمق حفاری شده به ترتیب به شرح زیر انجام پذیرفت.

۲-۴- مطالعه درزه‌ها

بر اساس بررسی درزه‌ها در مغزه‌های به‌دست‌آمده از گمانه‌های اکتشافی و برداشت‌های انجام شده، مشخص گردید در ۲۷٪ موارد زون خردشده با دگرسانی شدید، ۲۰٪ زون درزه‌دار، ۴٪ زون متلاشی‌شده وجود داشته است. درزه‌ها در ۲۵٪ موارد زاویه بین ۱ تا ۳۰ درجه (تقریبی افقی)، ۶۵٪ زاویه بین ۳۰ تا ۷۰ درجه (مایل)، ۹٪ بین ۷۱ تا ۸۹ درجه (تقریبی قائم)، ۱٪ موارد درزه‌ها قائم هستند، سطح درزه‌ها زبر یا نامنظم، دارای موج هستند، رطوبت درزه‌ها در حد صفر هستند، بازشدگی دهانه درزه در این دسته ۹۰ تا حداکثر ۲۰۰ میلی‌متر است در محل‌های دگرسان شده دانه‌های ریز کوارتز آغشته به کانی‌های خاکی آهن‌دار مشاهده می‌شود، سطح درزه‌ها زبر و نامنظم و دارای موج هستند.

امتداد تونل در جهت شمال غرب - جنوب شرق (N 165) با شیب ۵ درجه که مایل نسبت به امتداد غالب درزه‌ها حفر شده است با توجه به نمودار استریوگرافی از روی مشخصات درزه‌ها جدول (۲-۹) نسبت به امتداد و شیب تونل ترسیم گردیده است مشخص‌کننده این موضوع است که جهت شیب درزه‌ها به‌طرف جنوب غرب است و از آنجایی که جهت حفاری محل تونل از سمت شمال غرب است و جهت شیب درزه‌ها در جهت عکس مسیر حفاری است. بنابراین دیواره سمت راست از سمت شمال شرق نسبت به دیواره سمت چپ نیاز به پایداری بیشتری دارد. (۴)

جدول (۲-۹): مشخصات دسته درزه تونل

| دسته درزه | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| شیب (درجه) | ۶۰ | ۵۰ | ۳۰ | ۵۵ |
| جهت شیب (درجه) | ۰۹۵ | ۱۱۵ | ۱۴۵ | ۱۸۵ |
| طول (متر) | ۳-۱۰ | ۳-۱۰ | ۳-۱۰ | ۳-۱۰ |
| فاصله درزه (متر) | ۶۰-۲۰۰ | ۶۰-۲۰۰ | ۶۰-۲۰۰ | ۶۰-۲۰۰ |
| بازشدگی (میلی متر) | ۵< | ۵< | ۵< | ۵< |
| پرشدگی | کانی های آهن و سیلیس | کانی های آهن و سیلیس | کانی های آهن و سیلیس | کانی های آهن و سیلیس |
| ناهمواری | همگی زبر | همگی زبر | همگی زبر | همگی زبر |
| شکل | ۸۷٪ غیر منظم ۱۳٪ صفحه ای | ۸۷٪ غیر منظم ۱۳٪ صفحه ای | ۸۷٪ غیر منظم ۱۳٪ صفحه ای | ۸۷٪ غیر منظم ۱۳٪ صفحه ای |

۲-۵- تنش های برجا

قبل از حفر بناهای زیرزمینی در سنگ، ماده سنگی تحت تنش های بکر قرار دارد. از آنجاکه تنش های تحمیل شده در رابطه مستقیم با تنش های بکر هستند، تعیین این تنش ها اقدام اولیه ضروری در آنالیزهای مربوط به طراحی هستند. ضرورت تخمین صحیح موقعیت و وضعیت تنش بکر موجب صرف تلاش های قابل توجهی در جهت ایجاد ابزار و پیشرفت فرایندهای اندازه گیری تنش شده است (۸).

تنش های برجا در سنگ که به صورت تنش های قائم و افقی در عمق معینی زیر سطح زمین اندازه گیری می شوند، به دو روش مستقیم و روابط تجربی برآورد می شوند. در روش های مستقیمی که تا به امروز پیشنهاد شده اند، معمول ترین آن ها بر اساس کرنش در ته و یا دیواره گمانه و یا تغییر شکل های دیگر آن استوار است که این روش را روش بیش مغزه گیری می نامند. روش دوم با استفاده از شکست هیدرولیکی توام با اندازه گیری های جک صفحه ای انجام می گیرد، در روش سوم برآوردها از روی مغزه هایی که با حفاری از فضاهای زیرزمینی به دست می آید، انجام می پذیرد. (۷).

از آنجایی که روش‌های اندازه‌گیری مستقیم تنش، آزمون‌های پرهزینه‌ای هستند، پس در اجرای پروژه‌های متعدد جهت تحلیل پایداری تونل‌های سنگی، تنش‌های برجا با استفاده از روابط تجربی برآورد می‌شوند. با توجه به این‌که در این منطقه هم آزمایش‌هایی جهت تعیین تنش‌های برجا انجام نشده است، بنابراین به دست آوردن مولفه‌های تنش برجا و همچنین تعیین K (نسبت تنش افقی به قائم) از روابط تجربی استفاده می‌گردد. در اکثر موارد اندازه تنش قائم به صورت وزن روباره بیان می‌شود. تنش قائم در هر عمقی برابر حاصل ضرب عمق در وزن مخصوص روباره است بنابراین می‌توان مولفه روباره تنش (σ_v) را با استفاده از رابطه زیر تعیین نمود [۵]:

$$\sigma_v = \gamma \cdot Z \quad (1-2)$$

σ_v : تنش قائم (MPa)

γ : وزن مخصوص (MN/m^3)

Z : عمق سازه از سطح زمین

مولفه افقی تنش (σ_h) تابعی از مولفه تنش قائم (σ_v) بوده و رابطه آن‌ها به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\sigma_h = k \cdot \sigma_v \quad (2-2)$$

k : نسبت تنش

شیوری طبق یک نظریه به تخمین متوسط تنش بر جای افقی پرداخت و بر اساس آن رابطه‌ای ارائه نمود (رابطه ۳-۳) که وابسته به ثابت‌های الاستیک، شیب زمین گرمایی و ضریب انبساط حرارتی خطی بود. این رابطه از آن زمان به بعد به عنوان رابطه‌ای موثر در نقاط مختلف جهان مورداستفاده عملی قرار گرفت. (۴).

$$\sigma_h = (\nu/1-\nu) \cdot \gamma \cdot z + (\beta G E_h / 1-\nu) (z + 1000) \quad (3-2)$$

Z : عمق سازه از سطح زمین (m)

E_h : میانگین مدول شکل‌پذیری (MPa) و مربوط به بخش بالایی پوسته زمین می‌باشد که در جهت افقی اندازه‌گیری می‌شود. این جهت از اندازه‌گیری به‌ویژه در سنگ‌های رسوبی لایه‌لایه مهم است که در آن مدول تغییر شکل‌پذیری در جهت‌های مختلف مقدار متفاوتی دارد.

ν : نسبت پواسون

β : ضریب انبساط حرارتی خطی (مقدار این ضریب برای واحدهای سنگی این منطقه محدوده ای بین $6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ را در برمی‌گیرد).

G : شیب زمین گرمایی که مقدار آن برابر $0.24 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{m}$ می‌باشد.

به‌طور معمول برای محاسبه مولفه افقی تنش σ_h بایستی مقدار نسبت تنش K به طریقی تخمین یا محاسبه شود. تخمین غیر صحیح مقدار K باعث ایجاد خطای بزرگی در نتایج تحلیل پایداری تونل یا هر سازه زیرزمینی می‌گردد، پس بایستی نهایت دقت را به کاربرد. نسبت تنش به سه روش ثقلی (استفاده از ضریب پواسون)، روش تجربی و مدل نظری شیوری برآورد می‌شود. داده‌های موجود نشان می‌دهند که تخمین مقدار K به روش ثقلی کوچک‌تر از یک و به روش تجربی بزرگ‌تر از یک و حتی در نزدیک سطح زمین تا ۴ هم می‌رسد [۶].

مقدار K با استفاده از روش ثقلی و در محیط پلاستیک به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$K = v/1-v \quad (۴-۲)$$

۷: نسبت پواسون است و در اکثر سنگ‌ها بین بیشتر از ۰/۲ تا کمتر از ۰/۳۳ قرار دارد و لذا مقدار **K** همیشه کوچک‌تر از یک و بین ۰/۲۵ تا ۰/۵ تغییر می‌کند و این در حالی است که مقدار **K** حاصل از نتایج اندازه‌گیری واقعی تنش‌های برجا در ۹۴٪ موارد بزرگ‌تر از یک و در نزدیک سطح زمین تا بیشتر از ۴ می‌رسد.

در توده سنگی که رفتار پلاستیک یا ویسکوپلاستیک دارد مقدار **K** به عدد یک میل می‌کند. طبق نظر هوک و براون برای عمق‌های بیشتر از یک کیلومتر تنش‌های برجا افقی و قائم میل به یکسانی دارند. زیرا در چنین عمق‌هایی توده سنگ قادر به تحمل اختلاف تنش زیاد نبوده و شکستگی، جریان پلاستیک و تغییر شکل تابع زمان در سنگ ایجاد می‌گردد و موجب تمایل به کاهش اختلاف تنش‌های افقی و قائم می‌شود. (۸)

هوک و بردی تعدادی از مقادیر انتشار یافته تنش برجا را بررسی کردند و رابطه هذلولی مطابق رابطه زیر برای حدود نسبت تنش برای افقی به قائم را پیشنهاد دادند:

$$0.3 + 100/z < \bar{K} < 0.5 + 1500/z \quad (۵-۲)$$

Z: عمق از سطح زمین (m)

\bar{K} : نسبت متوسط تنش افقی به تنش قائم

رابطه فوق جز روش‌های تجربی محسوب می‌شود.
رابطه دیگری توسط ارژنگ به صورت زیر ارائه گردید:

$$K=5.13z-0.16 \quad (۶-۲)$$

رابطه ارائه شده توسط ارژنگ مربوط به تعداد قابل ملاحظه ای از یک سری نتایج تجربی در کشور کانادا و بیشتر مربوط به سنگ‌های سخت است. اما به علت واقعی بودن داده‌های تجربی، این رابطه مستدل‌تر از روابط دیگر بوده و به آسانی قابل استفاده است.

از روابط دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد رابطه سنگوپتا است:

$$K = 37/z + 0.5 \quad (۷-۲)$$

از تلفیق نتایج به دست آمده از رابطه‌های هوک و سنگوپتا، روابطی به صورت زیر به دست آمده است که برای برآورد **K** مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اگر عمق از سطح زمین کمتر از ۲۰۰ متر باشد:

$$K = (444.73-z)/271.31 \quad (۸-۲)$$

اگر عمق از سطح زمین بیشتر از ۲۰۰ متر باشد:

$$k = e^{(5.05 - \ln z / 3.5451)} \quad (9-2)$$

نسبت **K** با استفاده از روابط تجربی فوق برای سنگ‌های مسیر تونل واحد (EP^x) محاسبه گردید که نتایج آن به صورت جدول (۱۰-۲) آمده است.

جدول (۱۰-۲): محاسبه روابط مقدار **K**

| نوع روش | رابطه مربوطه | مقدار K به دست آمده |
|--------------|---------------------------|----------------------------|
| روش ثقلی | $K = V/1-V$ | ۰/۶۱ |
| آرژینگ | $K = 5.13Z^{-0/16}$ | ۴/۶۱ |
| سنگوپت | $K = 37/Z + 0/5$ | ۳/۵۸ |
| هوک و سنگوپت | $K = (444.73 - Z)/271.31$ | ۱/۵۹ |

۳- نتیجه گیری و بحث

آزمایش تعیین مقاومت فشاری سنگ بر روی ۴ نمونه در دو حالت اشباع و طبیعی انجام گرفت، نتایج حاصل از داده‌ها نشانگر آن است مقاومت سنگ‌ها در حالت اشباع نسبت به حالت غیراشباع بیش از ۵۰٪ کاسته می‌شوند. نتایج به دست آمده در گمانه BH1 که تا عمق ۳۵ متری، بر روی ۴ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. حاکی از آن است که با افزایش عمق چگالی خشک افزایش و درصد جذب آب و تخلخل سنگ‌ها کاهش می‌یابد. داده‌های به دست آمده نشانگر آن است که سنگ‌ها در محل این گمانه از درصد تخلخل کمتری نسبت به گمانه BH1 برخوردار هستند ولی به طور کلی با افزایش عمق درصد تخلخل و درصد جذب آب سنگ‌ها کاهش می‌یابد. مقدار چگالی خشک و چگالی اشباع در اعماق مختلف اعدادی نزدیک به هم را نشان می‌دهند. در آزمایش تعیین مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ، مدول الاستیسیته و ضریب پواسون، این آزمایش در گمانه BH1 و بر روی ۴ نمونه انجام گرفت، نتایج حاصل از داده‌ها نشانگر آن است که با افزایش عمق مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته و ضریب پواسون سنگ‌ها همگی افزایش می‌یابند. نکته قابل توجه این است که در عمق ۲۹-۳۰ متری افزایش قابل توجهی در مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته سنگ‌ها دیده می‌شود که حاکی از آن است که مقاومت سنگ‌ها در اعماق رفته‌رفته زیاد می‌شوند. همچنین شکست ایجاد شده در اثر اعمال تنش همگی از محل درزه‌ها و در محدوده بین ۵۰ تا ۷۰ درجه می‌باشد. بر اساس بررسی درزه‌ها در مغزه‌های به دست آمده از گمانه‌های اکتشافی و برداشت‌های انجام شده، مشخص گردید در ۲۷٪ موارد زون خردشده با دگرسانی شدید، ۲۰٪ زون درزه‌دار، ۴٪ زون متلاشی‌شده وجود داشته است. درزه‌ها در ۲۵٪ موارد زاویه بین ۱ تا ۳۰ درجه (تقریبی افقی)، ۶۵٪ زاویه بین ۳۰ تا ۷۰ درجه (مایلی)، ۹٪ بین ۷۱ تا ۸۹ درجه (تقریبی قائم)، ۱٪ موارد درزه‌ها قائم هستند، سطح درزه‌ها زبر یا نامنظم، دارای موج هستند، رطوبت درزه‌ها در حد صفر هستند، بازشدگی دهانه درزه در این دسته ۹۰ تا حداکثر ۲۰۰ میلی‌متر است در محل‌های دگرسان شده دانه‌های ریز کوارتز آغشته به کانی‌های خاکی آهن‌دار مشاهده می‌شود، سطح درزه‌ها زبر و نامنظم و دارای موج هستند. در آزمایش تعیین مقاومت فشاری سه محوری و برش مستقیم سنگ

گمانه BH2 بر روی سه مقطع در اعماق مختلف که بر روی دو نمونه از آن‌ها آزمون سه محوری و بر روی یک نمونه آزمون برش مستقیم انجام گرفته است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که در آزمون سه محوری در حالت اشباع ضریب چسبندگی نسبت به حالت غیراشباع کمتر است و برعکس زاویه اصطکاک داخلی عدد بزرگ تری را نشان می‌دهد. در آزمون برش مستقیم که با ایجاد یک درزه مصنوعی انجام گرفت، ضریب چسبندگی عدد صفر و زاویه اصطکاک داخلی نسبت به آزمون سه محوری عدد کمتری را نشان می‌دهند. با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص کیفی سنگ با فراوانی شکستگی‌های سنگ به طور کلی لایه‌های سنگی محل پروژه در گمانه‌های حفاری شده از نظر کیفیت، در محدوده بسیار ضعیف تا ضعیف ($RQD \leq 50$) و گاهی در حد خوب $50 \leq RQD \leq 75$ می‌باشد.

منابع

- (۱) معماریان، حسین، ۱۳۸۷، زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، چاپ پنجم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران
- (۲) منشی زاده تهرانی، فرشاد، ۱۳۸۷، تحلیل رفتار تونل های سنگی با در نظر گیری اثر زمان، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- (۳) کاظمی، م، ۱۳۹۳، مطالعه ژئوتکنیکی و تحلیل پایداری تونل‌های قطعه الف راه آهن اردبیل - میانه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اهر.
4. Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. and Pacher 1974. Engineering classification of rock masser for the design of tunnel support, Rock Mech. 6(4), pp. 189-239
5. Barton, N., Loset, R. and Lunde, J. Grimstad 1985. Application of the Q-system in design decision., In subsurface space, New York: pergman. (ed. M. Bergman) 2, pp.553-561.
6. Barton Nick, 2002, "Some New Q-value correlations to assist in site Characterization and Tunnel Design", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 39, pp.185-216
7. Bienawski, ZT., (1984), Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling, Balkeman, Rotterdam.
8. Brady, B. H. Brown. E. T, (1992), Rock Mechanics for underground Mining, chapman & Hall, pp. 25-136.
9. Terzaghi, K. (1962) Stability of Steep Slopes on Hard Unweathered Rock., Geotechnique, No. 12, pp. 251 – 270.

Analysis of rock mechanics in imam reza tunnel located in Ardabil - sarcham Road

Alireza afradi

PhD student of mining, Qaemshahr branch, Islamic azad university, Qaemshahr, Iran

Siamak rezazadeh

Asistant professor and manager of the department of mining and geology Qaemshahr branch, Islamic azad university, Qaemshahr, Iran

Abstract. Predict the behavior of rock underground mining and surface mining is of great importance for safe operation. The recorded changes in the deflection, stress and strain in rocks, the most common way to study and predict the behavior of ore in mining operations are tunnel study located in Ardabil-sarcham road joint towards the south west and the results of measurements in boreholes rock quality index in terms of quality, ranging from very weak to weak ($RQD \leq 50$) and sometimes as good $50 \leq RQD \leq 75$ According to a survey conducted joint Core obtained from exploration and perceptions found that 27% of the zone of intense alteration split, 20% jointed zone, there have been 4% fragmentary zone 25% joint angle between 1° and 30° (approximate horizontal), 65% between 30 to 70 degree angle (miles), 9% between 71 to 89 degrees (almost vertical), 1% of the vertical joints, joint humidity are zero, opening the mouth of the joints in this category 90 up to 200 mm in places altered quartz fine- grained steel industry is seen soaked earth minerals, rough and irregular joint surface and the waves are.

Keywords: Rock quality index, stress, strain, yaw rate changes