یازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran
senaconf.ir

بررسی وضعیت زمین شناسی تونل های چَمِشک و تحلیل پایداری آن با استفاده از روش های عددی

مجید میراحمدی[1]

[1]گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، ص.پ. ۴۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران، ایران.

majidmirahmadi@pnu.ac.ir

چکیده

در این مقاله به بررسی مشخصات ژئومکانیکی پروژه آزادراه خرم آباد – پل زال پرداخته شده است. سپس بررسی زمین شناسی تونل های چمشک (اولین تونل ها از طرف خرم آباد) انجام شده است. تونل های چپ و راست چمشک به طول تقریبی ۲۲۰ و ۳۲۴ متر و به شکل نعل اسبی و به عرض دهانه ۱۰ متر از تونل های آزاد راه خرم آباد – پل زال می باشند . سنگ میزبان این تونل از نوع سنگ آهک آسماری است و از نظر مهندسی در ردیف سنگ های متوسط ارزیابی شده است. سنگ آهک میزبان دارای یک سطح لایه بندی و سه دسته درزه در محدوده تونل می باشد و از این نظر دارای درزه داری متوسط و هوازدگی کم می باشد. در این نوشته با توجه به اهمیت این تونل ها در مسیر مذکور به بررسی و تحلیل عددی آن پرداخته شده است. با توجه به آنکه در این پروژه تحلیل تونل با استفاده از نرم افزار Phase2 انجام شده است در این نوشتار به معرفی نرم افزار Phase2 می پردازیم و تحلیل تونل را با این نرم افزار انجام داده ایم. نتایج نشان دهنده بیشترین کرنش افقی در سقف و بیشترین کرنش عمودی در کف تونل می باشد. ولی با توجه به کمتر بودن میزان کرنش ها از کرنش بحرانی، تونل در وضعیت پایدار قرار دارد و برای بالا بردن ضریب اطمینان توصیه می شود از سیستم های نگهداری شامل پیچ سنگ و قاب های فولادی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی

آزادراه خرم آباد- پل زال، تونل چمشک، نرم افزار Phase2، تحلیل پایداری، کرنش بحرانی

۱. مقدمه

عملیات آزاد راه خرم آباد – پل زال به طول حدود ۱۰۴ کیلومتر با هدف کوتاه کردن مسیر و ایجاد مسیر با مشخصات هندسی و سرعت طرح بالا اجرا شده است.این آزادراه به دلیل اتصال شمال و غرب کشور به بنادر جنوبی کشور از اهمیت بسیار بالایی در ترانزیت کالا و مسافر برخوردار است. با توجه به وضعیت توپوگرافی منطقه اجرای پروژه در دل کوه های زاگرس، احداث تونل در این مسیر غیرقابل اجتناب می باشد. تونل های چمشک که اولین تونل های این مسیر از سمت خرم آباد می باشند، جزو مهمترین تونل های احداث شده در این آزادراه می باشند[1].

۲. مشخصات پروژه

تونلهای چمشک که درحاشیه رود خانه زال قرار دارد ، از دو تونل رفت و برگشت جدا از هم تشکیل شده که بیشینه فاصله ی محوری آنها از یکدیگر ۵۵-۴۵ متر است . سازند آسماری نیز میزبان هر دو تونل می باشد. تونل های چپ و راست چمشک به طول تقریبی ۲۲۰ و ۳۲۴ متر و به شکل نعل اسبی و به عرض دهانه ۱۰ متر از تونل های آزاد راه خرم آباد – پل زال می باشند . سنگ میزبان این تونل از نوع سنگ اهک آسماری است و از نظر مهندسی در ریف سنگ های متوسط ارزیابی شده است. سنگ آهک میزبان دارای یک سطح لایه بندی و سه دسته درزه در محدوده تونل می باشد و از این نظر دارای درزه داری متوسط و هوازدگی کم می باشد. مشخصات هندسی تونل ها و وضعیت توپوگرافی و نحوه قرارگیری آن در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

جدول شماره۱- مشخصات هندسی و توپوگرافی تونل های سمت چپ و راست[1]

مشخصات هندسی تونل ها	تونل سمت چپ	تونل سمت راست
طول تونل (متر)	۲۲۰ متر (از کیلومتر ۳۰+۴۸۵ تا ۳۰+۷۰۵)	۳۲۴ متر (از کیلومتر ۳۰+۳۹۶ تا ۳۰+۷۲۰)
راستای تونل	در ورودی ۳۰۰ N-و در خروجی N۳۲۲-	در ورودی ۳۰۳ N-و در خروجی N۳۲۵-
طول گالری	۲۵ متر در ورودی (از کیلومتر ۳۰+۴۶۰ تا ۳۰+۴۸۵)، ۶ متر در خروجی (از کیلومتر ۳۰+۷۰۵ تا ۳۰+۷۱۱)	۶ متر در ورودی (از کیلومتر۳۰+۳۹۰تا ۳۰+۳۹۶)، ۱۰ متر در خروجی (ازکیلومتر۳۰+۷۲۰ تا ۳۰+۷۳۰)
شیب تونل	۵ درصد و به سمت دهانه ی خروجی، رقوم خط پروژه در ورودی ۱۴۸۴ و در خروجی ۱۴۷۳	۷,۳ درصد و به سمت دهانه خروجی، رقوم خط پروژه در ورودی ۱۴۸۴ و در خروجی ۱۴۷۲
بیشینه ارتفاع سرباره	۶۵ متر در کیلومتر ۳۰+۵۸۶	۷۷ متر در کیلومتر ۳۰+۵۰۵
حداقل عمق تونل از سطح زمین	در دهانه ورودی ۲۱ متر و در دهانه خروجی ۱۹ متر	در دهانه ورودی ۲۹ متر و دردهانه خروجی ۲۱ متر
جنس سنگ میزبان	سنگ آهک- سازند آسماری	سنگ آهک- سازند آسماری

۱,۲. ویژگی های زمین شناسی مهندسی توده سنگ میزبان تونل چمشک

ناحیه پروژه آزاد راه خرم آباد – پل زال در تقسیمات زمین شناسی ایران، در زون ساختاری رسوبی زاگرس چین خورده (Simply folded belt) قرار دارد [2]. ضخامت لایه های سازند آسماری در محل تونل چمشک بطور متوسط حدود ۸۰ سانتیمتر می باشد. مقاومت فشاری

و مدول الاستیسیته در حدود ۹۰ مگاپاسکال و وضعیت درزه داری متوسط است. شاخص کیفی سنگ (RQD) ۷۱ درصد و هوازدگی اندک دارند. بلوک های ایجاد شده از برخورد لایه بندی و دسته درزه ها متوسط می باشد[3].

۲,۲ رده بندی تجربی مهندسی توده سنگ

در این تحقیق رده بندی مهندسی توده سنگ میزبان تونل به روشهای Q، RMR و GSI برآورده شده است و بر اساس نتایج به دست آمده و برای تعیین صحت نتایج درجه هم خوانی نتایج حاصله نیز محاسبه شده است. بر پایه رابطه هم ارزی پیشنهاد شده توسط بنیاوسکی (RMR=9LnQ+45) برای هر دو مقدار '(RMR) و '(Q) به ترتیب نسبت به دیگری محاسبه شده و مقدار '(GSI) نیز با توجه به رابطه هم ارزی پیشنهادی هوک و براون (GSI=BRMR-5) محاسبه آنگاه نسبت های به شرح زیر بدست آمده است.

$$\frac{(GSI)'}{GSI}=\frac{(Q)'}{Q}=\frac{(RMR)'}{RMR} \qquad (1)$$

$$\frac{(RMR)'}{RMR}=\frac{57/3}{60}=\%95 \qquad (۲)$$

$$\frac{(Q)'}{Q}=\frac{5/3}{4/5}=\%83 \qquad (۳)$$

$$\frac{(GSI)'}{GSI}=\frac{0/60}{55}=\%91 \qquad (۴)$$

درجه هم خوانی با هر سه روش یاد شده به ترتیب ۹۵،۸۳ و ۹۱ درصد است(میانگین سه روش ۸۶ درصد). بنابراین میتوان نتیجه گرفت که در پیشنهاد نگهداری سقف و دیواره های تونل که بر پایه هر سه روش می باشد ، می توان پیشنهاد آنها را به کار گرفت و در هر مورد انتخاب با قضاوت مهندسی خواهد بود .

۳,۲ تخمین تنش طبیعی زمین در اطراف تونل

محققین زیادی روش های مختلف تجربی جهت تخمین تنش اطراف فضاهای زیرزمینی ارائه نموده اند، از میان مجموعه رابطه های پیشنهاد شده دو رابطه در نظر گرفته شد که به شرح زیر هستند.

- رابطه هوک - براون و هوک(1978)

این پژوهشگران با بهره گیری از نتایج اندازه گیری شده در پروژه های مختلف و در کشورهای مختلف نموداری ارائه داده اند که مرز بالایی آن با رابطه $K_0 = \frac{100}{z} + 0.3$ مشخص شده است. از آنجا که از دیدگاه آماری داده های زیادی در ارائه این نمودار بکار گرفته شده ، بنابراین اهمیت ویژه ای دارد و انتخاب آن قابل توجیه می باشد .

- رابطه پیشنهادی سنگوپتا (1998)

این پژوهشگر با بررسی پروژه های مختلف در منطقه هیمالیا با روش آبشکافتی مقدار تنش افقی را مشخص و مقدار آن را نسبت به تنش قائم به صورت رابطه های زیر پیشنهاد کرده است.

$$\sigma h = (1/1.5) + (0.5/1.2)\sigma v \qquad (۵)$$

به دلیل قرار گرفتن ایران در کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا، در این تحقیق از نتایج و روابط ارائه شده توسط این تحلیلگر استفاده شده است.

۲,۴ تخمین مقدار بیشینه تنش القایی در اطراف حفریات زیرزمینی

هوک و براون در سال ۱۹۸۰ با توجه به شکل تونل (نیمرخ عرضی) و مقدار K0 برای تعیین بیشترین تنش هایی که در مرز میان توده سنگ و فضای حفاری ممکن است بوجود آید پیشنهاد کرده اند که در این نوشتار بر پایه آنها مقدار تنشهای بیشینه (Maximum boundary stress) محاسبه شده است.

تنش در سقف و دیواره های تونل از روابط زیر محاسبه می شوند:

$$\sigma r = (AK_0 - 1)P_Z \qquad (۶)$$

$$\sigma s = (B - K)P_Z \qquad (۷)$$

در این روابط ، Pz فشاری است که از سوی روباره بوجود می آید و A , B ضریب های ثابتی اند که به شکل تونل بستگی دارد که با توجه به مقطع تونل های پروژه مقدار آنها به ترتیب ۳/۲ و ۲/۳ پیشنهاد شده است. مقدار Pz به مقدار Z یا) H عمق تونل) و چگالی روباره بستگی دارد که هر دو مقدار برای تونل های چشمک برآورد شده است . نتیجه محاسبات به شرح زیر است (جدولهای شماره ۲ و۳)

جدول شماره۲- بیشینه تنش های القایی در توده سنگ مجاور تونل چمشک (دست راست)

محدوده کیلومتر ازکیلومتر تا کیلومتر	ضخامت/K_0	واحدسنگی	چگالی g/cm^3	بیشینه تنش القایی(Mpa)	
				سقف(p_r)	دیواره(p_w)
از کیلومتر۳۰+۳۹۶ تا کیلومتر۳۰+۴۷۰	$\frac{28}{1/41}$	سنگ آهک	۲/۵۵	۲/۵	۰/۶
از کیلومتر۳۰+۴۷۰ تا کیلومتر۳۰+۶۴۵	$\frac{55}{1/25}$	سنگ آهک	۲/۵۵	۴/۲	۱/۵
از کیلومتر۳۰+۶۴۵ تا کیلومتر۳۰+۷۲۰	$\frac{35}{1/37}$	سنگ آهک	۲/۵۵	۳/۰	۰/۸

جدول شماره۳- بیشینه تنش های القایی در توده سنگ مجاور تونل چمشک (دست چپ)

محدوده کیلومتر ازکیلومتر تا کیلومتر	ضخامت/K_0	واحدسنگی	چگالی g/cm^3	بیشینه تنش القایی(Mpa)	
				سقف (p_r)	دیواره(p_w)
از کیلومتر۴۸۵+۳۰ تا کیلومتر۵۳۰+۳۰	$\frac{35}{1/37}$	سنگاهک	۲/۵۵	۳/۰	۰/۸
از کیلومتر۵۳۰+۳۰ تا کیلومتر۶۴۵+۳۰	$\frac{55}{1/25}$	سنگاهک	۲/۵۵	۴/۲	۱/۵
از کیلومتر۶۴۵+۳۰ تا کیلومتر۷۰۵+۳۰	$\frac{35}{1/37}$	سنگاهک	۲/۵۵	۳/۰	۰/۸

- تونل سمت راست

درتونل دست راست بیشینه القایی در سقف و دیواره ها به ترتیب به مقدار ۴/۲ و ۱/۵ مگاپاسکال در کیلومتر ۴۷۰+۳۰ تا ۶۴۵+۳۰ می باشد. (جدول شماره ۲)

- تونل سمت چپ

بر پایه جدول شماره ۳ بیشینه القایی در سقف و دیواره تونل دست چپ به ترتیب به مقدار ۴/۲ و ۱/۵ مگاپاسکال در کیلومتر ۵۳۰+۳۰ تا ۶۴۵+۳۰ می باشد .

۵،۲. پیشنهاد نگهداری تونل و اجرای آن

بر پایه آنچه که نوشته شد در روش بنیاوسکی برای نگهداری سنگاهکهای آسماری به عنوان میزبان تونل های چشمک فقط یک پیشنهاد وجود داردکهبه ترتیب دستور اجرای حفاری (E=Excavation) ، کاربرد پیچ سنگ (B=Bolt) و بتن پاشیدنی(S=Shotcrete) می باشد. بارتون و همکاران نیز برای پوشش نگهدارنده تونل با توجه به ارتفاع ۹متری حفاری و کاربرد آن به عنوان تونل ترابری (ESR=1)بعد معادل برابر عدد ۹ خواهد بود. بر این پایه ، روش حفاظت پیشنهاد بارتون و همکاران کلاس ۱۸ پیچ سنگ کششی ۴متری در شبکه ۱/۵ ×۱ متر (با دوغاب ریزی) و تور سیمی به صورت شبکه است.

۳.تحلیل عددی جابجایی دیواره های تونل

۱،۳.آشنایی با نرم افزار مورد استفاده

در این تحقیق به دلیل شرایط زمین شناسی و ناپیوستگی های اطراف تونل و با توجه به خواص ژئومکانیکی سنگ میزبان از نرم افزار Phase2 جهت تحلیل پایداری تونل استفاده شده است. نرم افزار Phase2 یک برنامه نوشته شده بر اساس اجزای محدود دو بعدی برای محاسبه تنش ها و جابجایی های اطراف حفریات زیر زمینی است و می تواند در مسائل معدنی و مهندسی ساختمان بکار رود. در نرم افزار Phase 2 سه مرحله اساسی وجود دارد:

- MODEL
- COMPUTE
- INTERPRET

که در واقع ابتدا یک مدل را تنظیم کرده و سپس با عمل Compute که به طور خودکار توسط نرم افزار انجام میشود، محاسبات مدل انجام شده و با دستور INTERPRET نتایج مشاهده می شوند.

۲،۳ مراحل کار با نرم افزار Phase 2

برای کار با این نرم افزار لازم است پس آشنایی با منوها و زیرمنوهای آن ،مراحل زیر را برای تحلیل یک تونل دنبال کرد.

- تعیین تعداد مراحل کار
- کشیدن مقطع تونل
- تعیین محدوده اطراف مقطع تونل
- مشخص کردن مرز مواد، درزه ها و خطوط پیزومتریک
- مش بندی
- بارگذاری
- مهار کردن و محدود کردن در جهت مورد نظر
- تعریف ویژگی های سنگهای دربرگیرنده
- حفاری
- نگهداری
- ذخیره پروژه و انجام محاسبات
- مشاهده نتایج

۳،۳ نتایج حاصل از تحلیل عددی تونل مورد مطالعه

- نتایج مربوط به جابجایی های اطراف تونل

با توجه به نتایج حاصل از مدلسازی عددی تونل، در دیواره های اطراف تونل بیشترین جابجایی های افقی و بیشترین جابجایی های عمودی را در کف تونل مشاهده می کنیم و با توجه به تفاوت رنگها در تصاویر می توان این جابجایی ها را محاسبه کرد.

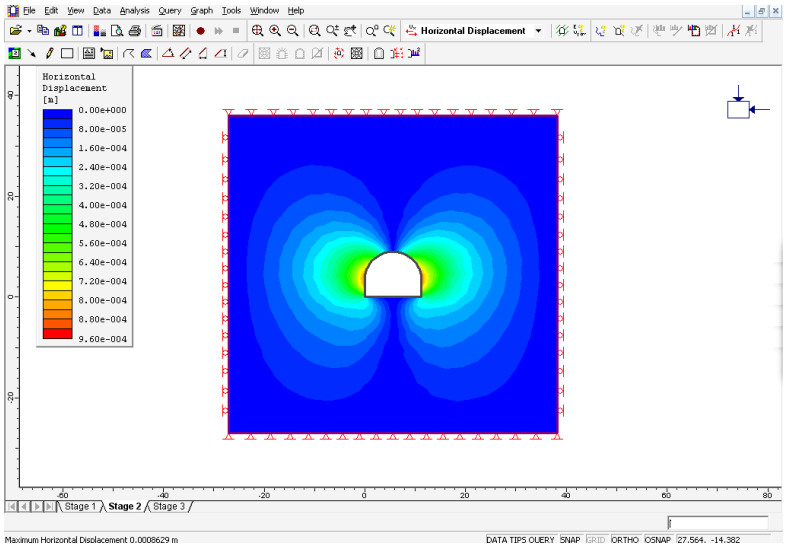
با کمک نتایج به دست آمده می توان کرنش بحرانی در مرزها را محاسبه کرد و با ترازهای هشدار مقایسه کرد.

بیشترین جابجایی های افقی: e^{-4} ۸,۶۲ = ۰,۱۵۸ ⟸ کرنش: ۰,۱۵۸/۱۱,۱۴= ۰,۰۱۴

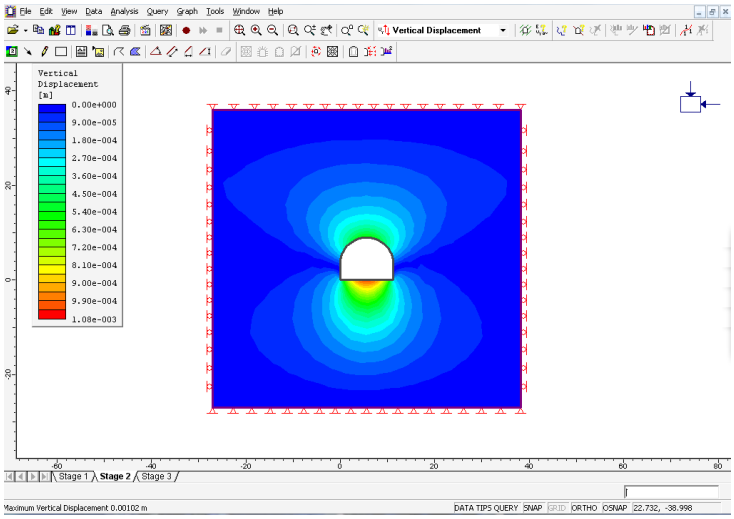
بیشترین جابجایی های عمودی: e^{-3} ۱,۰۲= ⟸ ۰,۰۵۱ کرنش: ۰,۰۵۱/۹= ۰,۰۰۵۷

بیشترین جابجایی های کلی: e^{-3} ۱,۰۲= ⟸ ۰,۰۵۱ کرنش: (میانگین طول وارتفاع/ ۰,۰۵۱) = ۰,۰۰۵۱

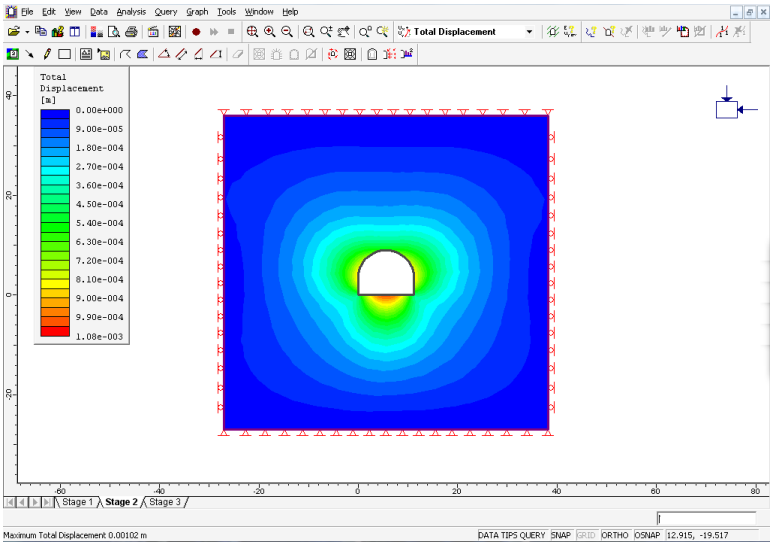
مشاهده می کنیم کرنش های محاسبه شدن از هر یک از ترازهای هشدار کمتر است و این نشان می دهد که تونل مورد نظر از نظر استاتیکی مشکل ناپایداری ندارد و نیاز به نگهدارنده ندارد،اما از نظر دینامیکی و با توجه به نوع استفاده ای که از تونل می شود و با توجه به تأثیر زمان بر رفتار سنگ ما باید یک نگهداری برای تونل تعریف کنیم، لذا برای جلوگیری از هوازدگی و ریزش خرده سنگها تأثیرات دینامیکی ناشی از حرکت ماشین ها ابتدا یک لایه شاتکریت به ضخامت ۱۰ cm و سپس بولت هایی به طول ۴ متر و در نهایت شاتکریتی به ضخامت ۳۰ cm را به عنوان پوشش نهایی برای تونل در نظر می گیریم.



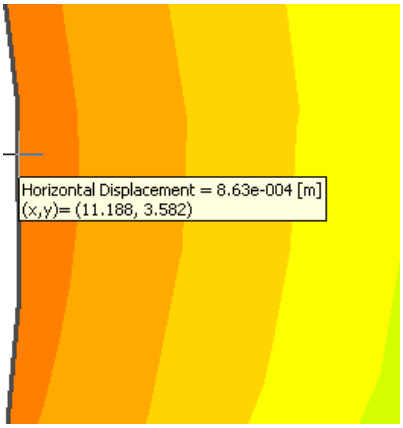
شکل ۱. جابجایی های افقی اطراف تونل



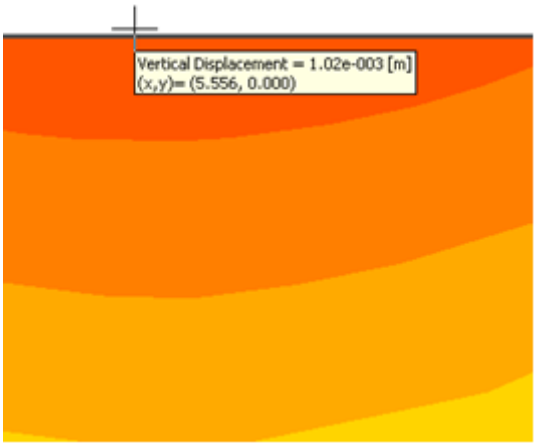
شکل ۲. جابجایی های عمودی اطراف تونل



شکل ۳. جابجایی های کلی اطراف تونل



شکل ۴. بیشترین جابجایی های افقی دیواره تونل دست راست



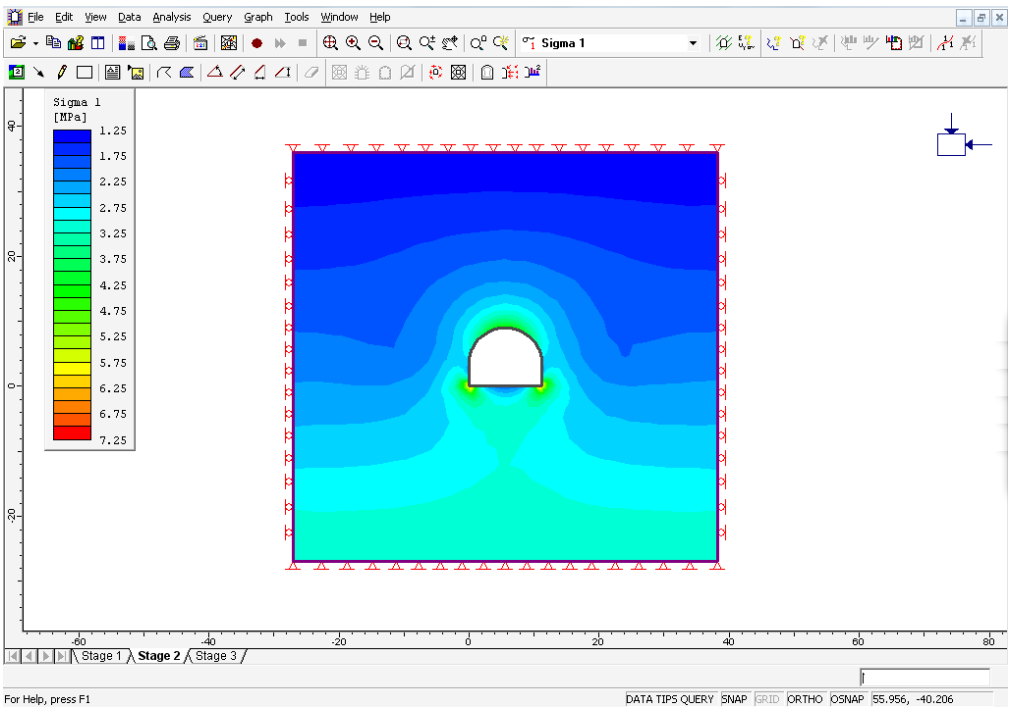
شکل ۵. بیشترین جابجایی های عمودی کف تونل دست راست

- نتایج مربوط به تحلیل تنش های اطراف تونل

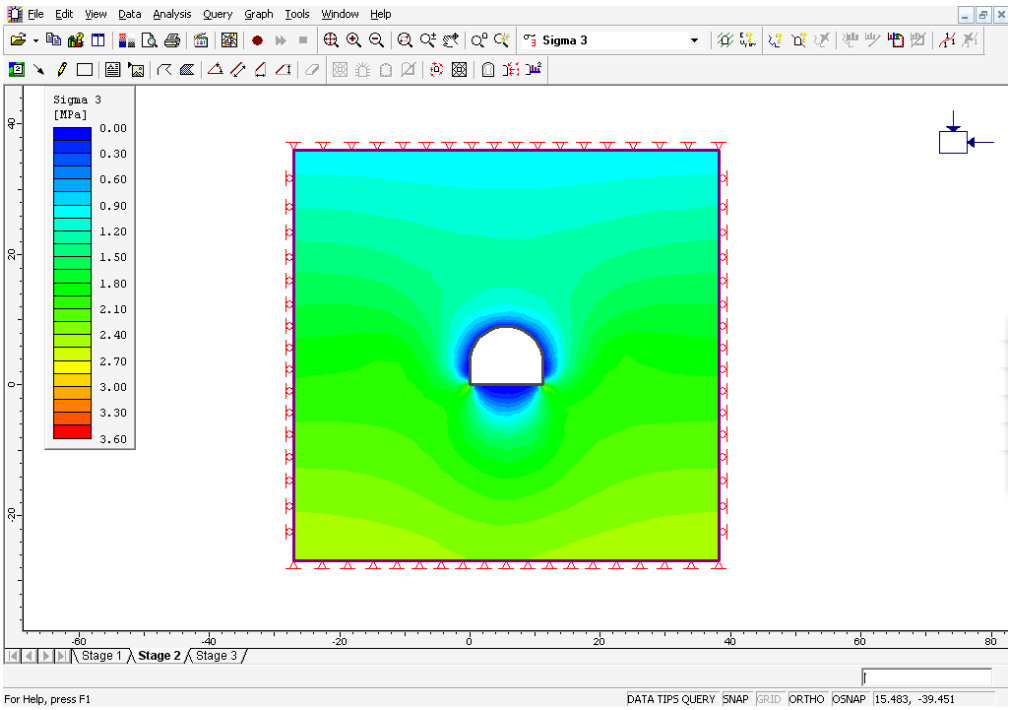
شکل ۶ بیشترین تنش های ناشی از حفاری را در امتداد عمود بر حفاری نشان می دهد ، که با توجه به رنگ شکل بیشترین فشار به گوشه های پایینی مقطع تونل وارد می شود.

شکل ۷ کمترین تنش های ناشی از حفاری و دامنه تغییرات آن را نشان می دهد ، با توجه به شکل مقدار این تنش ها در دیواره ها صفر است و هر چه از دیواره ها دور می شویم به مقدار تنش های قبل از حفاری نزدیکتر می شویم . با استفاده از روابط کرچ این نتایج به دست می آید.

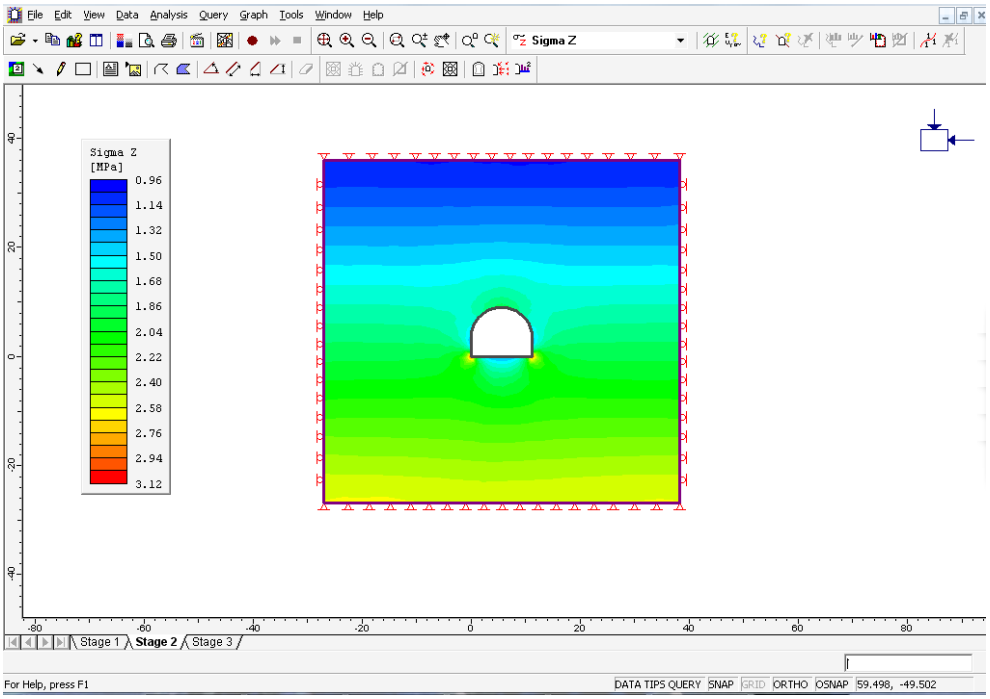
شکل ۸ تنش های عمود بر شعاع حفاری (در جهت Z) را نشان می دهد. با توجه به تصویر هر چه به عمق نزدیکتر می شویم مقدار این نوع تنش بیشتر می شود، اما در مقطعی که حفاری شده است این روند به هم می خورد و مقدار این نوع تنش در گوشه های تونل بیشتر از بقیه جاها است.



شکل ۶. بیشترین تنش اطراف تونل



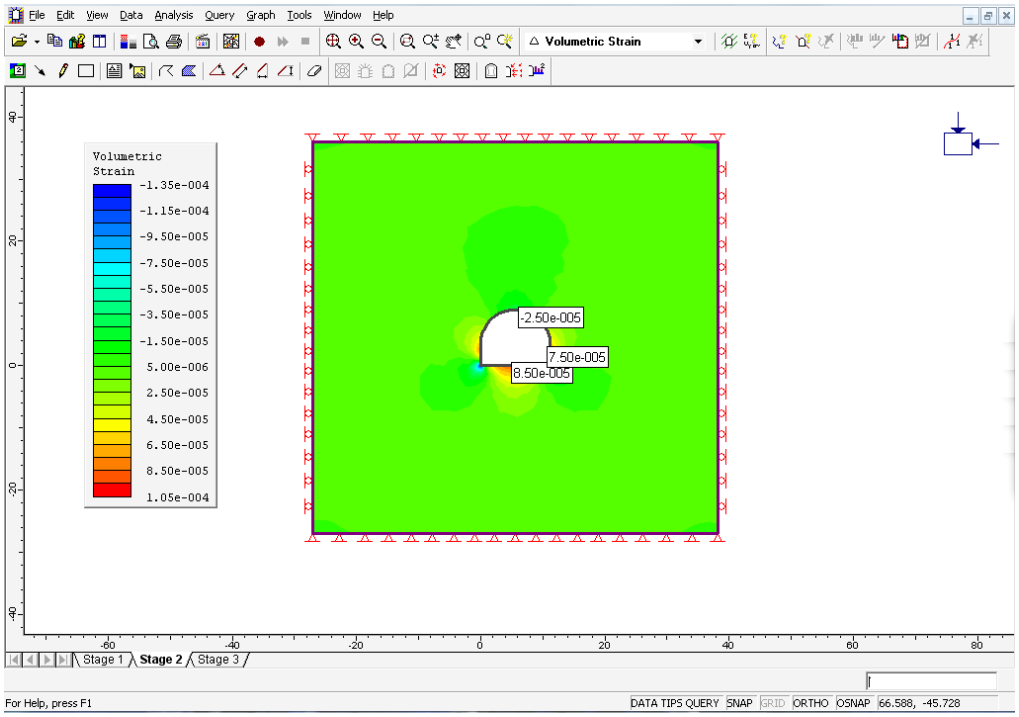
شکل۷. کمترین تنش اطراف تونل



شکل۸. تنش متوسط اطراف تونل

- نتایج مربوط به کرنش حجمی

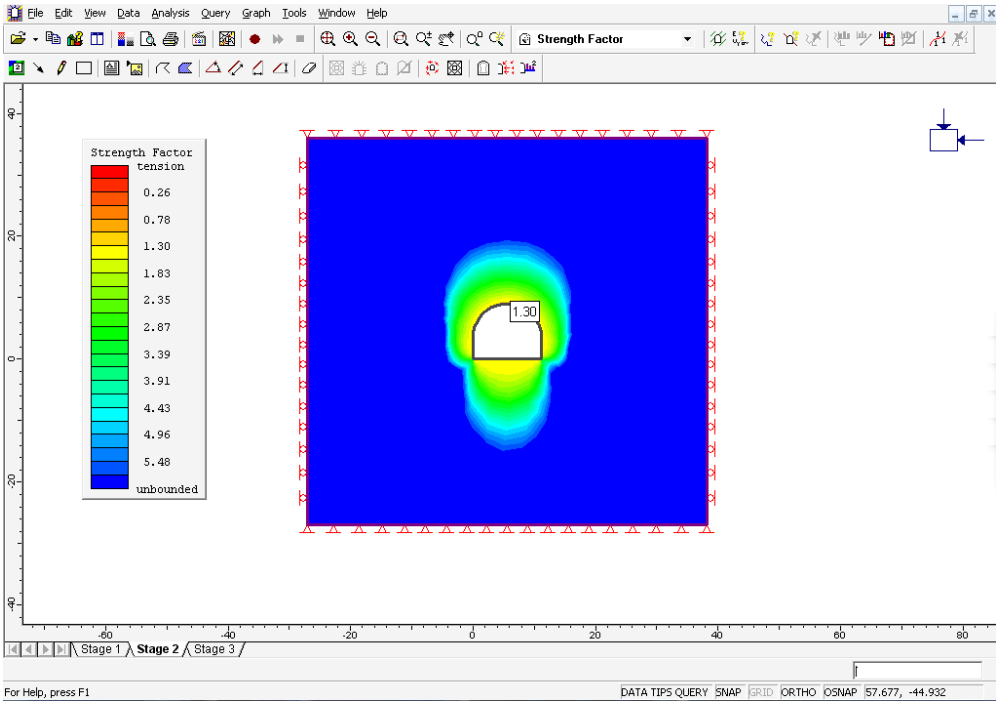
شکل ۹ تغییرات کرنش حجمی در محدوده اطراف تونل را نشان می دهد. با توجه به شکل بیشترین مقدار این پارامتر در کف تونل است و بعد از آن دیواره های کناری تحت تأثیر این تغییرات قرار گرفته اند. همان طور که در شکل نشان داده شده است مقدار این پارامتر در دیواره های اطراف تونل عددی مثبت است که نشان دهنده این است که دیواره ها متوانند به طرف به داخل تونل حرکت کنند. اما با توجه به نوع سنگهای دربرگیرنده و این که این مقدار خیلی ناچیز است چندانبه چشم نمی آید .



شکل۹. کرنش حجمی اطراف تونل

- نتایج مربوط به فاکتور تنش

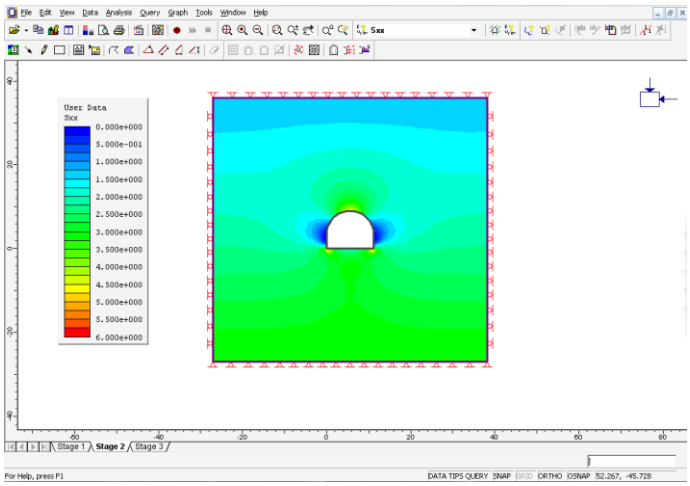
شکل ۱۰ نتایج مربوط به فاکتور تنش را نشان می دهد. با توجه به شکل فاکتور مقاومت در فضایی غیر از اطراف تونل بیشتر از ۶ می باشد. ولی به خاطر حفاری های انجام شده این پارامتر کم شده و در سقف دیواره ها و کف این تونل حدود ۱,۳۰می باشد، و این برای تونل های راه فاکتور مقاومت مناسبی نیست و نیاز به طراحی سیستم های نگهداری را برای این تونل نشان می دهد .



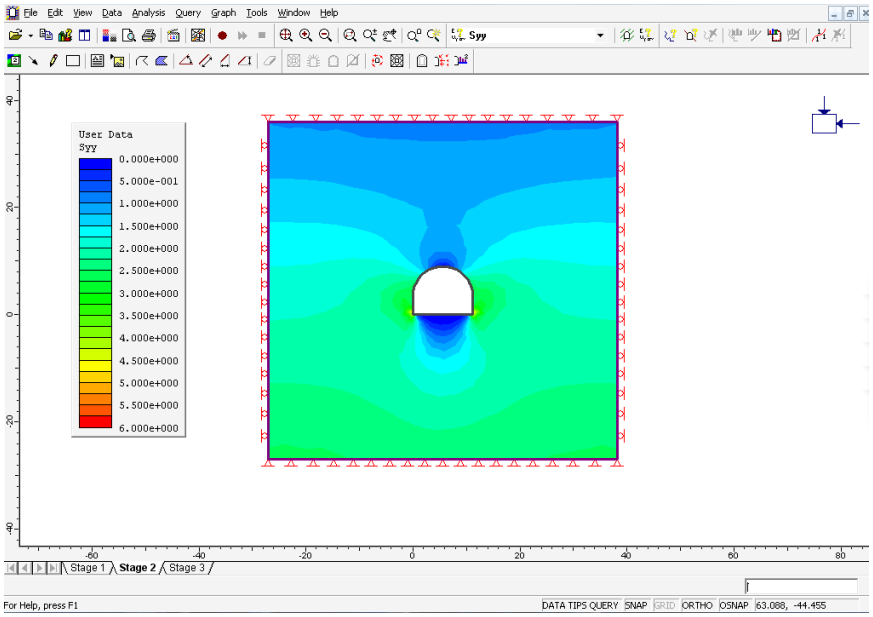
شکل ۱۰. فاکتور تنش

۳-۵ نتایج مربوط به مؤلفه های تنش

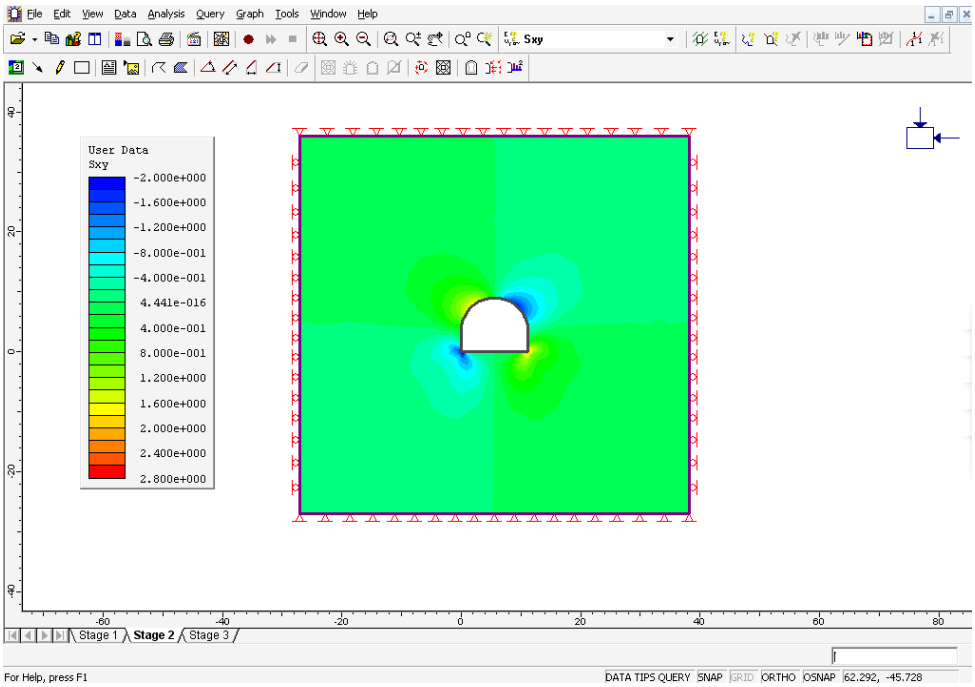
تنش های ناشی از حفاری را که از روابط کرچ بدست می آید را می توان در جهت x ، y و xy تصویر کرد که در این نرم آفزار به صورت خودکار محاسبه شده اند و در شکل های (۱۱، ۱۲ و ۱۳) نشان داده شده اند .



شکل ۱۱. تنش در جهتxx



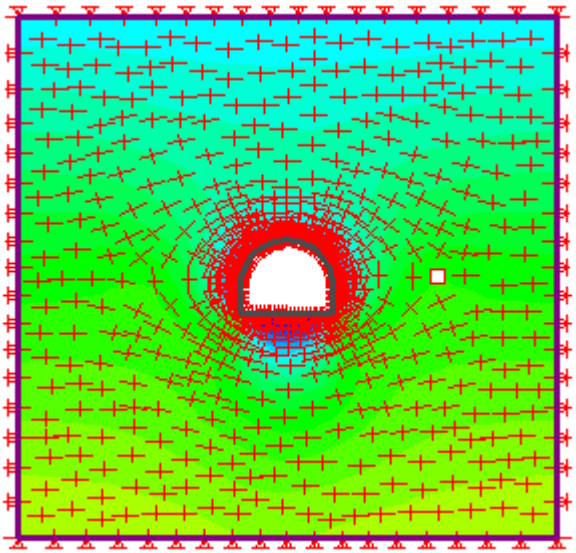
شکل۱۲. تنش در جهتYY



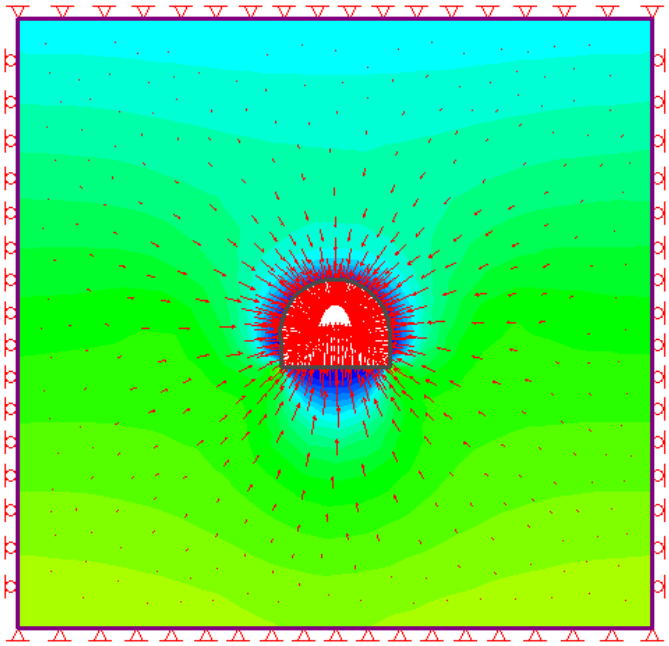
شکل۱۳. تنش در جهتXY

3-6-نتایج مربوط به مسیر تنش ها و تغییر شکل تونل

در شکل ۱۴ تنش های شعاعی نشان داده شده است .با توجه به این شکل می توان تغییرات مسیر را در اطراف تونل مشاهده کرد. شکل ۱۵ مسیر تغییر شکل دیواره های تونل را نشان می دهد ، این شکل نشان می دهد که مسیر تغییر شکل دیواره ها به سمت داخل تونل است.



شکل۱۴. منحنی های تنش



شکل۱۵. مسیر تغییر شکل مرزها

۵.نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به اینکه طبقه بندی سنگ میزبان تونل های چمشک بر اساس طبقه بندی های تجربی انجام شده جزء سنگ های خوب به حساب می آید، برای یک تونل معدنی نیازی به نگهداری ندارد. اما به خاطر آنکه می بایست از این تونل به عنوان یک تونل راه سال ها استفاده شود، برای آنکه حاشیه اطمینان را رعایت کنیم و محیطی امن برای عبور ماشین ها ایجاد کنیم، بر اساس نظر و پیشنهادات مهندسین مشاور و برای در نظر گرفتن اثرات دینامیکی از پیچ سنگی با طول ۴ متر و پوشش بتنی به عنوان نگهدارنده استفاده شده است. اما وارد کردن بولت هایی با این طول در نرم افزار بر روی فاکتور ایمنی تأثیر منفی می گزارد ، ولی با این وجود نتایج بدست آمده تا حدودی تأیید کننده نتایج تجربی بود و نتایج بدست آمده از نرم افزار عدم نیاز به نگهدارنده را نشان می دهد. به طور کلی نتایج حاصل از طبقه بندی تجربی و عددی به شرح ذیل می باشد:

- در کوتاه مدت دهانه تونل پایدار است و نیاز به نگهداری ندارد.
- جهت استفاده دراز مدت به عنوان تونل حمل و نقل و بالا بردن فاکتور ایمنی استفاده از مش، شاتکریت و راک بولت های ۴متری توصیه می شود.
- بیشترین تمرکز تنش در گوشه های پایینی تونل می باشد که می تواند منجر به بالازدگی کف تونل شود.

۶.منابع

[1] ایران استن - شرکت مهندسین مشاور – گزارش زمین شناسی تونل چمشک (1386)
[2] حسن مدنی - تونل سازی جلد سوم (1377)
[3] عذرا مرادپور - گزارش کارآموزی – تابستان ۱۳۸۷
[4] عذرا مرادپور – پروژه تحلیل تونل های چمشک - تابستان ۱۳۸۷
[5] Manual of Phase02 software, Rocscience Co.
[6] Hoek E, Brown E. Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 1997;34(8):1165-86.
[7] Hoek E. Practical rock engineering. Rocscience; 2000.
[8] Cai M, Kaiser P, Tasaka Y, Minami M. Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2007;44(2):247-65.
[9] Hoek E, Marinos P, Benissi M. Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 1998;57(2):151-60.