

## بررسی امکان وقوع مخاطرات زمین شناسی در تشکیلات موجود در مسیر تونل همرو

وحید حسینی تودشکی

استادیار گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان. [v.h.toudeshki@iauz.ac.ir](mailto:v.h.toudeshki@iauz.ac.ir)

### چکیده

آگاهی از خطرات زمین شناسی، نقش مهمی در انتخاب و نصب به موقع سیستم نگهدارنده مناسب برای سازه های زیرزمینی دارد. تونل همرو به طول تقریبی ۱۲۹۴ متر در مسیر اصلی سنج - مریوان احداث خواهد گردید. با توجه به شرایط ژئومکانیکی توده سنگ های موجود در مسیر این تونل، بررسی احتمال وجود مخاطرات زمین شناسی نظیر مچاله شوندرگی ضروری می باشد. در این تحقیق، ابتدا با استفاده از برداشت های زمین شناسی و مطالعه گمانه های حفاری شده، مسیر تونل به واحدهای مختلف تقسیم بندی گردیده و سپس شدت مچاله شوندرگی در هر بخش بررسی شده است. با مقایسه روش های مختلف ارزیابی مچاله شوندرگی مشخص شد که روش تجربی هوک - مارینوس کمترین و روش جتوا بیشترین شدت را برای مچاله شوندرگی توده سنگ های مسیر تونل ارزیابی می کنند. با توجه به بررسی های انجام شده، مسیر تونل همرو به سه محدوده A (کیلومتر ۵۲۹۳ تا ۵۵۲۳) با مچاله شوندرگی بی نهایت جدی تا جدی، B (کیلومتر ۵۵۲۳ تا ۵۹۷۳) با مچاله شوندرگی جدی تا خیلی کم و C (کیلومتر ۵۹۷۳ تا ۶۱۳۳) تقریباً بدون خطر مچاله شوندرگی تفکیک شده است.

واژگان کلیدی: تونل همرو، مچاله شوندرگی، روش های تجربی و نیمه تجربی.

### مقدمه

برآورد میزان پتانسیل مچاله شوندرگی، پیش بینی آثار آن و انتخاب روش حفاری و نگهداری مناسب از چالش های حرفه ای طراحان تونل می باشد.

مچاله شوندرگی همگرایی وابسته به زمان تونل است که هنگام حفاری تحت تاثیر شرایط خاصی از روباره و در سنگ های با مقاومت و مدول تغییر شکل پایین مانند شیل، گل سنگ، مارن یا مناطق گسله اتفاق می افتد. میزان همگرایی و نرخ آن، به میدان تنش موجود، فشار آب حفره ای، متغیرهای توده سنگ، جریان آب زیرزمینی و شرایط زمین شناسی بستگی دارد. پدیده مچاله شوندرگی با تغییر شکل های بزرگ و "همگرایی وابسته به زمان" در طی حفاری تونل همراه است

حفر تونل در توده های سنگی باعث تغییرات تنش در سنگ های پیرامون تونل می شود و تمرکزشدید تنش در پیرامون تونل ها می تواند موجب وقوع پدیده هایی نظیر مچاله شوندرگی و انفجار سنگ گردد. از این رو، بررسی شرایط ژئومکانیکی و وضعیت پایداری توده سنگ های موجود در مسیر تونل مهمترین مساله ای است که در دست اندرکاران اجرایی تونل با آن مواجه خواهند شد. بنابراین نخستین گام طراحی تونل در شرایط زمین های خاص، تعیین وضعیت زمین از لحاظ پتانسیل مچاله شوندرگی یا جابجایی های وابسته به زمان در اثر ایجاد و ترکیب تنش های القایی حین حفاری، انتخاب سیستم نگهداری را نیز در کنترل دارد به گونه ای که

رسوبات شیلی است که به صورت متناوب با آهک‌های شیلی قرار گرفته‌اند. این واحد بخش قابل توجهی از طول تونل همرو را در بر می‌گیرد. درصد شیل در این تناوب ها بسیار بیشتر از آهک ها می‌باشد. این واحد ظاهری کاملاً متورق داشته و در مقابل پدیده هوازگی بسیار نامقاوم می‌باشد (ره آور، ۱۳۸۸). بر اساس بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی انجام شده در منطقه، در مجموع پنج گونه زمین‌شناسی مهندسی در مسیر تونل قابل شناسایی و تفکیک از یکدیگر می‌باشند (جدول ۱). در بررسی توده سنگ های مسیر تونل، تعداد ۳ گمانه بر روی محور تونل حفر گردیده است. براساس آزمایشات صورت گرفته بر روی نمونه های به دست آمده از گمانه ها، خصوصیات ژئوتکنیکی توده سنگهای مسیر تونل به همراه شاخص امتیاز دهی توده سنگ (RMR) و شاخص کیفیت تونلرزی (Q) تعیین گردیده و در جدول ۲ آورده شده است.

#### ارزیابی پتانسیل مچاله شونددگی در بخشهای مختلف تونل همرو

در این تحقیق از پنج روش مختلف برای بررسی شرایط مچاله‌شوندگی در هر یک از واحدهای سنگی تونل همرو استفاده شده است.

#### روش عددی هوک - مارینوس

در این روش با استفاده از نتایج تحلیل عددی می‌توان شرایط توده سنگ دربرگیرنده تونل را پیش‌بینی کرد. بر این اساس، با توجه به مقدار حداکثر جابجایی محاسبه شده توسط نرم‌افزار Phase2 و قطر معادل تونل، میزان تنش حداکثر برابر خواهد بود با:

$$(1) \quad 100 \times (\text{شعاع تونل} / \text{همگرایی تونل}) = \text{کرنش بحرانی}$$

پس از بدست آوردن نسبت مقاومت فشاری تک محوری توده سنگ به تنش برجا  $(\frac{\sigma_{cm}}{p_0})$ ، شرایط مچاله شونددگی

که این تغییرشکل ها بسته به شدت مچاله شونددگی، از چند سانتی متر تا چندین سانتی متر متغیر می باشد. بر اثر ایجاد و ترکیب تنش های القایی، تنش موجود از حد مقاومت برشی گذشته و توده سنگ به داخل محدوده حفاری رانده می شود. این تغییرشکل ها ممکن است در طی حفاری تونل یا در دوره زمانی طولانی مدت ادامه داشته باشد (بارلا، ۲۰۰۱).

روش های مختلفی جهت برآورد پتانسیل مچاله شونددگی توسط محققین مختلف ارائه شده است. به منظور برآورد اولیه رفتار مچاله شونددگی می توان از روش های تجربی و نیمه تجربی استفاده نمود. روش های تجربی از قبیل روش سینگ و همکاران (۱۹۹۲)، روش گوئل و همکاران (۱۹۹۵)، روش باسین و گریمستاد (۱۹۹۶) و معیار پیشنهادی ISRM جهت برآورد اولیه مچاله شونددگی مورد استفاده قرار می گیرند. جهت برآورد دقیق تر رفتار مچاله شونددگی، معمولاً از روش های نیمه تجربی از قبیل روش های جتوا (۱۹۸۴)، آیدان و همکاران (۱۹۹۳)، بارلا (۱۹۹۵) و هوک و مارینوس (۲۰۰۰) استفاده می گردد. در این مقاله با توجه به روش های مختلف به پیش بینی پدیده مچاله شونددگی در بخش های مختلف تونل همرو پرداخته شده است.

#### زمین شناسی مسیر تونل

تونل همرو به طول تقریبی ۱۲۹۴ متر با دهانه ۱۰/۶ متر و ارتفاع ۸/۷۵ متر در ۵ کیلومتری شمال شویشه و در مسیر اصلی سندج - مریوان طراحی شده است (شکل ۱). برای دسترسی به این تونل می توان از جاده خاکی دسترسی به روستای تیژتیژ که در امتداد جاده در حال احداث می باشد استفاده نمود و بعد از طی مسافتی در حدود ۵ تا ۶ کیلومتر در این جاده، تونل قابل دسترسی خواهد بود.

توده سنگ های مسیر تونل عمدتاً شامل شیل های ماسه ای و آهکی در تناوب با لای سنگ های قرمز رنگ به همراه سنگ آهک های سیلتی - ماسه ای می باشند. به نظر می‌رسد بیشترین گسترش واحدهای سنگی در منطقه مربوط به

جدول ۲- خصوصیات ژئوتکنیکی توده سنگ های مسیر تونل همرو(ره آور، ۱۳۸۸)

Engineering Geological type	UCS (Mpa)	RQD (%)	GSI	RSR
SHL	25	20	30-35	41
LSH	35	35	35-45	41
SHS	45	35	35-45	41
LI	65	70	50-60	47

از آنجا که مقطع اصلی تونل به شکل نعل اسبی و با عرض ۱۰/۶ متر و ارتفاع کف تا سقف تونل ۸/۷۵ متر می باشد، قطر معادل تونل برابر با ۹/۶۸ متر محاسبه می گردد. بنابراین مقدار کرنش بحرانی در سقف تونل برابر خواهد بود با:

$$\varepsilon = (0.54 \div 4.84) \times 100 = 11.2 \%$$

از طرفی نسبت مقاومت فشاری توده سنگ به تنش برجا نیز برابر است با:

$$\frac{\sigma_{cm}}{P_0} = \frac{0.13}{1.3} = 0.1$$

با توجه به نتایج بدست آمده و به کمک نمودار هوک - مارینوس، مشکلات مچاله شوندگی در این بخش بسیار جدی ارزیابی می گردد (شکل ۲).

#### واحد سنگی LSH

این واحد متشکل از واحدهای شیلی به رنگ سیاه تا خاکستری و بعضاً روشن است که در مقابل فرسایش و هوازگی مقاومت اندکی دارند. با استفاده از نرم افزار Phase2 مقدار جابجایی در دیواره ها، سقف و کف تونل بدست آمده است (شکل ۳).

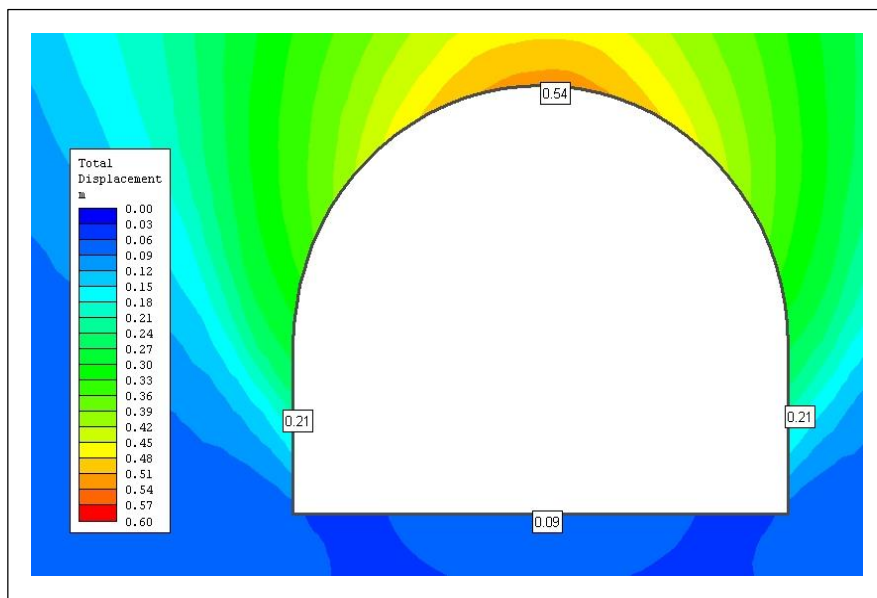
توده سنگ با استفاده از نمودار ارائه شده توسط هوک و مارینوس بررسی شده است.

#### واحد سنگی SHL

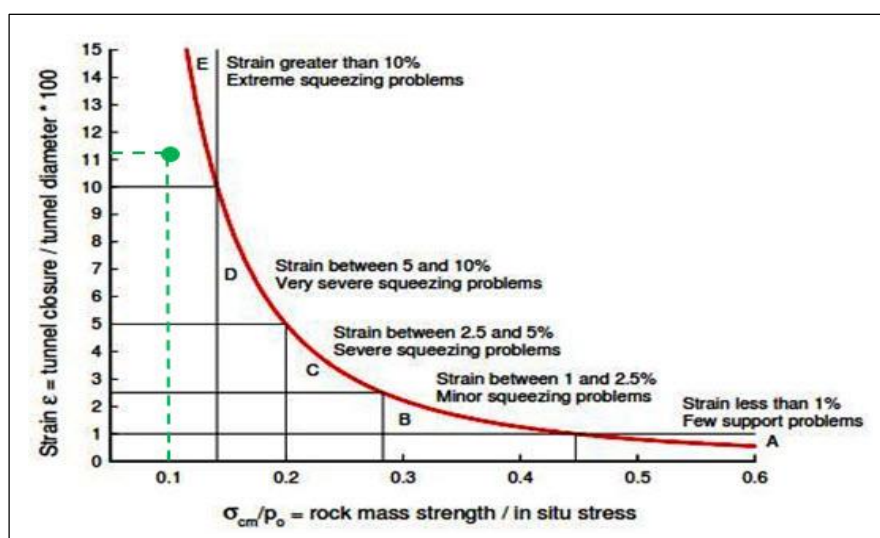
این واحد که عمدتاً از شیلهای ماسه ای و آهک های شیلی تشکیل شده بخش قابل توجهی از طول تونل همرو را در بر می گیرد. با استفاده از نرم افزار Phase2 مقدار جابجایی در دیواره ها، سقف و کف تونل بدست آمده است (شکل ۱).

جدول ۱- گونه های زمین شناسی مهندسی شناسایی شده در محدوده تونل همرو (ره آور، ۱۳۸۸)

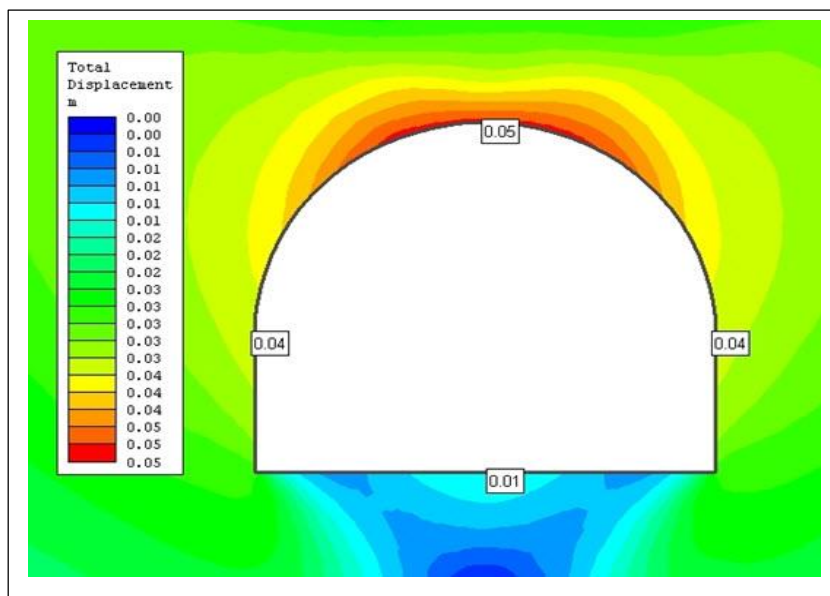
شناسی مهندسی	گونه زمین شناسی	واحد چینه شناسی معادل	توصیف	تجزیه
SHL	SHL	PE <sub>sh-l</sub>	تناوب شیلهای ماسه ای و آهکهای شیلی	نازک لایه، متورق، نامستحکم و ناپایدار
LSH	LSH	PE <sub>L,sh</sub>	شیلهای آهکی - سیلتی سیاه و خاکستری رنگ	نازک لایه، متورق، نامستحکم و ناپایدار
SHS	SHS	PE <sub>sh-s</sub>	تناوب شیلهای لای سنگ های قرمز رنگ	نازک لایه، متورق، نیمه مستحکم، در برخی نقاط ناپایدار
LI	LI	PE <sub>L,l</sub>	سنگ آهکهای سیلتی - ماسه ای	نازک تا متوسط لایه، نیمه مستحکم تا مستحکم و پایدار
S1	S1	Q	خاکهای با دانه بندی متغیر از ذرات شن تا سیلت و رس	کاملاً ناپایدار



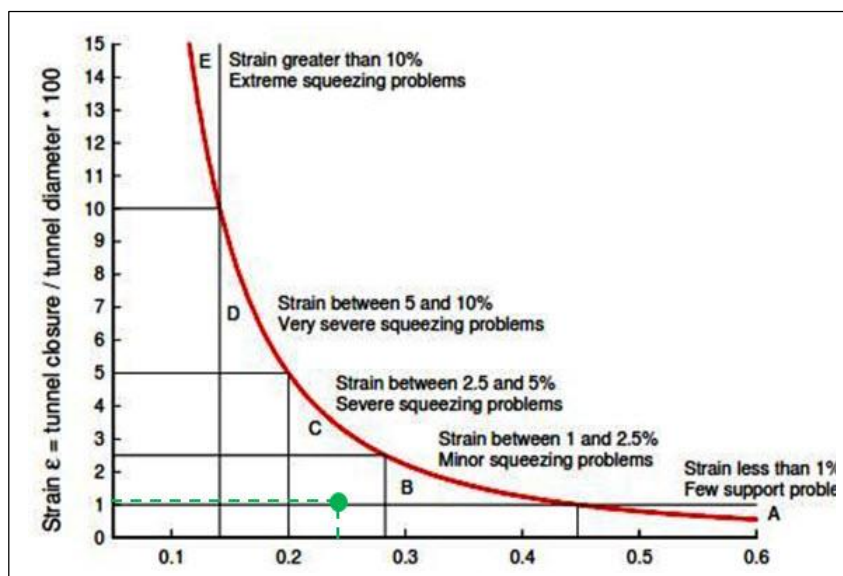
شکل ۱- میزان جابجایی دیواره و سقف تونل در واحد سنگی SHL



شکل ۲- پیش بینی مچاله شونده در واحد سنگی SHL به روش عددی هوک - مارینوس



شکل ۳- میزان جابجایی دیواره و سقف تونل در واحد سنگی LSH



شکل ۴- پیش بینی مجاله شونده در واحد سنگی LSH به روش عددی هوک - مارینوس

مقدار کرنش بحرانی در سقف تونل برابر خواهد بود با:

$$\varepsilon = (0.05 \div 4.84) \times 100 = 1.03 \%$$

از طرفی نسبت مقاومت فشاری توده سنگ به تنش برجا نیز برابر است با:

$$\frac{\sigma_{cm}}{P_0} = \frac{0.335}{1.3} = 0.26$$

با توجه به نمودار هوک - مارینوس، خطر مچاله شونده در این بخش کم می‌باشد. (شکل ۴).

#### واحد سنگی SHS

این واحد از شیل و لای سنگ های قرمز رنگ تشکیل شده است که به صورت تناوب های بسیار نازک در حد یک تا پنج سانتیمتر در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. با استفاده از نرم افزار Phase2 مقدار جابجایی در دیواره ها، سقف و کف تونل بدست آمده است (شکل ۵).

مقدار کرنش بحرانی در سقف تونل برابر خواهد بود با:

$$\varepsilon = (0.03 \div 4.84) \times 100 = 0.62 \%$$

از طرفی نسبت مقاومت فشاری توده سنگ به تنش برجا نیز برابر است با:

$$\frac{\sigma_{cm}}{P_0} = \frac{0.431}{1.3} = 0.33$$

با توجه به نمودار هوک - مارینوس، خطر مچاله شونده در این بخش بسیار کم می‌باشد. (شکل ۶).

#### واحد سنگی LI

این واحد از آهک های سیلتی - ماسه‌ای ریزدانه نازک تا متوسط لایه به رنگ هوازده خاکستری روشن تشکیل شده

است. با استفاده از نرم افزار Phase2 مقدار جابجایی در دیواره ها، سقف و کف تونل بدست آمده است (شکل ۷).

مقدار کرنش بحرانی در سقف تونل برابر خواهد بود با:

$$\varepsilon = (0.01 \div 4.84) \times 100 = 0.21 \%$$

از طرفی نسبت مقاومت فشاری توده سنگ به تنش برجا نیز برابر است با:

$$\frac{\sigma_{cm}}{P_0} = \frac{2.091}{1.3} = 1.61$$

با توجه به نمودار هوک - مارینوس ملاحظه می‌گردد که مشکلات نگهداری تونل در این واحد، بسیار کم خواهد بود (شکل ۸).

#### روش تجربی هوک - مارینوس

در صورتیکه در روش هوک - مارینوس مقادیر بدست آمده از روش عددی را ملاک قرار ندهیم، می‌توان از رابطه تجربی زیر و با استفاده از جدول ۳ درجه مچاله شونده را تعیین نمود:

(۲)

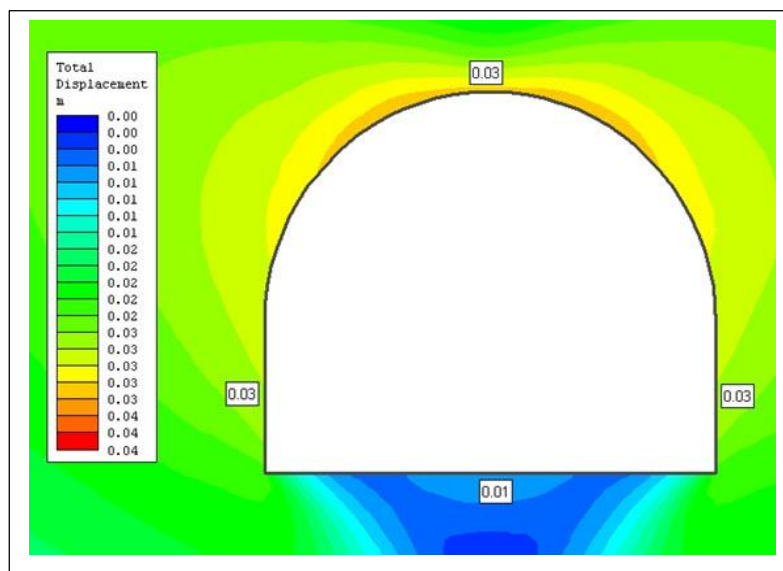
$$\varepsilon (\%) = 100 \times (0.002 - 0.0025 \frac{P_i}{P_0}) \frac{\sigma_{cm}}{P_0} (2.4 \frac{P_i}{P_0} - 2)$$

در معادله فوق  $\varepsilon$  کرنش بر حسب درصد،  $P_0$  برابر با تنش بر جای قائم و  $P_i$  فشار نگهداری است که در محاسبات صفر فرض شده است و  $\sigma_{cm}$  مقاومت فشاری توده سنگ می‌باشد.

#### واحد سنگی SHL

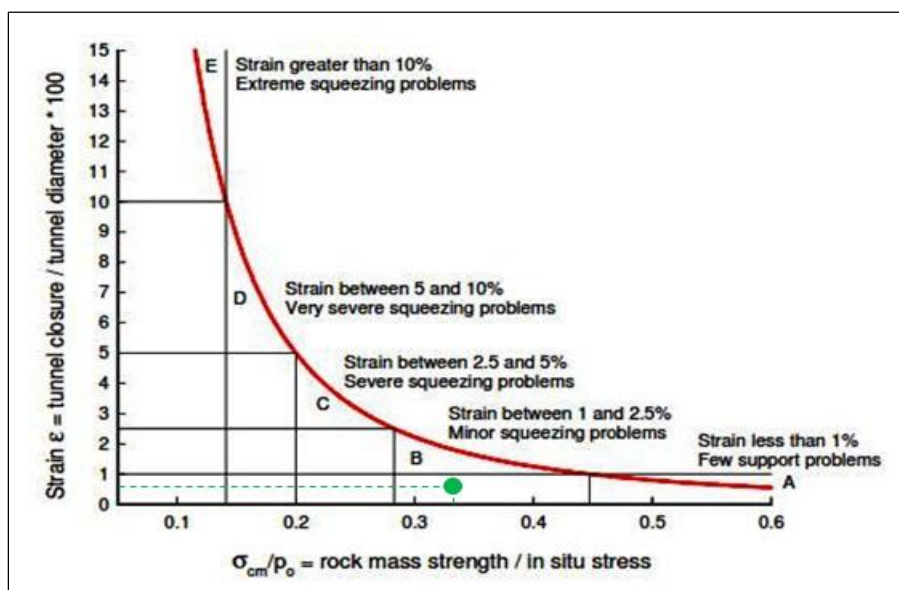
در این واحد، مقدار تنش بر جای قائم ( $P_0$ ) برابر  $1/3$  مگاپاسکال و مقاومت فشاری توده سنگ ( $\sigma_{cm}$ ) برابر  $0/13$  مگاپاسکال می‌باشد بنابراین مقدار کرنش به کمک رابطه (۲) برابر با  $9/1$  درصد بدست می‌آید. با توجه به جدول ۳

مشخص می شود که وضعیت توده سنگ در این بخش در

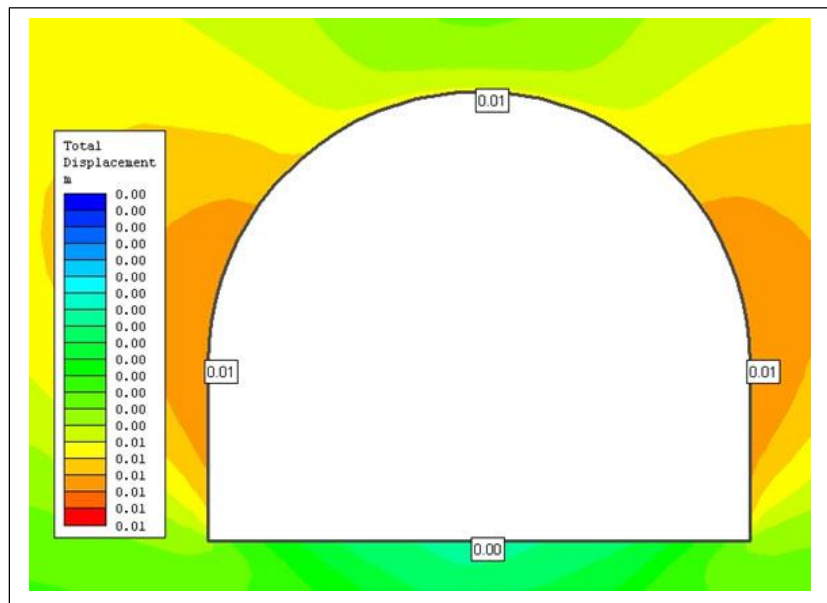


طبقه مچاله شونده بسیار چتری و تقویت سینه کار در شاتکریت مورد نیاز

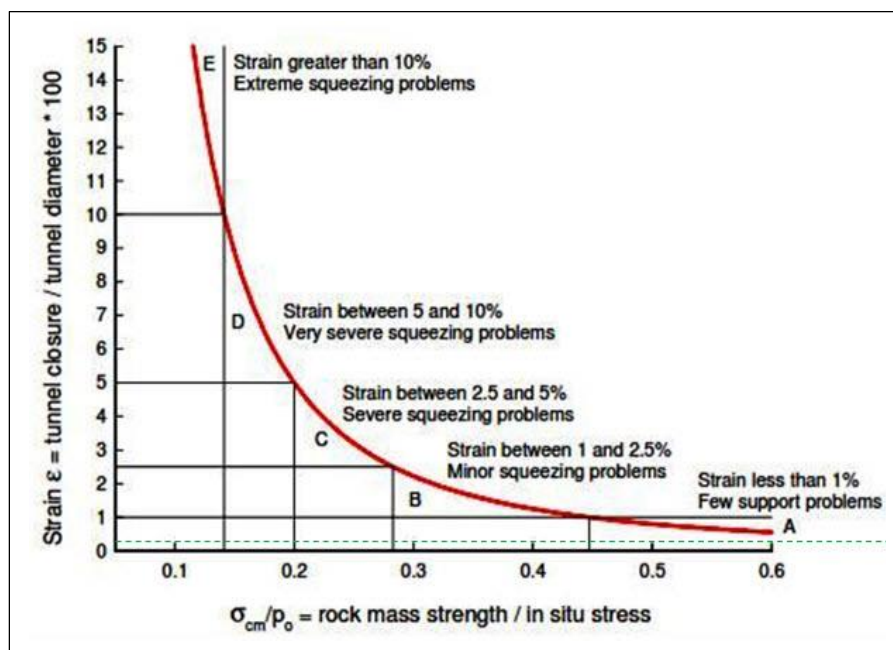
شکل ۵- میزان جابجایی دیواره و سقف تونل در واحد سنگی SHS



شکل ۶- پیش بینی مچاله شونده در واحد سنگی SHS به روش عددی هوک - مارینوس



شکل ۷- میزان جابجایی دیواره و سقف تونل در واحد سنگی LI





شکل ۸- پیش‌بینی مچاله شوندگی در واحد سنگی LI به روش عددی هوک - مارینوس

در این واحد، مقدار تنش بر جای قائم ( $P_0$ ) برابر  $1/3$  مگاپاسکال و مقاومت فشاری توده سنگ ( $\sigma_{cm}$ ) برابر  $0/335$  مگاپاسکال می باشد بنابراین مقدار کرنش به کمک رابطه (۲) برابر با  $1/78$  درصد بدست می آید. با توجه به جدول ۳ مشخص می شود که وضعیت توده سنگ در این بخش، در طبقه مچاله شوندگی کم قرار می گیرد که عموماً با استفاده از پیچ سنگ، شاتکریت و در صورت نیاز قاب فولادی سبک قابل حل است.

واحد سنگی SHS

در این واحد، مقدار تنش بر جای قائم ( $P_0$ ) برابر  $1/3$  مگاپاسکال و مقاومت فشاری توده سنگ ( $\sigma_{cm}$ ) برابر  $0/431$  مگاپاسکال می باشد بنابراین مقدار کرنش به کمک رابطه (۲) برابر با  $0/83$  درصد بدست می آید. با توجه به جدول ۳ مشخص می شود که وضعیت توده سنگ در این بخش در طبقه مچاله شوندگی بسیار کم قرار می گیرد لذا شرایط تونل سازی بسیار ساده بوده و سیستم نگهداری عموماً پیچ سنگ و شاتکریت خواهد بود.

واحد سنگی LI

در این واحد، مقدار تنش بر جای قائم ( $P_0$ ) برابر  $1/3$  مگاپاسکال و مقاومت فشاری توده سنگ ( $\sigma_{cm}$ ) برابر  $2/091$  مگاپاسکال می باشد بنابراین مقدار کرنش به کمک رابطه (۲) برابر با  $0/36$  درصد بدست می آید. با توجه به جدول ۳ مشخص می شود وضعیت توده سنگ در این بخش نیز همانند بخش قبل در طبقه مچاله شوندگی بسیار کم قرار می گیرد لذا شرایط تونل سازی بسیار ساده بوده و سیستم نگهداری عموماً پیچ سنگ و شاتکریت خواهد بود.

جدول ۳- پیش‌بینی وضعیت مچاله شوندگی بر اساس روش تجربی هوک - مارینوس

کرنش (%)	شرایط زمین و نوع سیستم نگهداری
کمتر از ۱	شرایط بسیار ساده تونل سازی، سیستم نگهداری عموماً پیچ سنگ و شاتکریت
۱-۲۵	مشکل مچاله شوندگی کم که عموماً با استفاده از پیچ سنگ و شاتکریت قابل حل است. گاهی در صورت نیاز از قاب فولادی سبک یا لاتیس-گریدر استفاده خواهد شد.
۲۵-۵۰	مشکل مچاله شوندگی جدی سیستم نگهداری این بخش باید با قاب‌های فولادی به همراه شاتکریت باشد و همچنین سیستم نگهداری باید بلافاصله پس از حفر و به سرعت نصب شود.
۵۰-۱۰۰	مشکل بسیار جدی مچاله شوندگی و ناپایداری سینه‌کار. روش چتری و تقویت سینه‌کار به همراه قاب‌های فولادی پوشیده شده در شاتکریت معمولاً مورد نیاز خواهد بود.
بیشتر از ۱۰۰	مشکل مچاله شوندگی بی‌نهایت جدی. معمولاً روش چتری و تقویت سینه‌کار استفاده شده. مکانیزم‌های نگهداری تسلیم شونده ممکن است در شرایط بحرانی مورد نیاز باشند.

واحد سنگی LSH

$$Nc = \frac{0.335}{1.3} = 0.26$$

همانطور که مشاهده می‌گردد در این بخش نیز پتانسیل مچاله‌شوندگی زیاد می‌باشد.

#### واحد سنگی SHS

در این واحد با توجه به مقادیر  $P_0 = 1.3 \text{ MPa}$  و

$\sigma_{cm} = 0.431 \text{ MPa}$  خواهیم داشت :

$$Nc = \frac{0.431}{1.3} = 0.33$$

در این بخش نیز همانند دو بخش قبلی، پتانسیل مچاله‌شوندگی زیاد بوده و نیاز به پیش‌بینی تمهیدات خاصی برای سیستم نگهداری خواهد بود.

#### واحد سنگی LI

در این واحد با توجه به مقادیر  $P_0 = 1.3 \text{ MPa}$  و

$\sigma_{cm} = 2.091 \text{ MPa}$  خواهیم داشت :

$$Nc = \frac{2.091}{1.3} = 1.61$$

با عنایت به جدول ۴ مشخص می‌گردد که در این بخش، شدت مچاله‌شوندگی ملایم می‌باشد.

#### روش بارلا

در این روش پتانسیل مچاله‌شوندگی سنگ بر اساس نسبت مقاومت فشاری تک محوری سنگ به تنش اصلی حداکثر مطابق جدول ۵ تعیین می‌شود :

جدول ۵- طبقه بندی شدت مچاله‌شوندگی بر اساس روش

بارلا

نوع رفتار	$Nc$
-----------	------

#### روش جتوا

در این روش به منظور کنترل و جمع‌بندی نتایج در ناحیه مورد نظر، شرایط زمین با استفاده از درجه مچاله‌شوندگی که در سال ۱۹۸۴ توسط جتوا و همکاران به صورت زیر ارائه شده، سنجیده می‌گردد:

$$Nc = \frac{\sigma_{cm}}{P_0} = \frac{\sigma_{cm}}{\gamma.H} \quad (۳)$$

. در معادله فوق  $P_0$  تنش بر جای قائم،  $H$  عمق تونل از سطح زمین،  $\gamma$  وزن مخصوص توده سنگ و  $\sigma_{cm}$  مقاومت فشاری توده سنگ می‌باشد

جدول ۴- طبقه بندی پتانسیل مچاله‌شوندگی بر اساس نظریه جتوا و همکاران

شدت مچاله‌شوندگی	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_1}$
شدید	$< 0.2$
متوسط	$0.2 - 0.4$
ضعیف	$0.4 - 1$
بدون مچاله‌شوندگی	$> 1$

#### واحد سنگی SHL

در این واحد با توجه به مقادیر  $P_0 = 1.3 \text{ MPa}$  و  $0.13$

$\sigma_{cm} = \text{MPa}$  خواهیم داشت :

$$Nc = \frac{0.13}{1.3} = 0.1$$

با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌گردد در این بخش، پتانسیل مچاله‌شوندگی زیاد می‌باشد

#### واحد سنگی LSH

در این واحد با توجه به مقادیر  $P_0 = 1.3 \text{ MPa}$  و

$\sigma_{cm} = 0.335 \text{ MPa}$  خواهیم داشت :

در این واحد با توجه به مقادیر  $P_0 = 1.3 \text{ MPa}$  و  $\sigma_{cm} = 2.091 \text{ MPa}$  خواهیم داشت:

$$\frac{2.091}{1.3} = 1.61$$

با توجه به جدول ۵ مشخص می‌گردد که این بخش، بدون مچاله‌شوندگی می‌باشد.

#### روش انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ISRM)

در این روش پتانسیل مچاله‌شوندگی، با استفاده از مقادیر تنش مماسی  $\sigma_\theta$  و مقاومت فشاری تک محوری سنگ  $\sigma_{cm}$  و بر اساس جدول ۶ تعیین می‌گردد. برای بدست آوردن تنش مماسی در دیواره تونل از رابطه زیر استفاده شده است:

$$\sigma_\theta = (P_1 + P_2) - 2(P_1 - P_2)\cos 2\theta$$

$P_1$ : تنش برجای افقی

$P_2$ : تنش برجای قائم

برای  $\theta = 0$  داریم:

$$\sigma_\theta = 3P_2 - P_1$$

$$\sigma_\theta = (3 \times 1.3) - 3.06 = 0.84 \text{ MPa}$$

جدول ۶- طبقه بندی شدت مچاله‌شوندگی بر اساس روش

انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ISRM)

$\frac{\sigma_\theta}{\sigma_{cm}}$	شدت مچاله‌شوندگی
$> 4$	شدید
$2 - 4$	متوسط
$1 - 2$	ضعیف
$< 1$	بدون مچاله‌شوندگی

واحد سنگی SHL

$< 0.4$	مچاله‌شوندگی زیاد
$0.4 - 0.8$	مچاله‌شوندگی متوسط
$0.8 - 2$	مچاله‌شوندگی ملایم
$> 2$	غیر مچاله‌شونده

واحد سنگی SHL

در این واحد با توجه به مقادیر  $P_0 = 1.3 \text{ MPa}$  و  $\sigma_{cm} = 0.13 \text{ MPa}$  خواهیم داشت:

$$\frac{0.13}{1.3} = 0.1$$

در این بخش، شدت مچاله‌شوندگی با توجه به جدول ۵ شدید می‌باشد.

واحد سنگی LSH

در این واحد با توجه به مقادیر  $P_0 = 1.3 \text{ MPa}$  و  $\sigma_{cm} = 0.335 \text{ MPa}$  خواهیم داشت:

$$\frac{0.335}{1.3} = 0.26$$

همانطور که مشاهده می‌گردد در این بخش، شدت مچاله‌شوندگی متوسط می‌باشد.

واحد سنگی SHS

در این واحد با توجه به مقادیر  $P_0 = 1.3 \text{ MPa}$  و  $\sigma_{cm} = 0.431 \text{ MPa}$  خواهیم داشت:

$$\frac{0.431}{1.3} = 0.33$$

در این بخش نیز شدت مچاله‌شوندگی متوسط برآورد می‌گردد.

واحد سنگی LI

در این بخش، شدت مچاله‌شوندگی ضعیف برآورد می‌گردد.

#### واحد سنگی LI

در این واحد با توجه به مقدار  $\sigma_{cm} = 2.091 \text{ MPa}$  خواهیم داشت:

$$\frac{\sigma_{\theta}}{\sigma_{cm}} = \frac{0.84}{2.091} = 0.4 < 1$$

با توجه به جدول ۶ مشخص می‌گردد که این بخش، بدون مچاله‌شوندگی می‌باشد.

#### مقایسه روش های ارزیابی پتانسیل مچاله شوندگی

با مقایسه روش های مختلف ارزیابی مچاله شوندگی مشخص شد که روش تجربی هوک - مارینوس کمترین و روش جتوا بیشترین شدت را برای مچاله شوندگی ارزیابی می کنند ( شکل ۹). بیشترین تطابق در ارزیابی شدت مچاله شوندگی بین روش های بارلا و انجمن بین المللی مکانیک سنگ وجود دارد و به نظر می رسد که مقدار منطقی تری را برای مچاله شوندگی بخش های مختلف تونل به دست می دهند. به طور کلی می توان گفت روش های جدیدتر شدت مچاله شوندگی را کمتر ارزیابی می کنند.

در این واحد با توجه به مقدار  $\sigma_{cm} = 0.13 \text{ MPa}$  خواهیم داشت:

$$\frac{\sigma_{\theta}}{\sigma_{cm}} = \frac{0.84}{0.13} = 6.46 > 4$$

بنابراین با توجه به جدول ۶، شدت مچاله‌شوندگی در این بخش شدید می‌باشد.

#### واحد سنگی LSH

در این واحد با توجه به مقدار  $\sigma_{cm} = 0.335 \text{ MPa}$  خواهیم داشت:

$$\frac{\sigma_{\theta}}{\sigma_{cm}} = \frac{0.84}{0.335} = 2.51 < 0.2$$

$$2 < 2.51 < 4$$

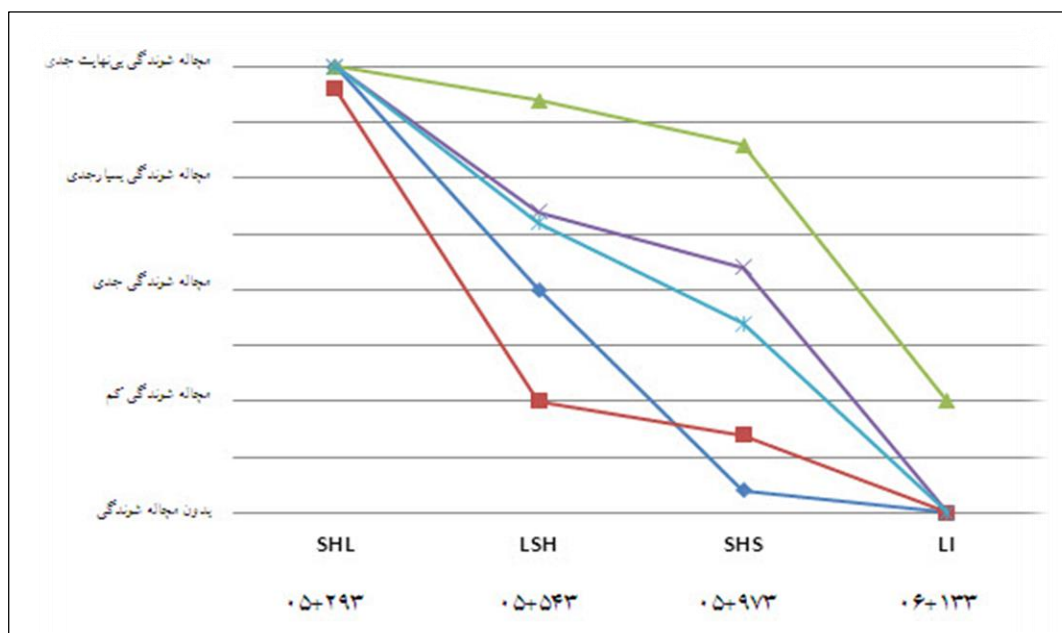
با توجه به جدول ۶، در این بخش شدت مچاله‌شوندگی متوسط ارزیابی می‌گردد.

#### واحد سنگی SHS

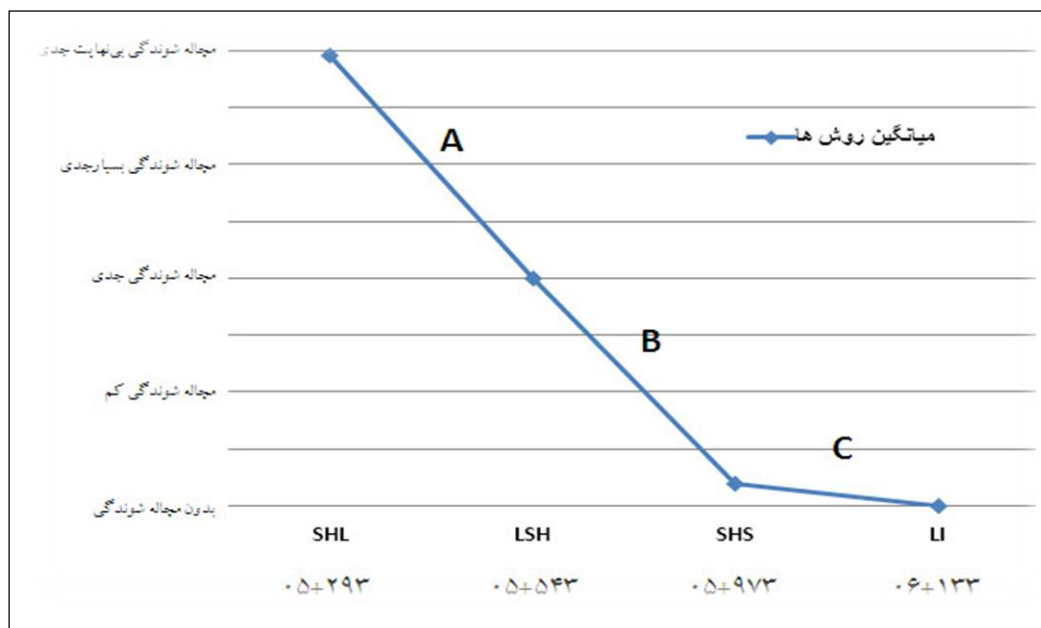
در این واحد با توجه به مقدار  $\sigma_{cm} = 0.431 \text{ MPa}$  خواهیم داشت:

$$\frac{\sigma_{\theta}}{\sigma_{cm}} = \frac{0.84}{0.431} = 1.95 < 0.2$$

$$1 < 1.95 < 2$$



شکل ۹ - مقایسه نتایج بدست آمده از روش های مختلف ارزیابی پتانسیل مچاله شوندگی در بخش های مختلف تونل همرو



شکل ۱۰- تفکیک مسیر تونل همرو بر اساس خطر مچاله شوندگی

نگهدارنده کاسته شده و نیروی محوری کمتری بر آن وارد می شود. بنابراین امکان شکستن و تسلیم شدن پوشش نگهدارنده کاهش می یابد و امکان نصب پوشش نگهدارنده در نزدیکی سینه کار در سنگ های با کرنش زیاد (سنگ های مچاله شونده) فراهم می گردد. از این رو پیشنهاد می گردد که در محدوده A از قاب های فولادی با فواصل لغزش استفاده گردد.

#### نتیجه گیری

تحلیل های صورت گرفته نشان می دهند که در ارزیابی پدیده مچاله شوندگی در بخش های مختلف تونل همرو روش های تجربی و نیمه تجربی، هم خوانی نسبتاً مناسبی دارند. از مهمترین نتایج این تحقیق می توان به احتمال وقوع پدیده مچاله شوندگی در محدوده های سست و با روبراه زیاد اشاره

همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود مسیر تونل همرو به سه محدوده A (کیلومتر ۵۲۹۳ تا ۵۵۴۳) با مچاله شوندگی بی نهایت جدی تا جدی، B (کیلومتر ۵۵۴۳ تا ۵۹۷۳) با مچاله شوندگی جدی تا خیلی کم و C (کیلومتر ۵۹۷۳ تا ۶۱۳۳) تقریباً بدون خطر مچاله شوندگی تفکیک شده است. به منظور جلوگیری از ریزش تونل در بخش های با مچاله شوندگی زیاد، باید سیستم نگهدارنده در نزدیکی سینه کار نصب گردد. لذا به سیستم نگهدارنده ای نیاز داریم که پس از نصب در نزدیکی سینه کار بتواند هم از همگرایی زیاد دیواره های تونل جلوگیری نماید و هم بار وارد بر آن کمتر از حدی باشد که باعث شکست و تسلیم شدن آن گردد. فواصل لغزش در داخل پوشش نگهدارنده تونل ها ضمن کنترل همگرایی در پیرامون تونل، به دیواره های تونل اجازه مقداری جابجایی را می دهد و به این طریق از فشار وارد بر پوشش

نمود. به طور کلی روش تجربی هوک - مارینوس کمترین و روش جتوا بیشترین شدت را برای مچاله شوندگی ارزیابی می کنند. روش های بارلا و انجمن بین المللی مکانیک سنگ مقدار منطقی تری را برای مچاله شوندگی بخش های مختلف تونل به دست می دهند. بر اساس بررسی های انجام شده، مسیر تونل همرو به سه محدوده A با مچاله شوندگی بی نهایت جدی تا جدی، B با مچاله شوندگی جدی تا خیلی کم و C تقریباً بدون خطر مچاله شوندگی تفکیک شده است.

### منابع

-شرکت مهندسی مشاور ره آور، (۱۳۸۸)، گزارش مطالعات مرحله دوم تونل همرو

- **Aydan, O., Akagi, T., Kawamoto, T., (1993)**, "The squeezing potential of rock around tunnels: theory and prediction". *Rock Mechanics and Rock Engineering* 2, 137-163.
- Barla, G., (1995)**, Squeezing rocks in tunnels. *ISRM News Journal* 2, 44-49.
- Barla, G., (2001)**, "Tunnelling under squeezing rock conditions". *Eurosummer-School in Tunnel Mechanics, Innsbruck* Available at [Art\\_convegna/Innsbruck 2001.PDF](#); last accessed Feb 23, 2011.
- Bhasin, R., Grimstad, E., (1996)**, "The use of stress-strength relationships in the assessment of tunnel stability". *Tunnelling and Underground Space Technology*, 10(1), 93-98.
- Goel, R. K., Jethwa, J. L., Paithankar, A. G., (1995)**, "Indian Experiences with Q and RMR systems", *J. Tunnelling and Underground Space Technology, USA*, Vol. 10, No. 1, pp. 97-109.
- Hoek, E., Marinos, P., (2000)**, "Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses". *Tunnels and Tunnelling International* 32 (11), 45-51; 32(12), 34-36.
- Jethwa, J.L., (1984)**, "Estimation of ultimate rock pressure for tunnel linings under squeezing rock conditions-a new approach"; *Design and Performance of Underground Excavations*, ISRM/BGS, Cambridge 1984.
- Singh, B., Jethwa, J.L., Dube, A.K., Singh, B., (1992)**, "Correlation between observed support pressure and rock mass quality". *Tunnelling and Underground Space Technology* 7 (1), 59-74.

# **Investigating the possibility of occurrence of geological hazards in the existing formations at the Hamrov tunnel**

**Vahid Hosseinitoudeshki**

Department of Civil Engineering, Islamic Azad University Zanjan Branch

## **Abstract**

Knowledge of geological hazards plays an important role in the selection and installation of timely support system for underground structures. The Hamrov tunnel with an approximate length of 1294 meters in the main way of Sanandaj- Marivan is under construction. Based on the geo-mechanical conditions of rock masses in the tunnel, it is necessary to investigate the possible geological hazards such as squeezing. In this study, using geological surveys and drilling of boreholes, the way of the tunnel been divided into different units and then the severity of squeezing in each section have been investigated. By comparing the different methods of squeezing evaluation, it was found that the empirical Hoek-Marinos method evaluate the minimum of squeezing and the Jethwa method evaluate the maximum of squeezing for the rock masses of the tunnel. The utmost squeezing potential is related to section of the tunnel where there is the alternation of sandy shale and limestone with shale. According to the survey, the Hamrov tunnel is divided into three sections: A (km 5293 to 5543) with squeezing extreme serious to serious, B (km 5543 to 5973) with squeezing severe to very low, and C (5973 to 6133 km) almost without risk of squeezing.

**Keywords:** Hamrov Tunnel, Squeezing, Empirical and Semi empirical Methods.