

بررسی پتانسیل مچاله شونده در تونل انتقال آب بیان دره

صدیقه عباسی شستن رودی^{۱*}، محمد بشیر گنبدی^۲، سعید حکیمی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی، دانشگاه آزاد تهران شمال

۲- استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان

۳- استادیار دانشکده فنی، دانشگاه آزاد لاهیجان

Sed.abbasi@yahoo.com

چکیده

تونل انتقال آب بیان دره به طول تقریبی ۲۲ کیلومتر و قطر ۴/۲ متر، با هدف انتقال سالانه ۲۳۰ میلیون متر مکعب آب با دبی متوسط ۱۰ متر مکعب بر ثانیه، در شهرستان سقز از شهرستان‌های غربی استان کردستان در دست مطالعه می‌باشد. در این تحقیق ابتدا با استفاده از برداشت‌های زمین شناسی، مطالعات ژئوفیزیک و گمانه‌های حفاری شده، تونل پهنه بندی شده و امتیاز طبقه بندی های Q و RMR برای هر پهنه تعیین شده است. با بهره گیری از نتایج آزمون های آزمایشگاهی و طبقه بندی های مهندسی، پارامترهای توده سنگ در هر پهنه با استفاده از روش هوک و براون تخمین زده شده و میزان همگرایی تونل با استفاده از روش های عددی محاسبه گردیده است. سپس روشهای تجربی و نیمه تجربی بررسی پتانسیل مچاله شونده سنگ، گونل، هوک و جتوا مرور شده و با استفاده از این روشها، پتانسیل مچاله شونده در هر پهنه بررسی شده است و در پایان نتایج حاصل از روش های مذکور با یکدیگر مقایسه شده است. با توجه به مقایسه انجام شده مشخص گردید که روش های جتوا، سینک و گونل، بیشترین پتانسیل مچاله شونده و روش هوک کمترین پتانسیل را برای مچاله شونده ارزیابی می کند.

کلمات کلیدی: مچاله شونده، تونل بیان دره، همگرایی تونل، ویژگی های ژئومکانیکی

۱- مقدمه

یکی از مباحث مهم در تونل سازی، رفتاری است که زمین در شرایط مچاله شونده (Squeezing) از خود نشان می دهد. در زمین های مچاله شونده، سنگ ها به درون تونل حرکت می کنند و باعث بروز مشکلاتی در نگهداری و ادامه کار تونل سازی می شوند. برای تونل زنی در سنگ های مچاله شونده لازم است ابتدا نوع پدیده و شدت آن با دقت شناخته شده و آن گاه با توجه به اطلاعات موجود روش حفاری و سیستم نگهداری مورد نیاز طراحی شود. اولین تعریف علمی برای سنگ های مچاله شونده توسط ترزاقی (۱۹۴۶) ارائه شد: "سنگ های مچاله شونده به آهستگی به درون تونل پیشروی می کنند، بدون آنکه حجم آن به طور محسوس افزایش پیدا کند."

۲- معرفی روش های بررسی پتانسیل مچاله شونده

رفتار مچاله شونده با خواص تغییر شکل پذیری و مقاومتی توده سنگ ضعیف در ارتباط است. طبق تعریف ارائه شده توسط انجمن بین المللی مکانیک سنگ (ISRM)، مچاله شونده سنگ تغییر شکلهای بزرگ مقیاس وابسته به زمان می باشد که به خواص خزشی (Creep) ایجاد شده توسط تنشهای برشی، مربوط می شود. وجود عواملی همانند تنشهای بالا و خواص مقاومتی

ضعیف توده سنگ موجب افزایش تنشهای برشی در محدوده توده سنگ اطراف تونل می شود. این تنشهای برشی در ایجاد رفتار خزشی توده سنگ نقش اساسی دارند. تغییر شکلهای مذکور ممکن است فقط به زمان اجرای تونل محدود شوند یا اینکه برای مدت زمان طولانی ادامه پیدا کنند. میکاشیست، شیستهای آهکی (نوعی از سنگهای موجود در زونهای تکتونیزه و گسلی)، شیل-رس، آهکهای رس دار و ... از جمله سنگهایی هستند که در صورت مهیا بودن شرایط تنش می توانند این رفتار را از خود بروز دهند. همانگونه که ذکر شد در رفتار مچاله شونده مقدار همگرایی زیاد است. به منظور برآورد اولیه رفتار مچاله شونده می توان از روشهای تجربی و نیمه تجربی استفاده نمود.

۱-۲- بررسی پتانسیل مچاله شونده به کمک روشهای تجربی

۱-۱-۲- روش جتوا و همکاران (Jethwa et al., 1982)

درجه لهیدگی در سنگ توسط جتوا و همکاران (۱۹۸۴)، به صورت زیر تعریف شده است:

$$N_c = \frac{\sigma_{cm}}{P_0} \quad (1)$$

درجه لهیدگی سنگ $= N_c$

مقاومت فشاری تک محوری توده سنگ $= \sigma_{cm}$

تنش برجای محیط می باشد. در صورتی که تنش قائم از تنش افقی عمود بر محور تونل بزرگ تر باشد، $= P_0$

که در آن $P_0 = \gamma \times H$ وزن واحد حجم سنگ و H ارتفاع روباره است.

در جدول ۱ طبقه بندی درجه لهیدگی بر اساس کار جتوا و همکاران (۱۹۸۲) ارائه شده است.

جدول ۱- تقسیم بندی درجه لهیدگی جتوا و همکاران (۱۹۸۴)

| نوع رفتار | درجه لهیدگی | ردیف |
|--------------|-------------|------|
| لهیدگی زیاد | < 0.4 | ۱ |
| لهیدگی متوسط | $0.4 - 0.8$ | ۲ |
| لهیدگی کم | $0.8 - 2$ | ۳ |
| بدون لهیدگی | $2 <$ | ۴ |

۲-۱-۲- روش سینگ و همکاران (۱۹۹۲)

سینگ و همکارانش (۱۹۹۲) براساس داده های حاصل از ۳۹ مطالعه موردی و با استفاده از سیستم طبقه بندی Q و ضخامت روباره (H) یک بررسی تجربی انجام دادند. این نتایج بر روی نمودار شکل ۱ نمایش داده شده است. نمودار پیشنهادی توسط سینگ و همکارانش (۱۹۹۲) شامل محور افقی کیفیت توده سنگ (Q)، محور عمودی ضخامت روباره و یک خط جداکننده مرزی بصورت مورب که وضعیت دارای شرایط لهیدگی را از وضعیت بدون لهیدگی جدا می کند، در این شکل نشان داده شده است. معادله خط موب طبق رابطه (۲) به قرار زیر است:

$$H = 350Q^{1/3} \quad (2)$$

موارد لهیده را در صورتی داریم که: $H \gg 350Q^{1/3}$

موارد غیر لهیده را در صورتی داریم که: $H \ll 350Q^{1/3}$

۲-۱-۳- روش گوئل و همکاران (۱۹۹۵) با استفاده از عدد توده سنگ (N)

گوئل و همکارانش (۱۹۹۵) برای اجتناب از عدم قطعیت در تعیین امتیاز SRF استفاده از عدد توده سنگ را بیان کردند که به صورت رابطه (۳) تعریف می شود.

$$N = [Q]_{SRF=1} \quad (3)$$

پارامترهای دیگری که مورد توجه قرار گرفتند عبارتند از: عمق تونل (H) برحسب متر که برای تعیین وضعیت تنش SRF به طور غیرمستقیم به کار می رود و عرض تونل (B) که برای اهمیت دادن به کاهش مقاومت توده سنگ کاربرد دارد. مقادیر سه پارامتر عدد توده سنگ (N) عمق تونل (H) و قطر یا عرض تونل (B) برای حدود ۹۹ تونل جمع آوری شد که گستره وسیعی از وضعیت زمین، شامل توده های سنگی بسیار درزه دار و شکسته شده تا توده های سنگی یکپارچه را دربر می گیرد. اطلاعات نقطه ای تمام ۹۹ مورد به صورت عدد توده سنگ (N) در مقابل عمق تونل بر روی یک نمودار تمام لگاریتمی مطابق شکل ۲ رسم شده است (گوئل و همکاران، ۱۹۹۵). خط مشخص AB در شکل ۲ شرایط دارای لهیدگی را از شرایط بدون لهیدگی را از هم جدا می کند معادله خط طبق رابطه (۴) به صورت زیر است.

$$H = (275N^{0.33})B^{-0.1} \quad (4)$$

۲-۱-۴- روش هوک و مارینوس (Hoek and Marinos, 2000)

هوک در سال ۱۹۹۸ از نسبت مقاومت فشاری تک محوری توده سنگ (σ_{cm}) به تنش برجا (P_0) به عنوان یک معیار در بررسی تونل ها استفاده کرد. در نهایت هوک و مارینوس در سال ۲۰۰۰ برای ارزیابی مساله مچاله شونده در تونل نمودار کار آمدی پیشنهاد دادند. هوک و همکارانش (۲۰۰۰) با توجه به میزان همگرایی تونل که با استفاده از روشهای عددی محاسبه شده است، پتانسیل مچاله شونده را مطابق جدول ۲ بررسی کرده اند. با به کارگیری فرمول پیشنهادی هوک و مارینوس رابطه (۵) و جدول ۲ می توان مچاله شونده را در حفاری های زیر زمینی مورد بررسی قرار داد.

$$\varepsilon_t (\%) = 0.15(1 - P_i / P_0)(\sigma_{cm} / P_0)^{-(3 \frac{P_i}{P_0} + 1) / (3.8 \frac{P_i}{P_0} + 0.54)} \quad (5)$$

در این رابطه ε_t کرنش جداره تونل، P_i فشار نگهدارنده، P_0 تنش برجا، σ_{cm} مقاومت فشاری تک محوری توده سنگ می‌باشد. نمودار هوک و مارینوس با استفاده از همین فرمول و با فرض فشار نگهدارنده مساوی صفر ترسیم گردیده‌است.

جدول ۲- رده بندی شرایط لهدگی براساس روش هوک و مارینوس (۲۰۰۰)

| ردیف | توصیف میزان لهدگی | میزان تغییر شکل جداره تونل به درصد |
|------|---|------------------------------------|
| ۱ | سیستم نگهدارنده با مشکل اندکی مواجه است | $\varepsilon_t \leq 1$ |
| ۲ | لهدگی با مشکلات انداک | $1 \leq \varepsilon_t \leq 2.5$ |
| ۳ | لهدگی با مشکلات زیاد | $2.5 \leq \varepsilon_t \leq 5$ |
| ۴ | لهدگی با مشکلات خیلی زیاد | $5 \leq \varepsilon_t \leq 10$ |
| ۵ | لهدگی با مشکلات بی نهایت زیاد | $10 \leq \varepsilon_t$ |

۲-۲- بررسی پتانسیل مچاله شونده‌گی به کمک روشهای نیمه تجربی

آیدان و همکاران در سال ۱۹۹۳ با توجه به مقادیر کرنش های الاستیک و پلاستیک، نرم شدگی و شکست و مقدار کرنش محاسبه شده توسط روش های حل بسته، پنج رده برای مچاله شونده‌گی معرفی کرده است. مقدار کرنش الاستیک با توجه به مقاومت فشاری و مدول الاستیک سنگ تعریف می شود. برای برآورد وضعیت مچاله شونده‌گی با روش نیمه تجربی آیدان، جابجایی های شعاعی بدست آمده از روش کارانزا تورس - فرهاست مورد استفاده قرار گرفته اند. در ادامه روشهای نیمه تجربی می توان از روش پالمسترم (۱۹۹۶) نام برد. پالمسترم در سال ۱۹۹۶ از پارامتر RMI برای ارزیابی پتانسیل مچاله شونده‌گی در محیط های پیوسته استفاده کرد. در سنگهای توده ای مقدار پارامتر RMI برابر با پنجاه درصد مقاومت فشاری سنگ بکر لحاظ می شود. در روش های نیمه تجربی با توجه به همگرایی محاسبه شده توسط روش های حل بسته و فاکتور قوام سنگ که به صورت نسبت مقاومت فشاری توده سنگ به تنش برجا تعریف می شود، پتانسیل مچاله شونده‌گی بررسی می شود.

۳- بررسی پتانسیل مچاله شونده‌گی در مسیر تونل بیان دره

۳-۱- واحدهای زمین شناسی مهندسی مسیر تونل بیان دره

تونل انتقال آب بیان دره با طول تقریبی ۲۲ کیلومتر و قطر ۴۰۲ متر در بخش شمال غربی پهنه سندنجد-سیرجان واقع شده است. و قدیمی ترین واحد سنگی موجود در این محدوده، شامل واحدهای دگرگونی پرکامبرین می باشد. با توجه به برداشت های انجام شده، توده سنگهای موجود در مسیر تونل بیان دره، به هشت واحد زمین شناسی مهندسی تقسیم بندی شده اند که در جدول ۳ ارائه شده است. اطلاعات ارائه شده بر اساس برداشت های صحرائی، داده های حاصل از مغزه های حفاری، نتایج آزمونهای آزمایشگاهی و مطالعات انجام شده در ساختگاه دو سد چومان و کانی گویشان جمع آوری شده است.

جدول ۳- واحدهای زمین شناسی مهندسی موجود در مسیر تونل بیان دره

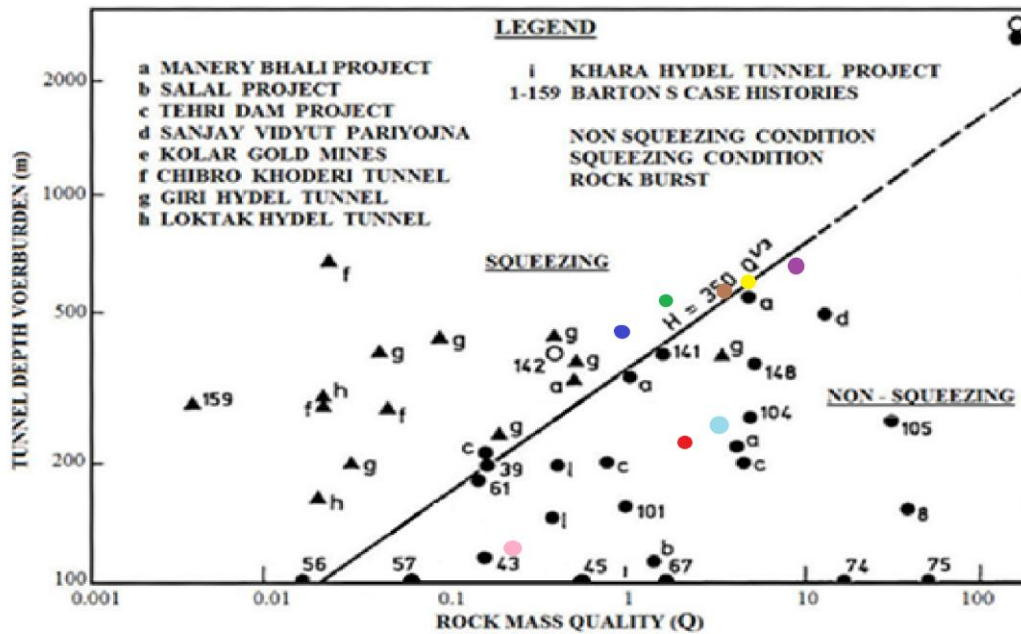
| واحد های زمین شناسی مهندسی مسیر تونل | لیتولوژی | ردیف |
|--------------------------------------|------------------------|------|
| MmV | میکرودیوریت دگرگون شده | ۱ |
| Mph1 | فیلیت | ۲ |
| Mph2 | فیلیت | ۳ |
| Mva | میکرودیوریت و آندزیت | ۴ |
| MI | سنگ آهک | ۵ |
| Lcm | اسلیت | ۶ |
| Mm | میکاشیست | ۷ |
| Mmd | گرانیت و دیوریت | ۸ |

۳-۲- بررسی پتانسیل مچاله شونده در مسیر تونل بیان دره به روش جتوا و همکاران (۱۹۸۲)

با توجه به جدول تقسیم بندی درجه مچاله شونده جتوا و همکاران (۱۹۸۲) (جدول ۱) و مقادیر به دست آمده از محاسبه نسبت مقاومت فشاری تک محوری توده سنگ به تنش بر جای محیط در محدوده مورد بررسی، در واحدهای زمین شناسی مهندسی Mph1 و MI و Lcm درجه مچاله شونده در حد متوسط و در واحدهای زمین شناسی مهندسی Mmv و Mph2 و Mm، در هر دو حالت خوش بینانه و بد بینانه و در واحدهای Mva و Mmd در حالت بد بینانه، درجه مچاله شونده در حد ضعیف می باشد. لازم به ذکر است که در واحدهای Mva و Mmd در حالت خوش بینانه، پدیده ی مچاله شونده ی اتفاق نمی افتد.

۳-۳- بررسی پتانسیل مچاله شونده در مسیر تونل بیان دره به روش سینک و همکاران (۱۹۹۲)

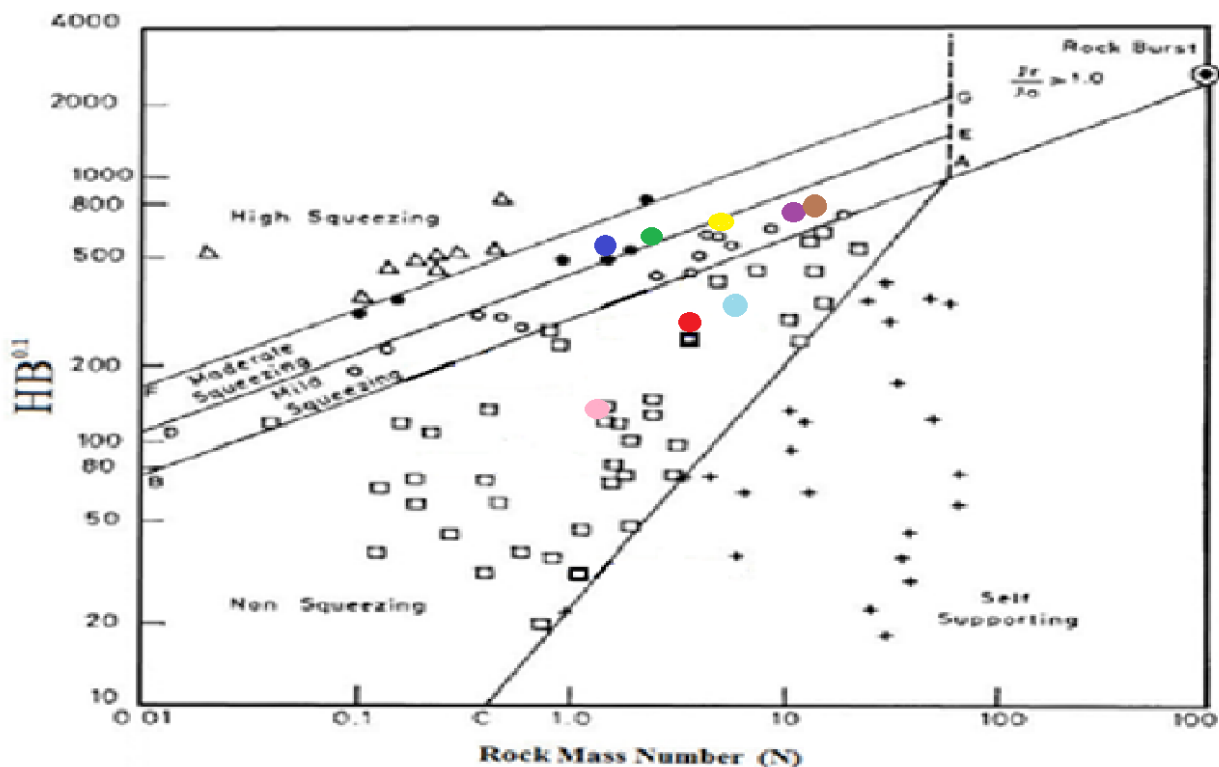
با به کار گیری روش پیشنهادی سینک و همکاران (۱۹۹۲)، واحدهای مختلف زمین شناسی مهندسی مسیر تونل مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن بر روی نمودار شکل ۱ نشان داده شده است. طبق نمودار پیشنهادی سینک و همکاران (۱۹۹۲)، در واحدهای زمین شناسی مهندسی Mph1 و Mph2 و Lcm و Mva پدیده ی مچاله شونده ی اتفاق می افتد و در واحدهای زمین شناسی مهندسی Mmv و MI و Mm و Mmd پدیده ی مچاله شونده ی اتفاق نمی افتد.



شکل ۱- نتایج به دست آمده در روی نمودار پیشنهادی سینک و همکاران (۱۹۹۲) (نقاط رنگی)

۳-۴- بررسی پتانسیل مچاله شونده در مسیر تونل بیان دره به روش گونل و همکاران (۱۹۹۵)

نتایج به کارگیری روش پیشنهادی گونل و همکاران (۱۹۹۵)، برای واحدهای مختلف زمین شناسی مهندسی مسیر تونل بیان دره بر روی نمودار شکل ۲ نشان داده شده است. طبق نمودار پیشنهادی گونل و همکاران (۱۹۹۵)، در واحدهای زمین شناسی مهندسی Mph1 و Mph2 وقوع پدیده‌ی مچاله شونده در حد متوسط می باشد. و در واحدهای زمین شناسی مهندسی Mva و MI و Lcm احتمال وقوع پدیده‌ی مچاله شونده، کم است و در واحدهای زمین شناسی مهندسی Mmv و Mm و Mmd پدیده‌ی مچاله شونده اتفاق نمی افتد.



شکل ۲- نتایج به دست آمده بر روی نمودار پیشنهادی گوئل و همکاران (۱۹۹۵) (نقاط رنگی)

۳-۵- بررسی پتانسیل مچاله شوندگی در مسیر تونل بیان دره به روش هوک و مارینوس (۲۰۰۰)

با توجه به مقادیر محاسبه شده طبق رابطه (۵) و با توجه به جدول ۲ و همچنین در نظر گرفتن اعماق تونل در واحدهای مختلف زمین شناسی مهندسی، مشخص می شود که ارتفاع روباره تونل، برای فراهم شدن شرایط مچاله شوندگی کافی نمی باشد. لذا احتمال بروز مچاله شوندگی در مسیر تونل وجود نخواهد داشت. از این رو با توجه به مطالب بیان شده توسط هوک از نظر شرایط مچاله شوندگی، شرایط تونل زنی بسیار آسان بوده و استفاده از بولت و شاتکریت به عنوان نگهداری تونل کافی می باشد.

۴- مقایسه روش های ارزیابی پتانسیل مچاله شوندگی

در روش های جتوا، سینک و گوئل، عملاً بخش های مختلف تونل در سه رده ی مچاله شوندگی در حد متوسط، کم و بدون مچاله شوندگی قرار می گیرند در حالیکه در روش هوک درصد بالایی از مسیر تونل بدون مچاله شوندگی می باشد و فقط در زون های گسله و خردشده، پدیده مچاله شوندگی به وقوع می پیوندد. در جدول ۴ نتایج به دست آمده از روش های مختلف برای تونل بیان دره ارائه شده است.

جدول ۴- مقایسه نتایج به دست آمده از روش‌های مختلف ارزیابی پتانسیل مجاله شوندگی در تونل بیان دره

| واحدهای سنگی دارای پتانسیل مجاله شوندگی | | | | | | روش |
|---|-------|----------|--------|-------|---------|-------------------|
| Mm | Mph2 | Mmv | Lcm | MI | Mph1 | واحد سنگی |
| ۱۲۴ m | ۵۶۹ m | ۲۶۳ m | ۶۰۰ m | ۵۸۸ m | ۴۸۰ m | ارتفاع روباره |
| کم | کم | کم | متوسط | متوسط | متوسط | درجه مجاله شوندگی |
| | | Mva | Lcm | Mph2 | Mph1 | واحد سنگی |
| | | ۵۷۵ m | ۶۰۰ m | ۵۶۹ m | ۴۸۰ m | ارتفاع روباره |
| | | کم | کم | متوسط | متوسط | درجه مجاله شوندگی |
| | Mva | MI | Lcm | Mph2 | Mph1 | واحد سنگی |
| | ۵۷۵ m | ۵۸۸ m | ۶۰۰ m | ۵۶۹ m | ۴۸۰ m | ارتفاع روباره |
| | کم | کم | کم | متوسط | متوسط | درجه مجاله شوندگی |
| - | - | - | - | - | - | واحد سنگی |
| - | - | - | - | - | - | ارتفاع روباره |
| ندارد | وجود | درواحدها | شوندگی | مجاله | پتانسیل | درجه مجاله شوندگی |

۵- نتیجه گیری

با مقایسه روش‌های ارزیابی مجاله شوندگی جتوا، سینک، گوئل و هوک مشخص شد که هوک کمترین و روش جتوا بیشترین شدت را برای مجاله شوندگی ارزیابی می‌کند. به طور کلی می‌توان گفت که روش‌های جدیدتر، شدت مجاله شوندگی را کمتر ارزیابی می‌کنند. باتوجه به معیارهایی که توسط هوک و مارینوس (۲۰۰۰) ارائه شده است، رده بندی پتانسیل مجاله شوندگی، دارای اطمینان بیشتری است.

۶- تشکر و قدردانی

در پایان لازم می‌دانیم از شرکت توسعه منابع آب نیروی ایران به عنوان کارفرمای طرح و شرکت مهندسی سد تونل پارس که همکاری صمیمانه‌ای را در انجام این تحقیق داشته‌اند، تشکر و قدردانی نماییم.

۷- فهرست منابع:

- Aydan, O. Akagi, T. Kawamoto, T.,(1993). "The squeezing potential of rock ground",tunnels :theory and prediction Rock Mechanics Rock Engineering ,vol, 26 ,No.4, pp.137-163.
- Barla, G.,(1998). "Tunneling in difficult condition", porj-9708328160, Miniser of the university and scientific research, structural and Geotechnical Engineering Department of politecnico ditotion.
- Goel, R.K., Jethwa, J.L., Pailhankar, A.G., (1995). Indian experience with Q and RMR systems, Tunneling and Underground Space Technology 10, 97- 109.
- Goel, R.K., Jethwa, J.L., Pailhankar, A.G., (1995). An Empirical Approach for Predicting Ground Condition for Tunneling and its Practical Benefits, Proc . 35 th u. s. Sym. Rock Mech., Univ. of Nevada, Reno, USA, PP. 431-35.
- Hoek E.and Marinos p .,(2000). "predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous Rock masses",Tunnels and Tunneling Intenational ,pp.45-51 :part one ,pp.33-36:part two.
- Jethwa J. L., Dube A. K., Singh B. and B., Mithal R. S., (1982). Evaluation of methods for tunnel support design in Squeezing rock conditions. Proc. IV Congr, IAEG, New Delhi, Vol, V.
- 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 Symposium, Cambridge, 231- 238
- Palmstrom, Arild.,(1996). "characterizing rock mass by RMI for use in practical rock engineering, part 2: some practical application of the Rock Mass index",Tunneling and underground space technology, vol. 11, No .3, pp.287-303.
- Sing, B.and Goel, R. K.,(1992). "Rock mass classification: apractical approach in civil Engineering",Elsevier science Ltd. U. k.
- Terzaghi, K. Proctor, R. V, and White, T. L.,(1946). "Rock Tunneling with Steel Supports," Commercial Shearing and Stamping Co.