

استفاده از آزمایش برزلی برای تخمین سریع چقرمگی شکست مود I (مطالعه موردی: سنگ توف کرج)

مهدی حسینی^{1*} و نرگس نظری²

1 و 2- گروه مهندسی معدن، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

نویسنده مسئول: meh_hosseini18@yahoo.com *

دریافت: 94/3/27 پذیرش: 94/11/13

چکیده

چقرمگی شکست مود I یک پارامتر مهم برای بررسی رفتار شکست سنگ است این پارامتر در بسیاری از حوزه‌های مختلف مانند معدن‌کاری و تونل‌سازی کاربرد دارد. از آنجایی که تعیین چقرمگی شکست به وسیله انجام آزمایش، وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد استفاده از رابطه تجربی در این خصوص توصیه می‌گردد. در این تحقیق آزمایش برزلی و آزمایش خمش سه نقطه‌ای بر روی نمونه‌هایی از سنگ توف سبز کرج که از جاده چالوس واقع در استان البرز برداشت شده انجام شد. هدف از این تحقیق بدست آوردن رابطه‌ای تجربی است که بتوان چقرمگی شکست مود I سنگ توف را تخمین زد. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد رابطه بدست آمده با توجه به ضریب همبستگی (0/87) که دارد با دقت بالایی می‌تواند چقرمگی شکست مود I سنگ توف را تخمین بزند.

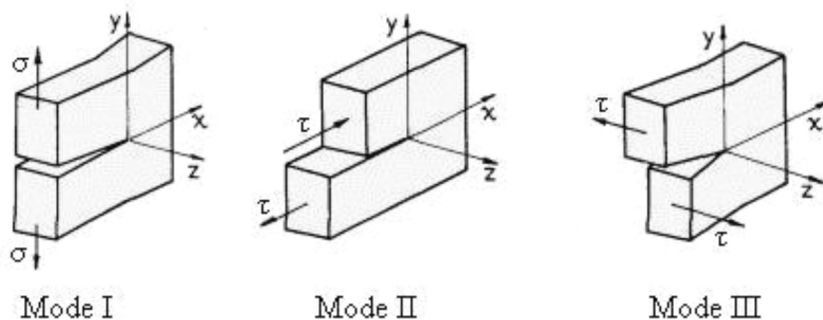
واژه‌های کلیدی: مقاومت کششی، خمش سه نقطه‌ای، چقرمگی شکست مود I، سنگ توف

1- مقدمه

در علم مکانیک شکست، شرایط بحرانی یک قطعه ترک‌دار با استفاده از شدت تنش موجود در نوک ترک تخمین زده می‌شود. بدین منظور از ضرایبی تحت عنوان ضرایب شدت تنش (K_I و K_{II})، استفاده می‌شود [3]. ضریب شدت تنش (K)، مقدار تنش موضعی را در اطراف نوک ترک تعیین می‌کند. این ضریب به میزان بارگذاری، اندازه ترک، شکل ترک و مرزهای هندسی وابسته است. روش‌های عددی مانند روش اجزاء محدود و اجزاء مرزی به طور گسترده‌ای برای حل مسائل مربوط به مکانیک شکست براساس تئوری‌های مکانیک شکست الاستیک خطی استفاده شده است [5]. راه حل‌های تحلیلی برای حل مسائل ساده مکانیک شکست ارائه شده است و برای صحت‌سنجی نتایج حاصل از تحلیل عددی به کار می‌رود [4]. چقرمگی شکست، مقاومت در مقابل شکست می‌باشد و نیز مقدار بحرانی ضریب شدت تنش نیز نامیده می‌شود. چقرمگی شکست مود اول با علامت K_{Ic} نشان داده می‌شود. سنگ یک ماده شکننده می‌باشد و چون تمامی مواد شکننده در کشش ضعیف می‌باشند، به طور عموم مود اول (مود کششی) بحرانی‌ترین حالت بارگذاری است لذا در این تحقیق تخمین میزان چقرمگی شکست مود اول مورد بررسی قرار می‌گیرد. این پارامتر

وجود درزه و ترک و ناپیوستگی‌های فراوان از جمله مشخصات ذاتی توده‌های سنگ به شمار می‌رود. در نتیجه هنگامی که این توده‌های سنگی در معرض بارهای مکانیکی یا عوامل محیطی دیگر قرار بگیرند احتمال وقوع شکست از محل ناپیوستگی‌ها وجود دارد. لذا در بسیاری از کاربردهای عملی نظیر تونل‌سازی و پروژه‌های معدنی، چگونگی رفتار سنگ در برابر رشد ترک و شکست، توسط محققان و طراحان سازه‌های سنگی مورد توجه قرار می‌گیرد. سه مود شکست اولیه در مکانیک شکست امکان‌پذیر است که مود اول، مود دوم و مود سوم نامیده می‌شوند (شکل 1). مود اول (Mode I): مود بازشدگی کششی نیز نامیده می‌شود. در مود اول، سطوح ترک در جهت عمود بر سطح ترک جدا می‌شوند. مود دوم (Mode II): مود برش و لغزشی است، در این مود جابجایی وجوه ترک در صفحه ترک ولی عمود بر جبهه ترک می‌باشد. مود سوم (Mode III): مود لغزش و پاره‌شدگی است، در این مود جابجایی وجوه ترک در صفحه ترک و موازی با جبهه ترک است [1].

که از خواص ماده مورد بررسی است، میزان مقاومت آن را در برابر رشد و گسترش ترک مشخص می‌نماید.



شکل 1. مدهای شکست [1]

اولین کارهای انجام شده بر روی مکانیک شکست متعلق به گریفیث¹ می‌باشد. او مطالعاتش را در حدود سال 1920 آغاز نمود. چندین روش به منظور تعیین میزان چقرمگی شکست مود اول پیشنهاد شده است. این روش‌ها را می‌توان بر اساس شرایط بارگذاری آن‌ها دسته‌بندی نمود. به طور معمول، برای دستیابی به انتشار بازشدگی ترک می‌توان نمونه را تحت تنش کششی مستقیم، تنش فشاری و خمشی قرار داد. آزمایش با بارگذاری کششی مستقیم شامل بارگذاری کششی بر نمونه استوانه کوتاه² (SR)، آزمایش‌های کاربردی با بارگذاری فشاری شامل بارگذاری فشاری بر روی دیسک برزیلی دارای ترک مستقیم (1978)، فشار قطری (1980)، بارگذاری فشاری بر روی دیسک برزیلی دارای ترک چورون (1985)، بارگذاری فشاری بر روی دیسک برزیلی دارای حلقه اصلاح شده (1986)، بارگذاری فشاری بر روی دیسک برزیلی (1993) و بارگذاری فشاری بر روی دیسک برزیلی تخت شده (1999) و آزمایش‌های با بارگذاری خمشی شامل بارگذاری خمشی بر روی نمونه نیمه دایره‌ای با ترک چورون و ترک مستقیم (1997) (این آزمایش در سال 2014 توسط جامعه بین‌المللی مکانیک سنگ استاندارد شده است [15])، بارگذاری خمشی بر روی نمونه استوانه‌ای با ترک چورون (1988) و بارگذاری خمشی بر روی نمونه استوانه‌ای با ترک مستقیم (1982) می‌شود این آزمایش در سال 2014 توسط جامعه بین‌المللی مکانیک سنگ استاندارد شده است [8 و 9]. با توجه به اینکه برآورد چقرمگی شکست مود I بوسیله آزمایش، وقت‌گیر و

پرهزینه بوده و مشکلات عملیاتی خاص خود را دارند محققینی در گذشته در خصوص ارائه روابط تجربی تلاش‌هایی داشته‌اند. گونزالس و همکاران [14] و بهاگت [11] به صورت آزمایشگاهی متوجه شدند که چقرمگی شکست مود I با مقاومت کششی ارتباط دارد. وتیکر و همکارانش نیز روابطی بین چقرمگی شکست مود I و مقاومت کششی، اندیس بار نقطه‌ای، مقاومت تراکمی و سرعت امواج صوت ارائه کردند [16]. بیرمن [10] یک رابطه تجربی بین چقرمگی شکست مود I و اندیس بار نقطه‌ای و براون و همکارانش یک رابطه تجربی بین این پارامتر و دانسیته بدست آوردند [12]. در ایران مهم‌ترین کارهایی که در زمینه چقرمگی شکست صورت پذیرفته توسط آیت‌اللهی [2] انجام شده است. ایشان نیز در زمینه ارائه روابط تجربی تحقیقاتی انجام نداده است. در این تحقیق جهت تعیین چقرمگی شکست مود I از آزمایش بارگذاری خمشی سه نقطه‌ای بر روی نمونه استوانه‌ای با ترک مستقیم و برای تعیین مقاومت کششی از آزمایش برزیلی استفاده شده است.

کاربردهای فراوان این پارامتر در زمینه‌های انفجار و ترکیبگی سنگ، پایداری و عدم ریزش فضاهای زیرزمینی، شکست هیدرولیکی و تحلیل دینامیکی ناشی از زلزله (نیروی زلزله به عنوان یک تحریک کننده سبب جوانه زنی و یا رشد ترک می‌شود) ضرورت تعیین این پارامتر را مشخص می‌سازد. هدف از این تحقیق ارائه رابطه تجربی برای تخمین چقرمگی شکست مود I سنگ توف سازند کرج می‌باشد.

¹ . Griffith

² . Chevron Notched Short Rod

انجام آزمایش‌های مقاومت کششی و خمش سه نقطه‌ای از این بلوک‌ها مغزه‌های لازم تهیه گردید. به دلیل اینکه نمونه‌ها از چندین بلوک سنگ توف سبز گرفته شده‌اند آن‌ها را شماره‌گذاری کرده تا مشخص شوند نمونه‌ها از کدام بلوک سنگی گرفته شده از هر بلوک 4 الی 6 مغزه گرفته شده است. تعداد مغزه‌ها برای انجام آزمایش 15 عدد می‌باشد.

برای آماده‌سازی نمونه مورد نیاز آزمایش برزیلی، نمونه‌هایی با قطر 51 میلی‌متر که ضخامت آن‌ها برابر با شعاع آن‌هاست ($t/d=0.5$) تهیه می‌شود. ابتدا مغزه‌های به دست آمده از بلوک‌ها را برش داده و از آن‌ها یک نمونه برای آزمایش برزیلی و یک نمونه استوانه‌ای شکل برای آزمایش خمش سه نقطه‌ای گرفته می‌شود. برای آزمایش برزیلی پس از برش، نمونه ساب داده می‌شود تا سطحی صاف و صیقلی داشته باشد.

در نمونه‌های مورد استفاده در آزمایش خمش سه نقطه‌ای باید ترک مستقیم در نمونه استوانه‌ای شکل ایجاد کرد که این کار توسط دستگاه برش انجام می‌گیرد. ابتدا خطوط اندازه‌گیری بر روی نمونه‌های آزمایش رسم می‌شود که به وسیله این خطوط فاصله 20 میلی‌متری از قطر نمونه استوانه‌ای علامت‌گذاری می‌شود. سپس با دستگاه برش شکافی به اندازه 20 میلی‌متر در نمونه ایجاد می‌شود (شکل 2).



شکل 2. نمونه‌های آماده شده برای آزمایش خمش سه نقطه‌ای

3-2- آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌ها

در این مقاله با توجه به اینکه آزمایش برزیلی جزء آزمایش‌های کلاسیک مکانیک سنگ می‌باشند از توضیح جزئیات صرف‌نظر شده و فقط نتایج این آزمایش ارائه می‌گردد. برای مطالعه جزئیات می‌توانید به کتاب

2- زمین‌شناسی توف سبز کرج

نام سازند کرج از شهر کرج گرفته شده است. محل برش الگوی مقطع نمونه سازند کرج در دره کرج کنار جاده چالوس در دو مقطع انتخاب شده است و توسط دوال در سال 1967 مطالعه و معرفی گردیده است. این سازند در محل برش الگو 3300 متر ضخامت دارد. سن این سازند نیز ائوسن میانی است. این سازند از لحاظ لیتولوژیکی شامل توالی به نسبت ستبری از توف‌های سبزرنگ، سنگ‌های رسوبی و گدازه‌های آتشفشانی و به ندرت تبخیری است. این سازند ترکیب سنگ‌شناسی همگن ندارد و به همین رو در برش الگو به 5 عضو تقسیم شده که از پایین به بالا عبارتند از:

1) بخش شیل پایینی: با 1055 متر ستبرا شامل شیل‌های آهکی و سیلتی خاکستری تیره است که میان لایه‌هایی از توف خاکستری، توف شیل‌های به رنگ سبز خاکستری دارد. در نزدیکی قاعده این عضو 20 متر گدازه پورفیری اوزیت‌دار وجود دارد.

2) بخش توف میانی: با 1177 متر ستبرا، شامل توف‌های ضخیم لایه و شیشه‌ای به رنگ سبز - آبی تا سبز روشن است که در قسمت بالایی شیل‌های آهکی دارد. 3) شیل آسارا: شامل 167 متر شیل آهکی با مقدار ناچیزی از توف و شیل توفی است. در این بخش باقی مانده گیاه گزارش شده است.

4) بخش توف بالایی با 917 متر ستبرا، به طور عمده شامل توف سبز است که لایه‌هایی از شیل توفی، ماسه‌سنگ توف‌دار و شیل آهکی دارد.

5) شیل کندوان: شامل حدود 150 متر شیل آهکی و آهک قیری و گاه به شدت متخلخل و ژئوسداس دار است که در گردنه کندوان - شمال گچسار برون زد دارد. گفتنی است که عضو پنجم در برش الگو دیده نشده و تعلق آن به سازند کرج پرسش‌آمیز است.

جدا از البرز جنوبی، این سازند با ویژگی‌های سنگی و رنگی مشابه، همچنان در کوه‌های سلطانیه زنجان، تکاب، باختر قم تفرش، آرانو پاره‌ای از نقاط ایران مرکزی گسترش درخور توجه دارد [7].

3- مواد و روش‌ها

3-1- آماده‌سازی نمونه‌های آزمایش

به منظور انجام این تحقیق بلوک‌هایی از سنگ توف سازند کرج (اطراف جاده چالوس) برداشت شد و برای

که در آن:
 K_{IC} : چقرمگی شکست $(MPa\sqrt{m})$: F : نیروی
 گسیختگی (MN)
 a : طول درزه (m) : D : قطر نمونه، $2S$: فاصله
 تکیه‌گاه‌ها $(m)Y'_1$ و ضریب شدت تنش بی‌بعد (پارامتری
 است که وابسته به هندسه نمونه و ترک است) می‌باشد
 [2].

دستگاه مخصوص آزمایش سه نقطه‌ای توسط مؤلف
 طراحی و ساخته شد (شکل 4).

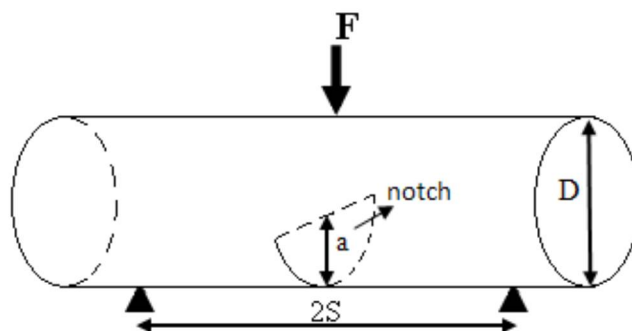
در این آزمایش نمونه‌ها در داخل دستگاه مخصوص اعمال
 خمش سه نقطه‌ای قرار گرفته و سپس دستگاه داخل
 جک بارگذاری محوری قرار داده می‌شود. بار به طور
 یکنواخت و پیوسته به نمونه اعمال می‌گردد و مقدار
 نیرویی که در آن نمونه ترک‌دار می‌شکند یادداشت می-
 گردد (شکل 4).

مقدمه‌ای بر مکانیک سنگ مراجعه کنید [6]. در این
 بخش فقط آزمایش خمش سه نقطه‌ای با جزئیات کامل
 توضیح داده می‌شود. روش بارگذاری خمشی با ترک
 مستقیم روی نمونه‌های استوانه‌ای شکل توسط اوچترلونی
 در سال 1981 معرفی شد. سپس هابرفیلد¹ و جانستون²
 از این روش برای ارزیابی چقرمگی شکست سنگ‌های
 ترکیبی استفاده کردند. این روش هم‌چنین³ SENRBB
 نیز نامیده می‌شود و برای اندازه‌گیری چقرمگی شکست
 مود I کاربرد دارد.

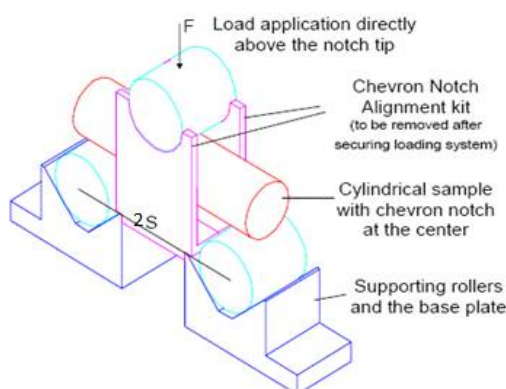
نمونه مغزه‌گیری شده در طول مورد نظر بریده می‌شود.
 سپس به وسیله اهر یک شکافت در وسط آن عمود بر
 راستای محور مغزه ایجاد می‌شود (شکل 3).
 چقرمگی شکست مود I در این روش توسط اوچترلونی
 توسط روابط 1 و 2 محاسبه می‌شود.

$$K_{IC} = 0.25 \left(\frac{2S}{D} \right) \left(\frac{F}{D^{1.5}} \right) * Y'_1 \quad (1)$$

$$Y'_1 = \frac{2 \left(\frac{D}{2S} \right) \left[450.8531 \left[\frac{1}{3.33} \left(\frac{2S}{D} \right) \right]^2 \left(\frac{a}{D} \right)^{1.5} \right]^{0.5}}{\left[\left(\frac{a}{D} \right) - \left(\frac{a}{D} \right)^2 \right]^{0.25}} \quad (2)$$



شکل 3. اندازه‌های نمونه و شرایط بارگذاری در SENRBB [2]



شکل 4. دستگاه مخصوص آزمایش خمش سه نقطه‌ای که در زیر دستگاه اعمال بار محوری قرار گرفته

1. Haberfiled
2. johnstone
3. Straight Edge-Notched Round Bar in Bending

آزمایش برزلی مشاهده می‌شود. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها را به ترتیب در جدول‌های 1 و 2 مشاهده می‌کنید.

همه نمونه‌ها به همین صورت مورد آزمایش قرار می‌گیرند، در شکل 5 الف، نمونه‌هایی از مغزه‌های شکست شده در اثر آزمایش خمش سه نقطه‌ای و در شکل 5 ب، نمونه‌هایی از دیسک‌های شکست شده در اثر



شکل 5. الف) نمونه‌ها شکست شده پس از انجام آزمایش خمش سه نقطه‌ای، ب) شکست قطری نمونه در آزمایش برزلی

جدول 1. نتایج آزمایش خمش سه نقطه‌ای

شماره نمونه	F(MN)	Y'_1	$(MPa\sqrt{m})$
1-1	0/0038	9/64	1/71
1-2	0/0048	8/74	1/96
1-3	0/0049	9/34	2/14
1-4	0/0038	9/34	1/66
1-5	0/0045	9/04	1/90
2-1	0/0024	8/74	0/98
2-2	0/0025	9/34	1/09
2-3	0/0025	9/04	1/05
2-6	0/0018	9/64	0/81

جدول 2. نتایج آزمایش برزلی

شماره نمونه	P(N)	σ_t (MPa)
1-1	34100	16/74
1-2	36300	17/21
1-3	42200	18/36
1-4	32100	13/93
1-5	30500	14/25
2-1	21900	11/01
2-2	21000	10/56
2-3	21200	10/62
2-6	20600	10/44

4- تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش‌ها

هدف از این تحقیق، به دست آوردن رابطه‌ای تجربی بین مقاومت کششی و چقرمگی شکست مود I سنگ توف است. با استفاده از نتایج به دست آمده از آزمایش برزیلی و آزمایش خمش سه نقطه‌ای روی نمونه‌هایی از سنگ توف سبز کرج، پس از رسم نمودار داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Excel و تحلیل داده‌ها رابطه 3 برای تخمین چقرمگی شکست مود I ارائه گردید (شکل 6):

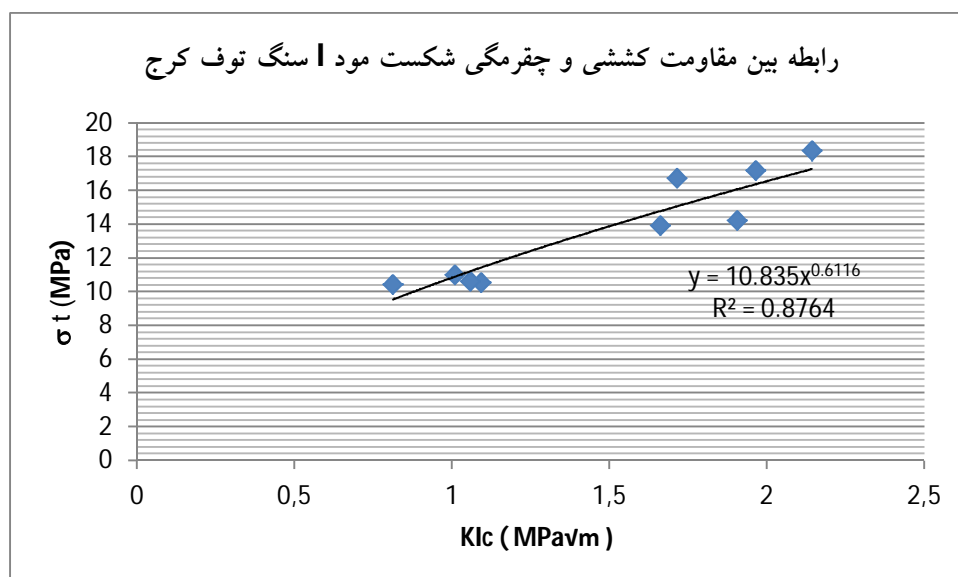
$$\sigma_t = 10.835K_{IC}^{0.6116} R^2 = 0.876 \quad (3)$$

رابطه‌ای که قبلاً ویتاکر و همکارانش در سال 1992 ارائه کردند (رابطه 4) تخمین صحیحی از چقرمگی شکست مود I را ارائه نمی‌دهد زیرا زمانی که مقاومت کششی (σ_t) برابر صفر در نظر گرفته شود چقرمگی شکست مود I (K_{IC}) به جای صفر برابر 0/271 می‌شود [16 و 17].

$$\sigma_t = 9.35K_{IC} - 2.53 \quad (4)$$

بعد از آن زانگ در سال 1998 رابطه دیگری ارائه کرد که از نتایج آزمایش بر روی چندین نوع سنگ به دست آمده است (رابطه 5) [18].

$$\sigma_t = 8.88K_{IC}^{0.62} \quad (5)$$



شکل 6. ارتباط مقاومت کششی با چقرمگی شکست مود I سنگ

از تخمین چقرمگی به کمک رابطه (3) مقدار 13/27% بدست می‌آید. در صورتی که از رابطه (5) برای تخمین چقرمگی استفاده شود مقدار چقرمگی تخمین زده شده به ازای مقاومت کششی 10/53 مگاپاسکال 1/32 مگاپاسکال در جذر متر حاصل شده و خطای حاصل از تخمین چقرمگی به کمک رابطه (5) 20٪ محاسبه می‌شود. همانطور که محاسبات نشان می‌دهد می‌توان نتیجه گرفت رابطه ارائه شده با دقت بالایی می‌تواند چقرمگی شکست مود I سنگ توف را تخمین بزند.

5- نتیجه‌گیری

با توجه کاربردهای فراوان این پارامتر در زمینه‌های انفجار و ترکیدگی سنگ، پایداری و عدم ریزش فضاهای زیرزمینی، شکست هیدرولیکی و تحلیل دینامیکی ناشی

همانطور که مشاهده می‌شود رابطه به دست آمده شبیه رابطه ارائه شده توسط زانگ رابطه توانی می‌باشد. برای بررسی درستی رابطه ارائه شده از نتایج آزمایش‌های انجام شده روی سنگ توف که توسط ارارسلان¹ و همکارانش در سال 2014 انجام شده استفاده شده است مقدار متوسط مقاومت کششی سنگ توف 10/53 مگاپاسکال و چقرمگی شکست متوسط مود I سنگ توف 1/1 مگاپاسکال در جذر متر گزارش شده است. اگر از رابطه (3) برای تخمین چقرمگی شکست استفاده شود مقدار چقرمگی تخمین زده شده (بر اساس مقاومت کششی 10/53 مگاپاسکال) 0/954 مگاپاسکال در جذر متر می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار چقرمگی حاصل از آزمایش 1/1 مگاپاسکال در جذر متر است خطای حاصله

¹Erarslan

[7] درویش‌زاده، ع (1385) زمین‌شناسی ایران (چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسم، موسسه انتشاراتی امیر کبیر.

[8] Alkiliçgil, Ç (2006) Development Of A New Method For Mode I Fracture Toughness Test On Disc Type Rock Specimens. Master of science Thesis in Department of Mining Engineering, Middle East Technical University.

[9] Alkiliçgil, Ç (2010) Development Of Specimen Geometries For Mode I Fracture Toughness Testing With Disc Type Rock Specimens. Doctor of Philosophy Thesis in Mining Engineering Department, Middle East Technical University.

[10] Bearman, RA (1999) The use of point load test for the rapid estimation of mode I fracture toughness. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 36: 257-263.

[11] Bhagat, RB (1985) Mode I Fracture toughness of coal. *Int. J. Min. Eng.*, 3: 229-236.

[12] Brown, GI., Reddish, DJ (1997) Experimental relationship between rock fracture toughness and density. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 34:153-155.

[13] Erarslan, N., Alehossein, H., Williams, DJ (2014) Tensile Fracture strength of Brisbane tuff by static and cyclic loading tests. *Rock Mech. Rock Eng.*, 47: 1135-1151.

[14] Gunsallus, KL., Kulhawy, FH (1984) A comparative evaluation of rock strength measures. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 21: 233-248.

[15] Kuruppu, M.D. Obara, Y. Ayatollahi, M. R. Chong, K. P. Funatsu, T (2014) ISRM-Suggested Method for Determining the Mode I Static Fracture Toughness Using Semi-Circular Bend Specimen. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47: 267-274.

[16] Whittaker, BN., Singh, RN., Sun, G (1992) *Rock Fracture mechanics: Principles, design and application*, Amsterdam: Elsevier.

[17] Zhang, ZX., Kou, SQ., Lindqvist, PA., Yu, Y (1998) The relationship between the fracture toughness and tensile strength of rock, In: *strength theories: applications. development& prospects for 21st century Beijing/ New York: Science Press*, P.215-219.

[18] Zhang, ZX (2002) An empirical relation between mode I fracture toughness and the tensile strength of rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 34: pp.401-406.

از زلزله بدست آوردن پارامتر چقرمگی شکست ضروری است. از آنجایی که برآورد این پارامتر در آزمایشگاه وقت‌گیر و پرهزینه بوده و مشکلات عملیاتی خاص خود را دارند لذا استفاده از رابطه تجربی که بیانگر ارتباط میان مقاومت کششی سنگ و چقرمگی شکست مود I سنگ باشد ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق یک رابطه تجربی برای تخمین چقرمگی شکست مود I سنگ توف کرج ارائه گردید. با استفاده از این رابطه به راحتی می‌توان با انجام آزمایش برزیلین چقرمگی شکست مود I را به دست آورد. مقایسه این رابطه با رابطه‌های که توسط محققین قبلی ارائه شده است نشان دهنده درستی رابطه ارائه شده می‌باشد. همچنین نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد رابطه به دست آمده با توجه به ضریب همبستگی (0/87) که دارد با دقت بالایی می‌تواند چقرمگی شکست مود I سنگ توف را تخمین بزند.

منابع

[1] آیت‌اللهی، م.، پورکوبان، م.، محمدعلیها، م (1390) تعیین حداقل فشار لازم برای آغاز رشد ترک، در عملیات شکست هیدرولیکی، نشریه علمی- پژوهشی مهندسی معدن. شماره 12، دوره ششم، 61-70.

[2] آیت‌اللهی، م.، محمدعلیها، م.، حیدری خواص، م (1389) بررسی رفتار رشد ترک توده‌های سنگی با استفاده از آزمایش قطعات ترک‌دار استوانه‌ای شکل. چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران.

[3] آیت‌اللهی، م.، سید موسوی، م (1387) بررسی اثرات فشار جانبی در عمق زمین بر روی ضرایب شدت تنش مود ترکیبی اول و دوم. نشریه علمی- پژوهشی مهندسی معدن، شماره 5، دوره سوم، 21-39.

[4] بهنیا، م. گشتاسبی، ک.، فاتحی مرجی، م.، گلشنی، ع (1391) تأثیر پارامترهای الاستیک لایه‌ها بر نحوه گسترش شکست هیدرولیکی با استفاده از روش ناپیوستگی- جابجایی. نشریه روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، شماره 3، بهار و تابستان 1391، صفحه 1 تا 13.

[5] حائری، ه.، شهریار، ک.، فاتحی مرجی، م. و معارف وند، پ (1392) استفاده از روش ناپیوستگی جابجایی در تحلیل انتشار ترک در مواد شبه سنگی. نشریه روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، شماره 5، دوره سوم، 38-49.

[6] حسینی، م (1385) مقدمه‌ای بر مکانیک سنگ، انتشارات ایده گستر قم، 134 ص.

The use of the Brazilian test for the rapid estimation of mode I fracture toughness of Karaj tuff rock

M. Hosseini*¹ and N. Nazari²

1,2- dept of mining engineering, Imam Khomeini international university, Qazvin

* meh_hosseini18@yahoo.com

Recieved: 2015/6/16 Accepted: 2016/2/1

Abstract

The mode I or opening mode fracture toughness (K_{Ic}) is an important parameter for characterizing the fracture behavior of rock and is a parameter used in many applications such as mining and tunnelling. Since the determination of mode I fracture toughness by testing is time-consuming and costly, therefore, a simple method for determining fracture toughness of rock would be helpful. In this research, Brazilian test and three point bending test are performed on some specimens of Karaj tuff rock collected from Chalus area located in Alborz province. This research aims to provide an empirical relation for determining fracture toughness of Karaj tuff rock.

The results show that mode I fracture toughness of Karaj tuff rock can be estimated with a high level of accuracy by using the proposed relations because the correlation coefficient of the relation is 0.89.

Keywords: tensile strength, three point bending, mode I fracture toughness, tuff rock.