تأثیر اندازه (بلندی به پهنا) در مقاومت فشاری تک محوری نمونه های مکعب مستطیل شکل و مقایسه آن در سنگ بکر و توده سنگ آهک

نوشته : دکتر اصغر لادریان، *

Influence of the height to width ratio on uniaxial compressive strength for intact rock and rock mass in rectangular specimens

By: Dr Asghar Laderian*

چکیده

مقاومت فشاری تک محوری سنگها به عنوان یک ضریب اساسی در طراحی سازه‌های سطحی و زیر سطحی منظر می‌باشد. این عامل به روشهای مختلف تعیین می‌شود و تابع مشخصات ذاتی، چگونگی نمونه‌برداری و نحوه آزمایش است. در آزمایشهای مشابه و ذاتی سنگ، این نحوه نمونه‌برداری است که آن را به عنوان الگویی بکر (بدون درزه) یا توده سنگ (درزه‌دار) مطرح می‌کند و اندازه نمونه تهیه شده یکی از مواردی است که این الگو را از یک کرانه به کرانه دیگر تغییر می‌دهد. بنابراین، آیا مقاومت فشاری تک محوری در نمونه‌های مکعب مستطیل شکل، در یک توده سنگ (متأثر از اندازه)، و در سنگ بکر یکسان خواهد بود. در این پژوهش سعی شده است تا دو نوع سنگ آهک، یکی مرمریت متبلور بکر از معادن لای بید و دیگری سنگ‌آهک درزه‌دار از کوه محمودآباد در شمال دانشگاه صنعتی اصفهان با یکدیگر مقایسه شود و ارتباط نسبت بلندی به پهنای نمونه‌ها با یکدیگر مورد مقایسه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت فشاری تک محوری، سنگ‌آهک، مرمریت متبلور، اصفهان، ایران

Abstract

The uniaxial compressive strength of rocks is a major factor in designing surface and underground structures. This factor is determined in different methods and depends on inherent characteristics of rock, its sampling and testing method. In similar and inherent testing, the method of sampling is important, which define the rock to be intact or mass. The size of prepared specimen is the case which vary from one extreme to another. Therefore, uniaxial compressive stength of intact rock or rock mass are the same for rectangular specimens with different sizes. The purpose of this research is to compare influence of the height to width ratio on uniaxial compressive strength in rectangular specimens of the crystalline marble of Laybid mines and limestone rock mass from Mahmoodabad mountain, north of Esfahan University of Technology, as well as to find out the relationship between the two kinds of rocks with different size samples.

Key Words: Uniaxial Compressive strength, limestone, crystalline marble, Esfahan, Iran

مقدمه

نقش مکانیک سنگ در مهندسی معدن و عمران از اهمیت خاصی برخوردار است. سنگ همانند خاک با سایر مواد مهندسی تفاوتهای اساسی داشته و ماده‌ای طبیعی است که خصوصیات آن از جمله مقاومت، بستگی به کیفیت و ترکیب کانی‌شناسی، وجود ناپیوستگیها و میزان هوازدگی و غیره آن دارد. بدست آوردن رفتار این ماده طبیعی با افزایش تخلخل، درجه هوازدگی و میزان شکستگیهای ریز و درشت تغییر کرده و بررسی آن در طراحی سازه‌های سطحی و زیر سطحی شیوه خاص خود را می‌طلبد.

مقاومت فشاری تک محوری یکی از عوامل اصلی در تعیین رفتار سنگ است که با وجود ساده بودن باید توجه خاصی به آن شود. هر چند مطالعات زیادی در سه دهه گذشته در جهان انجام گرفته است و نمونه‌های مختلف سنگ در اشکال و اندازه‌های مختلف آزمایش و بررسی شده‌اند، اما رابطه‌ای مشخص و معین همراه با کیفیت سنگ ارائه نگردیده است. هر گروه یا محقق مدلی را بیان نموده است، ولی نمی‌توان بدون شبهه بویژه درباره سنگهای ایران از جمله سنگ بکر ساختمانی مرمریت متبلور از معادن لای بید که بیشترین سینه کارهای ساختمانی را داراست، اظهار نظر کرد.

در اندازه‌گیری مقاومت فشاری تک محوری، نحوه نمونه‌برداری و آزمایش علاوه بر شرایط طبیعی در سنگ از جمله نکاتی است که باید مشخص شده و تعریف دقیقی از آن به میان آید.

بدین منظور، یکی از این اشکال می‌تواند مکعب مستطیل در اندازه‌های مختلف طولی باشد.

بدین ترتیب نمونه‌های مکعب مستطیل شکل در نسبتهای مختلف ارتفاع (H) به قطر معادل (Dm) از دو نوع سنگ بکر و توده سنگ تهیه گردید تا با انجام آزمایشهای مقایسه‌ای بین مقاومت فشاری سنگ بکر و توده سنگ صورت گیرد. این دو نوع سنگ یکی سنگ آهک مرمریت متبلور (بکر) از معادن سنگهای ساختمانی لای بید نزدیک گلپایگان و دیگری سنگ آهک (توده سنگ) مربوط به کرتاسه متعلق به کوه محمود دانشگاه صنعتی واقع در شمال غربی اصفهان است. نمونه‌های مکعب مستطیل شکل در اندازه‌های مختلف H/D_m تهیه شد و روند ارتباط بین مقاومت فشاری تک محوری و نسبت "H/D_m" برای این دو نوع سنگ با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت.

تئوری

معمولاً در مفهوم، تعیین مقاومت فشاری سنگها بینهایت ساده بوده ولی در حین اجرا با مشکلات چندی روبروست. به طور کلی واکنش سنگ در آزمایشهای مختلف به چگونگی نمونه‌برداری وابسته است (لادریان ۱۳۷۸).

سنگ را می‌توان به دو گروه اصلی سنگ بکر که فاقد درزه و شکستگی است و توده سنگ که دارای درزه، شکاف، هوازدگی و غیره است، تقسیم نمود. با فرض آنکه زاویه سطوح ضعیف سنگ با صفحه اصلی بارگذاری در حدی باشد که گسیختگی نمونه سنگی ناشی از لغزش سطوح تحت بارگذاری نباشد، این سوال مطرح خواهد شد که «اندازه نمونه چه تأثیری را بر مقاومت فشاری تک محوری می‌گذارد»؟

اثر شکل نمونه سنگی بر مقاومت آن به وسیله محققین بسیاری مورد بحث قرار گرفته است. Grosvenor نمونه‌های استوانه‌ای شکل و منشوری شکل را با یکدیگر مقایسه کرده و نتیجه گرفته است که در نسبت ارتفاع به پهنا ۱:۱ نمونه‌های منشوری شکل از مقاومت بیشتری برخوردارند. اما در نسبت $\frac{3}{2}$ این اثر معکوس است. Alekseev et.al نتیجه گرفته‌اند که در نسبت ۱:۱ مقاومت فشاری سنگ بستگی به شکل نمونه نخواهد داشت. Mogi (1967) پس از یک سری آزمایش بر نمونه‌های مکعبی شکل دوریت نتیجه گرفت که با افزایش اندازه تا حد معینی، مقاومت فشاری تک محوری کاهش و بعد از آن دیگر کاهش متوقف می‌گردد (Laderian 1985).

براین اساس مؤسسه‌های مختلف و انجمنهای مکانیک سنگ نظیر انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ "ISRM" (International Society of Rock Mechanics) پیشنهاد نموده‌اند (Brown 1989) که این نسبت باید بیش از ۱:۱ باشد. به طور مثال استاندارد "ASTM" در "ASTM-C170" در آزمایش مقاومت فشاری سنگهای ساختمانی نسبت به ۱:۱ و بالاتر را چه در نمونه‌های استوانه‌ای شکل و چه منشورهای سنگ پیشنهاد کرده و این نسبت به وسیله انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ ۲/۵ تا ۳ مطرح شده و (Goodman 1989) در کتاب مقدمه‌ای بر مکانیک سنگ این نسبت را بین ۲ تا ۲/۵ پیشنهاد کرده است.

همان طور که اشاره گردید اگر سنگی دارای درزه و شکاف ریز باشد و در اثر بارگذاری گسیختگی در دانه‌های سنگ پدید آید و زاویه ناپیوستگیها با زیری آنها و چگونگی پرشدگی چنان باشد که لغزش برآنها پدید نیاید این مقاومت در حد مرز گسیختگی را می‌توان به عنوان مقاومت فشاری تک محوری دانست.

بدین لحاظ دراین تحقیق سعی شده تا دو نوع سنگ یکی مرمریت

متبلور بدون درزه و شکاف و دیگری سنگ آهک فسیل‌دار مربوط به دوران میان‌زیستی (کرتاسه) در شکلهای مکعب مستطیل آزمایش شوند و تأثیر اندازه H/D_m آنها با مقاومت به دست آمده بررسی شود و روند این ارتباط برای دو نوع سنگ (بکر و توده سنگ) با یکدیگر معلوم گردد.

پس از تهیه مقطع نازک و بررسی‌های میکروسکپی روشن شد که نوع مرمریت متبلور، فاقد درزه و شکاف است و می‌توان آنها را بعنوان سنگ بکر تلقی نمود. ولی نمونهٔ آهک فسیل‌دار (شکل ۱) دارای درزه‌های ریز است. از سنگ بکر تعداد ۱۸ نمونه با قاعده ۶×۶ cm و از سنگ آهک فسیل‌دار ۱۷ نمونه، اکثراً با قاعده ۵×۵ cm تهیه شد. این نمونه‌ها دارای ارتفاع مختلف از ۱/۵cm تا ۲۰ cm است.

شرح آزمایش

شکستگی عبارت از شکل گرفتن صفحات جدایی در ماده سنگ یا لغزش در طول توده سنگ است به طوری که پیوند سنگ را در آن راستا از بین برده و سطوح جدیدی بوجود آید و یا حرکتی را در پی داشته باشد. این مرز گسیختگی ورای حد الاستیک سنگ و پس از گذر از یک مرحله پلاستیک، شکل کاملی را به خود می‌گیرد که لازمه‌اش در همه حالات رسیدن سنگها به حداکثر استحکام است.

تجربه نشان داده که مقاومت بیشینه «اوج» در نمونه‌های هم‌شکل به ارتفاع آنها بستگی دارد، بدین منظور از دو نوع سنگ فوق‌الذکر نمونه‌های مکعب مستطیل در طولهای مختلف (شکل ۲) تهیه شد.

هر چند برای مقایسه بهتراست، تمام نمونه‌ها از یک سطح مقطع معین برخوردار باشد، اما قاعده نمونه‌ها از این دو نوع سنگ به دلیل مشکلات موجود در کارخانه‌های سنگبری در دو اندازه مختلف است که بعداً در آزمایشگاه مکانیک سنگ مطابق استاندارد ISRM (Goodman 1989) با دستگاه آزمایش تک محوری ساخت شرکت ELE و با استفاده از نشیمنگاههای کروی و بدون استفاده از کاهش دهنده‌های اصطکاک با نرخ ثابت نیرو آزمایش شد و تنشها و کرنشها محاسبه گردید.

نتیجه آزمایش

با بررسی گسیختگی ناشی از نمونه‌های مرمریت فسیل‌دار (توده سنگ) و جدا نمودن آنهایی که تنها شکست در ماده اصلی سنگ به وقوع پیوسته است و در راستای ناپیوستگیها نبوده است مقاومت بدست آمده به عنوان مقاومت فشاری تک محوری نمونه قلمداد گردید.

جهت مقایسه مقاومت فشاری تک محوری با نسبتهای مختلف بلندی به پهنا، چون لازم است به پهنای مبنا رجوع شود، لذا از پهنای معادل استفاده گردید. بدین صورت که مساحت سطح مقطع نمونه برابر مساحت مربع فرض و ضلع این مربع بعنوان پهنای معادل درنظر گرفته شد.

ابعاد نمونه‌ها با کولیس تا ۰/۱ میلیمتر اندازه‌گیری گردید و نسبت ارتفاع به قطر معادل تا چهار رقم اعشار محاسبه شد.

از ۱۷ نمونه سنگ‌آهک (توده سنگ)، یک نمونه به دلیل مسائل فنی منجر به آزمایش نگردید و ۳ نمونه دارای شکست از مرزهای ناپیوستگی بود و برای بقیه نمونه‌ها، مقاومت فشاری تک محوری در سنگ مرمریت (بکر) و سنگ آهک (توده سنگ) برای نسبتهای مختلف بلندی به پهنای معادل تعیین گردید که در جدول ۱ ارائه شده است.

شکل شکست در هر دو نوع سنگ به صورت سطوح موازی با محور بارگذاری (شکل ۳) است که گسیختگی سنگ را به خوبی نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق در ابتدا به دست آوردن رابطه‌ای بین مقاومت بیشینه با طولهای مختلف در دو نوع سنگ بوده و دیگر اینکه آیا رابطه بدست آمده برای هر نوع سنگ در اندازه‌های مختلف (H/D_m) یکی است؟ نتایج آزمایشها در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل برای هر نوع سنگ نسبت بلندی به پهنای معادل ($\frac{1}{2}$ سطح /ارتفاع) در مقابل مقاومت بیشینه ترسیم شده است و همانطور که در شکل نشان داده شده، منحنیها از دو قسمت تشکیل شده است یکی با شیب کم برای مقادیر H/D_m بزرگتر از ۱/۵ و دیگری با شیب زیاد برای مقادیر H/D_m کوچکتر از ۱/۵. بنابراین با اطمینان می‌توان از روی شکل نسبت ۱/۵ را حد بهینه دانست.

بااستفاده از نرم‌افزار مناسب رابطه بین مقاومت فشاری تک محوری و بلندی به پهنای معادل برای داده‌های جدول ۱، بدست آمد که نشان داد این رابطه‌ها، بین تنش و نسبت H/D_m برای دو نوع سنگ از ضریب تطبیق بالائی برخوردار است. این معادلات برای هر دو نوع سنگ ارائه شده است. رابطه بین مقاومت فشاری تک محوری با نسبت H/D_m را برای سنگ آهک فسیل‌دار (توده سنگ) و سنگ مرمریت (بکر) می‌توان به صورت زیر پیشنهاد نمود:

الف – برای سنگ مرمریت متبلور (بکر)

برای $H/D_m > 1/5$

σ_c (MPa) = ۲۶۳/۶(H/D $_m$) ^{4} −۱۱۱۷/۴(H/D $_m$) ^{3} +۱۸۳۳/۹

(H/D $_m$) ^{2} −۱۴۰۷/۴(H/D $_m$) + ۴۸۷/۸

برای ۱/۵ < H/D $_m$ < ۳

σ_c (MPa) = ۲۲(D $_m$ /H) ^{4} +۱۳۸(D $_m$ /H) ^{3} +۱۱۷(D $_m$ /H) + ۶۳

ب- برای سنگ آهک فسیل‌دار(توده سنگ)

برای H/D $_m$ < ۱/۵

σ_c (MPa) = ۲۶۳/۶(H/D $_m$) ^{4} −۱۱۱۷/۴(H/D $_m$) ^{3} +۱۸۳۴/۹

(H/D $_m$) ^{2} −۱۴۰۷/۴(H/D $_m$) + ۴۹۶

برای ۱/۵ < H/D $_m$ < ۳

σ_c (MPa) = ۱۵۰(D $_m$ /H) ^{5} +۱۳۸(D $_m$ /H) ^{2} −۱۱۷(D $_m$ /H) + ۶۳

پیشنهادها

همان گونه که از معادلات و آزمایشها مشخص است باید تعداد بیشتری از نمونه‌هایی با نسبت H/D $_m$ متفاوت آزمایش شوند تا نتیجه مطمئن‌تری به دست آید. به علاوه در آزمایشهای دیگر سعی شود تا نسبتهای مختلف از پهنای معادل مورد آزمایش قرارگیرند.

فهرست نشانه‌ها

ارتفاع H، قطر معادل D $_m$، مقاومت فشاری تک محوری σ_c

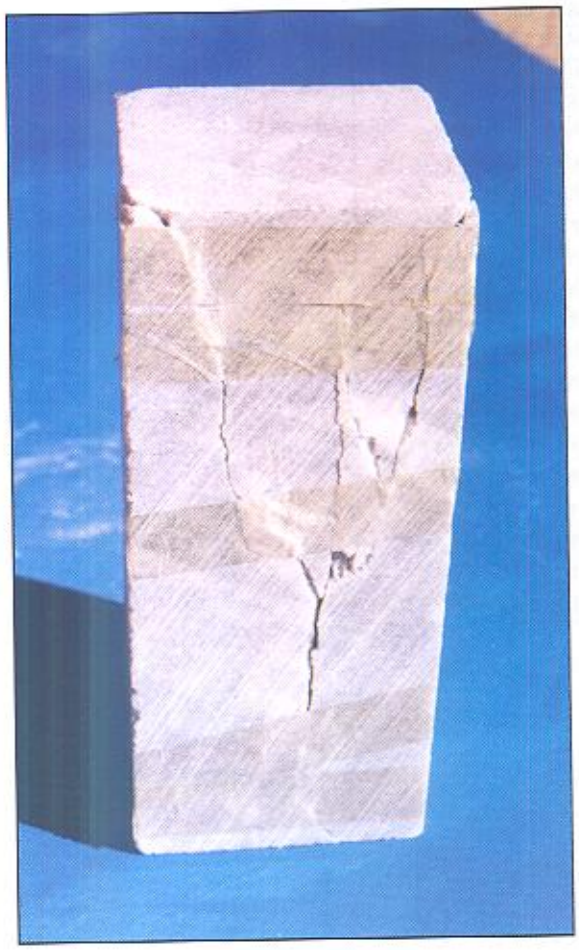
مرمریت متبلور(بکر)		آهک فسیل‌دار(توده سنگ)	
H/D $_m$	σ_c (MPa)	H/D $_m$	σ_c (MPa)
۰/۲۷۵	۲۱۷/۹	۰/۵۴	۱۱۹/۰۳
۰/۳۳۴	۱۸۳	۱/۰۴۸	۷۳/۲
۰/۶۶۲	۸۶/۷	۱/۰۷۴	۶۱/۲
۰/۸۸۵	۶۸	۱/۱۲۵	۸۳/۵ *
۰/۹۰۴	۶۵/۷	۱/۲۶۷	۱۱۹/۰۳ **
۱/۳۰۷	۵۵/۴۲	۱/۷۴۴	۵۲/۳
۱/۵۱۵۱	۴۰/۲	۱/۸۰۱	۵۳/۵
۱/۷۳۷۱	۴۴/۲	۱/۸۰۳	۴۱/۵۳
۱/۶۴۵	۴۴/۴	۲/۱۴۹	۳۴/۶
۱/۷۰۰۸	۴۴/۲	۲/۳۰۷	۴۱/۵۲
۳/۰۰۱۶	۳۷/۹	۲/۳۴۵	۵۳/۸
۲/۴۱۳۷	۳۸/۶	۲/۳۸۸	۴۱/۶۷
۲/۴۳۶۸	۳۷/۷	۲/۵۷۶	۴۲/۶
۲/۵۷۴۶	۴۱/۶		
۲/۹۸۲۶	۳۹/۲		
۳/۰۳۵۶	۳۸/۴		
۳/۱۵۴۲	۳۴/۴		
۳/۳۳۸۵	۳۶/۶		

جدول ۱- رابطه بین σ_c با نسبت H/D $_m$ برای سنگ‌های مختلف

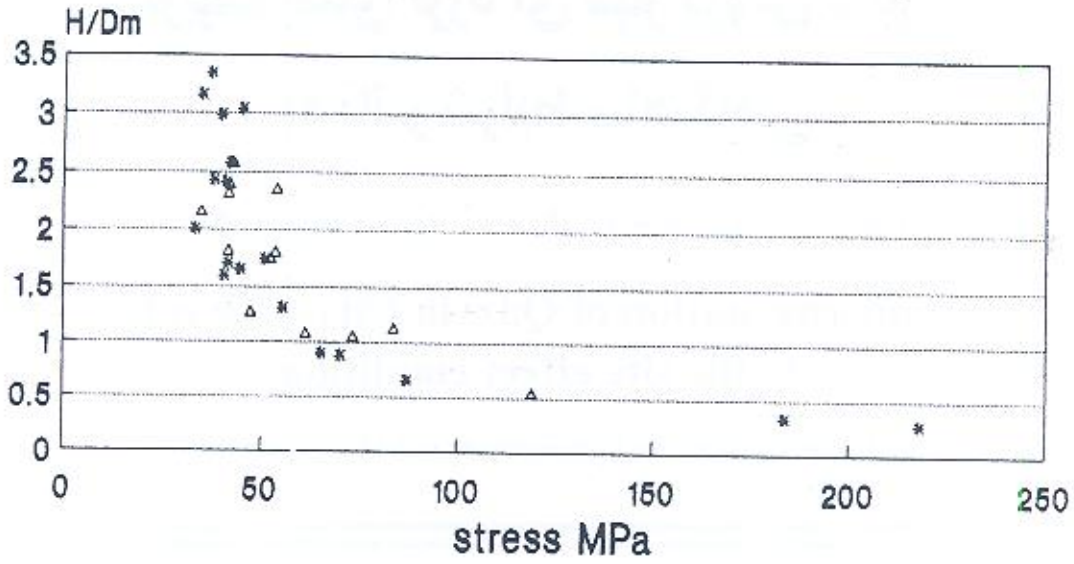
* سطح مقطع از متوسط مقاطع کوچکتر

** سطح مقطع از متوسط مقاطع بزرگتر

شکل ۱ مقطع نازک سنگ‌آهک درزه‌دار (توده سنگ)
مقطع نشان می‌دهد که از کلسیت دانه درشت در حد اسپاریت است که تحت دولومیت‌زائی قرار گرفته است و دانه‌های کوارتز به مقدار کم در آن وجود دارد. یک سری شکستگیهائی در امتداد سطوح شکست بلورهای درشت کلسیت دیده می‌شود و درامتداد جدارهٔ شکافها، ترکیبات آهن وجود دارد.



شکل ۲ نمونه‌های مختلف سنگ بکر و توده سنگ



شکل ۳ شکست در سنگ آهک (توده سنگ)، راست و مرمریت (بکر)، چپ

کتابنگاری

References

لادریان، اصغر، ۱۳۷۸– «اصول مکانیک سنگ»، چاپ اول، اردیبهشت ۱۳۷۸

Laderian, A., 1985- Rock failure Characteristics under Polyaxial Loading Conditions, Dissertation, U.K.

Brown, E.T., 1989- International Society for Rock Mechanics Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, Suggested Methods, Oxford, Pergamon.

Goodman, R.E., 1989- Introduction to Rock Mechanics, Second Edition, John Wiley & Sons.

* دانشگاه صنعتی اصفهان - ایران

* Esfahan University of Technology, Esfahan, Iran