

## مقایسه تاثیر نسبت ابعاد نمونه و فشار جانبی بر مقاومت فشاری تک محوره و سه محوره سنگ

محمد فاروق حسینی

استاد یار دانشکده مهندسی معدن - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

مجتبی گنجی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی معدن - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

سروش فولادچی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی معدن - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۴/۷/۳۰، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۴/۱۰/۲۴، تاریخ تصویب ۸۴/۱۱/۲۹)

### چکیده

در طراحی پروژه های مختلف عمرانی و معدنی نظیر پایه پلها و پایه های معدنی، آگاهی از رابطه مقاومت سازه با نسبت اندازه ابعاد آن ضروری می باشد. با انجام آزمون های آزمایشگاهی می توان به این رابطه دست یافت. لذا بر روی نمونه هایی با نسبت ابعاد متفاوت از سه نوع سنگ (دولومیت اصفهان، سنگ آهک بوکان و ماسه سنگ گدوک) به منظور تعیین تاثیر شکل بر مقاومت فشاری تک محوره آزمایشهایی انجام شد. از تجزیه و تحلیل نتایج این آزمایشها یک رابطه کلی به صورت  $\sigma_c = K\sigma_{c1}\sqrt{\frac{D}{L}}$  ارایه شد که در آن  $D, L, \sigma_{c1}$  به ترتیب قطر، طول و مقاومت فشاری تک محوره با نسبت  $\frac{D}{L}=1$  بوده و مقدار ضریب  $K$  برای سنگهای مذکور به ترتیب  $1/14$ ،  $1/21$  و  $0/96$  حاصل شد. همچنین با توجه به شباهتی که بین تاثیر نسبت  $\frac{D}{L}$  بر مقاومت فشاری تک محوره و فشار جانبی بر مقاومت فشاری سه محوره متصور است، بر روی نمونه سنگهای مذکور، با نسبت  $\frac{D}{L}=0.5$  آزمایش سه محوره در فشارهای جانبی متفاوت صورت گرفت و منحنی های  $\sigma_1$  نسبت به  $\sigma_3$  و  $\sigma_c$  نسبت به  $\frac{D}{L}$  با یکدیگر مقایسه شدند. با حذف عامل مقاومت فشاری در روابط مذکور فرمولهایی خطی به شکل عمومی  $\sigma_3 = A(\frac{D}{L}) - B$  بین نسبت  $\frac{D}{L}$  و  $\sigma_3$  و نهایتاً یک رابطه واحد برای هر سه نوع سنگ به صورت  $\sigma_3 = 8/7515 - 6/3789$  با ضریب تصمیم گیری  $0/9534$  ارایه گردید. با استفاده از شبیه سازی انجام شده در این مطالعه و در محدوده نتایج حاصل از آن می توان به جای آزمایش سه محوره که مشکل و پرهزینه است، یکسری آزمایش تک محوره با شکلهای متفاوت از نمونه انجام داده، نتایج تستهای سه محوره را تخمین زد.

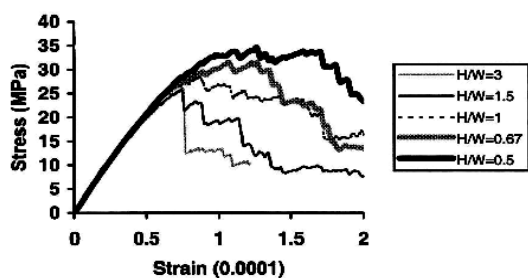
**واژه های کلیدی:** تاثیر شکل<sup>۱</sup>، فشار جانبی، مقاومت فشاری تک محوره، مقاومت فشاری سه محوره، مقاومت سنگ

### مقدمه

حالت شکنندگی به شکل پذیری می رسد. این افزایش مقاومت در نتیجه اصطکاک دو انتهای نمونه با صفحات بارگذاری و اختلاف بین خواص الاستیک سنگ و صفحات بار گذاری بوجود آمده است و با افزایش فشار جانبی در وضعیت تنش سه محوره تشابه دارد. توزیع تنشهای مختلف در داخل نمونه به عنوان تابعی از نسبت  $\frac{D}{L}$  می باشد به طوری که وقتی این نسبت افزایش می یابد نسبت بیشتری از حجم نمونه، تحت تاثیر تنش های سطوح انتهایی قرار می گیرد و وقتی از یک مقدار مشخص (حدود پنج) بیشتر شود تمام حجم نمونه تحت این تنش واقع می شود [۱]. از این مشاهدات می توان

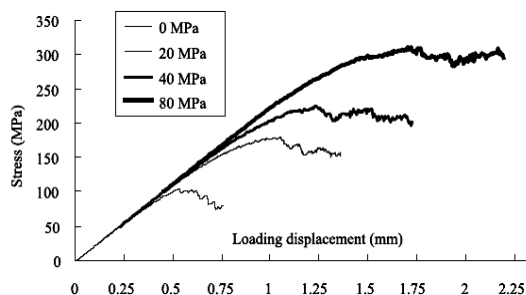
از آنجایی که سنگها در طبیعت و در شرایط واقعی تحت تنش سه محوره قرار دارند، تعیین مقاومت فشاری سه محوره آنها بسیار حایز اهمیت است. شکست شکننده سنگ تحت فشار تک محوره تنها مکانیسم شکست سنگ نمی باشد، بلکه بسیاری از سنگها در فشارهای جانبی بالا رفتاری کاملاً انعطاف پذیر از خود نشان می دهند. با افزایش فشار جانبی مقاومت فشاری سنگ افزایش می یابد و رفتار سنگ از حالت شکنندگی به شکل پذیری تبدیل می شود. از طرفی مقاومت فشاری تک محوره سنگ با افزایش نسبت قطر به طول نمونه افزایش می یابد و با افزایش آن رفته رفته رفتار شکست سنگ از

جانبی افزایش می یابد.

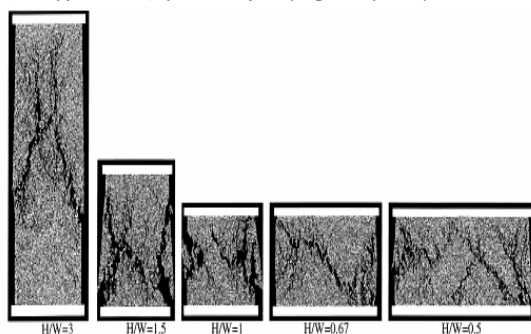


شکل ۲: تاثیر نسبت  $\frac{W}{H}$  بر مقاومت فشاری تک محوره [۲].

افزایش این دو عامل بر رفتار شکست سنگ تاثیر گذار می باشد. چنانچه در شکل های (۴) و (۵) مشاهده می شود با افزایش نسبت  $\frac{W}{H}$  و  $\sigma_3$  میزان خرد شدگی و شکست نمونه ها افزایش و زاویه شکست با سطح افقی کاهش یافته است. لازم به ذکر است که شکل های (۲)، (۳)، (۴) و (۵) برگرفته از شبیه سازی های عددی می باشند.



شکل ۳: تاثیر فشار جانبی بر مقاومت فشاری تک محوره [۳].



شکل ۴: تاثیر شکل بر زاویه شکست بر اساس شبیه سازی عددی [۲].

### مراحل انجام آزمون های آزمایشگاهی

برای مقایسه تاثیر شکل و فشار جانبی بر مقاومت فشاری تک محوره و سه محوره بر روی سه نوع سنگ با

نتیجه گرفت که علیرغم تفاوت در مکانیزم های شکست، تشابهی ظاهری ما بین تاثیر در مقاومت فشاری تک محوره و فشار جانبی  $\frac{D}{L}$  در مقاومت فشاری سه محوره قابل تشخیص می باشد. مقاله حاضر به بررسی و تجزیه و تحلیل این موضوع در مورد سه نوع سنگ مختلف پرداخته است.

### مقایسه تاثیر شکل و فشار جانبی بر مقاومت و رفتار شکست سنگ

در علم مکانیک سنگ منظور از "شکل"، نسبت اندازه ابعاد است. بطور مثال، شکل در نمونه های سیلندری آزمایشگاهی نسبت قطر به طول ( $\frac{D}{L}$ ) نمونه در پایه های معدنی نسبت عرض به ارتفاع ( $\frac{W}{H}$ ) پایه می باشد. شکل (۱) تصویری از یک سری نمونه های آزمایش شده در این پژوهش را نشان داده است.



شکل ۱: تصویری از نمونه های با ابعاد مختلف مورد آزمایش.

از جمله عوامل خارجی موثر بر مقاومت سنگها می توان به تاثیر شکل اشاره کرد. طبیعی است که با افزایش نسبت قطر (یا عرض) به طول، مقاومت فشاری نمونه آزمایشگاهی یا پایه معدنی افزایش می یابد تا جایی که نهایتاً رفتار سنگ در نسبت های بالاتر  $\frac{D}{L}$  از حالت شکنندگی به شکل پذیری (خمیری) تغییر می یابد. از طرفی می دانیم با افزایش فشار جانبی نیز به همین ترتیب مقاومت فشاری افزایش یافته و سر انجام رفتار سنگ از حالت شکنندگی به شکل پذیری می رسد. شکل های (۲) و (۳) به ترتیب تاثیر شکل و فشار جانبی بر مقاومت فشاری سنگ را نشان می دهند. همچنین خواص تغییر شکل پذیری سنگ از جمله مدول الاستیسیته و ضریب پواسون نیز با افزایش نسبت قطر به طول یا فشار

نکند[۵]. نمونه های آماده شده در شرایط یکسان در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد در خشک کن<sup>۳</sup> به مدت ۲۴ ساعت کاملا خشک گردید.

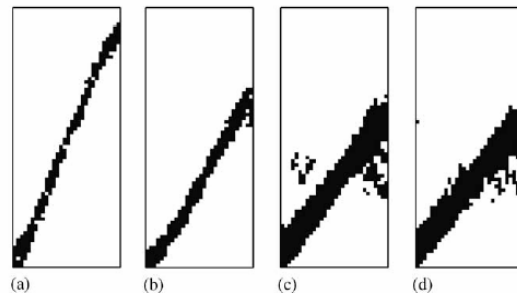
### آزمایشهای مقاومت فشاری تک محوره

برای تعیین تاثیر شکل بر مقاومت فشاری تک محوره و مقایسه آن با تاثیر فشار جانبی بر مقاومت فشاری سه محوره در ابتدا آزمایش های فشاری تک محوره بر روی مغزه های تهیه شده با قطر ثابت ۵۴ میلیمتر و طولهای مختلف (۱۶۲، ۱۰۸، ۵۴، ۴۱، ۲۷، ۱۸، ۱۴ و ۱۱ میلیمتر) مطابق با استاندارد ASTM D۲۹۳۸ [۶] انجام گرفت. سیستم بار گذاری جک ۲۰۰ تنی دیجیتال ساخت شرکت ELE انگلستان بود. سرعت بار گذاری توسط دستگاه بارگذاری معادل ۱/۰ (KN/S) تنظیم شد. هدف این مقاله مطالعه تاثیر نسبت اندازه ابعاد بر مقاومت سنگ است که برای این منظور، ضرورت دارد از نسبتهای مختلف  $\frac{D}{L}$  یا  $\frac{L}{D}$  استفاده شود. طبیعی است زمانی که آزمون های معمولی مطابق استاندارد مطرح باشد باید همان استانداردها را رعایت نمود. در جدول (۲) مقادیر میانگین مقاومت فشاری تک محوره بر حسب مگا پاسکال بر روی هر سه نوع سنگ در نسبتهای مختلف  $\frac{D}{L}$  آورده شده است.

### آزمایشهای مقاومت فشاری سه محوره

برای تعیین تاثیر فشار جانبی بر مقاومت فشاری سه محوره و مقایسه آن با تاثیر شکل بر مقاومت فشاری تک محوره آزمایش های سه محوره نیز بر روی همان مغزه های سنگی مطابق با استاندارد ASTM D۲۶۶۴ [۷] انجام گرفت. این آزمایشها بر روی نمونه هایی به قطر ۵۴ میلیمتر و طول ۱۰۸ میلیمتر از هر سه نوع سنگ و به تعداد چهار سری بصورت چند مرحله ای انجام شد. سیستم بار گذاری محوری همان جک ۲۰۰ تنی مورد استفاده برای آزمایش های تک محوره بود. بار جانبی توسط یک پمپ هیدرولیکی ساخت شرکت ELE انگلستان با ظرفیت ۷۰ مگا پاسکال تامین شد. برای انجام آزمایشهای سه محوره، نمونه ها داخل سلول هوک قرار داده شده، سلول به پمپ فشار جانبی متصل می شد.

مشخصات ذکر شده در جدول (۱)، در هشت شکل مختلف و جمعا به تعداد ۱۲۰ نمونه آزمایش مقاومت فشاری تک محوره انجام شد. همچنین بر روی این سه نوع سنگ در نسبت قطر به طول ۰/۵ و جمعا بر روی ۱۲ نمونه آزمایش سه محوره در حالت چند مرحله ای<sup>۴</sup> انجام گرفت.



شکل ۵: تاثیر فشار جانبی بر زاویه شکست بر اساس شبیه سازی عددی [۴].

$a=20(\text{MPa}), b=40(\text{MPa}), c=60(\text{MPa}), d=80(\text{MPa})$

### آماده سازی نمونه ها

در آغاز برای اطمینان کامل از صحت نتایج آزمون ها بلوکهایی کاملا بکر، سالم و بدون درز و ترک برای انجام آزمایشها انتخاب شدند. بر این اساس سه بلوک کاملا سالم با ابعاد ۵۰×۵۰×۳۰ سانتیمتر از سه نوع سنگ با مشخصات مندرج در جدول ۱ آماده شد سپس توسط دستگاه مغزه گیری ساخت شرکت Wykeham Farrance انگلستان مجهز به سر مته الماسه به قطر داخلی ۵۴ میلیمتر بر طبق استاندارد ASTM D۴۵۴۳ از هر بلوک سنگی ۲۰ مغزه به قطر ۵۴ میلیمتر و طول ۲۰۰ میلیمتر تهیه گردید. سپس توسط دستگاه برش ساخت همان شرکت، مجهز به جت آب و دیسک الماسه سر وته نمونه ها در نسبت های مختلف قطر به طول مذکور، یعنی به ترتیب به طولهای ۱۶۲، ۱۰۸، ۵۴، ۲۷، ۱۸، ۱۴ و ۱۱ میلیمتر و به تعداد ۵ سری برای انجام آزمایش تک محوره و همچنین از هر نوع سنگ، چهار مغزه به طول ۱۰۸ میلیمتر برای انجام آزمایش سه محوره برش داده شد. سپس سر وته نمونه ها توسط پودر سیلیکون کاربید نمره ۴۰۰ و آب کاملا صاف و صیقلی گردید بطوری که حداکثر ناصافی سر وته نمونه از ۲۵ میکرون و زبری محیط آنها از ۰/۵ میلیمتر تجاوز

جدول ۱: مشخصات فیزیکی نمونه ها.

تعداد نمونه	تخلخل (%)	در صد جذب آب	وزن مخصوص اشباع (gr/cm <sup>3</sup> )	وزن مخصوص خشک (gr/cm <sup>3</sup> )	رنگ	نوع سنگ
۴۴	۰/۷	۰/۲	۲/۸۲۲	۲/۸۱۵	سفید	دولومیت (اصفهان)
۴۴	۳/۷	۱/۶	۲/۳۸۷	۲/۳۵۰	کرم- صورتی	سنگ آهک (بوکان)
۴۴	۴/۴	۱/۷	۲/۵۹۹	۲/۵۵۵	خاکستری روشن	ماسه سنگ (گدوک)

جدول ۲: میانگین مقاومت فشاری تک محوره (بر حسب MPa) در شکل‌های مختلف نمونه های دولومیت، سنگ آهک و ماسه سنگ.

نسبت D/L	۰/۳۳	۰/۵	۱	۱/۳۳	۲	۳	۴	۵	نوع سنگ
دولومیت	۸۳/۸	۱۰۴/۴	۱۳۱/۰	۱۵۹/۴	۲۰۹/۶	۲۶۶/۸	۳۰۳/۵	۳۴۰/۶	
سنگ آهک	۵۲/۴	۶۰/۷	۷۰/۴	۱۰۲/۶	۱۱۷/۹	۱۴۶/۳	۱۷۲/۵	۱۹۶/۵	
ماسه سنگ	۱۹۰/۵	۲۰۸/۰	۲۴۰/۲	۲۶۲/۰	۳۲۸/۳	۳۹۳/۱	۴۳۵/۸	۵۰۷/۵	

جدول ۳: میانگین مقاومت فشاری سه محوره نمونه های دولومیت، سنگ آهک و ماسه سنگ در فشارهای جانبی مختلف (MPa).

فشار جانبی (MPa)	۲	۵	۸	۱۱	۱۵	۲۵	۳۵	۴۵	۵۵	نوع سنگ
دولومیت	۱۳۱	۱۴۳/۲	۱۷۰/۳	۱۹۲/۱	۲۲۲/۷	۲۸۰/۳	۳۲۷/۵	۳۶۶/۴	۳۹۸/۳	
سنگ آهک	۸۶/۱	۱۰۲/۳	۱۱۷	۱۳۰/۱	۱۵۰/۲	۱۷۵/۵	۲۰۰/۲	۲۲۲/۸	۲۴۰/۰	
ماسه سنگ	۲۲۲/۷	۲۸۴/۸	۳۰۹/۵	۳۳۳/۳	۳۶۷/۱	۴۱۸	۴۵۲/۸	۴۸۰/۲	۵۰۵/۶	

$$\sigma_c = 1.14 \sigma_{c1} \sqrt{\frac{D}{L}} \quad (R^2 = 0.99) \quad (1)$$

$$\sigma_c = 1.21 \sigma_{c1} \sqrt{\frac{D}{L}} \quad (R^2 = 0.97) \quad (2)$$

$$\sigma_c = 0.96 \sigma_{c1} \sqrt{\frac{D}{L}} \quad (R^2 = 0.97) \quad (3)$$

با استفاده از سه رابطه فوق فرم عمومی روابط ۱ تا ۳ را می توان به صورت رابطه ۴ نوشت:

$$\sigma_c = K \sigma_{c1} \sqrt{\frac{D}{L}} \quad (4)$$

که در آن ،

$\sigma_c$ : مقاومت فشاری تک محوره نمونه،

$\sigma_{c1}$ : مقاومت فشاری نمونه با نسبت قطر به طول

واحد ( $\frac{D}{L}=1$ )

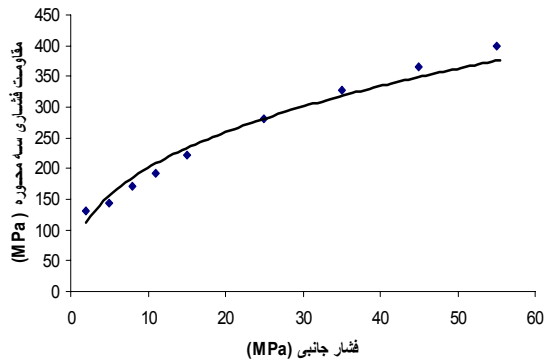
و K: مقدار ثابت تابع نوع سنگ می باشد.

پس از بار گذاری محوری تا رسیدن به بار جانبی مورد نظر بطور هیدرواستاتیک بار جانبی افزایش داده می شد. میانگین مقادیر مقاومت فشاری سه محوره بدست آمده برای هر سه نوع سنگ تحت فشارهای جانبی مختلف بر حسب مگاپاسکال در جدول (۳) آورده شده است.

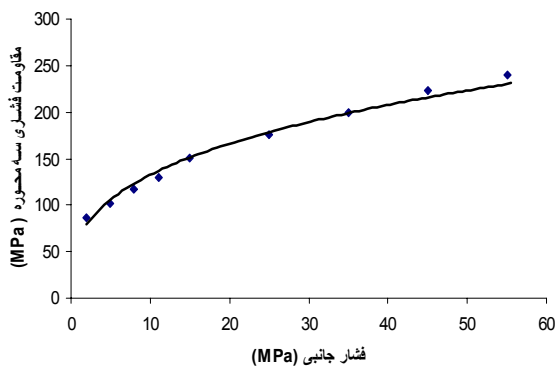
## تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش ها

### الف) تاثیر نسبت $\frac{D}{L}$ بر مقاومت فشاری تک محوره

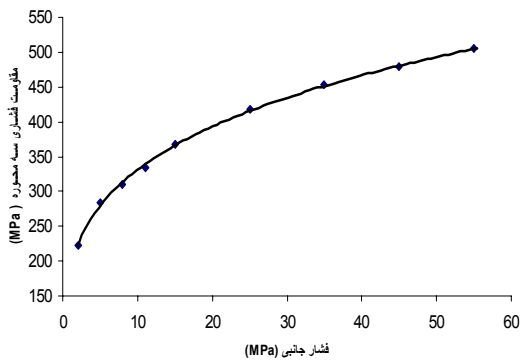
با توجه به مقادیر میانگین مقاومت فشاری تک محوره نمونه های سنگی دولومیت، سنگ آهک و ماسه سنگ مقاومت فشاری آنها افزایش می یابد. شکل های (۶)، (۷) و (۸) تغییرات مقاومت فشاری تک محوره را با تغییر نسبت قطر به ارتفاع به ترتیب برای دولومیت، سنگ آهک و ماسه سنگ به تصویر کشیده است. همچنین روابط ۱ و ۲ و ۳ معادلات نمودار های فوق را به ترتیب برای دولومیت، سنگ آهک و ماسه سنگ ارایه می نماید.



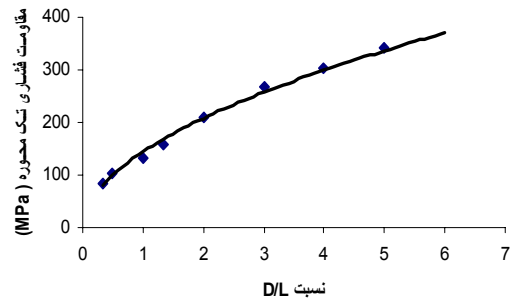
شکل ۹: رابطه مقاومت فشاری سه محوره با فشار جانبی در سنگ دولومیت اصفهان.



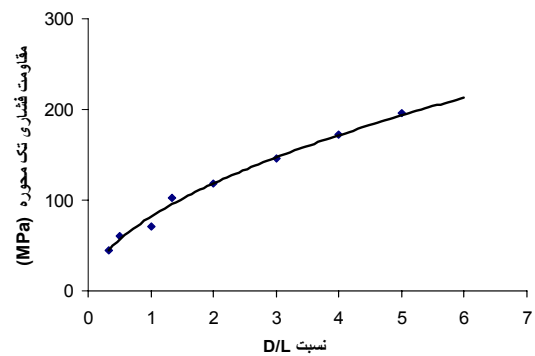
شکل ۱۰: رابطه مقاومت فشاری سه محوره با فشار جانبی در سنگ آهک بوکان.



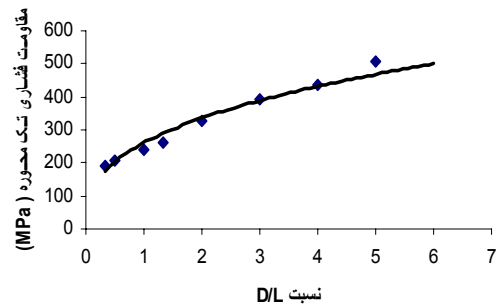
شکل ۱۱: رابطه مقاومت فشاری سه محوره با فشار جانبی در ماسه سنگ گدوک.



شکل ۶: رابطه مقاومت فشاری تک محوره با شکل در سنگ دولومیت اصفهان.



شکل ۷: رابطه مقاومت فشاری تک محوره با شکل در سنگ آهک بوکان.



شکل ۸: رابطه مقاومت فشاری تک محوره با شکل در ماسه سنگ گدوک.

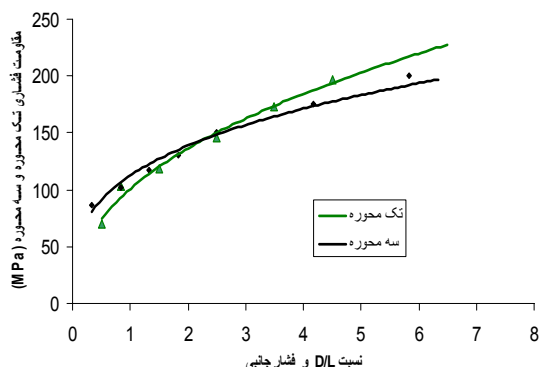
### ب) تاثیر $\sigma_3$ بر مقاومت فشاری سه محوره

با توجه به مقادیر میانگین مقاومت فشاری سه محوره نمونه های سنگی دولومیت اصفهان، سنگ آهک بوکان و ماسه سنگ گدوک در فشارهای جانبی مختلف (جدول ۳) مشاهده می شود که با افزایش فشار جانبی، مقاومت فشاری آنها افزایش می یابد. شکل های (۹)، (۱۰) و (۱۱) تغییرات مقاومت فشاری سه محوره را با تغییرات فشار جانبی سنگهای مذکور به تصویر کشیده است.

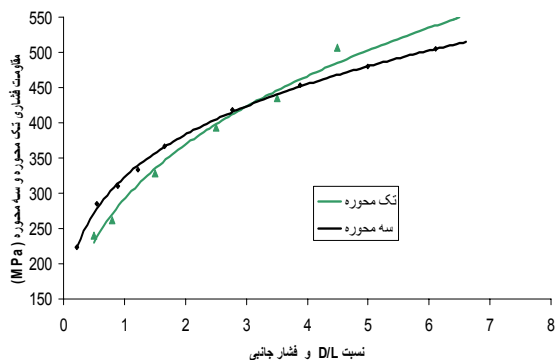
### مقایسه تاثیر $\frac{D}{L}$ بر مقاومت فشاری تک محوره با تاثیر $\sigma_3$ بر مقاومت فشاری سه محوره

چنانکه گفته شد مقاومت فشاری تک محوره سنگ با افزایش نسبت  $\frac{D}{L}$  یا  $\frac{W}{H}$  افزایش می یابد. این افزایش در نتیجه اصطکاک دو انتهای نمونه با صفحات بار گذاری و

شکل های (۱۳)، (۱۴) و (۱۵) آمده است، روابط ۵ و ۶ برای دولومیت، ۷ و ۸ برای سنگ آهک و ۹ و ۱۰ برای ماسه سنگ حاصل گردید.



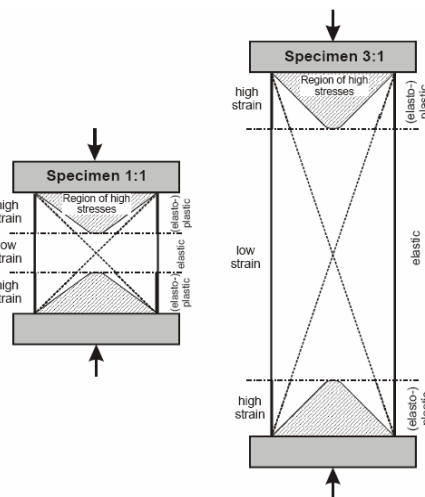
شکل ۱۴: برهم نهی نمودارهای حاصل از آزمون های تک محوره و سه محوره برای سنگ آهک بوکان.



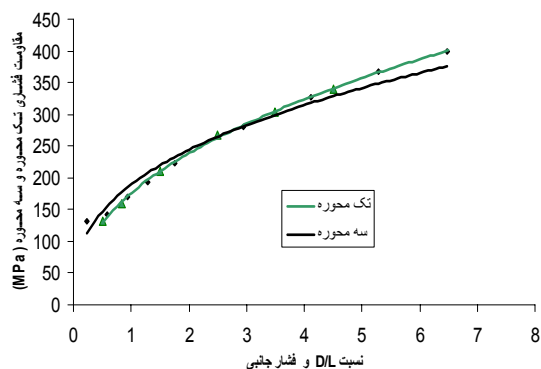
شکل ۱۵: برهم نهی نمودارهای حاصل از آزمون های تک محوره و سه محوره برای ماسه سنگ گدوک.

اختلاف بین خواص الاستیک سنگ و صفحات بار گذاری بوجود آمده است.

تاثیر سطوح انتهایی نمونه تابعی از نسبت  $\frac{D}{L}$  می باشد به طوری که وقتی این نسبت افزایش می یابد سهم بیشتری از حجم نمونه تحت تاثیر اصطکاک سطوح انتهایی نمونه قرار می گیرد و وقتی از یک مقدار مشخص (پنج برابر) بیشتر شود تمام حجم نمونه تحت فشار ناشی از این اصطکاک واقع خواهد شد. شکل (۱۲) تاثیر سطوح انتهایی<sup>۴</sup> در دو شکل متفاوت از نمونه را نشان می دهد. مقایسه روند تاثیر نسبت  $\frac{D}{L}$  در شکل های (۶) تا (۸) با تاثیر  $\sigma_3$  در شکل های (۹) تا (۱۱) بر مقاومت های سنگ یک شباهت ظاهری بین این دو عامل را به خوبی نمایان می سازد



شکل ۱۲: تاثیر سطوح انتهایی در شکلهای مختلف نمونه [۸].



شکل ۱۳: برهم نهی نمودارهای حاصل از آزمون های تک محوره و سه محوره برای سنگ دولومیت اصفهان.

برای بررسی این واقعیت با برهم نهی نمودارهای حاصل از آزمایشهای تک محوره و سه محوره مطابق آنچه در

دولومیت؛

$$\sigma_c = 104.4 + 70.93 \left(\frac{D}{L} - 0.5\right)^{0.82} \quad (R^2 = 0.99) \quad (5)$$

$$\sigma_1 = 104.4 + 15.1 \sigma_3^{0.75} \quad (R^2 = 0.99) \quad (6)$$

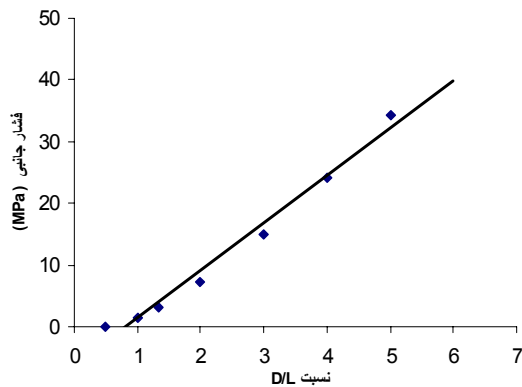
سنگ آهک؛

$$\sigma_c = 60.7 + 39.66 \left(\frac{D}{L} - 0.5\right)^{0.83} \quad (R^2 = 0.99) \quad (7)$$

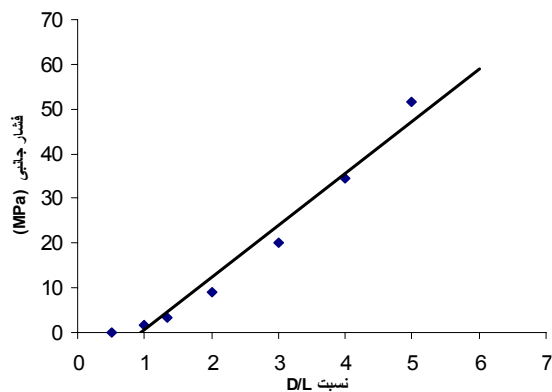
$$\sigma_1 = 60.7 + 19.1 \sigma_3^{0.59} \quad (R^2 = 0.99) \quad (8)$$

ماسه سنگ؛

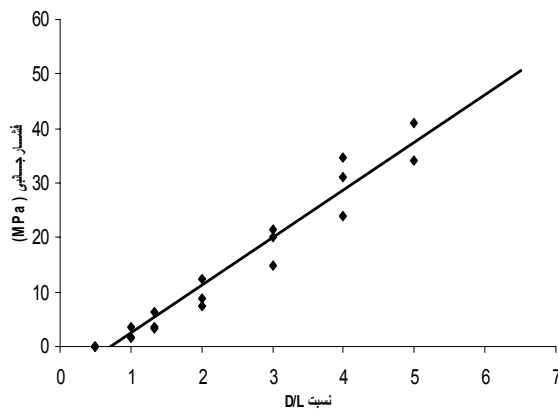
$$\sigma_c = 208 + 75.729 \left(\frac{D}{L} - 0.5\right)^{0.91} \quad (R^2 = 0.99) \quad (9)$$



شکل ۱۷: رابطه بین نسبت  $\frac{D}{L}$  و  $\sigma_3$  در سنگ آهک بوکان.



شکل ۱۸: رابطه بین نسبت  $\frac{D}{L}$  و  $\sigma_3$  در ماسه سنگ گدوک.



شکل ۱۹: رابطه بین نسبت  $\frac{D}{L}$  و  $\sigma_3$  در سه نوع سنگ مذکور.

### نتیجه گیری

۱- تاثیر شکل و فشار جانبی بر مقاومت فشاری تک محوره و سه محوره یک نمونه سنگ از نظر مقاومت و رفتار شکست شباهت زیادی دارد بطوری که با افزایش نسبت  $\frac{D}{L}$  و فشار جانبی نمونه، مقاومت فشاری آن افزایش می یابد. همچنین رفتار شکست سنگ از حالت شکننده

$$\sigma_1 = 208 + 31.145 \sigma_3^{0.57} \quad (R^2 = 0.98) \quad (10)$$

بامساوی قرار دادن مقادیر  $\sigma_1$  و  $\sigma_C$  در هر جفت از معادلات فوق یک رابطه خطی بین نسبت  $\frac{D}{L}$  و  $\sigma_3$  برای هر نوع سنگ بدست آمد که در شکل‌های (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) و روابط ۱۱، ۱۲ و ۱۳ ارایه شده است.

دولومیت؛

$$\sigma_3 = 9.196 \frac{D}{L} - 5.478 \quad (R^2 = 0.99) \quad (11)$$

سنگ آهک؛

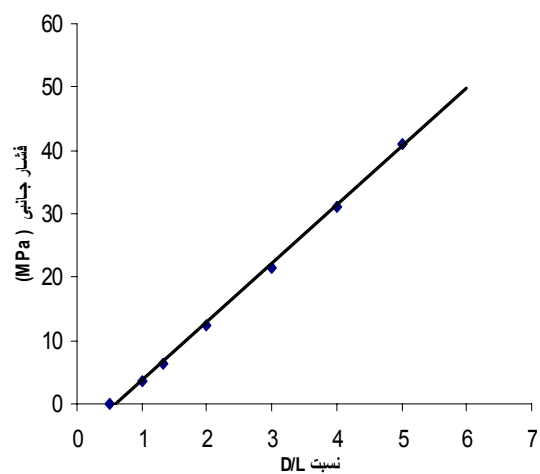
$$\sigma_3 = 7.707 \frac{D}{L} - 6.345 \quad (R^2 = 0.98) \quad (12)$$

ماسه سنگ؛

$$\sigma_3 = 11.603 \frac{D}{L} - 10.675 \quad (R^2 = 0.98) \quad (13)$$

در انتها بر اساس تمام داده های فشار جانبی و نسبت های مختلف قطر به طول در سه نوع سنگ مذکور رابطه (۱۴) ارایه و نمودار آن در شکل (۱۹) نشان داده شده است.

$$\sigma_3 = 8.752 \frac{D}{L} - 6.380 \quad (R^2 = 0.95) \quad (14)$$



شکل ۱۶: رابطه بین نسبت  $\frac{D}{L}$  و  $\sigma_3$  در دولومیت اصفهان.

نسبت  $\frac{D}{L}$  و فشار جانبی تاثیر نسبتاً مشابهی بر مقاومت سنگ دارند و از یک رابطه خطی تبعیت می کنند که این رابطه بطور متوسط برای سه نوع سنگ مورد آزمایش برابر  $\sigma_3 = 8/75 \frac{D}{L} - 6/38$  با ضریب همبستگی ۰/۹۵ بدست آمده است.

۵- جایگزینی آزمایش مقاومت فشاری تک محوره در شکلهای متفاوت نمونه با آزمایش مقاومت فشاری سه محوره تحت فشارهای جانبی مختلف، که از این مطالعات منتج شده است می تواند از نظر دسترسی به امکانات آزمایشگاهی، هزینه آزمایش و نیروی انسانی بسیار مقرون به صرفه باشد. همچنین می توان از نتایج حاصل برای پیش بینی رفتار شکست سنگ جهت طراحی معادن و فضاهای زیر زمینی استفاده کرد.

۶- با توجه به این که بررسی حاضر بر روی تعداد معدودی از انواع سنگها به عنوان یک مطالعه مقدماتی صورت گرفته است تعمیم نتایج آن به انواع سنگ ها نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.

به خمیری تبدیل می شود و زاویه شکست نمونه با خط افق کم می شود. جالب توجه است که مطالعات و شبیه سازی های عددی نیز تستهای آزمایشگاهی را تصدیق می کنند.

۲- با بررسی نتایج تستهای مقاومت فشاری تک محوره در مورد نمونه های همجنس در شکل های متفاوت ( $\frac{D}{L} = 0/33, 0/5, 1, 1/33, 2, 3, 4, 5$ ) مشخص شد که مقاومت فشاری تک محوره با مجذور نسبت قطر به طول، نسبت مستقیم دارد. در این مقاله با آزمایش بر روی سه نمونه سنگ یک رابطه کلی به صورت  $\sigma_c = K\sigma_c \sqrt{\frac{D}{L}}$  ارائه گردید.

۳- مقدار K در معادله (مقاومت - شکل) بسته به جنس سنگ می تواند مقادیر متفاوتی داشته باشد. در این تحقیق مقدار آن برای دولومیت اصفهان، سنگ آهک بوکان و ماسه سنگ گدوک به ترتیب ۱/۱۴، ۱/۲۱ و ۰/۹۶ بدست آمد.

۴- نتایج حاصل از مقایسه شکل و فشار جانبی در مقاومت فشاری تک محوره و سه محوره بیانگر این امر است که

## مراجع

- 1 - Vutukuri, V. S. and Hossaini, S. M. F. (1993). "Correlation between the effect of confining pressure on compressive strength in triaxial tests and the effect of D/H ratio on compressive strength in unconfined compressive tests." *12 th Int. Conf. on Ground Control in Mining.*, USA, PP. 315-321.
- 2 - Tang, C. A., Tham, L. G., Lee, P. K. K., Tsui, Y. and Liu, H. (2000). "Numerical studies of the influence of microstructure on rock failure in uniaxial compression - part II : constraint , slenderness and s." *Int. J. of Rock Mechanics and Mining Science Size Effect*, Vol. 37, PP. 571-583.
- 3 - Liu, H. Y., Kou, S. Q., Livdqvist P. A. and Tang, C. A. (2004). "Numerical studies on the failure process and associated microseismicity in rock under triaxial compression." *Technophysics J.*, Vol. 384, PP. 49-74.
- 4 - Fang, Z. and Harrison, J. P. (2002). "Application of a local degradation model to the analysis of brittle fracture of laboratory scale rock specimens under triaxial conditions." *Int. J. of Rock mechanics and Mining Sciences*, Vol. 39, PP. 459- 476.
- 5 - ASTM D 2938, (2003). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens*.
- 6 - ASTM D 4543, (2003). *Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances*.
- 7 - ASTM D 2664, (2003). *Standard Test Method for Triaxial Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens*.
- 8 - Thuro, K., Plinninger, R. J. and Schtuz, S. ( 2001). "Scale effect in rock strength properties (part 1 Unconfiend compressive test and Brizilian test)." *ISRM symposium Eurock 2001 ,Rock Mechanics a Challenger for Society, Helsinki*, PP. 169-174.

## واژه های کلیدی به ترتیب استفاده در متن

1 - Shape effect

2 - Multi stage

3 - Oven

4 - End effect