چگونگي تاثير ابعاد نمونه بر ويژگي هاي الاستيک ديناميک سنگ

محمدفاروق حسيني*[۱]، سروش فولادچي[۲] و مجتبي گنجي[۳]

[۱]استاديار دانشكده مهندسي معدن - پرديس دانشكده هاي فني - دانشگاه تهران

[۲]دانش آموخته كارشناسي ارشد مهندسي معدن - پرديس دانشكده هاي فني - دانشگاه تهران

[۳]دانش آموخته كارشناسي ارشد مهندسي معدن - پرديس دانشكده هاي فني - دانشگاه تهران

(تاريخ دريافت ۸۵/۴/۳ , تاريخ دريافت روايت اصلاح شده ۸۵/۹/۲۶ , تاريخ تصويب ۸۵/۱۰/۳۰)

چكيده

يكي از روش هاي نوين جهت تعيين ويژگي هاي الاستيک سنگ استفاده از انتشار امواج در متن آن است. اين روش از جمله آزمايش هاي غير مخرب و ارزان مكانيک سنگ مي باشد لكن به دليل جديد بودن آن هنوز در مقياسي همچون روش هاي مرسوم، پرهزينه و مخرب استاتيک (بارگذاري و شكست نمونه) مورد استفاده قرار نگرفته اند. به منظور فراهم آوردن شرايطي جهت جايگزيني اين آزمايش و استفاده هرچه بهتر از آن مي بايست از تاثير پارامترهاي مختلف برنتايج آن آگاهي حاصل نمود. يكي از اين عوامل مهم ابعاد و شكل نمونه مورد آزمايش است. مطالعه استانداردهاي معتبر و مورد استفاده در مكانيک سنگ نشان مي دهد در مورد آزمايش گذر امواج به تاثير ابعاد و شكل نمونه آنچنان كه بايد و شايد پرداخته نشده است. در نوشتاري ديگر اين موضوع روشن گرديد كه بر خلاف آنچه رايج شده است ويژگي هاي الاستيک ديناميک سنگ آهک با تغيير شكل (نسبت طول به قطر) نمونه به ميزان چشمگيري تغيير مي كند. با قطعيت يافتن اين واقعيت در مورد سنگ آهک بررسي اين مطلب براي سنگ هاي ديگر نيز ضرورت يافت تا صحت و سقم آن در سطح گسترده تري ارزيابي شود. در اين مقاله تاثير شكل نمونه بر ثابت هاي الاستيک ديناميک سنگ هاي مختلف مورد بررسي قرار گرفته است تا قضاوت واقع بينانه تري در اين مورد مقدور گردد. با هدف فوق الذكر آزمايش گذر امواج فراصوتي جهت تعيين ويژگي هاي الاستيک ديناميكي بر روي چهار نوع سنگ مختلف در نسبت طول به قطرهاي ۰/۵ تا ۳ انجام شد. نتايج نشان مي دهد سرعت موج برشي (عرضي) و ثابت هاي الاستيک ديناميكي به شدت تابع نسبت طول به قطر نمونه (L/D) هستند به نحوي كه تغيير نسبت طول به قطر از ۰/۵ تا ۳ سبب تغييراتي تا ميزان ۷۰ درصد در سرعت موج برشي و ضريب پوآسون، ۱۶۰ درصد در مدول الاستيسيته و ۲۰۰ درصد در مدول برشي شده است. علي رغم تاثيرات شديد بدست آمده در موارد ذكر شده، سرعت موج طولي از اين قاعده مستثني است و هيچ رابطه معين و دقيقي با ميزان نسبت طول به قطر ندارد.

واژه هاي كليدي : تاثير شكل - مدول الاستيسيته ديناميک - مدول برشي ديناميک - ضريب پوآسون ديناميک - سرعت موج طولي - سرعت موج عرضي – اولتراسونيک - سنگ آهک – گرانوديوريت - سيلت استون - توف سبز

مقدمه

از مهمترين ويژگي هاي سنگ ها در طراحي پروژه هاي سنگي، ويژگي هاي الاستيک آن است بطوري كه عمده قوانين موجود در مورد ميزان باربري سازه هاي سنگي، تغيير شكل آنها و نوع تمهيدات نگهداري مناسب براي آنها به كمک اين ويژگي ها تعيين مي شود [۲]. ويژگي هاي الاستيک سنگ تا به امروز عمدتا توسط آزمايش هاي فشاري تک محوره بدست مي آمده اند. در اين روش ها كه قديمي ترين و مرسوم ترين روش سنجش اين ويژگي ها مي باشند نمونه سنگ مورد نظر تحت بارگذاري قرار گرفته و كرنش هاي حاصل از اين بارگذاري در جهات موازي و عمود بر محور بارگذاري با وسايل مختلفي از قبيل سنجنده هاي مكانيكي، كرنش سنج[۱] و يا سنسور هاي LVDT[۲] محاسبه مي شود و ويژگي هاي الاستيک سنگ مورد نظر شامل مدول هاي الاستيسيته و برشي و ضريب پوآسون با توجه به تعاريف آنها محاسبه مي شوند. در اين روش ها همانند عمده آزمايشهاي متعارف و قديمي مكانيک سنگ نمونه بعد از انجام يک آزمايش شكسته شده و از بين مي رود. از آنجايي كه اين آزمايش ها از يک سو پرهزينه هستند و از طرفي در زمره آزمايش هاي مخرب قرار مي گيرند، امروزه ميل به استفاده از آزمايش هاي غير مخرب و نسبتاً ارزان قيمت جهت تعيين اين ويژگي ها و در راس آنها گذر امواج فراصوتي افزايش يافته است. ويژگي هاي الاستيک در روش گذر امواج به كمک اندازه گيري سرعت گذر امواج در نمونه و استفاده از برخي خواص فيزيكي همچون وزن مخصوص محاسبه مي شوند.

در اكثر قريب به اتفاق موارد استفاده از آزمايش ها و نتايج آنها در پروژه هاي مختلف، روند كار، مشخصات نمونه مورد

* نويسنده مسئول : تلفن : ۰۲۱-۶۱۱۱۴۲۴۷ ، فاكس : ۰۲۱-۸۸۰۰۸۸۳۸ ، Email: mfarogh@ut.ac.ir

آزمایش و نوع تجهیزات مورد استفاده همگي منطبق بر استانداردهاي موجود مي باشند. در مورد آزمایش هاي مکانیک سنگ معتبر ترین و کار آمد ترین این استانداردها، استاندارد ASTM [۳] و روش هاي پیشنهادي انجمن بین المللي مکانیک سنگ (ISRM) مي باشند[۴].
شرایط ذکر شده در این استانداردها در مورد آزمایش گذر امواج چنان القاء مي کند که تغییر ابعاد نمونه حداقل تا نسبت طول به قطر ۵ تاثیر چنداني در نتایج آزمایش ندارد در حالیکه آزمایش هاي انجام شده در این پژوهش نشان مي دهد که تغییر نسبت L/D سبب تغییرات چشمگیري در ویژگي هاي الاستیک دینامیک سنگ ها مي شود.
با توجه به دلایل فوق الذکر و عدم وجود منبعي مناسب جهت یکسان سازي شرایط نمونه هاي مورد آزمایش، در این پژوهش سعي شده است تا تاثیر عامل نسبت طول به قطر (L/D) بر نتایج آزمایش سرعت گذر امواج فراصوتي در چهار دسته سنگ شامل سنگ آهک، گرانودیوریت، سیلت استون و توف سبز مورد بررسي قرار گیرد.

آماده سازي نمونه ها

نمونه هاي مورد آزمایش در این تحقیق نمونه هاي مغزه گیري شده استوانه اي با قطر ۵۴ میلي متر و طول هاي مختلف (نسبت L/D هاي مختلف) بودند. نمونه ها از ۴ نوع سنگ شامل ۱- سنگ آهک متراکم نکا به رنگ کرم ۲- سنگ توف کرج به رنگ سبز ۳- سنگ گرانودیوریت نوشا و ۴- سنگ سیلت استون علم کوه به رنگ خاکستري، تهیه گردیدند. انتخاب نمونه ها به نحوي بود که علاوه بر همگن بودن نسبي تمام آنها به منظور بالا بردن تنوع نمونه هاي مورد آزمایش، از هر سه نوع سنگ هاي رسوبي، آذرین و دگرگوني در نمونه ها موجود باشد[۵]. مشخصات فیزیکي چهار نوع سنگ مذکور در جدول (۱) نشان داده شده است.
به منظور دسترسي به داده هاي معتبر و دقیق، از هر نوع سنگ ۵ سري نمونه با نسبت طول به قطر هاي مختلف شامل ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ تهیه شد.
از آنجایي که هدف نهایي این تحقیق بررسي ارتباط نسبت L/D با ویژگي هاي الاستیک سنگ بود از این رو جهت از بین بردن تاثیر دیگر پارامترهاي موثر همچون درصد رطوبت نمونه مورد آزمایش، تمام نمونه ها در خشک کن (Oven) ۶۶ درجه سانتي گراد به مدت ۷۲ ساعت کاملا خشک و آماده آزمایش شدند[۳].
توضیح کامل در مورد چگونگي آماده سازي نمونه ها و دستگاه هاي مورد استفاده جهت آماده کردن نمونه ها به تفصیل در نوشتار دیگري آورده شده است[۱،۶]. شکل (۱) تصویر یک سري از نمونه هاي سنگ گرانودیوریت تهیه شده در نسبت هاي L/D مختلف بعد از مراحل آماده سازي را نشان مي دهد.

آزمایش گذر امواج فراصوتي

محاسبه و تعیین ویژگي هاي الاستیک دینامیکي به کمک تعیین سرعت گذر امواج صورت مي گیرد. در واقع امواج به کمک دو مبدل موج الکتریکي به مکانیکي و بالعکس که یکي فرستنده و دیگري گیرنده است از نمونه مورد نظر عبور داده شده و با اندازه گیري طول نمونه (مسیر عبور موج) و زمان گذر موج سرعت آن تعیین مي شود. با استفاده از سرعت امواج طولي و عرضي و آگاهي از وزن مخصوص سنگ مورد آزمایش، به کمک روابط زیر مي توان ویژگي هاي الاستیک دینامیکي سنگ را بدست آورد[۷]:

$$E_d = \rho V_s^2 \frac{(3Vp^2 - 4Vs^2)}{(Vp^2 - Vs^2)} \quad (۱)$$

$$G_d = \rho V_s^2 \quad (۲)$$

$$\upsilon_d = \frac{(Vp^2 - 2Vs^2)}{2(Vp^2 - Vs^2)} \quad (۳)$$

در این روابط E_d، G_d و υ_d به ترتیب نمایانگر مدول الاستیسیته، مدول برشي و ضریب پوآسون بوده و V_p، V_s و ρ نیز به ترتیب مقادیر سرعت موج طولي، سرعت موج عرضي و وزن مخصوص نمونه را نشان مي دهند. لازم به ذکر است این روابط به کمک قانون دوم نیوتن بر اساس حرکات ذرات سنگ در محدوده الاستیک بدست آمده و مراحل رسیدن به آنها در منابع مورد استفاده موجود است[۸].
در این تحقیق آزمایش گذر امواج فراصوتي به کمک دستگاه Sonic-Viewer-SX ساخت شرکت OYO ژاپن صورت گرفت.

روش انجام این آزمایش ها بدین صورت است که ابتدا به کمک ورارسان هاي[۳] موجود سرعت موج طولي منتشره محاسبه و سپس با تعویض ورارسان ها سرعت موج برشي نیز اندازه گیري مي شود. بعد از اندازه گیري سرعت هر دو موج مقدار وزن مخصوص نمونه مورد آزمایش بعنوان یکي از داده هاي اولیه به دستگاه داده مي شود که نرم افزار دستگاه با استفاده از این اطلاعات ویژگي هاي الاستیک دینامیک را مطابق روابط ۱ تا ۳ محاسبه مي نماید. براي هر کدام از سنگ ها، آزمایش بر روي هر ۵ سري نمونه انجام و میانگین نتایج حاصل براي آنها بعنوان نتیجه نهایي سنگ مورد نظر انتخاب شد. داده هاي ارایه شده در جدول (۲) میانگین نتایج حاصل از این ۵ سري را نشان مي دهد.

نتایج آزمایش ها

سرعت موج برشي یا عرضي (V_s)

نتایج آزمایش هاي انجام شده بر روي ۴ نمونه سنگ مذکور نشان مي دهد که سرعت امواج برشي در ارتباط مستقیم با نسبت L/D است به نحوي که در تمامي نمونه ها با افزایش نسبت L/D، سرعت موج برشي نیز افزایش مي یابد. شکل (۲) ارتباط نسبت L/D و سرعت موج برشي (m/s) را براي ۴ نوع سنگ نشان مي دهد. مقدار ضرایب همبستگي بدست آمده براي هر یک از نمودارها در مقابل رابطه مربوط به آن ذیلاً مشخص شده است. مقادیر بالاي R در تمامي این نمودارها حکایت از ارتباط نزدیک و خوب این دو پارامتر با یکدیگر دارد. رابطه بین سرعت امواج برشي و نسبت L/D براي سنگ آهک، گرانودیوریت، توف سبز و سیلت استون خطي و به ترتیب به صورت روابط ۴ تا ۷ مي باشد.

$$V_s = ۲۴۱/۷۱(\frac{L}{D}) + ۲۲۸۷ \quad (R= ۰/۹۹۵) \quad (۴)$$

$$V_s = ۲۰۵/۷۱(\frac{L}{D}) + ۲۲۵۸/۷ \quad (R= ۰/۹۷۵) \quad (۵)$$

$$V_s = ۱۱۲/۴(\frac{L}{D}) + ۱۵۶۲/۱ \quad (R= ۰/۹۶۴) \quad (۶)$$

$$V_s = ۵۰۱/۱۴(\frac{L}{D}) + ۱۶۹۹/۷ \quad (R= ۰/۹۸۰) \quad (۷)$$

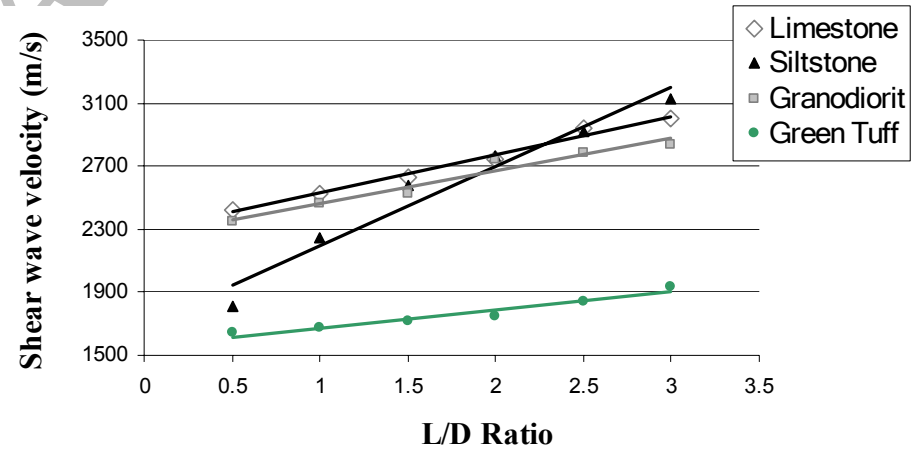
جدول ۱: مشخصات فیزیکي و محل نمونه برداري چهار دسته سنگ مورد آزمایش.

نوع سنگ	محل نمونه برداري	وزن مخصوص خشک (gr/cm^2)	وزن مخصوص اشباع (gr/cm^2)	درصد جذب آب	درصد تخلخل
سنگ آهک	نکاء	۲/۸۱۳	۲/۸۱۷	۰/۱	۰/٤
گرانودیوریت	نوشا	۲/۷۵۷	۲/۷۵۸	۰	۰/٤
سیلت استون	علم کوه	۲/۵۸٦	۲/٦۲۳	۱/٤	۳/٦
توف سبز	کرج	۲/۰۷۲	۲/۲۱۵	٦/۹	۱٤/۳

شکل ۱: تصویر یک سري از نمونه هاي گرانودیوریت تهیه شده در نسبت هاي L/D مختلف بعد از مراحل آماده سازي.

جدول ۲: ویژگي هاي الاستیک دینامیک بدست آمده از میانگین نتایج آزمایش گذر امواج فراصوتي.

نسبت طول به قطر	سیلت استون					سنگ آهک				
	سرعت موج فشاري (m/s)	سرعت موج برشي (m/s)	مدول الاستیسیته دینامیک (GPa)	مدول برشي دینامیک (GPa)	ضریب پواسون دینامیک	سرعت موج فشاري (m/s)	سرعت موج برشي (m/s)	مدول الاستیسیته دینامیک (GPa)	مدول برشي دینامیک (GPa)	ضریب پواسون دینامیک
۰/۵	۵۳۱۰	۱۸۱۵	۲۶/۹۹	۹/۴۱	۰/۴۳	۵۶۸۵	۲۴۲۰	۴۵/۷۸	۱۶/۴۷	۰/۳۹
۱	۵۳۷۱	۲۲۵۰	۴۰/۳۱	۱۴/۴۶	۰/۳۹	۵۷۴۷	۲۵۳۱	۴۹/۷۲	۱۸/۰۲	۰/۳۸
۱/۵	۵۵۳۰	۲۵۸۰	۵۱/۷۶	۱۹/۰۲	۰/۳۶	۵۶۳۰	۲۶۲۷	۵۲/۸۴	۱۹/۴۱	۰/۳۶
۲	۵۵۸۴	۲۷۶۵	۵۸/۴۳	۲۱/۸۴	۰/۳۴	۵۵۱۰	۲۷۴۶	۵۶/۶۳	۲۱/۲۱	۰/۳۳
۲/۵	۵۶۱۰	۲۹۲۰	۶۴/۰۳	۲۴/۳۶	۰/۳۱	۵۶۷۲	۲۹۳۸	۶۳/۹۴	۲۴/۲۸	۰/۳۲
۳	۵۵۱۷	۳۱۳۰	۷۰/۶۸	۲۷/۹۹	۰/۲۶	۵۶۸۵	۲۹۹۸	۶۶/۱۱	۲۵/۲۸	۰/۳۱
نسبت طول به قطر	گرانودیورت					توف سبز				
	سرعت موج فشاري (m/s)	سرعت موج برشي (m/s)	مدول الاستیسیته دینامیک (GPa)	مدول برشي دینامیک (GPa)	ضریب پواسون دینامیک	سرعت موج فشاري (m/s)	سرعت موج برشي (m/s)	مدول الاستیسیته دینامیک (GPa)	مدول برشي دینامیک (GPa)	ضریب پواسون دینامیک
۰/۵	۴۹۱۱	۲۳۵۰	۴۳/۷۲	۱۶/۱۸	۰/۳۵	۵۸۳۳	۱۶۴۷	۱۷/۲۷	۵/۹۳	۰/۴۶
۱	۴۸۱۸	۲۴۶۵	۴۲/۰۸	۱۷/۸	۰/۳۲	۴۱۸۴	۱۶۷۳	۱۷/۱۸	۶/۱۲	۰/۴
۱/۵	۴۸۱۰	۲۵۳۰	۴۷/۰۷	۱۸/۷۵	۰/۳۱	۴۰۳۰	۱۷۱۴	۱۷/۸۴	۶/۴۲	۰/۳۹
۲	۵۰۸۳	۲۷۴۵	۵۷/۱۲	۲۷/۰۲	۰/۲۹	۳۶۹۴	۱۷۴۵	۱۸/۰۵	۶/۶۵	۰/۳۶
۲/۵	۵۰۸۶	۲۷۹۰	۵۸/۵۸	۲۲/۸	۰/۲۸	۳۳۵۰	۱۸۴۰	۱۹	۷/۴	۰/۲۸
۳	۵۰۰۰	۲۸۳۲	۵۹/۳۸	۲۳/۴۹	۰/۲۶	۳۴۰۹	۱۹۳۴	۲۰/۶۴	۸/۱۷	۰/۲۶



شکل ۲: ارتباط نسبت طول به قطر و سرعت موج برشي (m/s).

مدول الاستیسیته دینامیک (E_d)

نتایج گذر امواج فراصوتي از ۴ دسته نمونه سنگ موجود با نسبت L/D هاي مختلف نشان مي دهد که در تمامي این سنگ ها با افزایش نسبت طول به قطر مقدار مدول الاستیسیته دینامیک افزایش مي یابد. شکل (۳) نشان دهنده چگونگي افزایش مدول الاستیسیته دینامیک با افزایش نسبت طول به قطر در چهار دسته سنگ است. ارتباط بین نسبت L/D و مقادیر مدول لاستیسیته از نوع خطي بوده و ضرایب همبستگي هر کدام از نمودارها در مقابل آنها مشخص است. ارتباط مدول الاستیسیته (GPa) دینامیک و نسبت طول به قطر براي سنگ آهک، گرانودیوریت، توف سبز و سیلت استون به ترتیب به صورت روابط ۸ تا ۱۱ مي باشند

$$E_d = ۸/۴۶(\frac{L}{D}) + ۴۱/۰۳ \quad (R= ۰/۹۹۰) \quad (۸)$$

$$E_d = ۶/۹۱(\frac{L}{D}) + ۴۰/۴۱ \quad (R= ۰/۹۶۰) \quad (۹)$$

$$E_d = ۱/۲۹(\frac{L}{D}) + ۱۶/۰۸ \quad (R= ۰/۹۲۰) \quad (۱۰)$$

$$E_d = ۱۶/۹۳(\frac{L}{D}) + ۲۲/۴۱ \quad (R= ۰/۹۸۵) \quad (۱۱)$$

مدول برشي دینامیک (G_d)

نتایج آزمایش ها نشان مي دهد که همانند مدول الاستیسیته با افزایش نسبت L/D در تمام نمونه ها شاهد افزایش مدول برشي نیز مي باشیم. شکل (۴) نمایانگر ارتباط مدول هاي برشي دینامیک و نسبت L/D در چهار سنگ مورد آزمایش است. ارتباط بین نسبت L/D و مقادیر مدول برشي (GPa) از نوع خطي بوده و ضرایب همبستگي هر کدام از نمودارها در روبروي آنها مشخص است. روابط توصیف کننده نمودارهاي شکل (۴) براي سنگ آهک، گرانودیوریت، توف سبز و سیلت استون به ترتیب به صورت روابط ۱۲ الي ۱۵ است.

$$G_d = ۳/۶۹(\frac{L}{D}) + ۱۴/۳۲ \quad (R= ۰/۹۹۰) \quad (۱۲)$$

$$G_d = ۳/۱۴(\frac{L}{D}) + ۱۴/۷ \quad (R= ۰/۹۷۵) \quad (۱۳)$$

$$G_d = ۰/۸۷(\frac{L}{D}) + ۵/۲۵ \quad (R= ۰/۹۶۰) \quad (۱۴)$$

$$G_d = ۷/۱۷(\frac{L}{D}) + ۶/۹۷ \quad (R= ۰/۹۹۰) \quad (۱۵)$$

ضریب پوآسون دینامیکي (υ_d)

نتایج آزمایش ها دال بر آن است که با افزایش نسبت L/D مقادیر بدست آمده براي ضریب پوآسون کاهش یافته اند. این کاهش در هر ۴ نوع سنگ داراي روند قانونمندي است که در نمودارهاي شکل (۵) نشان داده شده است. تمامي این نمودارها از نوع خطي بوده و ضرایب همبستگي هر یک در مقابل آنها مشخص شده است. نکته حائز اهمیت این است که حتي با فزوني گرفتن مقدار L/D از مقادیر ۲/۵ و ۳ نیز ضریب پوآسون دینامیکي به سمت مقدار ثابتي میل نکرده و روند نزولي خود را ادامه مي دهد. این در حالي است که دامنه تغییرات ضریب پوآسون در سنگ ها اصولاً بسیار کوچک بوده و به نظر مي رسد که حداکثر این تغییرات با تغییر نسبت L/D حاصل مي شود. رابطه ضریب پوآسون دینامکي و نسبت طول به قطر براي سنگ آهک، گرانودیوریت، توف سبز و سیلت استون به ترتیب مطابق روابط ۱۶ الي ۱۹ است.

$$\upsilon_d = -۰/۰۳۴۹(\frac{L}{D}) + ۴۰۹۳ \quad (R= ۰/۹۹۰) \quad (۱۶)$$

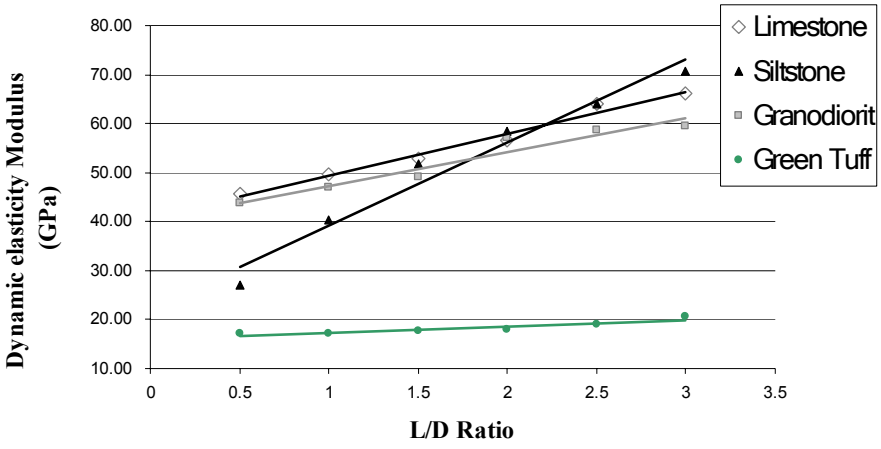
$$\upsilon_d = -۰/۰۳۳۷(\frac{L}{D}) + ۳۶۰۷ \quad (R= ۰/۹۸۰) \quad (۱۷)$$

$$\upsilon_d = -۰/۰۷۹۵(\frac{L}{D}) + ۴۹۷۳ \quad (R= ۰/۹۹۰) \quad (۱۸)$$

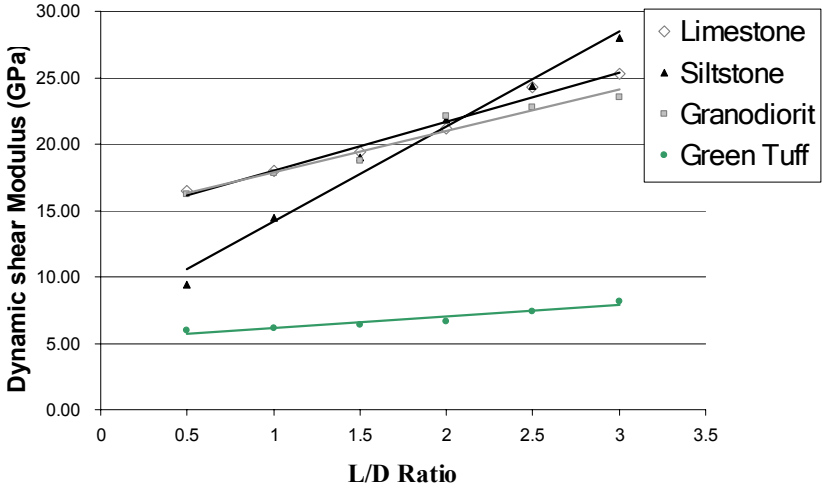
$$\upsilon_d = -۰/۰۶۳۴(\frac{L}{D}) + ۴۵۹۳ \quad (R= ۰/۹۹۰) \quad (۱۹)$$

سرعت موج فشاري یا طولي (V_p)

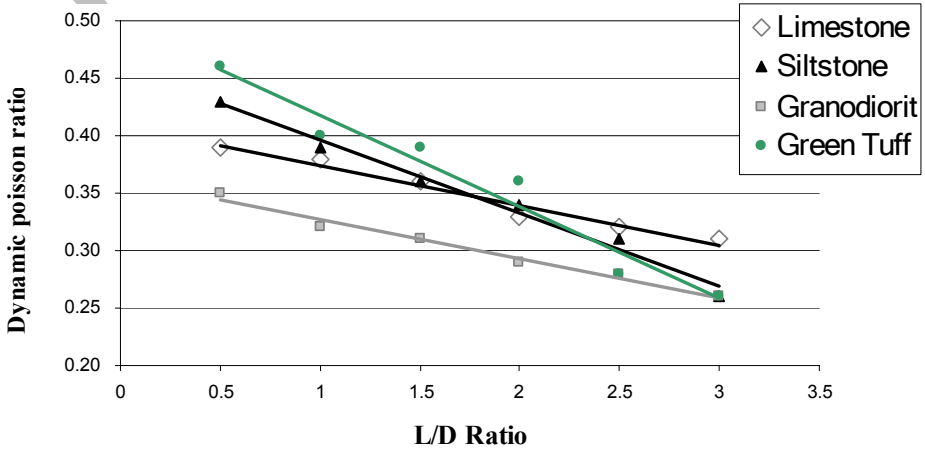
بر خلاف نتایج حاصل شده براي دیگر پارامترهاي الاستیک دینامیک، آزمایشها در مورد ۴ نمونه سنگ نشان مي دهد که در آنها روند یکساني از تغییرات سرعت موج طولي در مقابل نسبت L/D وجود ندارد (شکل ۶).



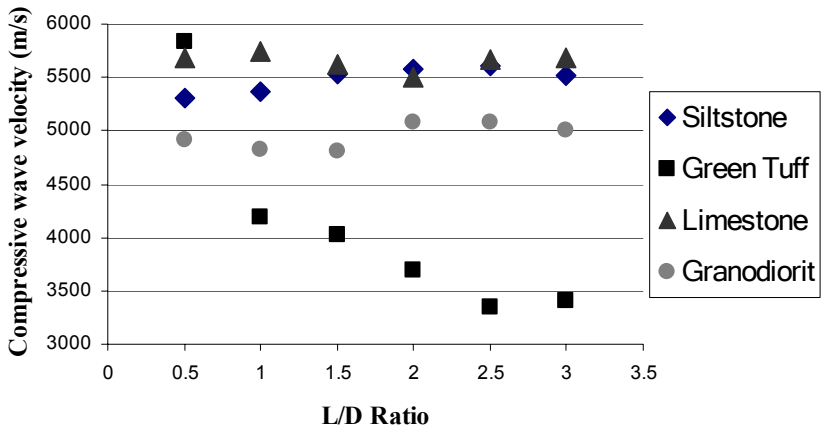
شکل۳: ارتباط نسبت طول به قطر و مدول الاستیسیته دینامیک (GPa).



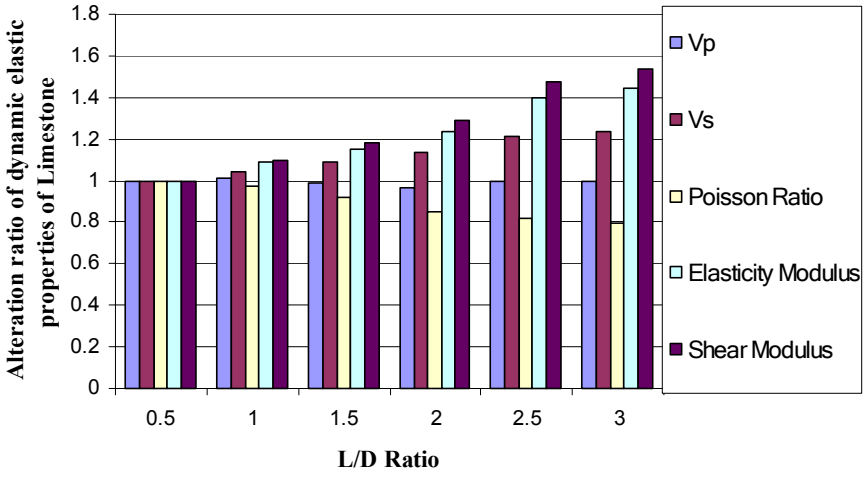
شکل۴: ارتباط نسبت طول به قطر و مدول برشي دینامیک (GPa).



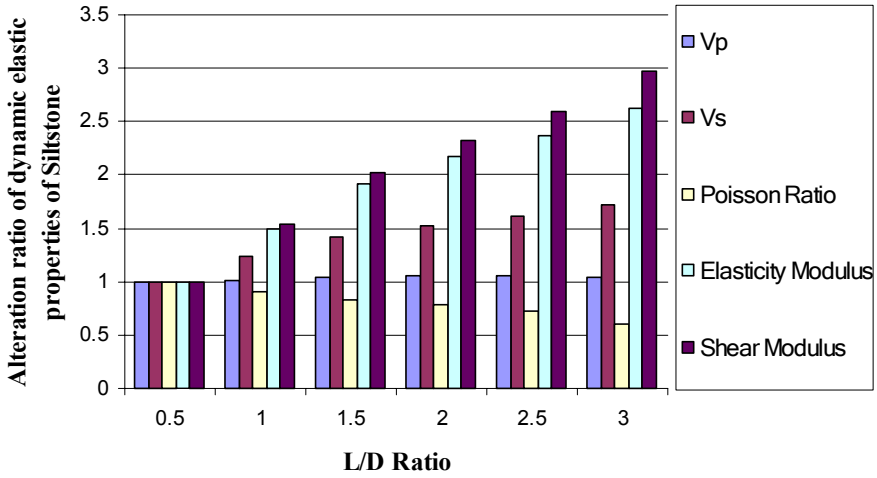
شکل۵: ارتباط نسبت طول به قطر و ضریب پوآسون دینامیک.



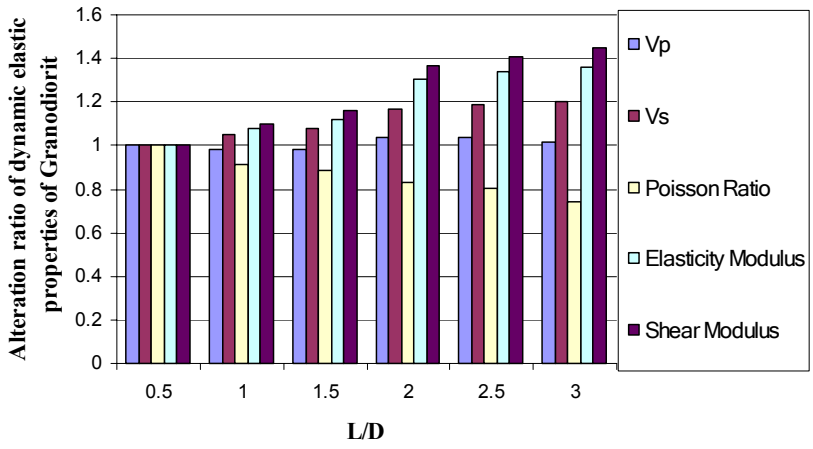
شکل ۶: ارتباط نسبت طول به قطر و سرعت موج فشاري (m/s).



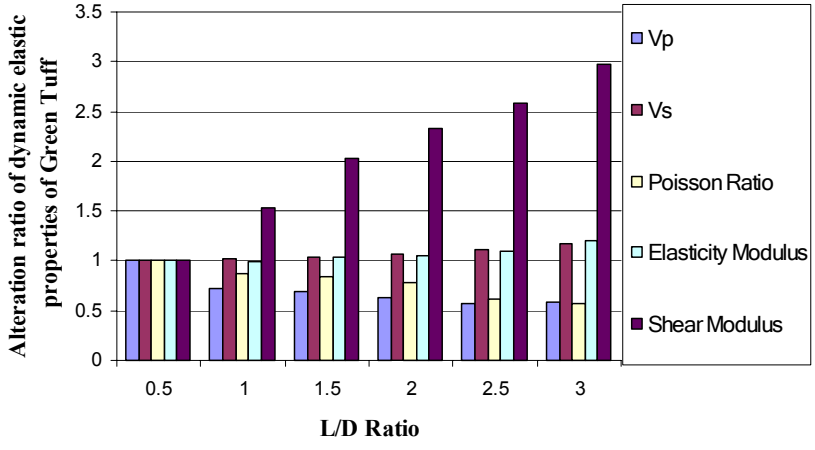
شکل ۷: درصد تغییرات پارامتر هاي الاستیک دینامیکي در سنگ آهک با تغییر نسبت طول به قطر.



شکل ۸: درصد تغییرات پارامتر هاي الاستیک دینامیکي در سیلت استون با تغییر نسبت طول به قطر.



شكل ۹: درصد تغييرات پارامتر هاي الاستيک ديناميکي در گرانوديوريت با تغيير نسبت طول به قطر.



شكل ۱۰: درصد تغييرات پارامتر هاي الاستيک ديناميکي در توف سبز با تغيير نسبت طول به قطر.

بحث و نتيجه گيري

آزمايش هاي الاستيک ديناميک (سرعت گذر امواج فراصوتي) که بر روي نمونه هاي ۴ نوع سنگ در نسبت طول به قطر هاي مختلف انجام شد در مجموع نتايج جديد و جالب توجهي به همراه داشت. شايان ذکر است به منظور افزايش اعتبار و دقت نتايج آزمايش ها از هر کدام از سنگ هاي فوق الذکر ۵ سري نمونه در نسبت L/D هاي ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و۳ تهيه شد و بر روي تمامي آنها آزمايش انجام و ميانگين نتايج حاصل از هر ۵ سري بعنوان نتيجه نهايي سنگ مورد نظر اتخاذ شد. از طرفي روابط بدست آمده و ذکر شده در مورد ويژگي هاي الاستيک ديناميکي اين سنگ ها نه تنها در ميانگين داده ها بلکه در تمامي هر پنج سري نمونه هاي هر سنگ مشاهده شده است.

علي رغم اينکه در استانداردهاي موجود که معتـــبرترين و متعارف ترين آنها ASTM و ISRM مي باشند، در انجام آزمايش سرعت گذر امواج فراصوتي تاکيد خاصي به نسبت L/D نمونه هاي مورد آزمايش نشده و به ذکر نکاتي مختصر در اين زمينه اکتفا شده است، آزمايش هاي انجام گرفته در اين تحقيق نشان مي دهد که نتايج نهايي ويژگي هاي ديناميک بسيار متاثر از نسبت طول به قطر مي باشند. در استانداردهاي فوق الذکر شرايط ذکر شده براي نسبت L/D از يک سو ارتباط طول نمونه مورد آزمايش و ابعاد دانه هاي سنگ است که نبايد از ۱۰ برابر ابعاد ميانگين دانه هاي سنگ کمتر باشد و از سويي ديگر در استاندارد ASTM نيز به ذکر اين مطلب که طول نمونه از ۵ برابر کوچکترين بعد جانبي کمتر نباشد اکتفا شده است. آزمايش هاي انجام شده در اين تحقيق نشان مي دهد که سرعت گذر امواج بخصوص موج برشي Vs و به دنبال آن ويژگي هاي الاستيک ديناميکي شامل مدول هاي

الاستیسیته و برشي و ضریب پوآسون با تغییرات نسبت L/D نمونه هاي مورد آزمایش بسیار تغییر مي کنند.

همانطور که در نمودارهاي شکل هاي (۲) تا (۵) مشاهده مي شود، با تغییر نسبت L/D از ۰/۵ تا ۳ سرعت موج برشي براي سنگ آهک ۲۴%، سیلت استون ۷۰%، گرانودیوریت ۲۰% و توف سبز ۱۷% تغییر کرده اند. در مورد ضریب پوآسون با تغییر نسبت L/D از ۰/۵ تا ۳ نتایج حاصل شده براي سنگ آهک ۲۶%، سیلت استون ۶۵%، گرانودیوریت ۳۳% و توف سبز ۷۳% تغییر کرده اند. محدوده این تغییرات در مدول الاستیسیته دینامیک براي سنگ آهک ۴۵%، سیلت استون ۱۶۰%، گرانودیوریت ۳۵% و توف سبز ۲۰% بوده و در مورد مدول برشي نیز این تغییرات براي سنگ آهک ۵۳%، سیلت استون ۲۰۰%، گرانودیوریت ۴۵% و توف سبز ۳۸% بدست آمده است. این تغییرات قابل توجه بوده و جالب است که در نسبت هاي طول به قطر ۲/۵ تا ۳ با وجود کاهش روند تغییرات هنوز نتایج بدست آمده به سمت مقدار ثابتي میل نکرده اند. این نتایج نشان مي دهد که در مورد مشخصات نمونه مورد آزمایش مي بایست تدابیري جدید اندیشیده شود تا بتوان از صحت نتایج اطمینان حاصل نمود. شکل هاي (۷) تا (۱۰) میزان تغییرات ایجاد شده در ویژگي هاي الاستیک دینامیک سنگ هاي مورد آزمایش را نشان مي دهد.

لازم به ذکر است همانطور که از نتایج بدست آمده آشکار است نمونه سنگ سیلت نسبت به سه دسته سنگ دیگر داراي تغییرات چشمگیرتري است. مي توان وجود این تغییرات را به طبیعت شدیداً ناهمسان سیلت استون نسبت داد. در حقیقت ترکیب شیمیایي سیلت استون ها بر خلاف بافت ریزدانه و به ظاهر همگن در نمونه هاي دستي (ماکروسکوپي)، بسیار متنوع و پیچیده است که این عامل سبب تغییرات فیزکي همچون سرعت گذر امواج در نمونه هاي مختلف از این سنگ مي شود [۹].

همچنین علي رغم اینکه در روابط موجود جهت محاسبه ویژگي هاي الاستیک دینامیک هر دو سرعت موج برشي و فشاري وجود دارند لکن نتایج تاثیر نسبت طول به قطر بر سرعت موج ها و ویژگي هاي الاستیک دینامیک چنان نشان مي دهد که تاثیرپذیري این ویژگي ها از سرعت موج برشي به مراتب بیشتر از سرعت موج فشاري بوده و سیر تغییرات آنها عمدتاً شبیه تغییرات موج برشي است.

موارد زیر اهم نتایج حاصل از تاثیر نسبت طول به قطر نمونه مورد آزمایش بر ویژگي هاي الاستیک دینامیکي سنگ هاي مورد آزمایش را نشان مي دهند:

۱- سرعت موج برشي یا عرضي و مدول هاي الاستیسیته و برشي در ارتباط مستقیم با نسبت L/D قرار داشته و با تغییر این نسبت از ۰/۵ تا ۳ به میزان قابل توجهي تغییر کرده اند.

۲- ضریب پوآسون دینامیکي نیز ارتباط بسیار نزدیکي با نسبت L/D دارد. لکن بر خلاف دیگر ویژگي هاي الاستیک دینامیک این ارتباط معکوس است.

۳- براي سرعت امواج فشاري یا طولي وجود ارتباطي قانونمند با نسبت L/D ثابت نگردید.

۴- از میان سنگ هاي مورد آزمایش، نمونه سیلت استون بمراتب از سه دسته سنگ دیگر تاثیر پذیر تر از نسبت طول به قطر بوده است.

۵- نتایج آزمایش هاي دینامیک نشان مي دهد که در نسبت هاي طول به قطر بالاي ۲، علي رغم کاهش میزان تغییرات، هنوز مقادیر به سمت میزان ثابتي میل نکرده اند.

۶- نتایج ویژگي هاي الاستیک دینامیکي بدست آمده در بازه L/D ۰/۵ تا ۳ براي هر چهار نوع سنگ نشان مي دهند که در مورد نقش مشخصات نمونه مخصوصا نسبت طول به قطر در نتایج این آزمایش ها، لازم است تحقیقات بیشتري صورت گرفته و دستورالعمل هاي مربوطه مورد بازبیني قرار گیرند.

مراجع

1 - Fooladchi, S., Hossaini, M. F. and Ganji, M. *An investigation into the effect of sample shape on elastic dynamic and elastic static properties of limestone*, (in Persian). Mining Engineering Association Journal, under publishing.

2 - Starzec, P. (1999). "Dynamic elastic properties of crystalline rocks from South-West Sweden." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science,* Vol. 36, PP.265-272.

3 - ASTM, (2003). *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.08 & 04.09, USA.

4 - International Society for Rock Mechanics, (1979). "Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomech. Abst,* Vol. 16, PP. 135-140.

5 - Yazdanpanah, Sh., Dizaji, R. and Farazmand, A. R. (2005). *The effect of anisotropy on dynamic parameters of rock*, (in Persian).Second iranian rock mechanics conference, PP. 545-556.

6 - Fooladchi, S., Hossaini, M. F. and Ganji, M. (2006). *Effect of water absorption on elastic-dynamic properties of carbonate rocks*, (in Persian). 7th iranian Tunneling conference, PP. 120-128.

7 - Hossaini, M. F. (2000). *Introduction to rock mechanics*, (in Persian). Nashr daneshgahi publication, Second edition.

8 - Hudson, J. A. and Harrison, J. P. (1997). *Engineering rock mechanics an introduction to the principles*, pergamon, PP. 207-235.

9 - Sahabi, F. (2002). *Petrography of sedimentary rocks*, (in Persian). Tehran university publication, Third edition.

10 - Vutukuri, V. S. And Lama, R. D. (1978). *Handbook on mechanical properties of rock*, 1st Ed., Vol. 2, TrancTech Publication.

11 - Al-Shayea, N. A. (2004). "Effect of testing method and condition on the elastic properties of limestone rock." *Engineering Geology,* Vol. 74, PP. 139-156.

12 - Hossaini, M. F., Ganji, M. and Fooladchi, S. (2006). *Comparison of the effect of shape and confining pressure on the uniaxial and triaxial compressive strength of rocks*, (in Persian). Faculty of engineering journal, Vol 40, PP 47-55.

13 - Fooladchi, S. (2006). *Relationship between static and dynamic elastic properties of some Iranian limestones*, (in Persian). M Sc thesis, Faculty of engineering, university of Tehran.

14 - Ganji, M. (2006). *Comparison of the role of shape and confining pressure on the uniaxial and triaxial compressive strength,* (in Persian). M Sc thesis, Faculty of engineering, university of Tehran.

واژه هاي انگليسي به ترتيب استفاده در متن

1 - Linear Variable Differential Transformer
2 - Strain Gauge
3 - Transducers