

بررسی روابط همبستگی بین سرعت امواج فشاری و برقی خصوصیات فیزیکی سنگ آهک سازند مزدوران

جلال عزیزی شجاع^{۱*}، ناصر حافظی مقدس^۲، محمد غفوری^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، jalalazizi46@yahoo.com

^۲ استاد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، nhafezi@um.ac.ir

^۳ استاد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ghafoori@um.ac.ir

چکیده

با توجه به گسترش سازند مزدوران در شهر مشهد و استفاده از سنگ آهک‌های این سازند به‌عنوان مصالح عمرانی و ساختمانی، در این پژوهش ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و دینامیکی سنگ‌های مذکور مطالعه شده است. یافتن ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و روش‌های ساده آزمایشگاهی هزینه پروژه را از نظر زمانی و مالی به مقدر قابل توجهی کاهش می‌دهد. آزمایش‌های استاندارد جهت تعیین تخلخل، دانسیته، نسبت پوکی، جذب آب همراه با سرعت موج P بر روی نمونه‌های اخذشده از منطقه مطالعاتی انجام شده است.

کلیدواژه‌ها: سرعت عبور موج P؛ ویژگی‌های فیزیکی؛ سنگ آهک؛ سازند مزدوران

مقدمه

امروزه استفاده از روش‌های دینامیکی برای برآورد دقیق و سریع ثابت‌های الاستیک در مهندسی سنگ کاملاً پذیرفته شده است و از آنجایی که این آزمایش‌ها غیر مخرب هستند مورد استقبال زیادی قرار گرفته‌اند (فهیمی فر و سروش، ۱۳۸۰). همیلتون (Hamilton, 1978) ارتباط بین سرعت التراسونیک و دانسیته رسوبات ته دریا را بررسی کرد. (Yasar and Erdogan (2004) ارتباط سرعت صوت با دانسیته، مقاومت تراکمی و مدول یانگ سنگ‌های کربناته را بررسی کرد. (Gaviglio (1989) ارتباط بین سرعت و دانسیته را مطالعه کرد. (کارگریان و همکاران، ۱۳۸۹) در تحقیقی همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و سرعت عبور موج P را تعیین کرده‌اند. ویژگی‌های فیزیکی از قبیل تخلخل و جذب آب، پارامترهای مهمی در کیفیت سنگ‌های آهکی هستند از این رو اگر همبستگی‌های خوبی بین سرعت عبور موج P و خصوصیات فیزیکی سنگ آهک‌ها برقرار شود می‌تواند در زمینه استخراج، جهت

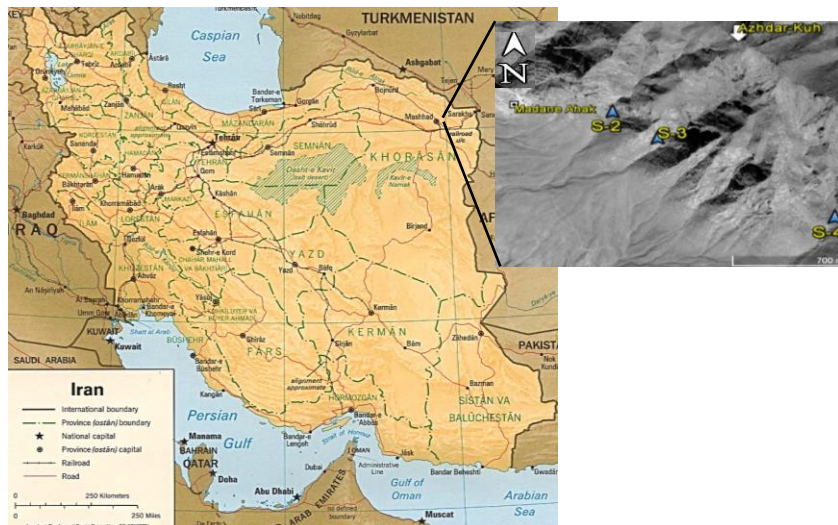
مصارف خاص سنگ آهک مفید واقع شود. آزمایش سرعت موج P طبق استاندارد ASTM D2845 و خصوصیات فیزیکی سنگ‌ها طبق استاندارد ASTM D2216 انجام شده است.

زمین‌شناسی

سازند مزدوران یکی از واحدهای حوضه رسوبی کپه داغ به سن آکسفوردین-کیمریجین می‌باشد که تقریباً در بخش وسیعی از این حوضه رسوبی رخنمون دارد. این سازند در بخش مرکزی و غرب حوضه از سنگ‌های آهکی و دولومیتی با بین لایه‌هایی از شیل و مارن تشکیل شده است (درویش زاده، ۱۳۸۰). سازند مزدوران شامل دو عضو می‌باشد؛ الف) I_{ms}^1 این عضو از سنگ‌آهک دولومیتی خوب لایه‌بندی شده به رنگ قهوه‌ای پدید آمده است و به دلیل ویژگی شکستگی‌های فراوان بر آن اثر کرده است. ب) I_{ms}^2 که از سنگ‌آهک میکریتی کم فسیل نازک تا متوسط لایه سنگ‌آهک شیلی و شیل ویژه مناطق ژرف پدید آمده است.

محل نمونه‌گیری و جنس سنگ‌ها

مکان نمونه‌گیری که به اژدر کوه معروف است و جزو سازند مزدوران در کپه داغ می‌باشد تقریباً در ۲۰ کیلومتر جاده مشهد-کلات و بین ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی می‌باشد. با استناد به نقشه زمین‌شناسی مهندسی محدوده مورد مطالعه و انجام آزمون تعیین درصد کلسیم کربنات، جنس سنگ‌های محل اخذ نمونه‌ها از آهک، دولومیت، نخودی روشن-خاکستری (سازند مزدوران) متغیر می‌باشد.



شکل ۱. نقشه راه‌های ارتباطی مشهد و عکس هوایی ایستگاه‌های محل نمونه برداری

جدول ۱. موقعیت و زمین شناسی محل اخذ نمونه‌ها

نام معدن	نوع سنگ	موقعیت معدن	زمین شناسی
فلات شرق (آذر کوه)	آهک ضخیم لایه تا ماسیف به رنگ روشن، آهک دولومیتی متخلخل و دولومیت	کیلومتر ۲۰ جاده مشهد-کلات	فرآیندهای دیاژنزی مؤثر بر رسوبات کربناته سازند مزدوران شامل فشردگی، سیمانی شدن، میکریتی شدن، نئومورفیسم افزایشی، دولومیتی شدن و تشکیل رگه‌های کلسیتی است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش نمونه‌برداری به صورت بلوک سنگی نشان داده شده در شکل (۱) صورت گرفته است. بلوک‌های انتخابی با ابعاد $30 \times 30 \times 30$ سانتی‌متر بدون درز و شکاف از هر نقطه تهیه شده‌اند. از بلوک‌های سنگی مغزه‌های استوانه‌ای تهیه شد آزمایش‌های سرعت موج روی مغزه‌هایی سنگ بکر انجام گرفت.

آزمون سرعت موج P

جهت انجام آزمایش سرعت موج P طبق استاندارد شماره (ASTM D2845, 2005) نمونه استوانه‌ای با حداقل بعد جانبی پنج برابر طول موج تهیه گردیده شد. ابتدا طول مغزه را اندازه‌گیری کرده و امواج الاستیک را به داخل نمونه هدایت می‌کنیم، با داشتن زمان سیر موج و طول مغزه می‌توان سرعت موج طولی را اندازه‌گیری کرد. برای حداکثر دقت در اندازه‌گیری زمان باید ترانس دیوسر و دو سطح نمونه کاملاً جفت شود به همین منظور انتهای سطوح مغزه‌ها کاملاً ساییده و پرداخت شده‌اند. ترانس دیوسرها در دو سر نمونه قرار داده شده و زمان عبور پالس‌ها ثبت می‌شود، مقدار سرعت موج P از نسبت طول مغزه بر زمان عبور پالس به دست می‌آید. سرعت این امواج بستگی به کیفیت سنگ دارد.



شکل ۲. مغزه‌های آزمایش سرعت موج P (راست) و دستگاه آزمایش به همراه نحوه اتصال مغزه به دیوسرها

از عوامل مؤثر بر سرعت صوت در یک سنگ می توان به نوع سنگ، بافت، چگالی، تخلخل، درجه حرارت، روزنه داری، ناهمسانگردی، میزان تنش (سطح تنش)، مقدار آب موجود در نمونه اشاره نمود. عموماً می توان گفت هر چه سنگ متراکم تر و همچنین ریزدانه تر باشد سرعت صوت در آن بیشتر خواهد بود. سرعت امواج صوتی متناسب با سرعت صوت در کانی های تشکیل دهنده آن می باشد (فهیمی فر و سروش، ۱۳۸۰). تعداد آزمایش ها و نتایج آن ها در جدول (۲) و (۳) ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج آزمایش سرعت موج P

ردیف	A1	A2	A3	A4
سرعت موج P (km/s)	6.3	5.09	6.5	6.08

جدول ۳. تعداد و میانگین آزمایش سرعت موج P

ردیف	تعداد	کمترین	بیشترین	میانگین
سرعت موج P (km/s)	۱۴	۵	۶.۵	۵.۹۶

خصوصیات فیزیکی

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ ها به بافت و ترکیب سنگ شناسی آن ها بستگی دارد و منعکس کننده محیط و شرایط تشکیل سنگ ها می باشد. خصوصیات ذکر شده، اطلاعات اساسی برای انجام طراحی های مهندسی می باشد (Tamrakar et al., 2007). تعیین خصوصیات فیزیکی جذب آب، دانسیته، تخلخل و نسبت پوکی نمونه ها بر اساس استاندارد (ASTM D2216) انجام گردید (جدول ۴). سرعت امواج در سنگ هایی که تخلخل زیاد دارند کمتر از سنگ هایی است که تخلخل کمی دارند. معمولاً با افزایش درجه حرارت سرعت موج به علت ایجاد گسستگی در مرز کانی ها به خاطر انبساط ناهمسانگرد آن ها کاهش می یابد (فهیمی فر و سروش، ۱۳۸۰).

جدول ۴. نتایج آزمایش های فیزیکی

ردیف	جذب آب %	تخلخل %	دانسیته (g/cm ³)	نسبت پوکی %	سرعت موج P (km/s)
A1	1.09	1.85	2.67	1.88	6.3
A2	0.7	2.86	2.67	2.94	5.09
A3	0.81	2.12	2.64	2.17	6.5
A4	0.57	1.5	2.70	1.52	6.08

ارزیابی و آنالیز همبستگی ها

ارتباط بین سرعت عبور موج P با تخلخل، نسبت پوکی، شاخص جذب آب و دانسیته در فشار اتمسفری با استفاده از ضریب همبستگی R² بررسی شده است. آنالیزهای رگرسیون انجام شده و معادلات از بهترین خط

ترسیم شده و ضریب R^2 تعیین شده است. تمامی آنالیزها نشان دهنده رگرسیون قوی بین همه خصوصیات فیزیکی با سرعت موج P بودند (نمودارهای ۱ تا ۴). معادلات رگرسیون در زیر آورده شده است:

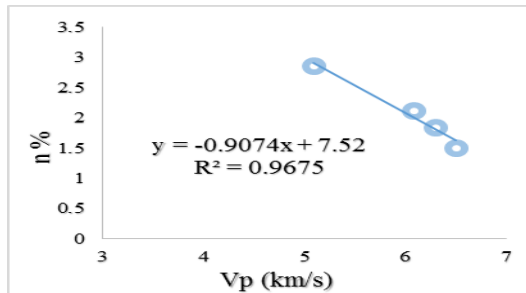
$$W = -0.34 Vp + 2.87 \quad R^2 = 0.966 \quad (۱)$$

$$n = -0.90 Vp + 7.52 \quad R^2 = 0.967 \quad (۲)$$

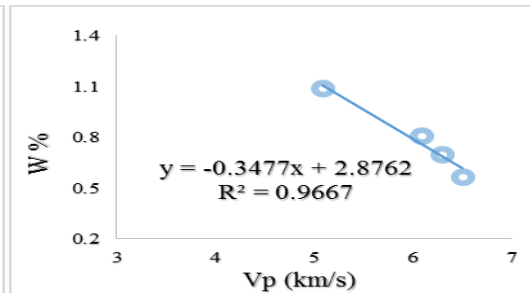
$$e = -0.94 Vp + 7.81 \quad R^2 = 0.967 \quad (۳)$$

$$\rho = 0.034 Vp + 2.45 \quad R^2 = 0.667 \quad (۴)$$

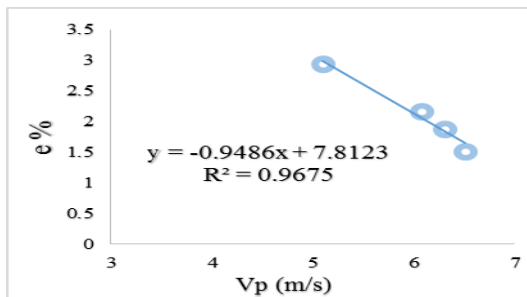
در معادلات مذکور (Vp) سرعت عبور موج P (km/s)، (ρ) دانسیته (g/cm^3)، (n) تخلخل (%)، (e) نسبت پوکی (%) و (W) مقدار جذب آب (%) است.



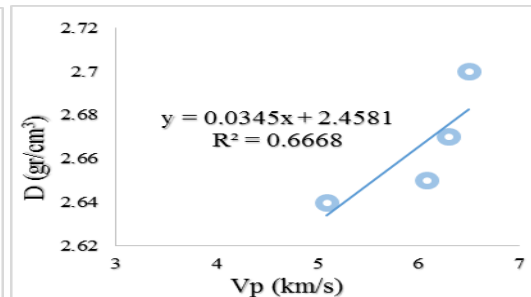
نمودار ۲. همبستگی تخلخل با سرعت موج P



نمودار ۱. همبستگی درصد جذب آب با سرعت موج P



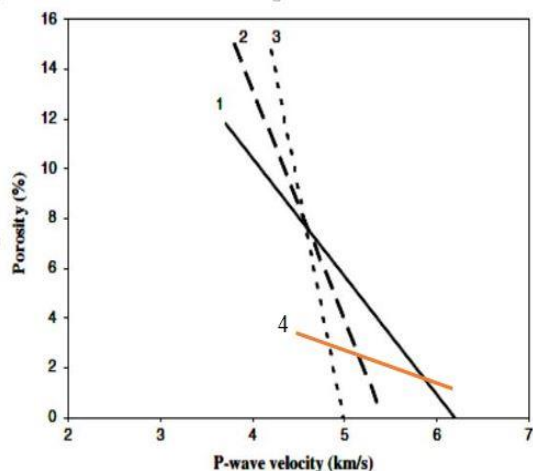
نمودار ۴. همبستگی نسبت پوکی با سرعت موج P



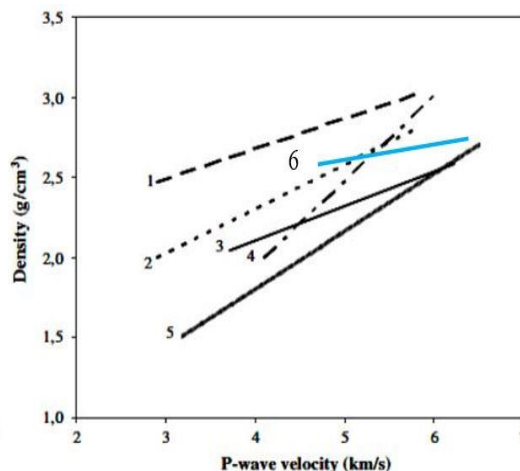
نمودار ۳. همبستگی دانسیته با سرعت موج P

همه ویژگی‌های فیزیکی سنگ در این مطالعه دارای همبستگی قوی با سرعت عبور موج P است. در ادامه دو معادله به دست آمده مربوط به تخلخل و دانسیته معادلات (۲ و ۴) در مقابل سرعت موج، با معادلات قابل دسترس پیشین مقایسه شد. مقایسه معادلات (۲ و ۴) با مطالعات قبلی در شکل‌های (۳) و (۴) نشان داده شده است.

دلیل اختلاف شیب‌ها احتمالاً متفاوت بودن نوع سنگ‌ها و نوع آزمایش‌های انجام شده است.



شکل ۴. مقایسه ارتباط بین تخلخل و سرعت موج P حاصله با مطالعات پیشین



شکل ۳. مقایسه ارتباط بین دانسیته خشک و سرعت موج P حاصله با مطالعات پیشین

شکل (۳) : ۱- Yasar and Erdogan (2004)، ۲- Gaviglio (1989)،
۳- Kahraman and Yeken (2008)، ۴- Bur and Hjelmstad (1970)،
۵- Birch (1961)، ۶- مطالعه حاضر

شکل (۴) : ۱- Kahraman and Yeken (2008)، ۲- Rzhovsky and Novik (1971)،
۳- Han et al., (1986)، ۴- مطالعه حاضر

نتیجه گیری

- از روش‌های غیرمستقیم و غیر مخرب (آزمون سرعت موج P) می‌توان ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها را با صرف زمان و هزینه کمتر نیز تعیین کرد.

- معادله به دست آمده مربوط به دانسیته و سرعت موج P (معادله ۴) که با معادلات قابل دسترس پیشین مقایسه شد نشان داد که معادله تحقیق حاضر شیب کمتری نسبت به سایر معادلات پیشین دارد. همچنین معادله به دست آمده مربوط به تخلخل و سرعت موج P (معادله ۲) که با معادلات پیشین مقایسه شد، بیانگر این است که معادله تحقیق حاضر شیب نسبتاً کمتری نسبت به سایر معادلات پیشین دارد که می‌تواند مربوط به جنس سنگ‌ها باشد.

- آزمایشات سرعت عبور موج P تخلخل، دانسیته، نسبت پوکی و جذب آب اندازه‌گیری شد سپس مقادیر سرعت عبور موج P و ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها مقایسه شدند که همبستگی خوبی به دست آمد.
- مطالعه نشان می‌دهد که با استفاده از آزمایشات اولتراسونیک، ویژگی‌های فیزیکی سنگ آهک‌ها را حداقل برای بررسی‌های اولیه می‌توان پیش بینی کرد، در استفاده از این روش باید دقت کرد وقتی که از معادلات تخمین داده شده استفاده می‌شود، این معادلات برای شرایط ویژه آزمایش و نوع سنگ معتبر است.

مراجع فارسی

- ۱- آقا نباتی، ع.، ۱۳۸۲، زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی کل کشور، تهران.
- ۲- فهیمی فر، ا.، سروش ح.، ۱۳۸۰، آزمایش‌های مکانیک سنگ: مبانی نظری و استانداردها، شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- ۳- درویش زاده، ع.، ۱۳۸۰، زمین شناسی ایران، چاپ دوم، نشر دانش امروز، ۹۰۱ صفحه، تهران.
- ۴- کارگریان و همکاران، ۱۳۸۹، تعیین ویژگی‌های فیزیکی تراورتن‌ها با استفاده از سرعت عبور موج P، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی.

References:

- 1- Hamilton, E.L. 1978 Sound velocity–density relations in sea floor sediments, *J Acoust Soc Am*, 63, 366–377.
- 2- Bur, TR. Hjelmstad, KE. 1970 Elastic and attenuation symmetries of simulated lunar rocks, *Icarus*, 13, 414–423.
- 3- ASTM, 1978. Standard method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rocks, *Annual Book of ASTM Standards*, Part 19, D. 2845-69:356– 363.
- 4- Kahraman, S. Yeken, T. 2008 Determination of physical properties of carbonate rocks from P-wave velocity. *Bull Eng Geol Environ*, 67, 277–281.
- 5- Rzhovsky, V. Novik, G. 1971 the Physics of Rocks. *MIR Publishers, Moscow*, 320 pp.
- 6- Yasar, E. Erdogan, Y. 2004 Correlating sound velocity with density, compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks. *Int J Rock Mech Min Sci*, 41, 871–875.
- 7- Gaviglio, P. 1989 Longitudinal Waves Propagation in a Limestone: the relationship between velocity and density, *Rock Mech. RockEng*, 22, 299–306.