

## استفاده از سرعت موج P جهت تعیین ویژگیهای فیزیکی پرکاربردترین سنگ نمای آهکی در شهر مشهد

فرشته جعفری پور<sup>۱</sup>، ناصر حافظی مقدس<sup>۲</sup>، غلامرضا لشکری پور<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، Fereshtehjafaripour@yahoo.com

<sup>۲</sup> استاد زمین شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، h\_moghads@yahoo.com

<sup>۳</sup> استاد زمین شناسی مهندسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، lashkaripour@um.ac.ir

### چکیده

بدلیل استفاده روز افزون از سنگ نماهای کربناته بخصوص تراورتن، در این پژوهش ارتباط بین ویژگی های فیزیکی و دینامیکی این سنگ ها مطالعه شده است. یافتن ارتباط بین ویژگی های فیزیکی و روشهای ساده آزمایشگاهی هزینه پروژه را از نظر زمانی و مالی به مقدار قابل توجهی کاهش می دهد. در این مقاله خصوصیات فیزیکی شامل تخلخل، چگالی خشک، دانسیته و شاخص پوکی، همراه با آزمایش تعیین سرعت عبور موج P بر روی شش نمونه مختلف سنگ مرمریت و تراورتن از سنگهای ساختمانی شهر مشهد تعیین شده است. بین ویژگی های فیزیکی سنگ و سرعت عبور موج P همبستگی مناسبی بدست آمده است. بنابراین ویژگی های فیزیکی سنگ های ساختمانی کربناته مورد آزمایش را می توان از روی سرعت عبور موج P محاسبه کرد.

### واژه های کلیدی

سرعت عبور موج P، ویژگی های فیزیکی، سنگ کربناته، سنگ نما

### ۱- مقدمه

یا دگرگونی درجه پائین شده باشد و با بافت موزائیکی و یکپارچه خود دارای وزن مخصوص بیشتری نسبت به سنگ های آهک معمولی است [7].

آزمایش تخلخل آزمایش وقت گیری می باشد اما از طرف دیگر آزمایش سرعت صوت آزمایشی است که تخریب را برای نمونه فراهم نمیکند و نسبت به آزمایشات مکانیک سنگی دیگر راحت تر انجام میگردد. یکی از قابلیت های این آزمایش انجام آن در صحراست. از این آزمایش برای تعیین خصوصیات دینامیکی سنگ مثل مدول الاستیسیته و ... استفاده می شود. روش کار آن به این صورت است که ابتدا امواج الاستیک به داخل نمونه فرستاده می شود، سپس سرعت موج طولی در آن اندازه گیری می شود. سرعت این امواج بستگی به کیفیت سنگ دارد. از عوامل موثر بر سرعت صوت در یک سنگ می توان به نوع سنگ، بافت، چگالی، تخلخل، درجه حرارت، روزه داری، ناهمسانگردی، میزان تنش (سطح تنش)، مقدار آب موجود در نمونه و ... اشاره نمود. عموماً می توان گفت هر چه سنگ متراکم تر باشد و همچنین ریزدانه تر سرعت صوت در آن بیشتر می باشد. سرعت امواج صوتی متناسب با سرعت صوت در کانی های تشکیل دهنده آن می باشد. انجمن بین المللی مکانیک سنگ سه روش، موج صوتی با فرکانس بالا، موج صوتی با فرکانس پایین، فرکانس تشدید (رزونانس) را برای انجام آن پیشنهاد داده است. [10]

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ ها به بافت و ترکیب سنگ شناسی آن ها بستگی دارد. این خصوصیات بازتاب کننده محیط و شرایط تشکیل دهنده سنگ ها می باشد و خصوصیات ذکر شده، اطلاعات اساسی و پایه برای بکار گیری سنگها می باشد [9].

سنگهای آهکی در محل پروژه های مهندسی به منظور منابع قرصه، سنگ های ساختمانی و در پی سازه به وفور مورد استفاده قرار می گیرد [5].

تراورتن سنگ آهکی است که در اثر فعالیت چشمه های آبگرم به وجود می آید. به طور کلی در طی فرایند تشکیل ذخایر تراورتن، آب های گرم از بین طبقات سنگ های کربناتی به ویژه سنگ آهک عبور می کنند و به دلیل اسیدی بودن، کربنات کلسیم موجود در سنگها را حل کرده و به صورت محلول کربناتی و بی کربناتی با خود به سطح زمین منتقل می کنند [6].

مرمریت نیز یک نام تجاری است و در واژه های علم زمین شناسی و معدن سنگی به نام مرمریت وجود ندارد ولیکن می توان آن را معادل واژه لاتین Marble در نظر گرفت. این سنگ یک سنگ آهکی است که متحمل پدیده دیاژنز و

### ۳- روش تحقیق

در ابتدا طبق استاندارد های معرفی شده از نمونه های سنگی مغزه های استوانه ای و بلوکهای کوبیک همسان تهیه شده و آزمایشها بر روی سطوح بدون ضعف نمونه ها انجام گرفت.

جهت انجام آزمایش سرعت موج P طبق استاندارد شماره ASTM D2845-08 (2005) نمونه استوانه ای با حداقل بعد جانبی پنج برابر طول موج تهیه گردیده شد.

در این پژوهش از ناقل نیروی القایی یا فرکانس 54 khZ استفاده شد. فرکانس 54 khZ برابر طول موج 6.4 mm است. بنابراین حداقل بعد جانبی نمونهها مطابق استاندارد ASTM باید 46 mm باشد. سرعت موج P برای نمونههایی با قطر 64mm و طول 130 mm اندازه گیری شد.

برای حداکثر دقت در اندازه گیری زمان باید ترانس دیوسر و دو سطح نمونه کاملا جفت شود به همین منظور انتهای سطوح مغزهها کاملا ساییده و پرداخت شدهاند و دو سر نمونهها با ژل مخصوص آغشته شده و ترانس دیوسرها به دو سر نمونه متصل شده و زمان عبور پالسها ثبت می شود (شکل ۲). مقدار سرعت موج P از نسبت طول مغزه بر زمان عبور پالس بدست می آید. آزمایش برای هر نمونه پنج بار تکرار شده و میانگین آنها به عنوان مقدار سرعت موج P بر حسب Km/s منظور گردیده است (جدول ۲).

و[11]. در این پژوهش سعی شده تا با استفاده از آزمون ساده و غیر مخرب سرعت موج طولی خواص فیزیکی مانند تخلخل، چگالی، دانسیته خشک و درصد جذب آب با استفاده از روش رگرسیون تخمین زده تا در نهایت بتوان از اینگونه روش های تخمین گر در علوم مکانیک سنگ استفاده کرد.

### ۲- زمین شناسی منطقه

از نمونه های مورد مطالعه پنج نمونه مربوط به استان خراسان رضوی و یک نمونه مربوط به شهرستان محلات واقع در استان مرکزی می باشد. استان خراسان رضوی با قرار گیری در زون کپه داغ از نظر ریخت شناسی، جوان است و توپوگرافی ناحیه، رابطه ای مستقیم با ساختارهای زمین شناسی دارد. به طور معمول، تاقدیسها ارتفاعات، و ناودیسها دشت های میان کوهی را می سازند و سازندهای کربناتی مزدوران (ژوراسیک بالایی) و تیرگان (کرتاسه پایینی) واحدهای سیما ساز منطقه هستند. دشت های سرخس، گرگان، مشهد - قوچان و شیروان - بجنورد از نواحی فروافتاده کپه داغ اند [1]. شهرستان محلات نیز در دو پهنه ساختاری ایران مرکزی در شمال و سهندج - سیرجان در بخش جنوبی واقع شده است. تعیین مرز مشخص برای این دو پهنه ساختاری به دلیل آمیخته بودن ویژگی های ساختاری مشکل است. در بخش شمالی ورقه واحدهای رسوبی، به پروتوزوئیک پسین - پالئوزوئیک با روند ساختاری شمال خاوری - جنوب باختری در شمال و باختر شهرستان محلات رخنمون دارند [9].

موقعیت و زمین شناسی نمونه سنگ های مورد مطالعه به صورت جدول

نمایش داده شده است (جدول ۱).

جدول ۱- موقعیت و زمین شناسی معادن نمونه سنگ های نما

ردیف	نام معدن	نوع سنگ	موقعیت معدن	زمین شناسی
۱	مرمریت اعلمی (MA)	مرمریت سفید کرم و کرم تیره (بژ)	نزدیکی روستای کدکن	منطقه رخداد تکتونیکی موثری را تحمل نکرده. واحد رسوبی از سنگ های آهکی دوران دوم و کرتاسه بالا تشکیل شده است.
۲	بجستان (MB)	مرمریت گلی رنگ	۱۳ کیلومتری شمال غربی بجستان	ارتفاعاتی از سنگ تزئینی متعلق به کرتاسه بطور منفرد و پراکنده نمایان شده اند. این آهک ها در اثر نفوذ گرانیب علی آباد همراه با فشارهای تکتونیکی متعلق به فاز کوهزایی احتمالاً لارامید کمپاکت و متبلور شده اند.
۳	مرمریت کدکن (MK)	مرمریت کرم رنگ	۱۵ کیلومتری شمال کدکن	منطقه رخداد تکتونیکی موثری را تحمل نکرده. واحد رسوبی از سنگ های آهکی دوران دوم و کرتاسه بالا تشکیل شده است.
۴	تراورتن شاهان گرماب (TMA)	تراورتن خاکستری - قهوه ای رنگ	۵۴ کیلومتری شرق فریمان	نهشته های کوتاه تر بر روی سازند های کپه داغ و سنگهای نفوذی از نوع دیاباز و به شکل سیل متعلق به پالئوژن قرار دارند که بر اثر پدیده زمین گرمایی رسوبات تراورتن را به وجود آورده اند.
۵	تراورتن اشنکوه محلات (TMH)	تراورتن کرم و سفید	۲۶ کیلومتری جنوب شرق محلات	تراورتن پرمین بر روی کنگلومرای ماسه ای ائوسن رسوب کرده و به صورت لایه های گسترده می باشد [2].
۶	سیاه چشمه باخرز (TMB) (شکل ۱)	تراورتن سفید و کرم رنگ	۶۰ کیلومتری غرب تربت جام	آهکهای میوسن که بین آنها تشکیلات چشمه ای همراه با هیدرو اکسید های آهن مشاهده می شود که باعث رنگی شدن تراورتن گردیده است [2].

تمامی ویژگی‌های فیزیکی سنگ در این پژوهش دارای همبستگی قوی با سرعت عبور موج P می‌باشند. نمودارهای (1,2,3,4,5). معادلات رگرسیون در زیر آورده شده است:

$$\begin{aligned} n &= -1.882 V_p + 12.306 & R^2 &= 0.9101 \quad (1) \\ \omega_a &= -0.9833 V_p + 6.3518 & R^2 &= 0.8822 \quad (2) \\ \gamma_d &= 0.1779 V_p + 1.6631 & R^2 &= 0.6534 \quad (3) \\ \rho_d &= 0.1596 V_p + 1.3207 & R^2 &= 0.9224 \quad (4) \\ e &= -0.2436 V_p + 1.9075 & R^2 &= 0.9022 \quad (5) \end{aligned}$$

n تخلخل بر حسب درصد،  $\omega_a$  درصد جذب آب،  $\gamma_d$  دانسیته خشک بر حسب  $(gr/cm^3)$ ، چگالی خشک بر حسب  $(gr/cm^3)$ ، نسبت پوکی بر حسب درصد و  $V_p$  بر حسب  $(Km/s)$ .



شکل ۱- تراورتن سیاه چشمه باخرز

### جدول ۳ - نتایج آزمایش‌ها

نمونه	چگالی خشک $gr/cm^3$	تخلخل %	درصد جذب آب %	دانسیته خشک $gr/cm^3$	نسبت پوکی %	سرعت موج P $Km/s$
MA	2.31	0.42	0.18	2.61	0.30	6.34
MB	2.30	0.69	0.30	2.73	0.41	5.92
MK	2.30	0.78	0.34	2.94	0.44	6.34
TMA	1.96	4.67	2.47	2.42	0.82	4.35
TMB	2.13	2.58	1.20	2.49	0.72	4.79
TMH	2.18	2.63	1.19	2.65	0.72	5.24

### جدول ۲- نتایج آزمایش سرعت موج P

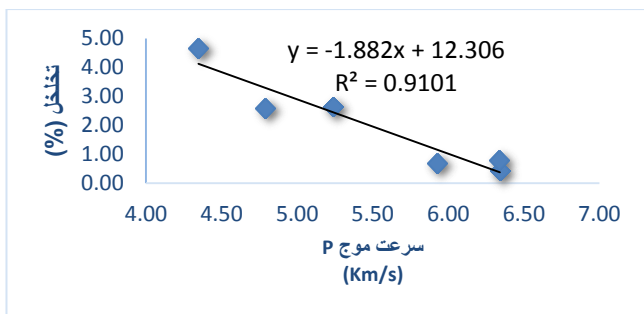
نمونه	MA	MB	MK	TMA	TMB	TMH
سرعت موج P $Km/S$	6.34	5.92	6.34	4.35	4.79	5.24



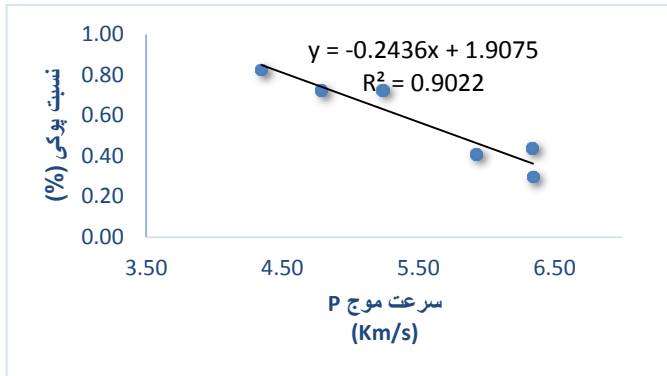
شکل ۲- اندازه گیری سرعت موج P

### ۴ - آنالیز و نتایج

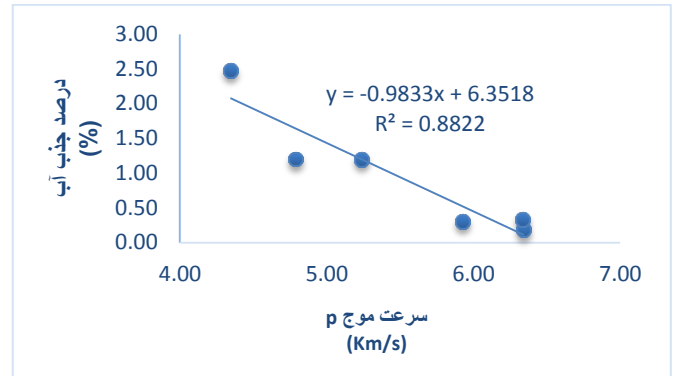
ارتباط بین مقدار سرعت عبور موج P با خصوصیات فیزیکی سنگ از جمله تخلخل، درصد جذب آب، چگالی خشک، دانسیته خشک و نسبت پوکیدر فشار اتمسفری با استفاده از ضریب همبستگی  $R^2$  سنجیده شده است. آنالیزهای رگرسیون انجام شده و معادلات از بهترین خط ترسیم شده و ضریب  $R^2$  تعیین شده است.



نمودار ۱- همبستگی تخلخل با سرعت موج p

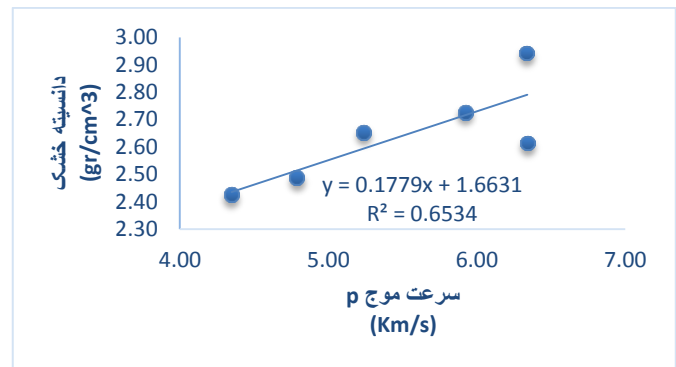


نمودار ۵- همبستگی نسبت پوکی با سرعت موج P

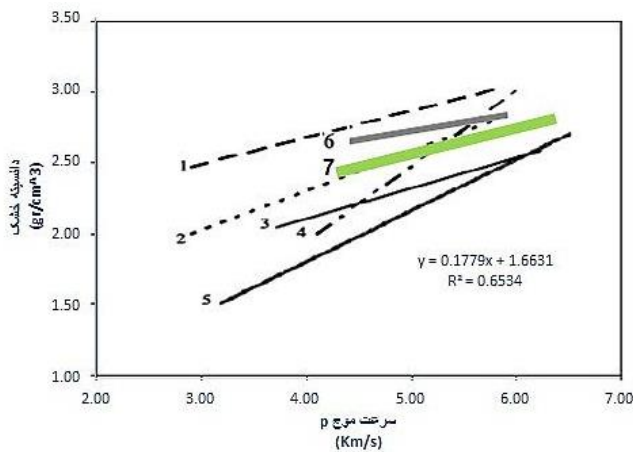


نمودار ۲- همبستگی درصد جذب آب با سرعت موج P

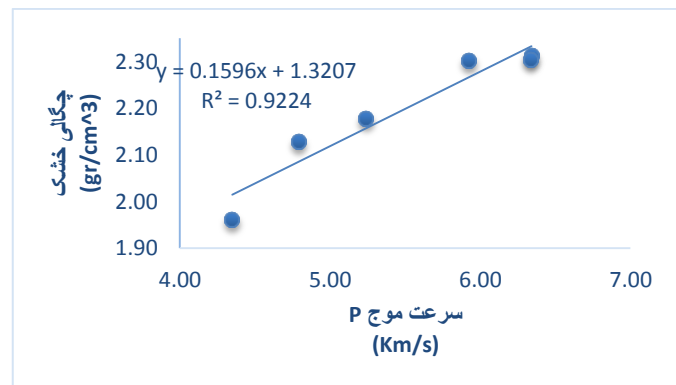
در ادامه دو معادله بدست آمده مربوط به تخلخل و دانسیته خشک (معادلات ۳ و ۴) در مقابل سرعت موج، با معادلات قابل دسترس پیشین مقایسه شد. مقایسه معادلات ۳ و ۴ با مطالعات قبلی در نمودارهای ۶ و ۷ نشان داده شده است. معادله تخلخل و دانسیته خشک که شیب آن نسبت به بقیه مطالعات آرام تر بوده به مطالعات قبادی و قربانی صابر (۱۳۹۰) و Kahraman and Yeken(2008) نزدیکتر است. دلیل اختلاف شیبها احتمالا متفاوت بودن نوع سنگها و نوع آزمایشات انجام شده است. بنابراین می توان گفت که ضریب همبستگی همه معادلات بالا معتبر است.



نمودار ۳- همبستگی دانسیته خشک با سرعت موج P



نمودار ۶-- مقایسه ارتباط بین دانسیته خشک و سرعت موج P حاصله با مطالعات پیشین ۱- (Yasar and Erdogan(2004)، ۲- (Gaviglio(1989)، ۲- (Kahraman and Yeken(2008)، ۴- (bur and Hjelmstad(1980)، ۵- (Birch(1961) ۶- قربانی صابر و قبادی(۱۳۹۰)، ۷- مطالعه حاضر



نمودار ۴- همبستگی چگالی پوکی با سرعت موج P

[ ۴ ] قبادی، محمدحسین، قربانی صابر، اعظم، "استفاده از سرعت عبور موج P جهت تعیین ویژگی های فیزیکی سنگ آهک سازند ایلام- سروک، عنوان طرح پژوهشی"، هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۹۰.

[ ۵ ] خانلری، غلامرضا، قبادی، محمدحسین، سلیمی، سعید، "امکان ارزیابی خصوصیات مهندسی سنگهای آهکی با استفاده از خواص فیزیکی آنها (مطالعه موردی)", ششمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران دانشگاه تربیت مدرس، مهر ۱۳۸۸

[ ۶ ] جمشیدی، امین، نیکودل، محمدرضا، خامه چیان ماشالله، رنجبران، محسن، ذلولی، احمد، "ارتباط ویژگیهای پتروگرافی و فیزیکی با دوام سنگهای نما و تزئینی در مقابل تبلور نمک و ارائه یک طبقه بندی جدید دوام"، هشتمین همایش انجمن زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، آبان ۱۳۹۲

[ ۷ ] حسینی، سید هادی، آقابابایی، حمید، "شرایط زمین شناسی و تعیین ویژگی های تراورتن های تزئینی آذر شهر"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۶۲، زمستان ۱۳۸۵.

[ ۸ ] کارگریان، سامان، قبادی، محمدحسین، محسنی، حسن، خانلری، غلامرضا، "تعیین ویژگی های فیزیکی تراورتن ها با استفاده از سرعت موج p"، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، بهمن ۱۳۸۹

[ ۹ ] شیخ الاسلامی، محمدرضا، زمانی پدram، مسعود، نقشه زمین شناسی 1:100,000 محلات، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۶۰۵۷، ۱۳۸۶.

[10] K. N. Tamrakar, S. Yokota, and S. D. Shrestha, "Relationships among mechanical, physical and petrographic properties of Siwalik sandstones, Central Nepal Sub-Himalayas", Engineering Geology, Vol. 90, pp.105-123,2007.

[11] G. H. McNally, "Estimation of coal measures rock strength using sonic and neutron log", Geoexploration., Vol. 24, pp. 381-395, 1987.

[12] L. M. O. Sousa, L. M. S. dei Rio, L. Calleja, V. G. R. de Argandona, and A. R. Rey, "Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites", Engng Geol., Vol. 77, pp. 153-168, 2005.

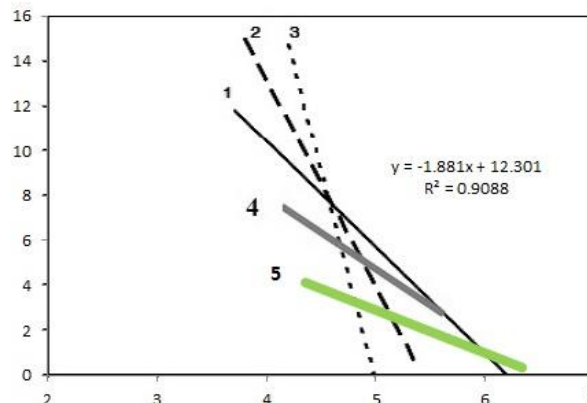
[13] ASTM, "Standard method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rocks", Annual Book of ASTM Standards, Part 19, D. 2845-69:356-363, 1978.

[14] F. Birch, "The velocity of compressional waves in rocks to 10 kilobars (Part I)". J Geophys Res. 65:1083-1102, 1961.

[15] T. R. Bur, K. E. Hjelmstad, "Elastic and attenuation symmetries of simulated lunar rocks", Icarus 13, pp. 414-423, 1970.

[16] P. Gaviglio, "Longitudinal waves propagation in a limestone: the relationship between velocity and density", Rock Mech. Rock Eng 22, pp. 299-306, 1989.

[17] D. A. Han, A. Nur, and D. Morgan, "Effect of porosity and clay content on wave velocities in sandstones", Geophysics 51, pp. 2093-2107, 1986.



نمودار ۷- مقایسه ارتباط بین تخلخل و سرعت موج P حاصله با مطالعات پیشین 1- (Kahraman and Yeken, 2008)

2- (Han, et al, 1986) 3- (Rzhevsky and Novik, 1971) ۴- قربانی صابر و قبادی (۱۳۹۰) ۵- مطالعه حاضر

## ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

آزمایشهای فیزیکی تخلخل، نسبت پوکی و جذب آب در کنار آزمایش سرعت عبور موج P بر روی سنگهای تزئینی ساختمانی شهر مشهد انجام گرفت. مقادیر سرعت عبور موج P و ویژگی های فیزیکی سنگها مقایسه شدند و همبستگی خوبی را نشان دادند.

مطالعه نشان می دهد که با استفاده از امواج اولتراسونیک و ویژگی های فیزیکی سنگهای ساختمانی کربناته را برای بررسی های اولیه می توان پیش بینی کرد، نکته قابل توجه در آزمایش اولتراسونیک و زمانی که از روابط تخمینی داده شده استفاده می شود، این است که این معادلات برای شرایط آزمایشگاه و نوع سنگ معتبر می باشند.

## ۶- سپاسگزاری

در پایان از جناب آقای مهندس محمدحسین خلیفه که در این پژوهش و انجام آزمایشها ما را یاری فرمودند، سپاسگزارم.

## مراجع

- [ ۱ ] آقاباتی، سید علی، زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی ایران، ۱۳۸۳.
- [ ۲ ] حجازی، مجتبی، شناخت سنگ تزئینی، تهران، چاپخانه کبیر، انتشارات آینه کتاب، دی ۱۳۷۴.
- [ ۳ ] فهیمی فر، احمد، سروش، حامد، آزمایش های مکانیک سنگ، مبانی نظری و استاندارد ها، جلد اول: آزمونهای آزمایشگاهی، انتشارات شرکت سهامی آزمایشگاه های فنی و مکانیک خاک.

- [20] E.Yasar, Y. Erdogan, "Correlating sound velocity with density, compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks". Int J Rock Mech Min Sci 41,pp. 871-875, 2004.
- [18] S. Kahraman, and T. Yeken, "Determination of physical properties of carbonate rocks from Pwave velocity", Bull Eng Geol Environ . 67, pp. 277-281, 2008.
- [19] V. Rzhovsky, G. Novik, "The physics of rocks" MIR Publishers, Moscow, 320, 1971.