بررسی عوامل مؤثر بر سرعت سیر موج التراسونیک در برخی از سنگ‌های ساختمانی مورد استفاده در ایران

سمیه عرب‌عامری[۱]، داود فریدونی[۲*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

۲. دانشیار زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۳۰ تاریخ **پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۳/۱۳

چکیده

آزمایش تعیین سرعت سیر موج التراسونیک روشی غیرمخرب، اقتصادی، ساده و سریع است که برای تعیین خواص فیزیکی و مهندسی سنگ‌ها بکار می‌رود. این آزمایش بر مبنای سرعت حرکت موج الاستیک از درون سنگ‌ها پایه‌ریزی شده است. سرعت سیر موج التراسونیک در سنگ‌ها به خواص ذاتی مانند ترکیب کانی‌شناسی، تراکم، تخلخل، اندازه دانه، شکل، بافت، ناهمسانگردی و عوامل آزمایشگاهی و محیطی مانند میزان و نوع ماده منفذی و درجه حرارت بستگی دارد. در این پژوهش، ۱۰ نمونه سنگ ساختمانی شامل سنگ‌آهک و گرانیت به تعداد ۵۰ نمونه آزمایشگاهی مکعبی با ابعاد ۱۰×۴×۴ سانتی‌متر برش داده شد و سپس با استفاده از دستگاه آزمایش سرعت سیر موج پاندیت مورد آزمایش قرار گرفتند تا پارامترهای مؤثر بر سرعت موج التراسونیک در آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. این پارامترها شامل وزن واحد حجم خشک، دما، نوع ماده منفذی، حالت ماده منفذی و بارگذاری می‌باشند. بر اساس نتایج بدست آمده همبستگی بین سرعت سیر موج التراسونیک و وزن واحد حجم خشک رابطه خطی مستقیم و با نوع سیال منفذی، حالت ماده پرکننده و بارگذاری به صورت روابط معکوس می‌باشد. علاوه بر این افزایش دما باعث افزایش سرعت سیر موج التراسونیک می‌گردد. همچنین از نظر نوع سیال منفذی، کمترین مقدار سرعت موج در حالت اشباع از آب و بیشترین مقدار سرعت موج در محلول نمک با غلظت ۱۵۰٪ به‌دست آمد. از نظر حالت ماده پرکننده منافذ سنگ، بیشترین مقدار سرعت در حالت پرکننده منجمد و کمترین مقدار سرعت در حالت پرکننده هوا مشاهده شد. با افزایش بارگذاری سرعت موج التراسونیک در سنگ‌های مورد مطالعه کاهش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: موج التراسونیک، سنگ ساختمانی، خواص مهندسی، دما، ماده پرکننده.

* نویسنده مسئول: d.fereidooni@du.ac.ir

DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2023.17.1.101184

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

مقدمه

امروزه نیاز به روش‌های ساده برای تعیین ویژگی‌های شاخص سنگ‌ها به صورت غیرمستقیم، اما قابل اعتماد وجود دارد. یکی از این روش‌ها آزمایش سرعت سیر موج التراسونیک می‌باشد. روش التراسونیک برای سال‌های زیادی در پروژه‌های مهندسی ژئوتکنیک و معدن مورد استفاده قرار گرفته است و در آزمایشگاه جهت تعیین خواص فیزیکی، مکانیکی و دینامیکی سنگ‌ها کاربرد دارد. از آنجایی‌که این روش، یک روش غیرمخرب، مقرون به صرفه، آسان و سریع است، در علوم مهندسی به طور فزاینده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش بر مبنای سرعت حرکت موج الاستیک از درون سنگ پایه‌ریزی شده و در استانداردهای جهانی با کدهای ASTM-C597-2، BS 1881-203 و BSEN 12504-4 معرفی شده است.

نوع سنگ، ترکیب کانی‌شناسی آن، اندازه ذرات سنگ، ترک‌های ریز و شکستگی‌ها و ترکیب ماده پرکننده منافذ از عوامل ذاتی تأثیرگذار بر روی سرعت سیر موج التراسونیک در سنگ هستند (Vajdova et al. 1999; Jaeger et al., 2009). این روش هم در آزمایشگاه و هم در صحرا می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. پتروگرافی و ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها از قبیل ترکیب کانی‌شناسی، تراکم، آب محتوا، سیال منفذی، ناهمسانگردی، درجه حرارت، شکستگی‌ها و ترک‌ها (تخلخل) از ویژگی‌های ذاتی هستند که رفتار مهندسی سنگ را کنترل می‌کنند. بر این اساس، سرعت موج التراسونیک سنگ‌ها به خواص ذاتی مانند ترکیب کانی‌شناسی، تراکم، تخلخل، اندازه دانه، شکل، بافت، ناهمسانگردی و عوامل آزمایشگاهی مانند میزان آب و درجه حرارت سنگ‌ها بستگی دارد (Fereidooni, 2018).

رابطه بین پارامترهای پتروگرافی و خواص شاخص سنگ‌ها از جمله سرعت سیر موج در سنگ توسط تعداد زیادی از محققین (به‌عنوان مثال، Ersoy and Waller, 1995; Durrast and Siegesmund, 1999; Fereidooni et al., 2015; Fereidooni, 2018; Azimian and Ajalloeian, 2015; Fereidooni et al., 2016) مورد مطالعه قرار گرفته است.

قهرمان و یکین (Kahraman and Yeken 2008) همبستگی خطی خوبی بین موج التراسونیک P و تراکم سنگ‌های کربنانه، تخلخل و جذب آب آن‌ها ارائه نمودند. کاراکاس و آکاتای (Karakus and Akatay, 2013)، مدل‌های همبستگی خوبی بین سرعت موج P و چگالی، تخلخل، مقاومت فشاری تک محوری، مقاومت کششی برزیلی، مدول الاستیسیته و نسبت پواسون را در سنگ‌های بازالتی که از ۱۸ مکان مختلف در منطقه دیاربکیر (Diyarbakir) تهیه شده بود، بدست آوردند. اثر اشباع‌شدگی و تخلخل سنگ بر سرعت موج التراسونیک از سوی برخی محققین مورد بررسی قرار گرفته است. در این خصوص، ثیل و بور (Thill and Bur, 1969) دریافتند که سرعت موج P با تخلخل و درجه اشباع‌شدگی سنگ‌ها تغییر می‌کند. آن‌ها اثر اشباع‌شدگی با آب بر سرعت موج را برای گرانودیوریت بررسی کردند. این محققین دریافتند که سرعت سیر موج P به طور قابل توجهی با تغییرات تخلخل و درجه اشباع‌شدگی سنگ تغییر می‌کند. رامانا و ونکاتانارایانا (Ramana and Venkatanarayana, 1973)گزارش کردند که سرعت سیر موج P با افزایش زمان اشباع‌شدگی برای سنگ‌های رسوبی افزایش می‌یابد. وتوکوری و همکاران (Vuturuki et al., 1974) دریافتند که با افزایش میزان اشباع مقدار سرعت سیر موج P افزایش می‌یابد. سینگ و کریپاموی (Singh and Kripamoy, 2005) به این نتیجه رسیدند که سرعت موج التراسونیک و مقاومت فشاری تک محوری با افزایش محتوای کوارتز، مقدار رطوبت و سیلیس کاهش می‌یابد. قهرمان و یکین (Kahraman and Yeken, 2008) همبستگی خطی قوی بین موج P و تراکم سنگ‌های کربناته، تخلخل، نسبت تخلخل و جذب آب را

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

ارائه کردند. رحمونی و همکاران (Rahmouni et al., 2013) با استفاده از سرعت موج التراسونیک برای پیش‌بینی تخلخل و تراکم در سنگ‌های کالک آرنایت که در آثار تاریخی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، توانستند همبستگی خوبی بین سرعت موج التراسونیک با تخلخل و تراکم بدست آورند. فریدونی (Fereidooni, 2018) تأثیر کانی‌شناسی و تخلخل بر سرعت موج التراسونیک را برای نمونه‌های سنگ دگرگونی جنوب و غرب منطقه همدان واقع در غرب ایران مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش، خواص فیزیکی نمونه سنگ‌ها مانند وزن واحد حجم خشک و اشباع، وزن مخصوص، تخلخل و جذب آب به منظور ایجاد ارتباط با سرعت سیر موج التراسونیک تعیین شده است. روابط آماری بدست آمده در این پژوهش بین ترکیب کانی‌شناسی و تخلخل با سرعت موج التراسونیک نشان می‌دهد که تخلخل مهم‌ترین عامل مؤثر بر سرعت موج التراسونیک در سنگ‌های مورد مطالعه می‌باشد.

پیش‌بینی خواص مهندسی سنگ بازالت در منطقه اردن با استفاده از آزمون سرعت موج التراسونیک توسط الدیکی و حاتمله (Aldeeky and Hattamleh, 2018) صورت گرفته است. هدف اصلی این مطالعه، ایجاد رابطه تجربی با استفاده از روش غیرمخرب سرعت موج التراسونیک برای پیش‌بینی خواص مهندسی سنگ‌های بازالتی می‌باشد. به همین منظور خواص مهندسی نمونه‌های بازالتی از نقاط مختلف منطقه الحسیمیه با استفاده از روش سرعت موج التراسونیک ارزیابی و سپس تجزیه و تحلیل آماری برای پیش‌بینی روابط بین و خواص مهندسی سنگ‌های مورد مطالعه صورت گرفته است. نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان داد که روابط خطی مستقیم خوبی بین سرعت موج التراسونیک با مقاومت فشاری تک محوری، مدول الاستیسیته مماسی، مقاومت کششی برزیلی و چگالی خشک سنگ‌ها وجود دارد، به طوری که افزایش سرعت موج التراسونیک باعث افزایش پارامترهای ذکر شده می‌گردد و فقط با افزایش سرعت موج التراسونیک، مقدار تخلخل کاهش می‌یابد.

در پژوهش حاضر، نمونه سنگ‌های ساختمانی پرکاربرد از معادن مختلف ایران با لیتولوژی متفاوت انتخاب شده است تا با انجام آزمایش سرعت سیر موج التراسونیک در این سنگ‌ها، تأثیر پارامترهای مختلف بر روی سرعت سیر موج التراسونیک در آن‌ها بررسی شود.

روش انجام پژوهش

برای انجام این پژوهش، در طی مطالعات کتابخانه‌ای اطلاعات موجود در کتب و مقالات مرتبط با موضوع تحقیق مورد مطالعه قرار گرفت و اطلاعات لازم برای انجام تحقیق جمع‌آوری گردید. در مرحله مطالعات میدانی، جمع‌آوری و تهیه نمونه‌های دارای لیتولوژی مختلف، با بازدید از مراکز تولید و برش سنگ ساختمانی در شهرهای مختلف، نمونه‌های بلوکی مورد نیاز تهیه گردید. در مرحله بعد، مطالعات آزمایشگاهی شامل انجام تهیه مقاطع میکروسکوپی از نمونه‌های مورد آزمایش جهت بررسی میکروسکوپی آن‌ها، آماده‌سازی و اندازه‌گیری ابعاد نمونه‌های آزمایشگاهی مکعبی مورد استفاده از قبیل طول، عرض و ارتفاع جهت تعیین خواص فیزیکی نمونه‌های مورد آزمایش، اندازه‌گیری وزن خشک و اشباع نمونه‌ها، آزمایش‌ها فیزیکی شاخص و بررسی سرعت سیر موج التراسونیک در شرایط مختلف انجام شده است. بدین منظور، ابتدا نمونه‌های مختلف با لیتولوژی‌های متفاوت تهیه گردید و سپس در آزمایشگاه نمونه‌های آزمایشگاهی مکعبی با ابعاد ۱۰×۴×۴ سانتی‌متر از آن‌ها برش داده شد. نمونه‌های آزمایشگاهی مکعبی تهیه شده به صورت اتفاقی از نقاط مختلف نمونه‌های بلوکی انتخاب شدند. از

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

آنجایی که معمولاً سنگ‌ها دارای طبیعت ناهمگن می‌باشند، بنابراین این موضوع می‌تواند نوعی عدم قطعیت در انتخاب نمونه‌های آزمایشگاهی کاملاً یکسان باشد که منجر به پراکندگی و افزایش انحراف معیار نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی و از جمله مقدار سرعت سیر موج التراسونیک گردد. طول، عرض و ارتفاع نمونه‌های مکعبی تهیه شده به منظور تعیین خواص فیزیکی سنگ‌ها و همچنین وزن واحد حجم خشک و اشباع آن‌ها اندازه‌گیری گردید. سپس سرعت سیر موج در شرایط فیزیکی متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. این شرایط فیزیکی شامل بررسی سرعت موج التراسونیک در دمای معمولی آزمایشگاه، دمای ۱۶-، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، حالت اشباع از آب، حالت انجماد و اشباع از سه محلول نمک سدیم با غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ درصد می‌باشد. در این پژوهش، به منظور اندازه‌گیری سرعت سیر موج در سنگ‌های مورد مطالعه، از دستگاه سرعت سیر موج التراسونیک پاندیت استفاده شده است. این دستگاه برای اندازه‌گیری سرعت سیر امواج P و S در نمونه‌های سنگ، بتن، سرامیک، چوب و غیره و همچنین بررسی ساختار سنگ، بتن، خصوصیات آن‌ها و نیز بررسی شدت تخریب یا شکستگی در آن‌ها بکار گرفته می‌شود. به منظور استفاده از این دستگاه ابتدا باید دستگاه کالیبره باشد. این دستگاه ساخت شرکت پروسک از کشور سوئیس می‌باشد که شامل دو مولد موج P و موج S می‌باشد.

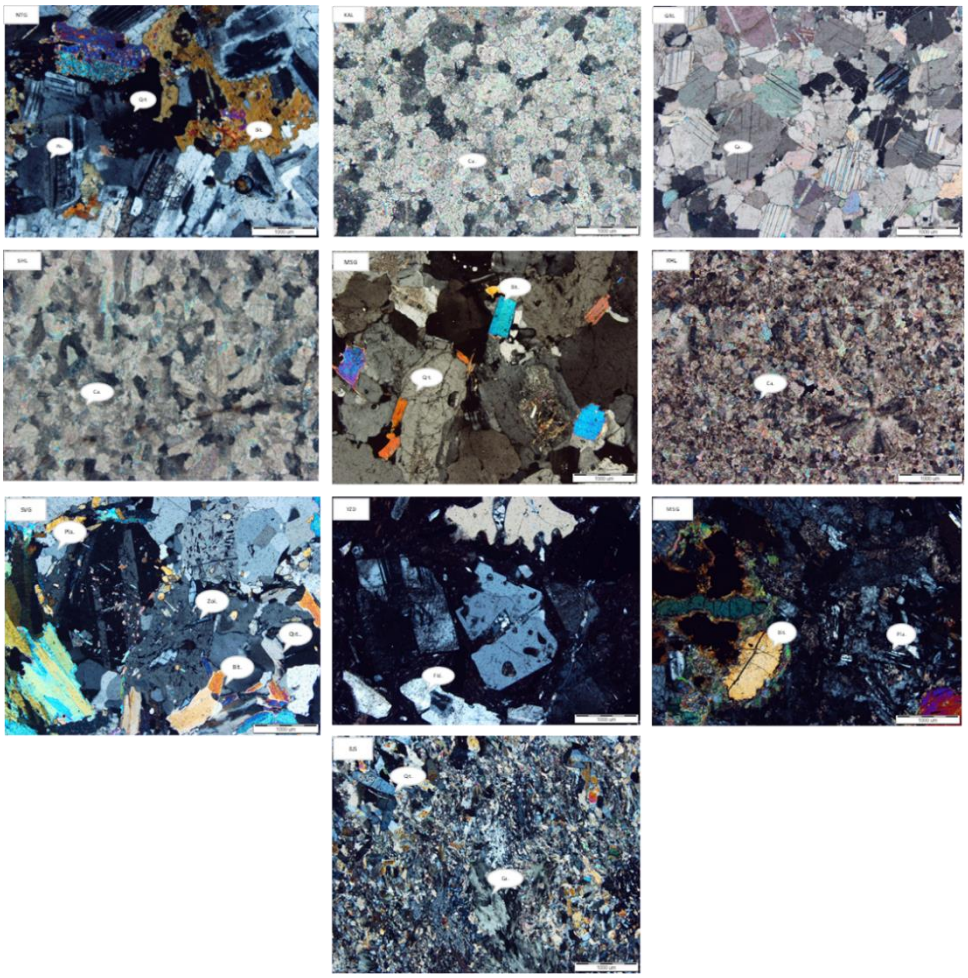
نمونه‌های سنگی استفاده شده در این پژوهش شامل سنگ‌آهک قروه کردستان (GRL)، سنگ‌آهک گوهره خرم آباد (KAL) ، سنگ‌آهک خوی (KHL)، گرانودیوریت نطنز (NTG)، گرانیت مشهد (MSG)، سنگ‌آهک بدشت شاهرود (SHL)، مونزونیت الموت قزوین (QZM)، داسیت یزد (YZD)، گرانیت سبزوار (SVG) و اسکارن دربار بیرجند (BJS) می‌باشند. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از انجام آزمایش‌ها آزمایشگاهی، با رسم نمودارها و تفسیر آن‌ها صورت گرفته است.

ویژگی‌های کانی‌شناسی و پتروگرافی

در این بخش به منظور انجام مطالعات میکروسکوپی از نمونه سنگ‌های تحت آزمایش مقاطع میکروسکوپی تهیه گردیده و سپس مقاطع میکروسکوپی مطالعه شده است. در مطالعات پتروگرافی، مقاطع از نظر خصوصیات کانی‌شناسی و بافتی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بر اساس این مطالعات، نوع کانی‌های تشکیل دهنده هر سنگ و همچنین درصد آن‌ها تعیین شده است. با توجه به مطالعات صورت گرفته بر روی مقاطع میکروسکوپی اطلاعات ذکر شده جمع‌آوری گردیده، علاوه بر این از هر یک از مقاطع عکس‌برداری صورت گرفته است که در شکل ۱ مشاهده می‌شود. با توجه به مطالعات صورت گرفته بر روی مقاطع میکروسکوپی، درصد کانی‌های تشکیل دهنده هر یک از سنگ‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه گردیده است. از آنجایی که مقاطع نازک میکروسکوپی از نقاط مختلف نمونه‌های آزمایشگاهی مکعبی تهیه شدند، معمولاً نتایج آزمایش تعیین ویژگی‌های کانی‌شناسی و پتروگرافی سنگ‌ها می‌تواند دقیقاً معرف ویژگی‌های کانی‌شناسی و پتروگرافی کلی نمونه سنگ نباشد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]



شکل ۱. تصاویر مقاطع نازک میکروسکوپی سنگ‌های مورد مطالعه

Fig. 1. Microscopic thin section images of the studied rocks

جدول ۱. محتوای کانی‌شناسی سنگ‌های مورد مطالعه

Table 1. Mineralogical content of the studied rocks

Rock sample	Rock type	Mineral content (%)											
		Qtz	Pla	Cal	Am	Bt	Mt	Ap	Zr	Es	Vel	Cor	Other Minerals
GRL	Limestone	-	-	98	-	-	-	-	-	-	-	-	2
KAL	Limestone	-	-	95	-	-	-	-	-	-	-	-	5
KHL	Limestone	-	-	95	-	-	-	-	-	-	-	-	5
NTG	Granit	20	40	-	10	10	-	5	5	5	-	-	5
MSG	Granit	70	-	-	-	10	5	-	5	-	-	-	10
SHL	Limestone	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
QZM	Granit	-	55	-	15	15	-	1	-	-	-	-	14
YZD	Granit	-	25	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SVG	Granit	-	40	-	-	-	3	-	-	5	-	-	-
BJS	Skarn	5	-	20	20	-	-	-	-	-	5	50	-

Qtz., quartz; Fld., Fldspar; Ca., Calcite; Am., Amphibol; Bt., Biotite; Mt., Muscuvite; Ap., Apatite; Zr., Zircone; Es., Esphene; Zoi., Zoizite; Wol., Wollastonite; Cor., Cordierite

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

خصوصیات فیزیکی

در این پژوهش، با اندازه‌گیری پارامترهای وزن خشک، وزن اشباع، حجم حفرات و حجم قسمت جامد، خصوصیات فیزیکی از قبیل وزن واحد حجم خشک و اشباع (γ_d and γ_{sat})، وزن مخصوص (G_s)، تخلخل (n) و جذب آب (W_a) برای همه نمونه‌های مورد مطالعه تعیین شده است. برای این منظور، اندازه‌گیری‌ها بر روی نمونه‌های آزمایشگاهی مکعبی آماده شده انجام گرفت. بر روی هر نمونه ۵ آزمایش و در مجموع ۵۰ آزمایش برای تعیین خواص فیزیکی صورت گرفته است. مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که بیشترین مقدار وزن واحد حجم خشک (۲۸/۷۵ کیلو نیوتن بر متر مکعب) و وزن مخصوص (۲/۹۴) در نمونه BJS و کمترین مقدار آن در نمونه KHL با مقادیر به ترتیب ۲۳/۲۰ کیلو نیوتن بر متر مکعب برای وزن واحد حجم خشک و ۲/۴۹ برای وزن مخصوص می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار تخلخل مربوط به نمونه KHL با مقدار 5.02 درصد و کمترین مقدار تخلخل مربوط به نمونه QZM با مقدار ۰/۲۱ درصد می‌باشد. علاوه بر این بیشترین مقدار جذب آب مربوط به نمونه KHL با مقدار ۲/۱۲ درصد و کمترین مقدار مربوط به نمونه QZM با مقدار ۰/۸ درصد می‌باشد. عدم قطعیت در اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی نمونه سنگ‌های مورد مطالعه به دلیل انتخاب اتفاقی نمونه‌های مورد استفاده در تعیین این ویژگی‌ها می‌تواند منجر به پراکندگی و افزایش انحراف معیار نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی همه این خصوصیات گردد.

نتایج و بحث

پس از آماده‌سازی نمونه‌های آزمایشگاهی مکعبی، آزمایش اندازه‌گیری سرعت موج التراسونیک با رعایت نکات اساسی و استاندارد صورت گرفت. به منظور انجام این آزمایش، قبل از انجام آزمایش دستگاه پاندیت کالیبره گردید. در هنگام انجام این آزمایش نمونه باید در جای ثابت قرار گیرد و هیچ‌گونه فشاری بر آن وارد نشود، چرا که باعث ایجاد خطا در سرعت سیر موج می‌گردد. سپس، مبدل و گیرنده در دو طرف نمونه قرار گرفت و عدد نمایش داده شده بر روی دستگاه قرائت گردید. اندازه‌گیری سرعت در یک راستای مشخص برای همه نمونه‌ها صورت گرفت. هدف اصلی این پژوهش، بررسی تأثیر پارامترهای مختلف و شرایط فیزیکی متفاوت بر سرعت سیر موج التراسونیک می‌باشد که در ادامه به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

بررسی تأثیر وزن واحد حجم خشک بر سرعت سیر موج التراسونیک سنگ‌های مورد مطالعه تحت شرایط فیزیکی مختلف

به منظور بررسی وزن واحد حجم خشک بر سرعت سیر موج الترسونیک، ابتدا نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها را از آون بیرون آورده و وزن خشک هر نمونه تعیین گردید، و وزن واحد حجم خشک هر نمونه با توجه به شکل منظم هندسی آن و تعیین حجم نمونه بدست آمد. در این مرحله رابطه سرعت موج التراسونیک در شرایط فیزیکی متفاوت با وزن واحد حجم خشک مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. به منظور بررسی تأثیر وزن واحد حجم خشک بر سرعت موج التراسونیک در دماهای مختلف میانگین مقادیر وزن واحد حجم خشک در مقابل مقادیر سرعت موج در التراسونیک در پنج دمای مختلف شامل ۱۶-، ۲۶، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و نمودار ارتباط بین این پارامترها ترسیم گردیده است (شکل ۲). با توجه به نمودارهای ارائه شده می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

وزن واحد حجم نمونه‌ها در همه دماها، سرعت سیر موج در سنگ‌های مورد مطالعه افزایش می‌یابد، به طوری که کمترین همبستگی در دمای ۱۶- و بیشترین همبستگی در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود.

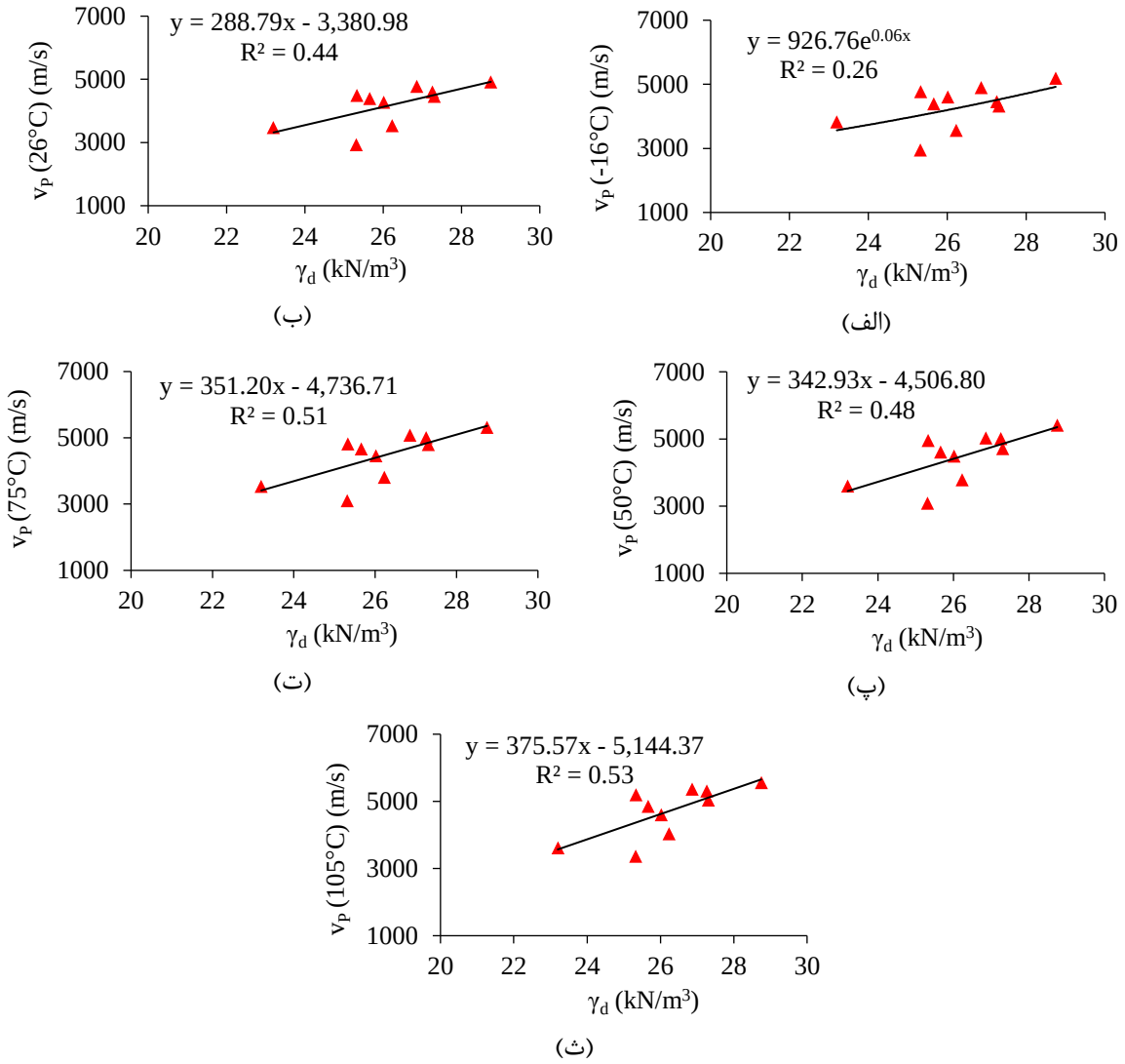
جدول ۲. خصوصیات فیزیکی سنگ‌های مورد مطالعه

Table 2. Physical properties of the studied rocks

Sample	Test No.		γ_d (KN/m^3)	γ_{sat} (KN/m^3)	Gs	n (%)	Wa (%)
GRL	5	Min	26.73	26.79	2.74	0.26	0.09
		Ave.	27.31	27.36	2.80	0.43	0.16
		Max	28.04	28.08	2.87	0.64	0.24
		SD	0.54	0.54	0.05	0.14	0.05
KAL	5	Min	25.17	25.54	2.67	2.97	1.13
		Ave.	25.66	25.99	2.71	3.43	1.31
		Max	26.10	26.44	2.76	3.76	1.46
		SD	0.34	0.33	0.03	0.31	0.13
KHL	5	Min	22.88	23.38	2.46	4.78	2.04
		Ave.	23.20	23.69	2.49	5.02	2.12
		Max	23.65	24.14	2.54	5.29	2.21
		SD	0.34	0.35	0.04	0.19	0.07
NTG	5	Min	26.62	26.66	2.73	0.42	0.15
		Ave.	26.86	26.91	2.75	0.46	0.17
		Max	26.99	27.04	2.76	0.50	0.18
		SD	0.14	0.14	0.01	0.03	0.01
MSG	5	Min	24.85	24.98	2.57	1.21	0.47
		Ave.	25.32	25.45	2.61	1.28	0.50
		Max	25.70	25.83	2.65	1.35	0.53
		SD	0.37	0.37	0.04	0.06	0.03
SHL	5	Min	25.78	25.81	2.64	0.28	0.11
		Ave.	26.02	26.06	2.66	0.36	0.13
		Max	26.30	26.34	2.69	0.39	0.15
		SD	0.23	0.24	0.02	0.05	0.02
QZM	5	Min	26.78	26.80	2.74	0.18	0.06
		Ave.	27.26	27.28	2.78	0.21	0.08
		Max	27.58	27.60	2.82	0.26	0.09
		SD	0.29	0.29	0.03	0.03	0.01
YZD	5	Min	25.09	25.17	2.58	0.57	0.22
		Ave.	25.33	25.39	2.60	0.64	0.25
		Max	25.65	25.70	2.63	0.86	0.34
		SD	0.23	0.22	0.02	0.12	0.05
SVG	5	Min	25.89	25.95	2.66	0.63	0.24
		Ave.	26.23	26.30	2.69	0.71	0.27
		Max	26.63	26.70	2.73	0.77	0.29
		SD	0.30	0.31	0.03	0.05	0.02
BJS	5	Min	28.47	28.50	2.91	0.31	0.11
		Ave.	28.75	28.78	2.94	0.32	0.11
		Max	29.05	29.08	2.97	0.34	0.12
		SD	0.24	0.24	0.02	0.01	0.00

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

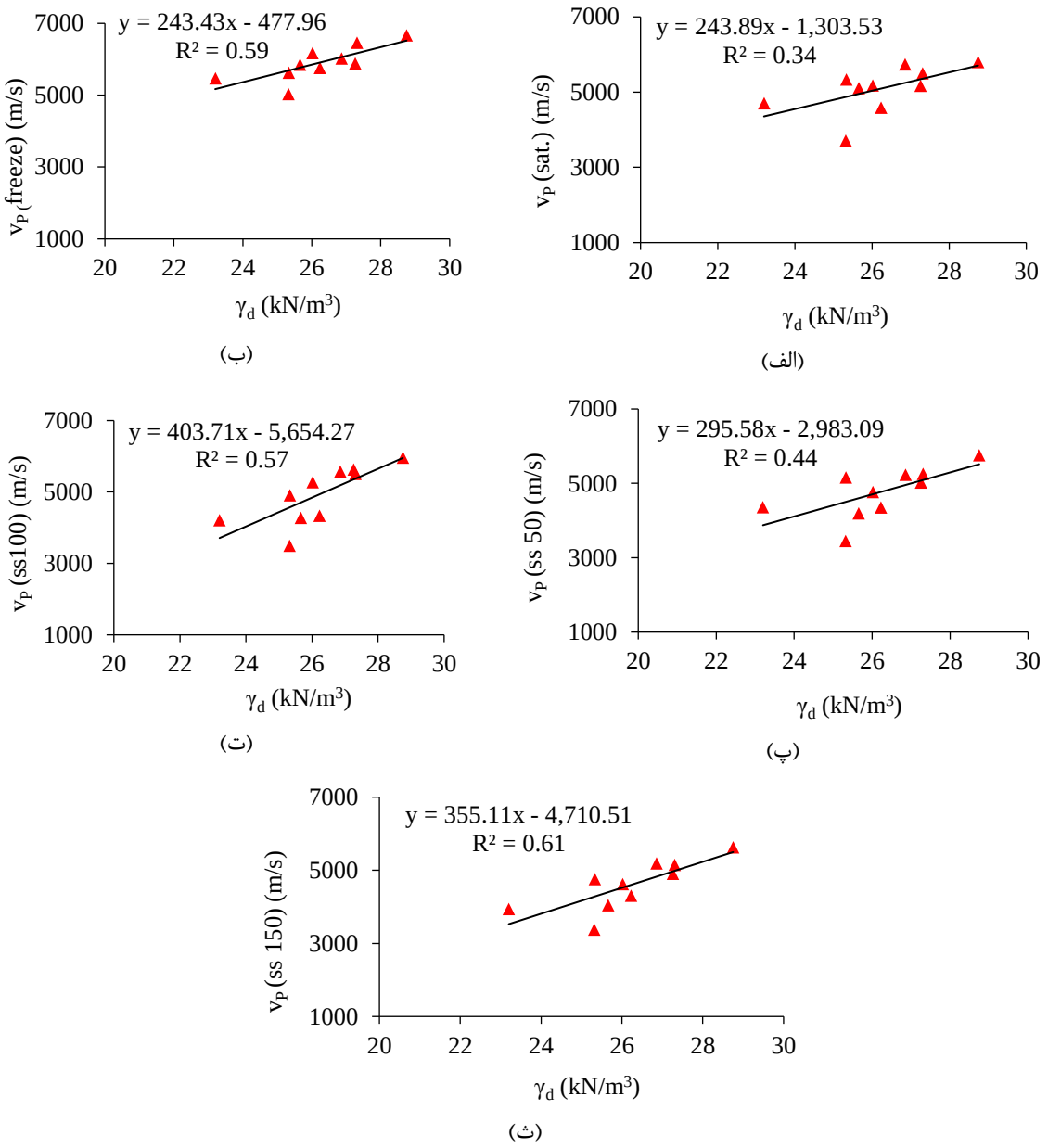


شکل ۲. ارتباط بین وزن واحد حجم خشک و سرعت موج التراسونیک سنگ‌های مورد مطالعه در دماهای الف) ۱۶-، ب) ۲۶، پ) ۵۰، ت) ۷۵ و ث) ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد

Fig. 2. Relationship between dry unit weight and ultrasonic wave velocity of the studied rocks at temperatures a) -16, b) 26, c) 50, d) 75 and d) 105 degrees of Celsius

علاوه بر این، همبستگی بین وزن واحد حجم خشک و سرعت موج التراسونیک در شرایط اشباع از آب، انجماد و اشباع از سه محلول نمک با غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ درصد نیز مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج آن در شکل ۳ ارائه داده شده است. این نتایج نشان می‌دهند که بین وزن واحد حجم خشک و سرعت موج التراسونیک در شرایط انجماد نسبت به حالت اشباع از آب همبستگی بهتری وجود دارد، همچنین این همبستگی با افزایش غلظت نمک در شرایط اشباع نمونه‌ها از محلول نمک افزایش می‌یابد. به طوری که بیشترین همبستگی در حالت اشباع از محلول نمک با غلظت ۱۵۰ درصد و کمترین همبستگی در حالت اشباع از محلول نمک با غلظت ۵۰ درصد مشاهده می‌شود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]



شکل ۳. ارتباط بین وزن واحد حجم خشک و سرعت موج التراسونیک سنگ‌های مورد مطالعه در شرایط الف) اشباع از آب (.Sat)، ب) انجماد (freeze) و پ) اشباع از محلول نمک (ss) ۵۰ درصد، ت) اشباع از محلول نمک (ss) ۱۰۰ درصد و ث) اشباع از محلول نمک (ss) ۱۵۰ درصد

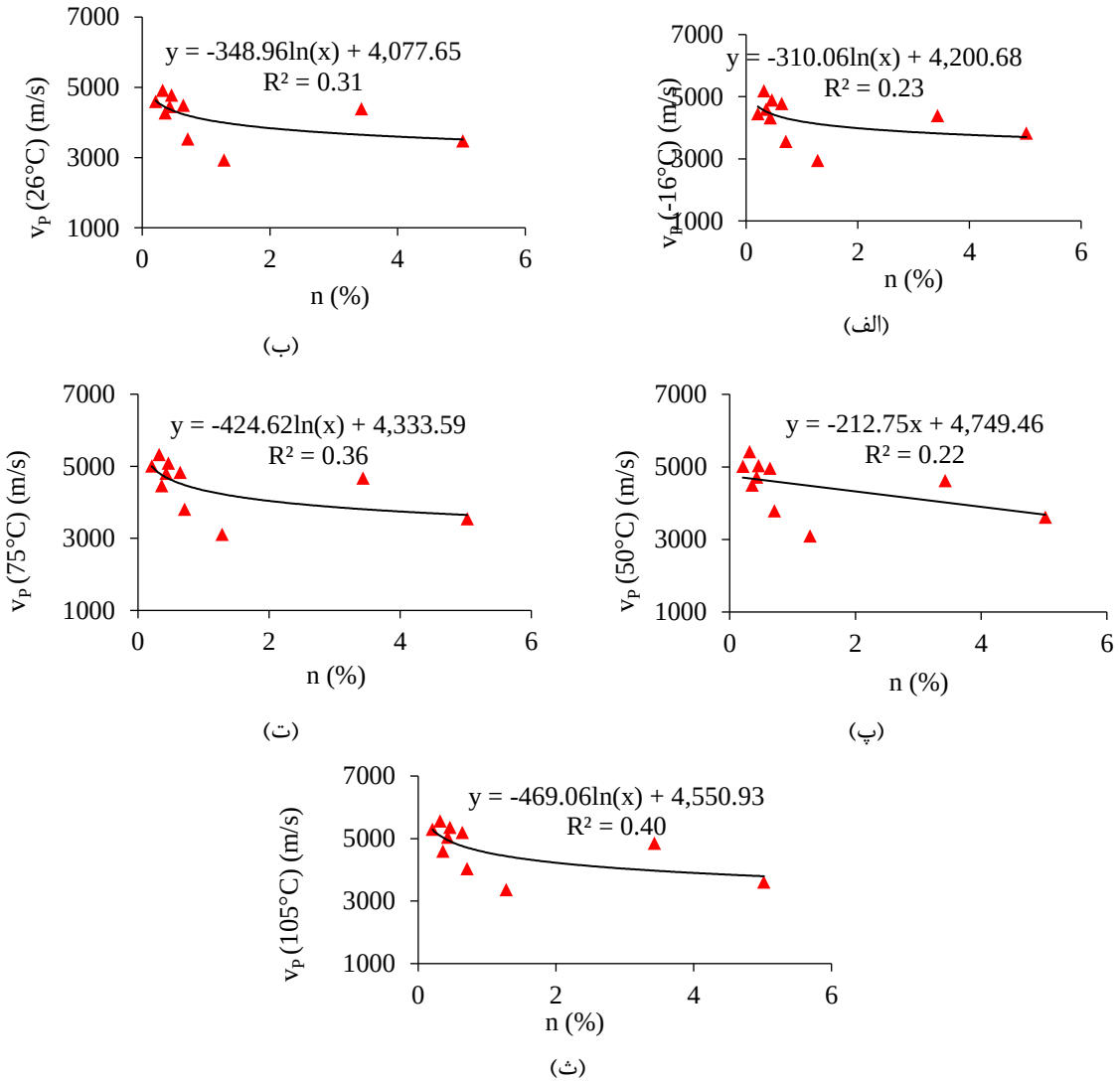
Fig. 3. Relationship between dry unit weight and ultrasonic wave velocity of the studied rocks in the conditions of a) saturation with water (Sat.), b) freeze, c) saturation with salt solution of 50%, d) saturation with salt solution of 100%, and e) saturated with salt solution of 150%

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

بررسی تأثیر تخلخل بر سرعت سیر موج التراسونیک سنگ‌های مورد مطالعه تحت شرایط فیزیکی مختلف

به منظور بررسی اثر تخلخل بر سرعت سیر موج التراسونیک در نمونه سنگ‌های مورد مطالعه، ابتدا مقادیر تخلخل هر یک از نمونه‌ها تعیین و سپس در مقابل مقادیر سرعت موج نمونه‌ها قرار گرفتند. به منظور سهولت مقایسه در نتایج بدست آمده، ابتدا ارتباط بین تخلخل و سرعت موج در دماهای مختلف بررسی شده در آزمایش و سپس سایر شرایط فیزیکی مورد بررسی قرار گرفتند. این نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است.

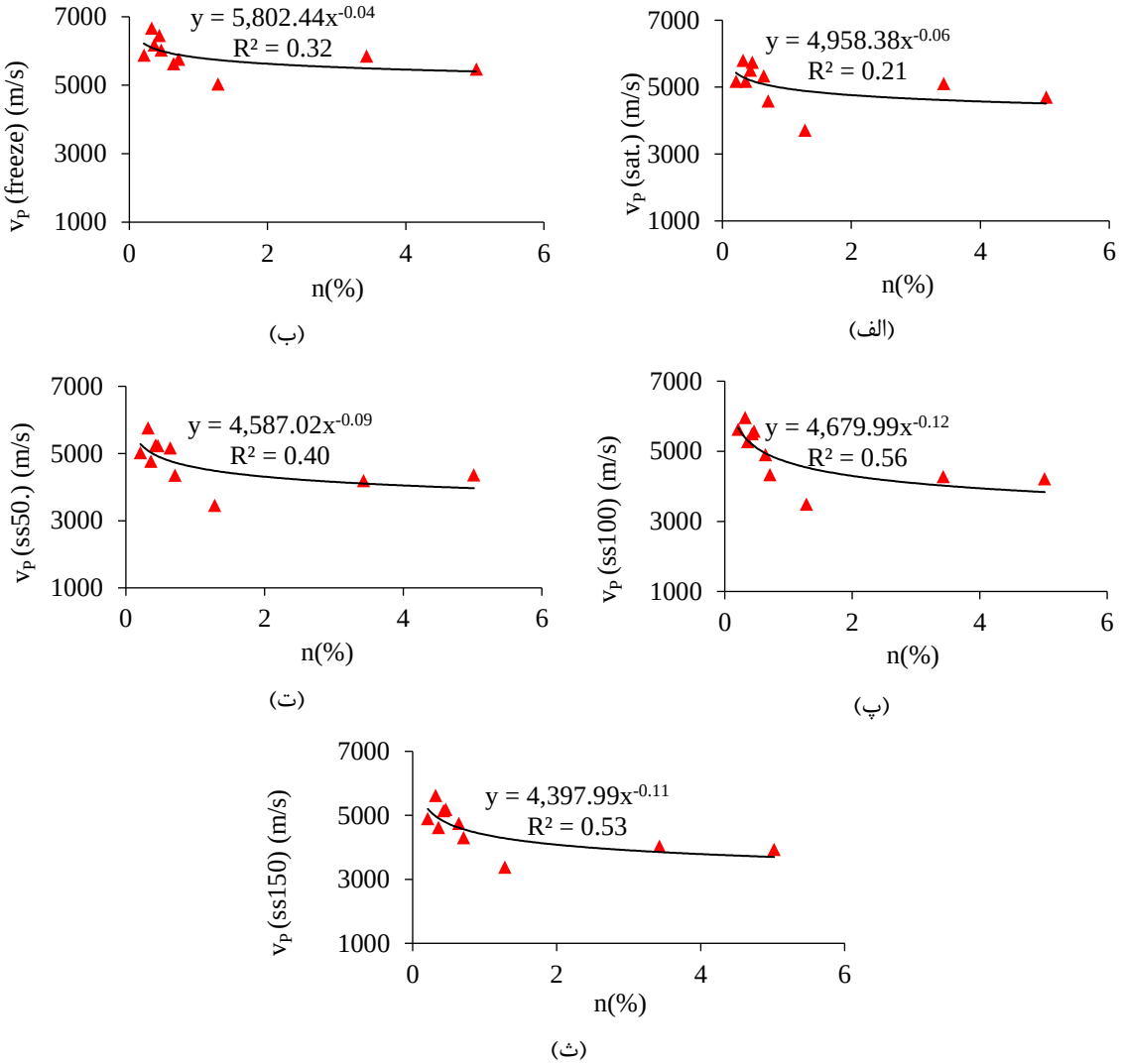


شکل ۴. ارتباط بین تخلخل و سرعت موج التراسونیک سنگ‌های مورد مطالعه در دماهای الف) ۱۶-، ب) ۲۶، پ) ۵۰، ت) ۷۵ و ث) ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد

Fig. 4. Relationship between porosity and ultrasonic wave velocity of the studied rocks at temperatures of a) -16, b) 26, c) 50, d) 75 and d) 105 degrees of Celsius

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش تخلخل باعث کاهش سرعت موج التراسونیک می‌شود. علاوه بر این، این کاهش با افزایش دما بیشتر می‌شود. همچنین، ارتباط بین تخلخل و سرعت موج التراسونیک در شرایط اشباع از آب (.sat)، انجماد (freeze) و اشباع از محلول نمک سدیم (ss) نیز در شکل ۵ ارائه شده است. تخلخل باعث کاهش سرعت موج التراسونیک در نمونه‌های مورد مطالعه می‌شود. این کاهش در حالت اشباع از محلول نمک با غلظت ۱۵۰ درصد بیشترین و در حالت اشباع از محلول نمک با غلظت ۵۰ درصد کمترین تأثیر را دارد.



شکل ۵. ارتباط بین تخلخل و سرعت موج سنگ‌های مورد مطالعه در شرایط الف) اشباع از آب (.Sat)، ب) انجماد (freeze) و پ) اشباع از محلول نمک (ss) ۵۰ درصد، ت) اشباع از محلول نمک (ss) ۱۰۰ درصد و ث) اشباع از محلول نمک (ss) ۱۵۰ درصد

Fig. 5. Relationship between porosity and ultrasonic wave velocity of the studied rocks in the conditions of a) saturation with water (Sat.), b) freeze, c) saturation with salt solution of 50%, d) saturation with salt solution of 100%, and e) saturated with salt solution of 150%

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

بررسی تأثیر دما بر سرعت سیر موج التراسونیک سنگ‌های مورد مطالعه

در این مرحله، ابتدا سرعت سیر موج برای نمونه‌ها در دمای معمولی آزمایشگاه (۲۶ درجه سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. پس از آن، هر نمونه از آون بیرون آورده شده و آزمایش سرعت سیر موج التراسونیک بر روی آن انجام گرفت. این مرحله باید به سرعت صورت گیرد تا از پایین آمدن دمای سنگ و ایجاد خطای احتمالی جلوگیری شود. این مراحل برای دمای ۷۵ و ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد نیز صورت گرفت. پس از خروج نمونه‌ها از آون و انجام آزمایش سرعت موج التراسونیک، به منظور انجام آزمایش در دمای بالاتر باید نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای معمولی آزمایشگاه قرار گیرند، تا به طور کامل سرد شوند. در آخرین مرحله از آزمایش، تأثیر دما بر سرعت موج التراسونیک نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در یخچال و در دمای ۱۶- درجه قرار گرفتند و پس از آن برای تعیین سرعت سیر موج بیرون آورده شده، رطوبت احتمالی بر روی نمونه‌ها با پارچه تمیز گرفته شد و اندازه‌گیری سرعت صورت گرفت.

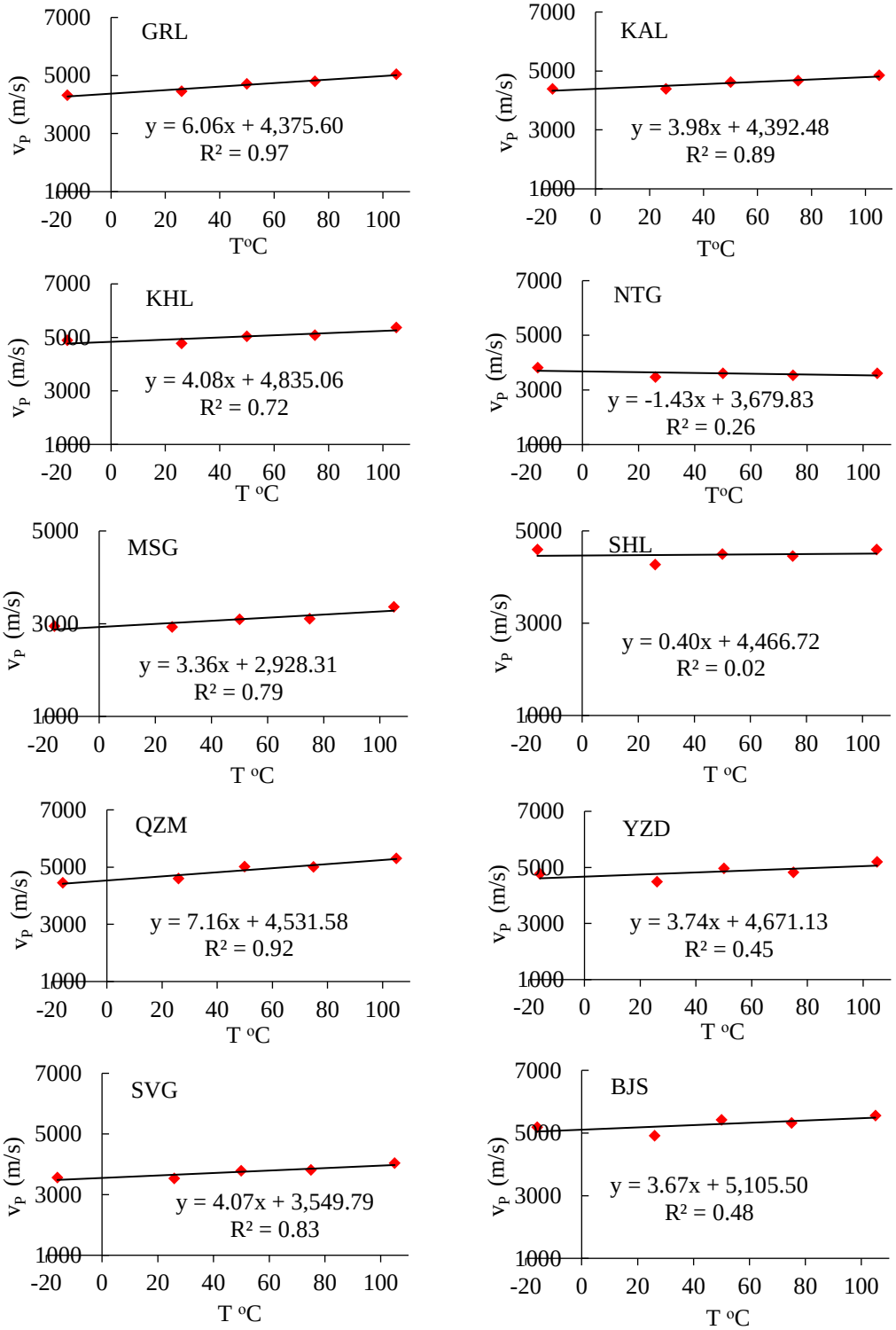
همبستگی بین دما و سرعت موج التراسونیک برای سنگ‌های مورد مطالعه در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در این نمودارها مشاهده می‌شود، ارتباط دما و سرعت موج التراسونیک در اکثر نمونه‌ها به صورت رابطه خطی مستقیم با ضریب همبستگی خوب می‌باشد. در نمونه GRL که دارای ۹۸ درصد کلسیت متبلور می‌باشد و نمونه QZM بیشترین همبستگی و در نمونه SHL که دارای ۱۰۰ درصد کلسیت دانه‌ریز است، کمترین ضریب همبستگی بین دما و سرعت سیر موج التراسونیک وجود دارد. نمونه KHL دارای بیشترین میزان تخلخل است که به وضوح در نمونه دستی نیز مشاهده می‌شود.

بررسی تأثیر نوع سیال منفذی بر سرعت سیر موج التراسونیک سنگ‌های مورد مطالعه تحت حالت اشباع از آب و اشباع از محلول نمک سدیم با غلظت متفاوت

در این مرحله ابتدا سنگ‌های مورد مطالعه در حالت‌های اشباع از آب و محلول نمک سدیم با غلظت مختلف آماده شدند. بدین منظور نمونه‌ها ابتدا در حالت اشباع از آب قرار گرفتند. به منظور اطمینان از اشباع شدن کامل، نمونه‌ها را در یک ظرف بزرگ قرار داده و ظرف از آب مقطر پر گردید تا جایی که تمام نمونه‌ها زیر آب قرار گرفتند. نمونه‌ها به مدت ۷ روز در آب قرار داده شدند، سپس از آب بیرون آورده شده و رطوبت روی سطح سنگ توسط پارچه مرطوب تمیز گرفته شد و آزمایش سرعت سیر موج بر روی آن‌ها انجام پذیرفت. در گام بعدی، به منظور بررسی اثر محلول نمک سدیم با غلظت ۵۰ درصد بر سرعت موج التراسونیک، نمونه‌های مورد آزمایش در محلول آماده شده به مدت ۷ روز قرار گرفتند تا به طور کامل اشباع شوند. پس از گذشت این زمان، رطوبت نمونه‌ها و نمک روی سطح آن‌ها با پارچه مرطوب تمیز گرفته می‌شود و اندازه‌گیری سرعت موج التراسونیک صورت می‌گیرد. این مراحل برای محلول نمک سدیم ۱۰۰ و ۱۵۰ درصد هم تکرار گردید. نتایج حاصل از اندازه‌گیری سرعت سیر موج التراسونیک سنگ‌های مورد مطالعه تحت شرایط مذکور در نمودارهای ارائه شده در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار سرعت موج در حالت اشباع از آب خالص و اشباع از سه محلول نمک با غلظت متفاوت در نمونه BJS و کمترین مقدار در نمونه MSG بدست آمده است. بنابراین میانگین سرعت موج التراسونیک در حالت اشباع از محلول نمک با غلظت ۱۵۰ درصد بیشتر از حالت اشباع از سایر محلول‌های نمک و آب خالص است، اما نرخ افزایش سرعت از آب خالص تا محلول نمک با غلظت ۱۵۰ درصد خیلی کم می‌باشد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

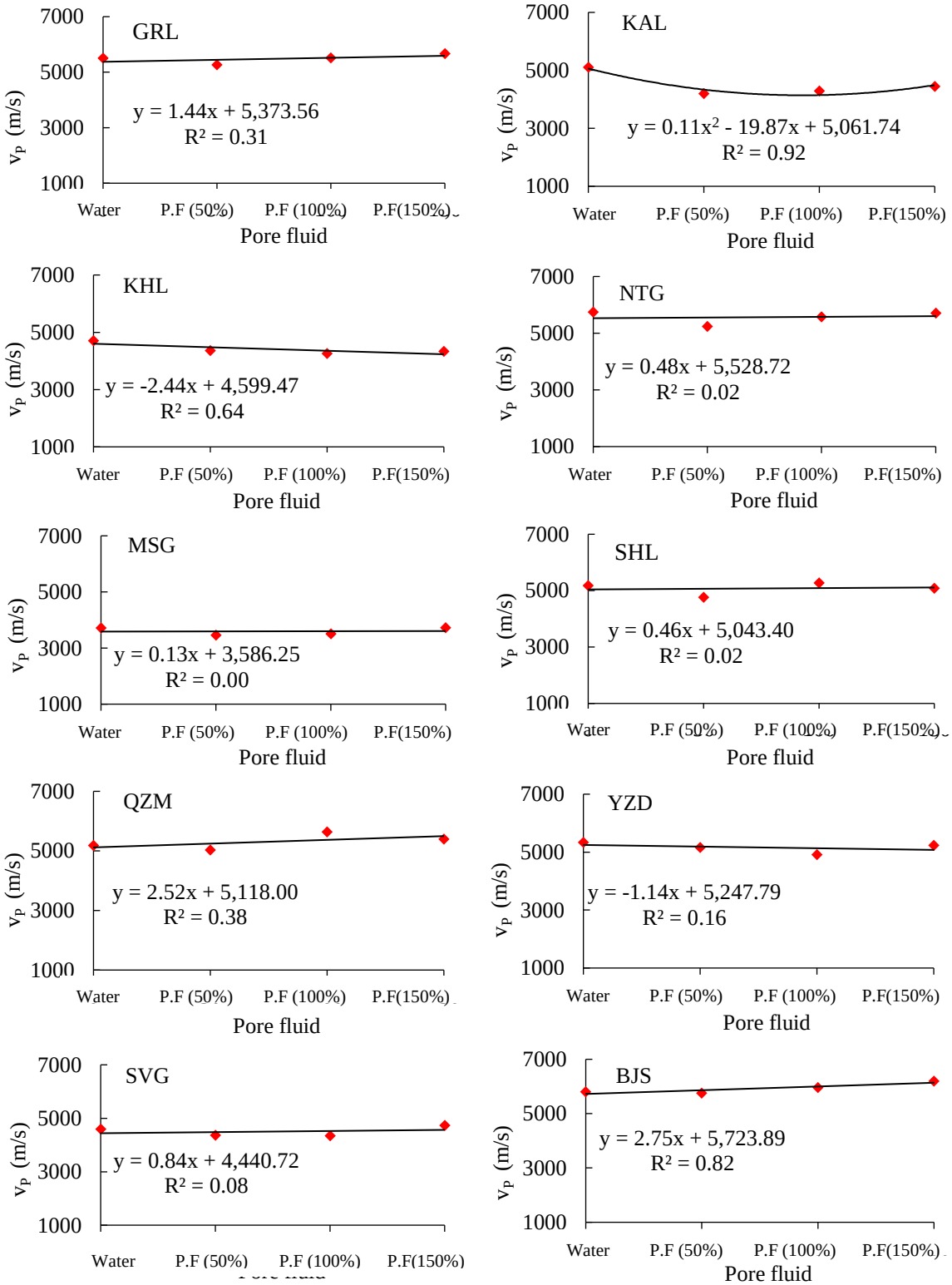


شکل ۶. ارتباط بین دما و سرعت موج التراسونیک در نمونه‌های سنگی مورد مطالعه

Fig. 6. Relationship between temperature and ultrasonic wave velocity in the studied rock samples

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]



شکل ۷. ارتباط بین نوع سیال منفذی و سرعت موج التراسونیک در سنگ‌های مورد مطالعه

Fig. 7. Relationship between pore fluid type and ultrasonic wave velocity in the studied rocks

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

بررسی تأثیر حالت ماده پرکننده بر سرعت سیر موج التراسونیک سنگ‌های مورد مطالعه در سه فاز جامد، مایع و گاز

هدف اصلی در این مرحله بررسی حالت ماده پرکننده در سه فاز جامد، مایع و گاز بر سرعت سیر موج التراسونیک سنگ‌های مورد مطالعه می‌باشد. در این قسمت مواد پرکننده حفرات در سه حالت منجمد (فاز جامد)، اشباع از آب (فاز مایع) و هوا در دمای معمولی آزمایشگاه (فاز گاز) می‌باشند. برای این منظور، ابتدا سرعت سیر موج التراسونیک نمونه‌ها در دمای معمولی آزمایشگاه اندازه‌گیری شده و سپس نمونه‌ها به مدت ۷ روز در حالت اشباع از آب قرار گرفتند. پس از اندازه‌گیری سرعت موج التراسونیک در این مرحله، نمونه‌ها بلافاصله در فریزر قرار داده شدند و پس از ۲۴ ساعت آزمایش سرعت موج التراسونیک بر روی آن‌ها صورت گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده، ارتباط بین سرعت سیر موج التراسونیک و حالت ماده پرکننده، در نمودارهای ارائه شده در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین سرعت موج التراسونیک در هر سه حالت ماده پرکننده در نمونه BJS و کمترین مقدار سرعت موج مربوط به نمونه NTG می‌باشد. علاوه بر این سرعت موج التراسونیک با حالت ماده پرکننده از حالت جامد به گاز در تمام نمونه‌ها رابطه معکوس دارد. یعنی اینکه سرعت موج التراسونیک در حالت انجماد بیشتر از مایع، و مایع بیشتر از هوا می‌باشد. چون در حالت مایع حفرات سنگ‌ها توسط آب پر شده در نتیجه نسبت به حالت هوا که حفرات خالی هستند در نتیجه کاهش تخلخل، افزایش سرعت موج التراسونیک مشاهده می‌شود. این موضوع در رابطه با حالت منجمد تأثیر بیشتری نسبت به دو حالت دیگر دارد. به طور کلی سرعت سیر موج التراسونیک در جامدات بیشتر از مایعات و در مایعات بیشتر از گازها می‌باشد.

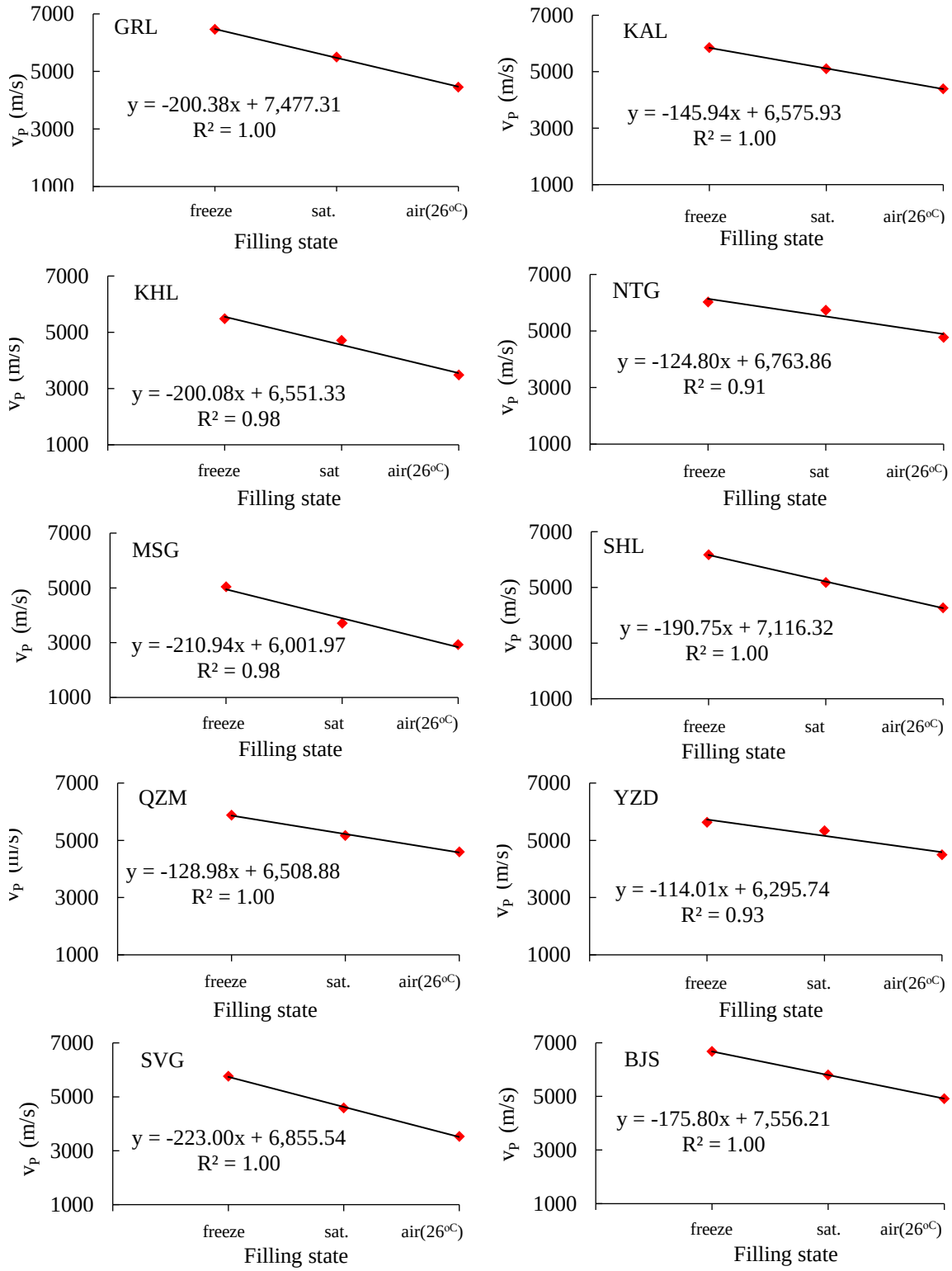
بررسی تأثیر بارگذاری بر سرعت سیر موج التراسونیک سنگ‌های مورد مطالعه

در این مرحله، هدف اصلی بررسی تأثیر بارگذاری بر سرعت سیر موج التراسونیک در سنگ‌های مورد مطالعه تا مرحله گسیختگی نمونه‌ها می‌باشد. به همین منظور، از هر نوع سنگ تحت آزمایش یک نمونه انتخاب و در آزمایشگاه توسط دستگاه آزمایش مقاومت فشاری تک محوری تحت بارگذاری قرار گرفت. بارگذاری با سرعت ۵۰ کیلوگرم بر ثانیه انجام شد و در طی زمان بارگذاری، هر ۱۰ ثانیه یک بار سرعت سیر موج التراسونیک برای نمونه در جهت عمود بر محور بارگذاری اندازه‌گیری و مقدار بار وارده و تغییر شکل نمونه در آن لحظه نیز ثبت گردید تا زمانی‌که نمونه به مرحله شکست رسید.

همبستگی بین سرعت موج التراسونیک و بارگذاری در نمودارهای شکل ۹ نشان داده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، می‌توان گفت که بین سرعت موج التراسونیک و بارگذاری رابطه معکوس نسبتاً خوبی وجود دارد. بطوری که با افزایش میزان بارگذاری از سرعت سیر موج التراسونیک کاسته می‌شود تا در لحظه‌ی شکست مقدار سرعت موج التراسونیک به کمترین مقدار خود می‌رسد. علاوه بر این بیشترین تأثیر بارگذاری بر روی سرعت موج در نمونه KHL که دارای بیشترین میزان تخلخل است و کمترین تأثیر بارگذاری بر سرعت موج در نمونه YZD مشاهده می‌شود. در واقع به مرور زمان با افزایش میزان بارگذاری فضای خالی بین کانی‌ها و شکستگی‌های موجود در نمونه‌ها افزایش می‌یابد، که همین عامل باعث کاهش سرعت موج التراسونیک می‌گردد. در لحظه شکست نمونه، کمترین مقدار سرعت سیر موج التراسونیک بدست آمده است. زیرا در این مرحله، نمونه سنگ دارای حداکثر ترک‌های ریز و شکستگی‌های موجود در ساختار خود می‌باشد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

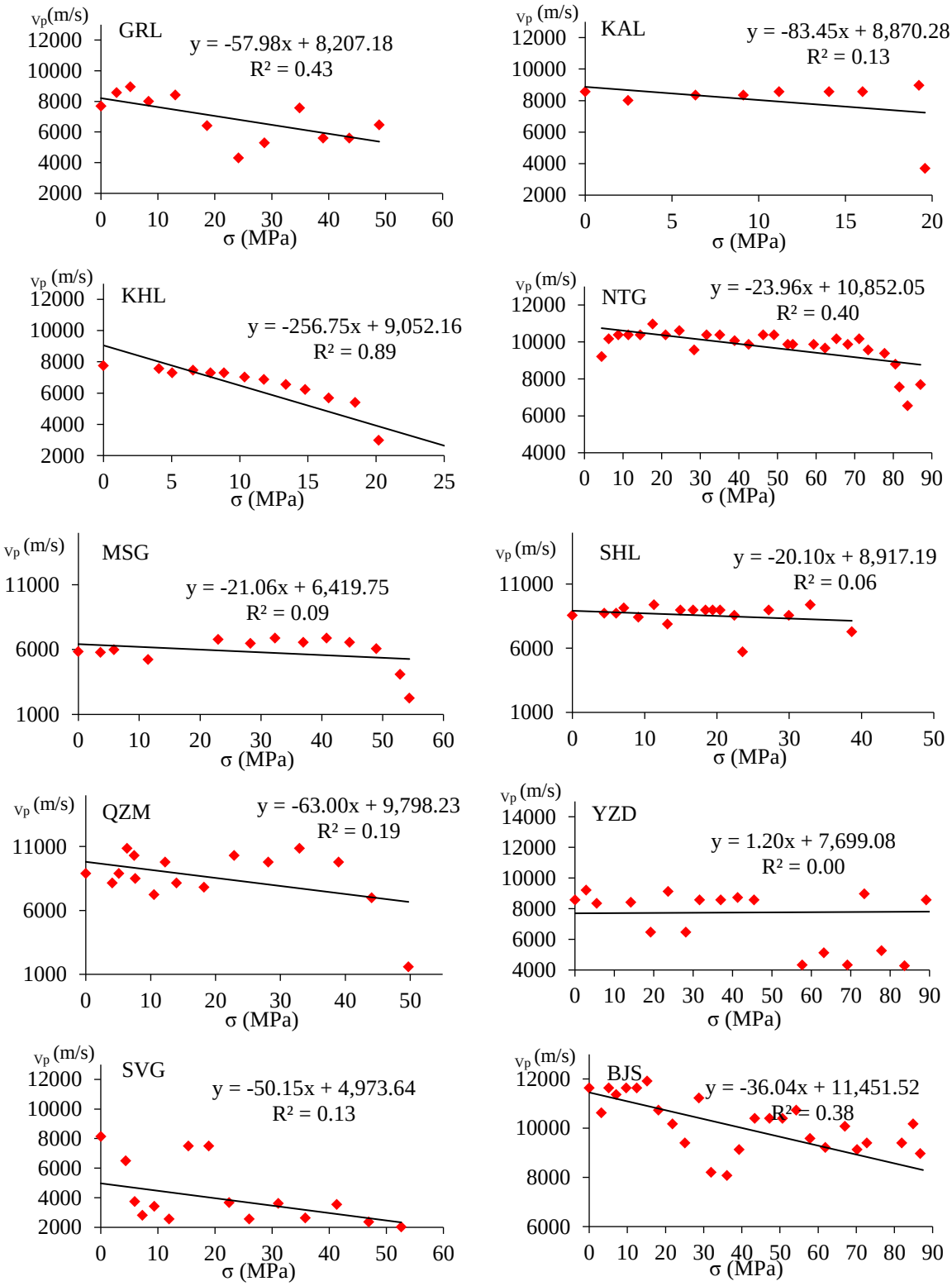


شکل ۸. ارتباط بین حالت ماده پرکننده و سرعت موج التراسونیک در سنگ‌های مورد مطالعه

Fig. 8. The relationship between the state of the filling material and ultrasonic wave velocity in the studied rocks

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]



شکل ۹. تأثیر افزایش بارگذاری بر سرعت سیر موج التراسونیک سنگ‌های مورد مطالعه

Fig. 9. The effect of increasing loading on ultrasonic wave velocity of the studied rocks

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات صورت گرفته در این پژوهش و بررسی پارامترهای مؤثر بر سرعت سیر موج التراسونیک سنگ‌های مورد مطالعه، همبستگی بین وزن واحد حجم خشک با سرعت موج التراسونیک دارای رابطه خطی مستقیم می‌باشد، به طوری که تأثیر وزن واحد حجم خشک بر سرعت موج التراسونیک در نمونه BJS بیشترین و در نمونه KHL کمترین مقدار را دارد. ارتباط بین تخلخل و سرعت سیر موج التراسونیک رابطه معکوس است و افزایش تخلخل باعث کاهش سرعت سیر موج التراسونیک می‌شود. علاوه بر این، افزایش دما باعث افزایش سرعت موج التراسونیک شده است و بین افزایش دما و افزایش سرعت موج التراسونیک رابطه خطی مستقیم وجود دارد. تأثیر دما بر روی سرعت موج التراسونیک در نمونه GRL بیشترین و در نمونه QZM کمترین مقدار را دارد. همبستگی بین نوع سیال منفذی و سرعت موج التراسونیک دارای رابطه خطی است. بیشترین مقدار سرعت موج در حالت اشباع از آب و در نمونه BJS و کمترین مقدار سرعت موج در نمونه MSG می‌باشد. با افزایش غلظت محلول نمک سدیم، سرعت سیر موج التراسونیک نیز افزایش می‌یابد. در بررسی حالت ماده پرکننده، بیشترین مقدار سرعت موج التراسونیک در حالت ماده پرکننده منجمد و در نمونه BJS و کمترین مقدار سرعت در حالت پرکننده هوا و در نمونه MSG است. سرعت سیر موج التراسونیک در حالت ماده پرکننده منجمد بیشتر از هر دو حالت مایع و گاز می‌باشد. بارگذاری و سرعت موج التراسونیک دارای رابطه معکوس می‌باشند، به طوری که با پیشرفت بارگذاری، سرعت موج التراسونیک در سنگ کاهش می‌یابد.

منابع

Aldeeky, H., and Hattamleh, O.A., 2018. Prediction of engineering properties of basalt rock in Jordan using ultrasonic pulse velocity test. Geotechnical and Geological Engineering, 36, 3511-3525.

Azimian, A., and Ajalloeian, R., 2015. Empirical correlation of physical and mechanical properties of marly rocks with P wave velocity. Arabian Journal of Geosciences, 8(4), 2069-2079.

Dürrast, H., and Siegesmund, S., 1999. Correlation between rock fabrics and physical properties of carbonate reservoir rocks. International Journal of Earth Sciences, 88, 392-408.

Ersoy, A., and Waller M.D., 1995. Textural characterisation of rocks. Engineering geology, 39(3-4), 123-136.

Fereidooni, D., 2018. Assessing the effects of mineral content and porosity on ultrasonic wave velocity. Geomechanics and Engineering, 14(4), 399-406.

Fereidooni, D., Khanlari, G.R., Heidari, M., and Sepahigero, A.A., 2015. Assessment of engineering behavior of foliated rocks using some index tests. In 24th international mining congress and exhibition of Turkey-IMCET, 15, 14-17.

Fereidooni, D., Khanlari, G.R., Heidari, M., Sepahigero, A.A., and Kolahi-Azar, A.P., 2016. Assessment of inherent anisotropy and confining pressure influences on mechanical behavior of anisotropic foliated rocks under triaxial compression. Rock Mechanics and Rock Engineering, 49, 2155-2163.

Jaeger, J.C., Cook, N.G. and Zimmerman, R., "Fundamentals of rock mechanics. John Wiley & Sons, (2009).

Kahraman, S., and Yeken, T., 2008. Determination of physical properties of carbonate rocks from P-wave velocity. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 67, 277-281.

Karakuş, A., and Akatay, M., 2013. Determination of basic physical and mechanical properties of basaltic rocks from P-wave velocity. Nondestructive Testing and Evaluation, 28(4), 342-353.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

Rahmouni, A., Boulanouar, A., Boukalouch, M., Géraud, Y., Samaouali, A., Harnafi, M. and Sebbani, J., 2013. Prediction of porosity and density of calcarenite rocks from P-wave velocity measurements. International Journal of Geosciences, 4, 1292-1299.

Ramana, Y.V., Venkatanarayana, B., 1973. Laboratory studies on Kolar rocks. In International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 10 (5), 465-489.

Vajdová, V., Přikryl, R., Pros, Z., and Klıma, K., 1999. The effect of rock fabric on P-wave velocity distribution in amphibolites. Physics of the earth and planetary interiors, 114 (1-2), 39-47.

Vutukuri, V.S., Lama, R.D. and Saluja, S.S., 1974. Handbook on mechanical properties of rocks.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

Assessing the parameters affecting on ultrasonic wave velocity of some building stones used in Iran

Somayeh Arab-Ameri[1], Davood Fereidooni[2]*

1. M.Sc. Students in Engineering Geology, School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran
2. Associate Professor of Engineering Geology, School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran

Received: 30 Apr 2023 Accepted: 3 Jun 2023

Abstract

Ultrasonic wave velocity testing is a non-destructive, economical, simple and rapid method used for determining the physical and engineering properties of rock. This test is based on the velocity of the elastic wave in rocks. The ultrasonic wave velocity of rocks depends on intrinsic and environmental properties such as mineralogical composition, density, porosity, grain size, shape, texture, anisotropy, water content, and temperature of rocks. In this research, 10 different types of building stone, including limestone and granite, were cut into 50 cubic specimens with dimensions of 10×4×4 cm, and then they were tested using the Pandit wave velocity testing machine to find the effective parameters on the velocity of the ultrasonic wave should be investigated in them. These parameters include dry unit weight, temperature, type of pore fluid, state of filling material and loading. Based on the obtained results, the correlation between ultrasonic wave velocity and dry unit weight is a direct linear relationship and its relationship with the type of pore fluid condition of the filling material and loading is inverse relationship. In addition, increasing the temperature increases the velocity of the ultrasonic wave. Also, in terms of the type of pore fluid, the lowest value of the wave velocity was obtained in the state saturated with water and the highest value of the wave velocity was obtained in the common salt solution with a concentration of 150%. Regarding the state of the rock pore filling material, the highest velocity value was observed in the frozen filling state and the lowest velocity value was observed in the air filling state. As the load increases, the velocity of the ultrasonic waves decreases in the studied rocks.

Keywords: Ultrasonic wave, Building stone, Engineering properties, Temperature, Filling material.

Introduction

Today, there is a need for a simple method to determine the characteristics of stones indirectly but reliably. One such method is to test the velocity of the ultrasonic wave. The ultrasonic method has been used for many years in geotechnical and mining projects and is used in the laboratory to determine the physical, mechanical and dynamic properties of rocks. As this method is non-

*Corresponding author: d.fereidooni@du.ac.ir
DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2023.17.1.101184

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

destructive, simple and fast, it is increasingly being used in engineering. This method is based on the speed of elastic wave movement in rock and has been adopted in international standards. The type of rock, mineralogical composition, small cracks and fractures, and particle size are factors that affect the speed of the ultrasonic wave. This method can be used both in the laboratory and in the field. Petrographic and physical characteristics of rocks such as mineralogical composition, density, percentage of water content, pore fluid, anisotropy, temperature, fractures and cracks (porosity) are inherent characteristics that control the behaviour of rock engineering. Accordingly, the ultrasonic wave velocity of rocks depends on the inherent properties such as mineralogical composition, density, porosity, grain size, shape, texture, anisotropy and laboratory factors such as water content and temperature of the rocks.

Methodology

In order to carry out this research, during the library studies, the information available in books and articles related to the research subject was studied and the necessary information for the research was collected. In the field studies phase, samples of different lithologies were collected and prepared by visiting stone production and cutting centers in different regions, and the necessary samples were prepared in the stone cutting workshop (10 stone samples). The laboratory studies include microscopic studies, determining the percentage of minerals and their types in the samples tested, measuring the dimensions of the samples used such as length, width and height to determine the physical properties of the samples tested, measuring the dry weight and saturation of the samples and performing index physical tests. In this research, to measure the physical properties of the samples used such as length, width and height, measuring the dry weight and saturation of the samples, performing index physical tests, checking the speed of the wave in different conditions in the samples, preparing microscopic sections of the samples tested for microscopic examination, photographing the microscopic sections and performing studies on them. In this research, to measure the velocity of the wave in the studied rocks, Pandit's ultrasonic wave travel velocity device has been used.

Results and discussion

As the unit weight of the samples increases at all temperatures, the speed of the wave in the rocks studied increases, so that the lowest correlation is observed at a temperature of -16 degrees Celsius and the highest correlation is observed at a temperature of 105 degrees Celsius. In addition, the correlation between dry unit weight and ultrasonic wave velocity in the conditions of water saturation, freezing and saturation of three common salt solutions with concentrations of 50, 100 and 150% were also studied. The results show that there is a better correlation between the dry unit weight and the ultrasonic wave velocity in the freezing condition than in the water saturation condition. This correlation also increases with increasing salt concentration in the saline saturation conditions. Porosity reduces the speed of the ultrasonic wave in the samples studied. This reduction is greatest in the 150% saline saturation state and least in the 50% saline saturation state. The relationship between temperature and ultrasonic wave velocity in most of the samples studied is in the form of a direct linear relationship with a good correlation coefficient. The average velocity of the ultrasonic wave in the saturated state of the saline solution with a concentration of 150% is higher than in the saturated state of other saline solutions and pure water. The velocity of the ultrasonic wave is higher than the

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]

liquid in the frozen state, and the liquid is higher than air. Because in the liquid state the cavities of the stones are filled with water, compared to the air state when the cavities are empty, as a result of the reduction in porosity, an increase in the speed of the ultrasonic wave is observed.
As the load increases, the void space between the minerals and fractures in the samples increases. This causes the ultrasonic wave velocity to decrease.
.

Conclusions

Based on the studies, the correlation between unit dry weight and ultrasonic wave velocity has a direct linear relationship. The relationship between porosity and ultrasonic wave velocity is an inverse relationship. In addition, the increase in temperature has increased the velocity of the ultrasonic wave in this research, and there is a direct linear relationship between the increase in temperature and the increase in velocity of the ultrasonic wave. The correlation between pore fluid type and ultrasonic wave velocity has a linear relationship. As the concentration of the brine increases, so does the speed of the ultrasonic wave. When examining the state of the filler, the highest velocity value is in the frozen state and the lowest velocity value is in the air state. The speed of the ultrasonic wave in the frozen state is higher than in the liquid and gaseous states. As the load increases, the speed of the ultrasonic wave decreases.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.101184]