

Kayaçlarda Farklı Ölçüm Teknikleri ile Belirlenen Boyuna Dalga Hızlarının Değerlendirilmesi

Evaluation of Ultrasonic P-Wave Velocities Determined by Different Measurement Techniques in Rocks

HAKAN ERSOY¹, MURAT KARAHAN^{1*}, ALİ ERDEN BABACAN², MUHAMMET OĞUZ SÜNNETÇİ¹

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon

Geliş (received) : 07 Şubat (February) 2017

Kabul (accepted) : 20 Nisan (April) 2017

ÖZ

Jeoteknik uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılan ultrasonik hız deneylerinde direkt, yarı direkt ve indirekt ölçüm teknikleri ile boyuna dalga hızları ölçülmekte, bu veriler yardımıyla kayaçların mekanik ve elastik özellikleri tahmin edilmektedir. Uygulamada genellikle enerjinin en fazla iletildiği yöntem olan direkt ölçüm tekniği tercih edilmektedir. Bazı durumlarda direkt ölçüm tekniği için uygun örnek ve yüzeyler bulunamadığından yarı-direkt ve indirekt ölçüm tekniğinin kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada direkt ölçüm tekniğiyle elde edilen boyuna dalga hızları, yarı-direkt ve indirekt ölçüm teknikleriyle elde edilen boyuna dalga hızları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada üç farklı kökenden 34 farklı örnek üzerinde yapılan 311 direkt, 439 yarı direkt ve 339 indirekt ölçüm tekniğiyle ölçülen 1089 adet boyuna dalga hızı değerleri kullanılmıştır. Ölçülen boyuna dalga hızları arasında istatistiksel ilişkiler incelenmiş, ölçüm teknikleri arasında regresyon denklemleri üretilmiştir. Üretilen denklemlerin korelasyon katsayıları oldukça yüksek olup (direkt ile yarı-direkt arasında=0.95, direkt ile indirekt arasında=0.91, yarı-direkt ile indirekt arasında =0.82) eşitlikler arasında doğrusal bir ilişkinin mevcut olduğu tespit edilmiştir. Üretilen eşitlikler arazi ve laboratuarda gerçekleştirilen 130 adet deney sonucu kullanılarak test edilmiş, ölçülen ve hesaplanan ultrasonik hızlar arasında %2'den daha küçük ve kabul edilebilir ölçüde fark olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Direkt ölçüm, indirekt ölçüm, ultrasonik hız, yarı-direkt ölçüm.

ABSTRACT

In geotechnical applications, ultrasonic P-wave velocity is widely used to predict the mechanical and elastic properties of rocks and it can be determined with direct, semi-direct and indirect measurement techniques. The direct measurement technique is the most preferred one as it transfers the most energy. But in some cases, especially if there is no suitable sample surface to conduct a direct measurement, semi-direct and indirect measurement techniques must be used. A comparison among the P-wave velocity values acquired with direct, semi-direct and indirect techniques has been made in this study. 311 direct, 439 semi-direct and 339 indirect measurements, for a total of 1089, have been carried out on 34 different samples with three different origins. The statistical relationships among the P-wave velocity values were investigated, and regression equations for different measurement techniques were developed. The coefficients of correlation of the equations are very high (0.95 between direct and semi-direct, 0.91 between direct and indirect, 0.82 between semi-direct and indirect), and a linear relationship among the equations have been determined. The developed equations were tested on 130 different in-situ and laboratory measurement results, and a very acceptable, below 2% difference were determined between the measured and calculated ultrasonic P-wave velocity values.

Keywords: Direct measurement, indirect measurement, ultrasonic P-wave velocity, semi-direct measurement.

* M. Karahan

e-posta: muratkarahan21@gmail.com

GİRİŞ

Kayaçların dayanım ve elastik özellikleri tünel ve baraj gibi mühendislik projelerinde, kaya şev stabilitesi uygulamalarında, çeşitli madencilik projelerinde, kaya ortamının taşıma gücünün belirlenmesinde ve doğal yapı taşlarının ekonomik anlamda değerlendirilmesine yönelik çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Fakat bazı durumlarda laboratuvar deneyleri için numune hazırlanması ve deneyin yapılması pahalı ve zaman alıcı olabilir. Bu nedenle nokta yükleme dayanım indeksi, Schmidt sertlik çekici ve ultrasonikdalga hızı tayini gibi basit deney yöntemleri kullanılarak kayaçların dayanım ve elastik özellikleri tahmin edilebilmektedir (Gaviglio, 1989; Chau ve Wang, 1996; Katz vd., 2000; Kılıç ve Teymen, 2008).

Sismik yöntemler uzun yıllardır yer bilimleri uygulamalarında, ultrasonik yöntem ise kayaçların dinamik özelliklerinin laboratuvar deneyleri ile tespitinde sıkça kullanılmaktadır. Kaya kütle deformasyonu ve dayanımının tahmini, yer altı açıklıklarının etrafında gelişmiş çatlak zonlarının büyüklüğünün (uzunluğu) belirlenmesi sismik yöntemlerinkullanıldığı diğer bazı önemli uygulamalardır. Birçok araştırmacı kaya özellikleri ve ultrasonik dalga hızı arasındaki ilişki üzerinde çalışmış ve ses hızının kaya özellikleriyle oldukça ilişkili olduğunu belirlemiştir (Karpuz ve Paşamehmetoğlu, 1997; Kahraman, 2001; Karakuş vd., 2005; Singh ve Sharma, 2008; Babacan vd., 2008; Ersoy vd., 2009; Babacan vd., 2012).

Kayaçların içinden geçen akustik dalgaların hızları direkt, yarı direkt ve indirekt olmak üzere 3 farklı yöntem ile belirlenebilir. Her 3 ölçüm tekniği için problemin yerleştirilmesi Şekil 1de verilmiştir. (ISRM, 2007; ASTM, 2008). Bu yöntemlerin içinde sadece direkt ölçüm tekniğinde karşılıklı paralel yüzlerinin bulunması gerekmektedir. Bu tür yüzeylere genellikle kayaç mostrasında rastlamak mümkün olmadığından, direkt ölçümler bloklardan temin edilen karot veya küp örnekleri üzerinde uygulanmaktadır. Arazide kayaç mostraları üzerinde ise genel olarak yarı direkt ve indirekt ölçüm tekniklerinin uygulanması daha uygun olacaktır.

Farklı ölçüm teknikleri ile dalga hızlarının belirlenebilirliği bir çok araştırmacı tarafından ele alınmıştır. (Yaman vd., 2001; Kahraman, 2002; Turgut ve Küçük, 2006; Savaliya vd., 2014). Bu çalışma kapsamında farklı kaya blokları üzerinde direkt, yarı direkt ve indirekt ölçüm teknikleri kullanılarak ultrasonik hız deneyleri yapılmış, elde edilen sonuçlarda farklı de-

ğerler tespit edildiği için bu tekniklerden elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilerek ampirik ilişkiler önerilmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise arazide yapılan ölçümler değerlendirilerek önerilen ampirik eşitliklerin performansı test edilmiştir.

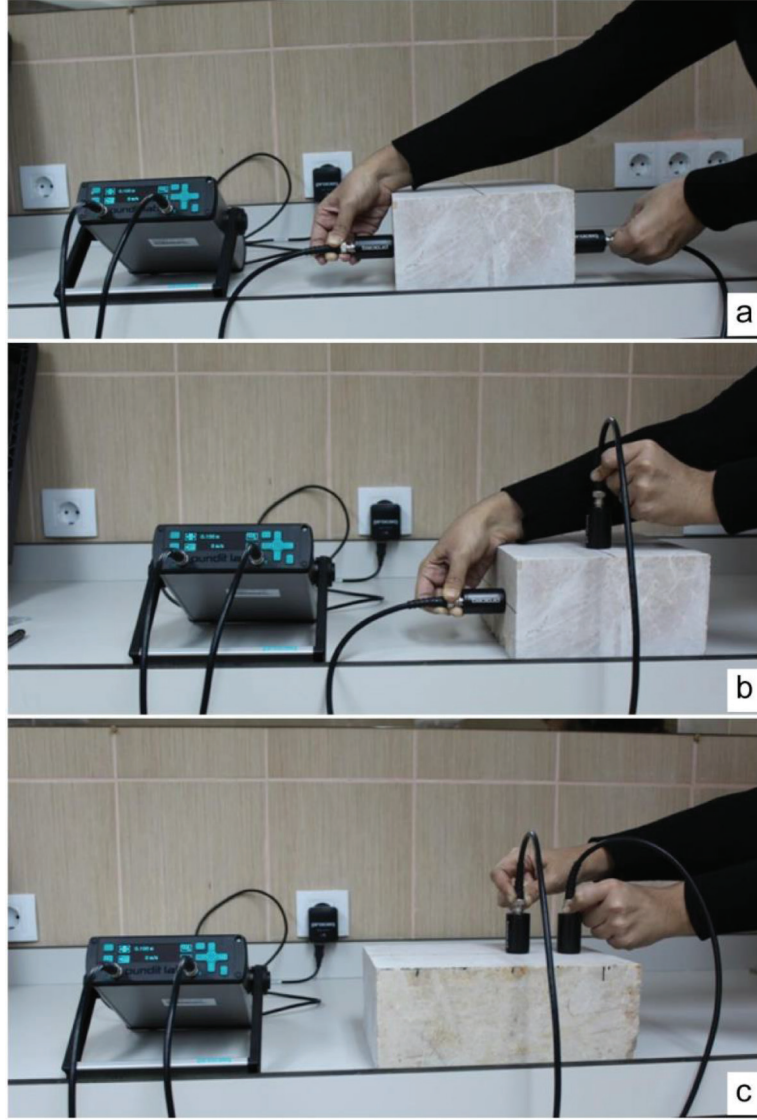
Çalışmada; arazide direkt ölçüm tekniklerinin uygulanamayacağı mostralarda yapılan indirekt ve yarı direkt ölçümlerden elde edilen veriler yardımıyla dalga hızlarının dolaylı olarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Dolayısıyla bu çalışma ile, laboratuvar ortamına ve karot alma işlemine gerek kalmadan yapılacak indirekt ve yarı direkt ölçümlerden elde edilen verilerin istatistiksel olarak direkt ölçüm teknikleri ile elde edilen verilere dönüştürülmesi sağlanacaktır. Bu sayede kayaçların boyuna dalga hızı, farklı yönlerde mostra vermeyen düz yüzeylerde bile rahatça belirlenebilecektir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Ultrasonik hız ölçümleri Pundit Plus marka ölçüm aleti kullanılarak yapılmış, ölçümlerde 150 kHz'lik piezoelektriksel özellikte alıcı ve verici problar kullanılmıştır. Punditplus ile yapılan ölçümlerde, verici prob tarafından üretilen elektriksel sinyaller mekanik titreşime dönüşerek kaya numunesi içerisine gönderilir, numune içinden geçen sinyal karşı taraftaki alıcı prob tarafından kaydedilir. Ultrasonik hız değeri verici probtan üretilen sinyalin alıcı proba ulaşma süresinden hesaplanır. Süre mikrosaniye türünden tespit edilir ve iki prob arasındaki bilinen mesafe kullanılarak ultrasonik hız hesaplanır. Cihaz ölçüm yaparken numune içerisine çok sayıda ses dalgası gönderir, bu dalgaların ortalama yayılım süresini vermektedir.

Kaya malzemesi çoğu kez homojen ve izotrop kabul edilse de özellikle traverten gibi boşluklu kayaçlar ile gnays gibi foliasyonlu kayaçların mühendislik özellikleri anizotropiye bağlı olarak yönlere göre değişir. Anizotropiden veya kayaç türünden kaynaklanacak etkinin minimuma indirgenmesi amacıyla yarı direkt ve indirekt ölçümler 3 farklı kökenden 34 farklı örnek üzerinde gerçekleştirilmiş, ölçümler üç farklı yönde yapılmış ve bu verilerin ortalaması kullanılmıştır. Her yönde 1000'den fazla ölçüm alınması, bu ölçümlerin ortalamasının kullanılması ve çeşitli kayaç gruplarının bütün olarak değerlendirilmesi anizotropiden ve kayaç bileşiminden kaynaklanacak hata payını minimuma indirmişdir.

Laboratuar çalışması kapsamında bu örnekler üzerinde direkt, yarı-direkt ve indirekt ölçüm tekni-



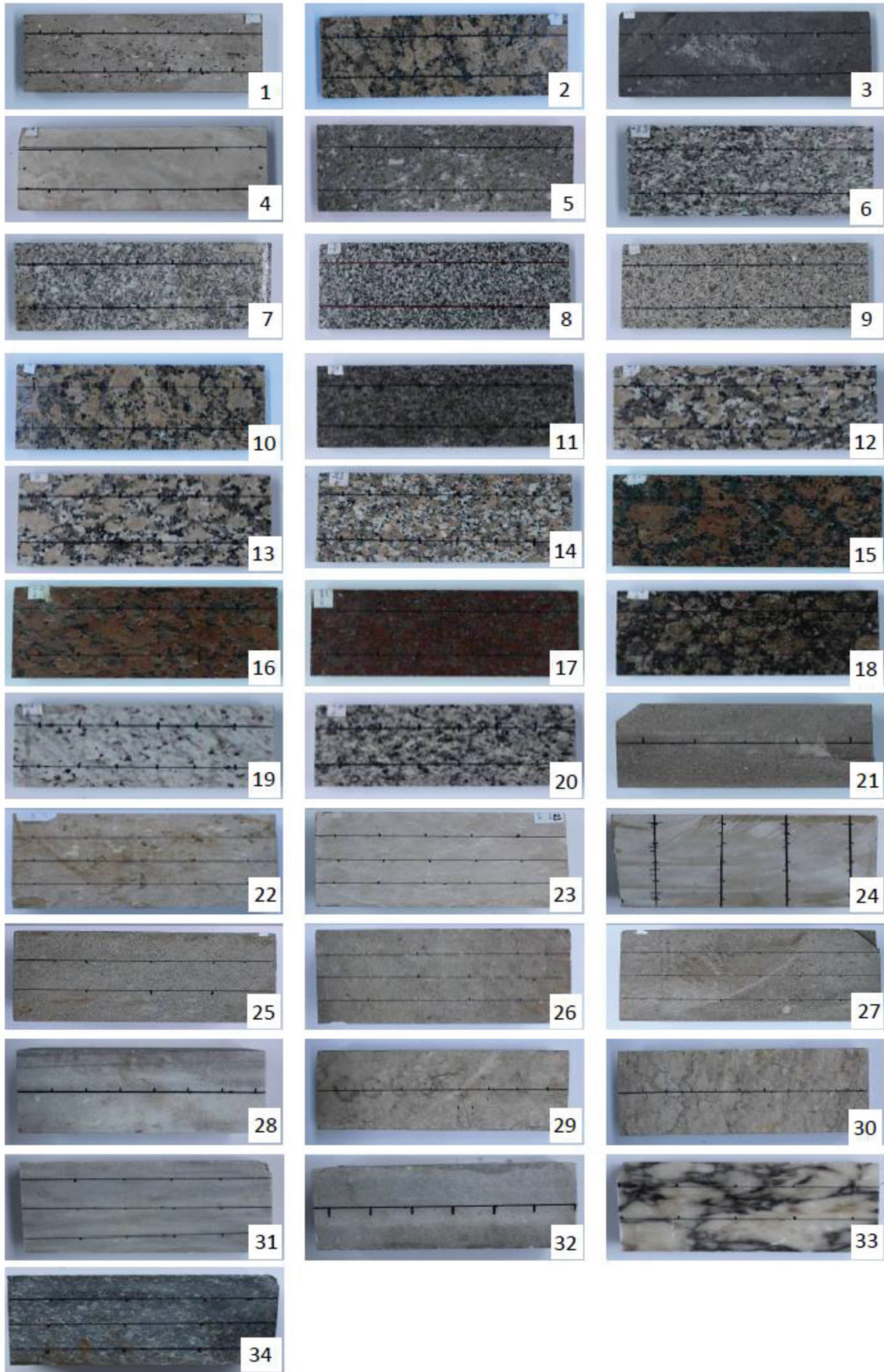
Şekil 1. Direkt (a), yarı-direkt (b) ve indirekt (b) ölçüm tekniğinde problemlerin yerleştirilmesi.
 Figure 1. Probe placement in direct (a), semi-direct (b) and indirect (b) measurement technique.

ğıyla ultrasonik hız deneyleri yapılmış ve her ölçüm tekniği için örneklerin ultrasonik hız değerleri tespit edilmiştir. Ölçümler doğal durumdaki örnekler üzerinde yapılmış olup anizotropi ve ölçüm mesafesinin etkisi dikkate alınmamıştır. Direkt ölçüm tekniğiyle 311, yarı-direkt ölçüm tekniğiyle 439 ve indirekt ölçüm tekniğiyle 339 adet, toplamda ise 1089 adet ölçüm yapılmıştır. Her kayaç örneği için 3 farklı ölçüm tekniğiyle elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır. Ölçüm tekniklerinde sabit bir mesafe kullanılmamış (5-35 cm arasında), her ölçüm tekniğinde birbirinden farklı mesafelerde ölçümler yapılmıştır. Deneye tabi tutulan 34 adet örneğe ait fotoğraflar Şekil 2'de

ölçüm sonuçları ve örnek boyutları ise Çizelge 1'de verilmiştir.

Test Sonuçlarının İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

Regresyon analizi, değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisinin bulunmasına imkan veren bir analiz yöntemidir. İkili regresyonda, bağımsız değişken hakkında sahip olunan bilgilerden hareketle bağımlı değişken tahmin edilmeye çalışılır. Çalışma kapsamında direkt ölçüm tekniğiyle ölçülen boyuna dalgahızları ile yarı direkt ve indirekt ölçüm tekniğiyle ölçülen



Şekil 2. Deneyde kullanılan örnekler.
Figure 2. Examples used in the experiment.

Çizelge1. Kayaçlara ait ortalama ultrasonik hız değerleri.

Table 1. Average ultrasonic velocity values of rocks.

Kayacın Adı ve Boyutu		Ortalama Hız Değerleri (m/sn)			Ölçüm sayısı (Adet)		
		Direkt	Yarı Direkt	İndirekt	Direkt	Yarı Direkt	İndirekt
1. Traverten	(30*10*4 cm)	5046	5148	5102	9	20	15
2. Alkalen Granit	(30*10*3 cm)	4323	4580	3376	10	14	6
3. Traki Andezit	(30*10*4 cm)	3984	4132	4534	10	14	12
4. Kireçtaşı	(30*10*4 cm)	5976	5982	6299	10	14	6
5. Hornfels	(30*10*4 cm)	5096	5038	5177	10	14	6
6. Granit	(20*10*3 cm)	4308	4244	3696	10	12	10
7. Granit	(30*10*4 cm)	4363	4254	4337	10	14	12
8. Granodiyorit	(30*10*4 cm)	4817	4668	4918	10	14	12
9. Monzonit	(30*10*3 cm)	3767	3939	3953	10	14	12
10. Alkalen Granit	(30*10*3 cm)	4405	4452	3500	10	14	12
11. Siyenit	(20*10*3 cm)	5457	5233	5685	9	12	10
12. Alkalen Granit	(20*10*3 cm)	4924	4665	4397	9	12	10
13. Alkalen Granit	(20*10*3 cm)	4942	4610	4290	9	12	10
14. Granit	(20*10*3 cm)	5069	4819	4742	9	12	10
15. Alkalen Siyenit	(20*10*3 cm)	4556	4868	3843	9	12	10
16. Alkalen Siyenit	(20*10*3 cm)	4940	5150	4536	9	12	10
17. Alkalen Siyenit	(20*10*3 cm)	5167	5499	4540	9	12	10
18. Monzonit	(20*10*3 cm)	5430	5551	4840	9	12	10
19. Granülit	(20*10*3 cm)	4333	4442	4138	9	12	10
20. Granodiyorit	(20*10*3 cm)	4797	5236	4062	9	12	10
21. Riyolit	(20*10*7 cm)	3556	3212	3355	7	4	4
22. Traverten	(25*25*8 cm)	5287	5089	5053	10	15	12
23. Kireçtaşı	(28*20*11 cm)	6046	6590	5977	10	15	15
24. Kireçtaşı	(20*20*9 cm)	6243	6060	5997	9	20	15
25. Tüf	(21*16*15 cm)	3095	2870	2865	6	9	8
26. Tüf	(30*16*15 cm)	3765	3747	3760	9	18	15
27. Tüf	(33*20*16 cm)	3577	3677	3498	6	30	15

Kayacın Adı ve Boyutu		Ortalama Hız Değerleri (m/sn)			Ölçüm sayısı (Adet)		
		Direkt	Yarı Direkt	İndirekt	Direkt	Yarı Direkt	İndirekt
28. Mermer	(30*10*10 cm)	5722	4767	6444	8	6	5
29. Mermer	(34*12*6 cm)	6208	5924	6479	10	8	7
30. Mermer	(41*12*8 cm)	6247	6085	6400	13	10	9
31. Mermer	(21*16*7 cm)	5384	5262	5212	8	12	9
32. Mermer	(30*10*8 cm)	5637	5890	6760	9	7	6
33. Mermer	(24*14*6 cm)	5758	5805	5791	10	12	10
34. Granodiyorit	(14*11*10 cm)	5503	5470	5339	7	9	6
Toplam deney sayısı					311	439	339

dalga hızlarının ortalamaları arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Regresyon analizleri %95 güven aralığında gerçekleştirilmiş ve her bir ilişki için regresyon denklemleri belirlenmiştir. Boyuna dalga hızları arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu ve korelasyon katsayılarının da oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3). Elde edilen regresyon eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

Ölçüm teknikleri arasındaki ilişkinin yönü ve öneminin hesaplanması için korelasyon katsayıları kullanılmıştır. İki değişken arasındaki ilişkinin büyüklüğü, yönü ve önemi korelasyon katsayısı ile temsil edilir. Korelasyon katsayısı iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin derecesini gösterir ve -1 ile 1 arasında değişen değerler alır. Bu katsayı, bir değişken artarken diğerinin artması durumunda pozitif yönlü, bir değişken artarken diğerinin azalması durumunda ise negatif yönlü anlamına gelir. Bu çalışmada korelasyon katsayıları (+) işaretli olup ilişkinin yönü doğrusal (+) şeklinde ifade edilir. (+) işareti bir değişken artarken diğerinin de arttığını ifade etmektedir.

Korelasyon sayısının bire yakın olması durumunda iki değişken arasındaki ilişkinin anlamlı olabileceği varsayılır. Ancak bu değer tesadüfi olma durumu da söz konusudur. Bu nedenle korelasyon katsayısının bu iki değişken için anlamlı olup olmadığı (yani tesadüfi olmadığı) mutlaka test edilmelidir (Tüysüz ve Abanuz 2012). Bu nedenle çalışmada, hesaplanan korelasyon katsayılarının anlamlı olup olmadığı %95 güven aralığında test edilmiştir. Çizelge 2'de görüldüğü gibi ölçüm teknikleri için önerilen denk-

lemlere ait korelasyon katsayılarının %82 den büyük olduğu ve bu değer güven sınırı içerisinde olduğu sonucuna varılmıştır.

$$V_{p(D)} = 0.925 V_{p(YD)} + 387 \quad r=0.95 \quad (1)$$

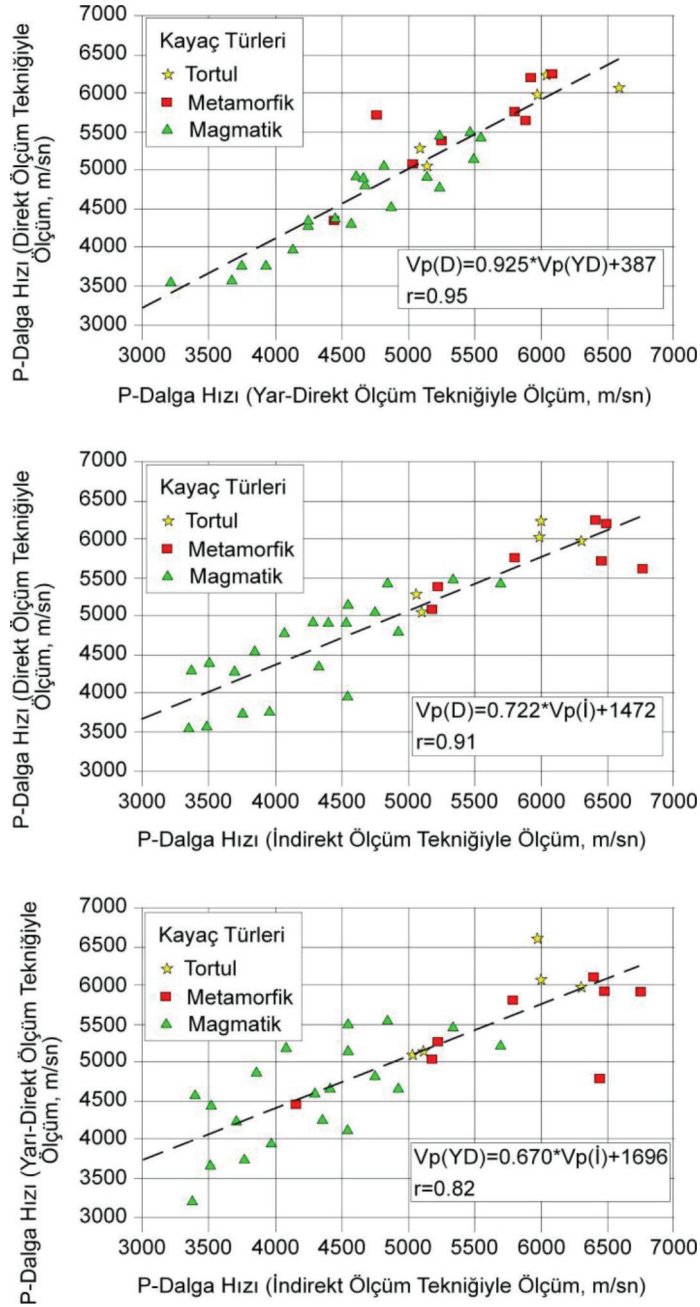
$$V_{p(D)} = 0.722 V_{p(I D)} + 1472 \quad r=0.91 \quad (2)$$

$$V_{p(YD)} = 0.670 V_{p(I D)} + 1696 \quad r=0.82 \quad (3)$$

Burada $V_{p(D)}$, $V_{p(YD)}$ ve $V_{p(I D)}$ sırası ile direkt, yarı direkt ve indirekt ölçüm tekniğiyle ölçülen boyuna dalga hızlarıdır (m/sn).

Her bir örnek için farklı ölçüm teknikleriyle elde edilen ultrasonik hız değerlerinin ortalamalarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığına karar vermek için t-testi uygulanmıştır. t-testinde direkt-yarı direkt, direkt-indirekt ve yarı direkt-indirekt ölçüm tekniğiyle elde edilen ultrasonik hız değerlerine ait ortalamalar arasındaki istatistiksel ilişki irdelenmiştir. Yapılan t-testi sonuçlarında 2 yönlü anlamlılık düzeyi >0.05 olduğu içindirekt, yarı-direkt ve indirekt ölçüm tekniğiyle elde edilen sonuçlara ait ortalamalar arasında bir fark olmadığı tespit edilmiştir (Çizelge 3)

Direkt ölçüm tekniğiyle boyuna dalga hızları ölçülmüş, yarı-direkt ve indirekt ölçüm tekniği için elde edilen regresyon eşitlikleri kullanılarak boyuna dalga hızları hesaplanmıştır. Ölçülen ve hesaplanan boyuna dalga hızlarının farkları alınarak histogramlar çizilmiştir. Şekil 4'te görüldüğü gibi histogramların normal dağılım göstermesi istatistiksel ilişkilerin doğruluğunu göstermektedir.



Şekil 3. Direkt, yarı-direkt ve indirekt ölçüm teknikleri arasındaki doğrusal ilişki.

Figure 3. Linear relationship between direct, semi-direct and indirect measurement techniques.

Model Testi

Laboratuar ortamında elde edilen eşitliklerin arazide yapılacak ölçümler yardımıyla test edilmesi için arazide mermer bloğu üzerinde yarı-direkt ve indirekt ölçüm teknikleriyle ultrasonik hız deneyleri yapılmış, direkt ölçüm tekniği için aynı bloktan örnek alınmış ve ölçüm yapılmıştır (Şekil 5). Arazide 60 adet yarı-

direkt ve 60 adet indirekt ölçüm tekniğiyle ultrasonik hız değerleri ölçülmüş, ölçülen hızlar önerilen amprik ilişkiler kullanılarak direkt ölçüm tekniğiyle ölçülmesi gereken ultrasonik hız değeri, alınan örnek üzerinde de direkt ölçüm tekniğiyle ultrasonik hız değeri hesaplanmıştır. Ölçülen ve hesaplanan boyuna dalga hızları arasındaki istatistiksel ilişkiler incelenmiştir (Çizelge 4). Çizelge 4'te görüldüğü gibi ölçülen ve

Çizelge 2. t- Testi sonuçları.

Table 2. t-Test results.

Direkt-Yarı-Direkt			
		Direkt	Yarı-direkt
Direkt	Pearson Korelasyon Katsayısı	1	.946**
	İki Yönlü Anlamlılık Düzeyi		.000
	Örnek Sayısı	34	34
Yarı-direkt	Pearson Korelasyon Katsayısı	.946**	1
	İki Yönlü Anlamlılık Düzeyi	.000	
	Örnek Sayısı	34	34

** Korelasyon 0.01 Düzeyinde Anlamlıdır.

Direkt-İndirekt			
		Direkt	İndirekt
Direkt	Pearson Korelasyon Katsayısı	1	.908**
	İki Yönlü Anlamlılık Düzeyi		.000
	Örnek Sayısı	34	34
İndirekt	Pearson Korelasyon Katsayısı	.908**	1
	İki Yönlü Anlamlılık Düzeyi	.000	
	Örnek Sayısı	34	34

** Korelasyon 0.01 Düzeyinde Anlamlıdır.

Yarı-Direkt- İndirekt			
		Yarı-direkt	Indirect
Yarı-direkt	Pearson Korelasyon Katsayısı	1	.825**
	İki Yönlü Anlamlılık Düzeyi		.000
	Örnek Sayısı	34	34
İndirekt	Pearson Korelasyon Katsayısı	.825**	1
	İki Yönlü Anlamlılık Düzeyi	.000	
	Örnek Sayısı	34	34

** Korelasyon 0.01 Düzeyinde Anlamlıdır.

hesaplanan ultrasonik hızlar arasında %1.91-%1.78 fark olduğu tespit edilmiştir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında 3 farklı kökenden 34 farklı örnek üzerinde 311 direkt, 439 yarı-direkt ve 339 indirekt ölçüm tekniğiyle toplamda 1089 adet ultrasonik hız ölçüm yapılmıştır. Ölçülen ultrasonik hız değerleri kullanılarak ölçüm sonuçları arasında istatistiksel ilişkiler incelenmiş, direk-yarı direk, direk-indirekt ve yarı direk-indirekt ölçüm teknikleri için regresyon eşitlikleri üretilmiş ve korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Üretilen eşitlikler ve hesaplanan korelasyon katsayıları ; $V_{p(D)}=0.925 V_{p(YD)}+387$ ($r=0.95$), $V_{p(D)}=0.722$

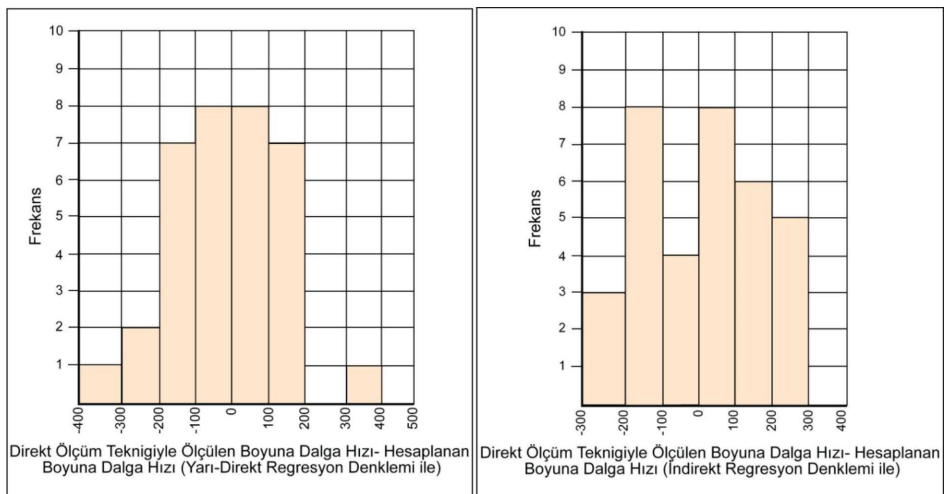
$V_{p(I)}+1472$ ($r=0.91$) ve $V_{p(YD)}=0.670 V_{p(I)}+1696$ ($r=0.82$) olarak hesaplanmıştır. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda elde edilen denklemlerin korelasyon katsayılarının oldukça yüksek, ölçüm teknikleri arasında doğrusal bir ilişkinin mevcut ve ultrasonik hız değerlerinin ortalamalarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Model test için arazide mermer bloğu üzerinde 60 adet indirekt, 60 adet yarı-direkt ve bloktan alınan örnek üzerinelaboratuarda10 adet direkt ölçüm tekniğiyle ultrasonik hız değerleri ölçülmüştür. Ölçülen ultrasonik hız değerlerinden (indirekt ve yarı-direkt) ampirik eşitlikler yardımıyla direk ölçüm tekniğiyle ölçülmesi gereken ultrasonik hız değeri hesaplanmıştır. Ölçülen ve hesaplanan ultrasonik hızlar arasında

Çizelge 3. t-Testi sonuçları
Table 3. t-Test results

Direkt-Yarı Direkt										
F	Varyansların Eşitliği için Levene's Testi	Ortalama Eşitliği için t-testi								
		Anamlılık	T	Sd*	2 Yönlü Anamlılık Düzeyi	Ortalama farklar	Standart sapma	Farkın %95 Düzeyinde Güven Aralığı		
								Alt	Üst	
Ölçüm	Varyanslar Eşit			.110	66	.912	22.64706	205.25414	-387.156	432.45018
	Varyanslar Eşit Değil	.003	.959	.110	65.969	.912	22.64706	205.25414	-387.160	432.45381
Direkt-İndirekt										
F	Varyansların Eşitliği için Levene's Testi	Ortalama Eşitliği için t-testi								
		Anamlılık	T	Sd*	2 Yönlü Anamlılık Düzeyi	Ortalama farklar	Standart sapma	Farkın %95 Düzeyinde Güven Aralığı		
								Alt	Alt	
Ölçüm	Varyanslar Eşit			.616	66	.540	142.14706	230.58089	-318.223	602.51665
	Varyanslar Eşit Değil	2.415	.125	.616	62.823	.540	142.14706	230.58089	-318.657	432.951581
Yarı Direkt-İndirekt										
F	Varyansların Eşitliği için Levene's Testi	Ortalama Eşitliği için t-testi								
		Anamlılık	T	Sd*	2 Yönlü Anamlılık Düzeyi	Ortalama farklar	Standart sapma	Farkın %95 Düzeyinde Güven Aralığı		
								Alt	Alt	
Ölçüm	Varyanslar Eşit			.514	66	.609	119.50000	232.56236	-344.826	583.82574
	Varyanslar Eşit Değil	2.179	.145	.514	63.361	.609	119.50000	232.56236	-345.187	584.18701

*Sd=Serbestlik Derecesi



Şekil 4. Ölçülen ve hesaplanan ultrasonik hızları arasındaki farklara ait histogramlar.

Figure 4. Histograms of differences between measured and calculated ultrasonic velocities.



Şekil 5. Ölçüm yapılan blok (a), yarı-direkt (b), indirekt (c) ve direkt (d) ölçüm tekniğiyle ölçüm.
Figure 5. Measured block (a), semi-direct (b), indirect (c) and direct (d) measurement technique.

Çizelge 4. Ölçülen ve hesaplanan ultrasonik hız değerleri
Table 4. Measured and calculated ultrasonic velocity values

	Direkt (m/sn)	Yarı- Direkt (m/sn)	İndirekt (m/sn)	Yarı-Direkt $V_{p(D)}=0.925$ $V_{p(YD)+}$ 387	Hesaplanan ve Ölçülen % Fark	İndirekt $V_{p(D)}=0.722$ $V_{p(ID)+}$ 1472	Hesaplanan ve Ölçülen % Fark
Ortalama	5776.85	5946.29	6104.55	5887.32	1.91	5879.49	1.78
Standart Sapma	55.93	126.94	205.46				
Deney Sayısı (Adet)	10	60	60				

%1.91(yarı-direkt)-%1.78 (indirekt) fark olduğu tespit edilmiştir. Ölçüm işlemlerinde anizotropi ve ölçüm mesafesinin etkisi dikkate alınmamıştır.

Direkt ölçüm tekniğinde sonuçların yanıltıcı olmaması için özellikle büyük çaplı karotlarda problemlerin karşılıklı yerleştirilmesine özen gösterilmelidir. Yarı-direkt ve indirekt ölçüm tekniklerinde problemler arasındaki mesafenin doğru ölçülmesine de dikkat edilmelidir. Genel olarak üretilen dalgaın kaynağın merkezinden çıktığı, en kısa mesafeyi kat ettiği ve alıcıya merkez-

den ulaştığı kabul edilir. Bu nedenle çalışmada elde edilen farklı ölçüm değerlerinin bu kabulden kaynaklanabileceği göz ardı edilmemelidir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, araştırmadaki desteklerinden dolayı Doğu Karadeniz Mermer firması çalışanlarına, makalenin değerlendirilmesi aşamasında düzeltme önerileri ile değerli katkılar sağlayan hakemlere ve bu derginin çıkarılmasında emek sarf eden tüm yayın ekibine teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- ASTM, 2008. D2845-08 Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock, ASTM International, West Conshohocken, PA
- Babacan, A.E., Gelisli, K., Ersoy, H., 2008. Ultrasonik Ölçümlerle Kayaçların Jeoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi. Türkiye 18. Uluslararası Kongre ve Sergisi, 14-17 Ekim, Ankara, Türkiye.
- Babacan, A.E., Ersoy, H., Gelisli, K., 2012. Kayaçların Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özelliklerinin Ultrasonik Hız Tekniği ve Zaman-Frekans Analiziyle Belirlenmesi: Bej Kireçtaşları (KD Türkiye) Üzerine Örnek Bir Çalışma. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 36 (1), 63-73.
- Chau, K. T., Wang, P., Wong, R. H. C., 1996. Microcracking and Grain Size Effect in YuenLong Marbles. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 33, No. 5, pp. 479-485.
- Ersoy, H., Özdemir, A., Yalçınalp, B., 2009. Geology and geotechnical properties of kalcik (Gümüşhane) travertines. Proceedings of The 21st International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, 639-648.
- Gaviglio, P., 1989. Longitudinal Waves Propagation in a Limestone: the Relationship between Velocity and Density. Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 22, No. 4, 1989, pp. 299-306.
- ISRM, 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: Ulusay, R., Hudson, J.A. (Eds.), Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods. Compilation arranged by the ISRM Turkish National Group, ISRM, Ankara.
- Kahraman, S., 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 38, 7, 981-994.
- Kahraman, S., 2002. Estimating the direct P-wave velocity value of intact rock from indirect laboratory measurements, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 39, 101-104.
- Karakuş, M., Kumral, M., Kılıç, O., 2005. Predicting elastic properties of intact rocks from index tests using multiple regression modelling. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 42, 2, 323-330.
- Karpuz, C., and Paşamehmetoğlu, A.G.; 1997. Field Characterisation Of Weathered Ankara Andesites. Engineering Geology, 46, 1-17.
- Katz O., Reches Z., Roegiers J.C., 2000. Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 37:723-728.
- Kılıç A., and Teymen A., 2008. Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. Bull Eng Geol Environ, 67:237-244.
- Savaliya, K. D., Thaker, K. K., Dave, U.V., 2014. Comparison between different methods of ultrasonic pulse velocity test on concrete. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), ISSN:2248-9622, pp. 41-44.
- Singh, T.N., and Sharma, P.K., 2008. A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability in dexand uniaxial compressive strength. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Volume 67, 1: 17-22.
- Turgut, P., and Küçük, O.F., 2006. Comparative relationships of direct, and semi-direct ultrasonic pulse velocity measurements in concrete. Russian Journal of Nondestructive Testing, Vol. 42, No. 11, pp. 745-751.
- Tüysüz, N., and Yaylalı Abanuz, G., 2012. Jeostatistik Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar, KTÜ Matbaası, Yayın No: 220, Trabzon.
- Yaman, İ. Ö., İnci, G., Yeşiller, N., Aktan, H. M., 2001. Ultrasonic pulse velocity in concrete using direct and indirect transmission. ACI Materials Journal, Title No. 98-M48, pp. 450-457.

