

KİLLİ-KARBONATLI KAYAÇLARDA NUMUNE UZUNLUĞUNUN ULTRASONİK P-DALGA HIZI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

The Effect of Specimen Length on Ultrasonic P-Wave Velocity in Clayey-Carbonate Rocks

Geliş (received) 29 Eylül (September) 2010; Kabul (accepted) 25 Kasım (November) 2010

Kadir KARAMAN (*)
Ferdî CİHANGİR (**)
Bayram ERÇIKDI (***)
Ayhan KESİMAL(****)

ÖZET

Şev stabilite analizleri ve madencilik tasarımları için gerekli olan bazı kayaç özellikleri, kullanımı pratik ve hasarsız bir test metodu olan ultrasonik darbe hızı deneyi ile tahmin edilebilmektedir. Bu çalışmada NX (5,47 cm) çapında silindirik killi kireçtaşı numunelerinde ultrasonik P dalga hızı değerlerinin örnek uzunluğuna göre değişimleri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda boy/çap (L/D) oranı 0,46 olan örneklerde doymuş halde elde edilen P dalga hızı değerinin kuru haldekenden yüksek olduğu gözlemlenmiştir. L/D oranının 0,91 olduğu numunelerde kuru ve doymuş P dalga hızları yaklaşık eşit çıkmıştır. Doymuş P dalga hızları L/D oranının 1,37, 1,83 ve 2,29 olduğu numunelerde, kuru haldekenden daha düşük çıkmıştır. Killi kireçtaşı örneklerinde en uygun L/D oranı aralığının $1,1 \leq L/D \leq 2$ olması gerektiği tavsiye edilmektedir. Çalışmaya göre doymuş örneklerin kuru örneklerdeki ultrasonik P dalga hızı değerinden düşük çıkması literatürde rastlanmayan bir durum olarak gözlemlenmiş ve bunun sebepleri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Killi-karbonatlı Kayaçlar, Ultrasonik Darbe Hızı, P Dalga Hızı, Numune Boyu Etkisi

ABSTRACT

Some of the rock properties necessary for mining design and slope stability analysis were determined by ultrasonic pulse velocity, a non-destructive method having practical use. In this study, the changes in the ultrasonic P-wave velocities of cylindrical clayish limestone in NX (5.47 cm) diameter and different lengths were investigated. The results showed that wet-rock P-wave velocity was slightly higher than dry-rock P-wave velocity for the samples in the range of 0.46. Those were nearly equal for the samples in the range of 0.91. The obtained wet-rock velocity was lower than dry rock velocity for the samples in the range of 1.37, 1.83 and 2.29. It is suggested that the optimal length/diameter ratio (L/D) should be in the range of $1.1 \leq L/D \leq 2$ for the clay-bearing limestones. In literature the wet-rock P-wave velocity values have generally been reported higher than those of dry-rocks. On the contrary, in this study, lower values were obtained for wet rocks and the possible reasons were searched.

Keywords: Clayey-carbonate Rocks, Ultrasonic Pulse Velocity, P-wave Velocity, Effect of Specimen Length

(*) Arş. Gör., Karadeniz Teknik Üni., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., TRABZON kadirkaraman@ktu.edu.tr

(**) Arş. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., TRABZON

(***) Yrd. Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Müh., Fak. Maden Müh. Böl., TRABZON

(****) Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., TRABZON

1.GİRİŞ

Ultrasonik darbe hızı (UPV) deneyi hasarsız bir test yöntemi olup, beton ve kayanın düzgünlüğünün/düzenliliğinin tespitinde, boşluk, çatlak ve diğer kusurları belirlemede, inşaat, jeoteknik, gaz mineralleri araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. UPV deneyi izotropik ve anizotropik kayalarda dalga hızı ölçümlerinin arazide ve laboratuvarında yapılmasına imkan sağlamakla birlikte laboratuvarında uygulaması daha yaygındır. Ultrasonik P dalga hızı katılarda, sıvılardan, sıvılarda da havadakinden daha hızlı bir şekilde yayılmaktadır. Ultrasonik test yöntemi araştırmacılar tarafından kayaçların ayrışma derecesinin belirlenmesi (Karpuz ve Paşamehmetoğlu, 1997), kaya kütlelerinin elastik özelliklerinin tahmin edilmesi (Onodera, 1963; Gladwin, 1982) ve kazı çalışmalarında uygulanan patlatmaların kayaçlar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi (Young vd, 1985) gibi farklı uygulamalarda kullanılmıştır. Bir çok yazar kayaların mekanik özellikleri ile ultrasonik hız ve kayaç özellikleri arasında yakın ilişkili olduğunu tespit etmiştir (D'Andrea vd, 1965; Chary, 2006; Vasconcelos, 2008).

Kayaçlarda ultrasonik hız değerini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlardan önemli olanları; kayanın tipi, dokusu, tane boyutu ve şekli, porozitesi, yoğunluğu, su içeriği, sıcaklığı ve anizotropisidir. Anizotropik kayaçlarda dalga hızı; örneğin yönü, geçiş mesafesi ve jeofonların çapları gibi faktörlerden etkilenebilmektedir. Bunların dışında ayrışma ve alterasyon zonları, eklem özellikleri (su, dolgu malzemesi, pürüzlülük, doğrultu, eğim vb.) gibi faktörler ultrasonik hız değerini etkileyen önemli parametrelerdir (ASTM, 2005).

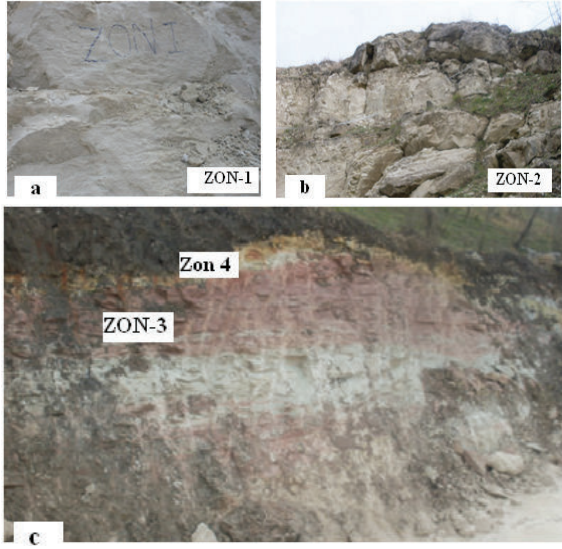
Bazı yazarlar kayaçlardaki su içeriğinin ultrasonik hız üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Thill ve Bur (1969) granodiyoritlerde ultrasonik hızın suya doygun durumdaki değişimlerini incelemiştir. Ayrıca yazarlar kayaç çok küçük bir poroziteye sahip dahi olsa, ultrasonik hızda dikkate değer bir değişimin olduğunu belirtmişlerdir. Wyllie vd (1956) kumtaşlarının su içeriğine bağlı olarak ultrasonik hızdaki değişimleri araştırmışlardır. Örneklerdeki su içeriği azaltıldıkça ultrasonik P hızında belirgin bir düşüş olduğunu göstermişlerdir. Ramana ve Venkatanarayana (1973) Kolar (Hindistan) şehrindeki kayaçların su içeriğinin P dalga hızı üzerindeki etkisini

araştırmışlardır. Çalışmaya göre kayaçlardaki su içeriğinin artmasıyla ağırlıklarının ve kayaçlarda ölçülen ultrasonik hızların arttığını göstermişlerdir. Lama ve Vutukuri (1978) porozitesi yüksek ve suya doygun kayaçlardaki P dalga hızının porozitesi düşük olan aynı tür suya doygun kayaçlardaki P dalga hızından daha düşük çıktığını gözlemlemiştir. Bunun, sudaki P dalga hızının mineral iskeletindeki P dalga hızından daha düşük olmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Kahraman (2007) yaptığı çalışmada kuru ve suya doygun aynı kayaç örnekleri için P dalga hızı korelasyonunu incelemiştir. Üç farklı kökenden (sedimenter, magmatik ve metamorfik) 41 çeşit kayaç üzerinde yapılan çalışmada örneklerin tümünde doygun P dalga hızı, kuru P dalga hızından yüksek çıkmıştır.

Literatürde ultrasonik dalga hızı ile ilgili farklı çalışmalar bulunmasına rağmen, numune boyutunun ultrasonik dalga hızına etkisine yönelik çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada ultrasonik P dalga hızının numune boyutu üzerindeki değişimleri kuru ve doygun durum için çalışılmıştır. Ayrıca literatürde yer alan doygun haldeki numunelerin hepsi kuru numunelerden daha yüksek P dalga hızı vermiştir. Fakat bu çalışmada L/D oranının 1,37, 1,83 ve 2,29 olduğu durumda doygun P dalga hızlarının kuru P dalga hızlarından düşük çıktığı gözlemlendiğinden bunun sebepleri araştırılmıştır.

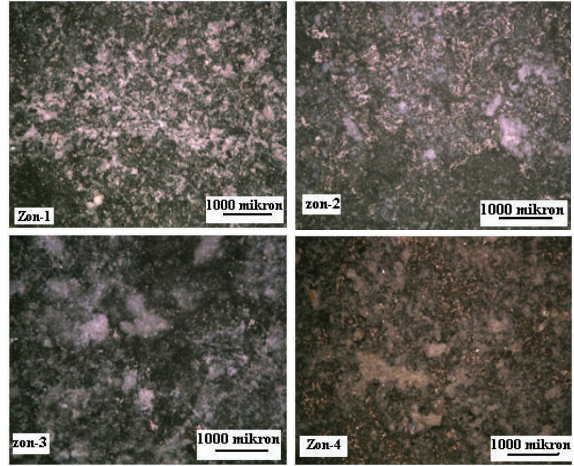
2. ÇALIŞMA SAHASI VE MALZEME ÖZELLİKLERİ

Çalışma Trabzon ili Araklı ilçesi Taşönü köyü sınırlarında bulunan kireçtaşı ocağında yapılmıştır. Ocakta değişik karbonat fasiyeslerinde gelişmiş kayaçlar bulunmaktadır. Çalışma alanında karbonat birimleri litolojisine göre 4 farklı jeolojik birime (zona) ayrılmış (Şekil 1) ve deney yapılmak üzere laboratuvara bloklar halinde getirilmişlerdir. Çalışma alanlarındaki birimler sedimenter kökenli olduklarından tabakalı bir yapı göstermektedir. Tabaka kalınlığı zonlara göre değişkenlik arz etmekle beraber sağlam karot alınmasına engel teşkil etmemiştir. Ayrıca zonların jeolojisini daha iyi anlamak için ince kesitler hazırlanarak mikroskopta ayrıntılı incelemeler yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. Çalışma alanındaki jeolojik birimler.

Şekil 1a: Biotitli tuf kırıntılı karbonatlı kumlu-kireçtaşı. Beyaz- sarımsı renkli, taneli görümlü ve tane boyutları yaklaşık olarak birbirine eşit olup makrofosil içermemektedir. Mineral taneleri içsel dokusunu kaybetmiştir. Şekil 1b: Arazide koyu gri olarak bulunan kayacın ince kesit incelemelerine göre; ilksel dokusu bozulmamış, kesit içerisinde bioplast çok yoğun bir şekilde mevcut olup baskın fosil olarak Ekinit plakaları bulunmaktadır. Taneler diğer zonlardan daha iridir. Kayaç adı Biyomikrospartik kireçtaşıdır. Şekil 1c: Kırmızı renk: makroskopik olarak kırmızımsı renkte görülen birim ince kesit olarak incelendiğinde bioplastların çok yoğun bir şekilde bulunduğu ve baskın fosil olarak Ekinit plakasının olduğu tespit edilmiştir. Tane boyutu yaklaşık birbirine eşit olmakla birlikte Zon-2 kadar iri değildir. Mikritik yapısı diğer zonların hepsinden daha yoğun olmasına rağmen spartitler genel olarak daha baskın olmuştur. Bu nedenle kayaç ismi biyomikrospartik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Şekil 1d: Sarı renk: Kırıntılı karbonat: sarımsı renkli kaba tabakalanmalıdır. Karbonat oranı fazla, kırıntı oranı azdır. Masif görünümlüdür.



Şekil 2. Çalışma alanındaki birimlerin mikroskopta görünümü.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

UPV deneyine tabi tutmak üzere laboratuara getirilen blok örneklerden her bir jeolojik birim için NX çapında ve 2,5, 5, 7,5, 10 ve 12,5 cm uzunluğunda (L/D oranları sırasıyla 0,46, 0,91, 1,37, 1,83 ve 2,29) 5'er adet karot numunesi hazırlanmıştır (Şekil 3). İyi bir iletim sağlanması için ultrasonik test cihazının alıcı verici uçlarının temas edeceği karot yüzeyleri düzeltilerek parlatılmıştır. Numune 2 jeofon arasına yerleştirilerek UPV cihazından devamlı sinyal gönderilmiş ve numunenin içinden sinyalin geçiş süresi mikro saniye olarak okunmuştur. Daha sonra numunenin boyu ölçülmüş ve dalga hızı aşağıdaki eşitlik vasıtasıyla hesaplanmıştır.

$$V_p = S / t ; (m/sn) \quad (1)$$

Burada V_p : Basınç dalgası hızı (m/sn), S: Numunenin boyu (m), t: Sinyalin numunenin içinden geçiş süresini (sn) ifade etmektedir.



Şekil 3. Deneye tabi tutulan örnekler.

Deneyler tabakalanma düzlemine dik yönde gerçekleştirilmiştir. UPV deneylerine tabi tutulacak bütün örneklerin fiziksel özellikleri (yoğunluk,porozite,boşlukoranı vb.)deneylerden önce ISRM (1981) standartlarına uygun olarak belirlenmiş olup Tablo 1’de verilmiştir.

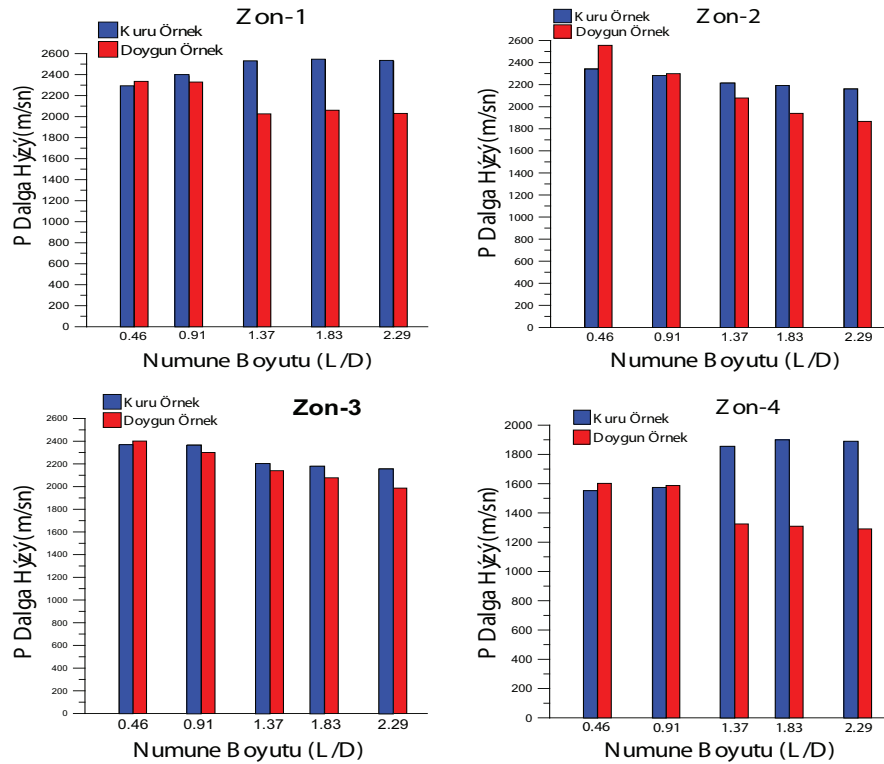
Tablo 1. Ultrasonik Dalga Hızını Etkileyen Bazı Parametreler

	Z1 _{ort}	Z2 _{ort}	Z3 _{ort}	Z4 _{ort}
Kuru yoğunluk (gr/cm ³)	2,01	2,16	2,19	2,05
Doymuş yoğunluk (gr/cm ³)	2,23	2,34	2,38	2,27
Doğal yoğunluk (gr/cm ³)	2,22	2,33	2,36	2,24
Porozite %	19,74	14,92	18,06	23,76
Boşluk oranı	0,24	0,17	0,22	0,31
Doğal su içeriği (%)	9,23	5,67	7,67	10,90

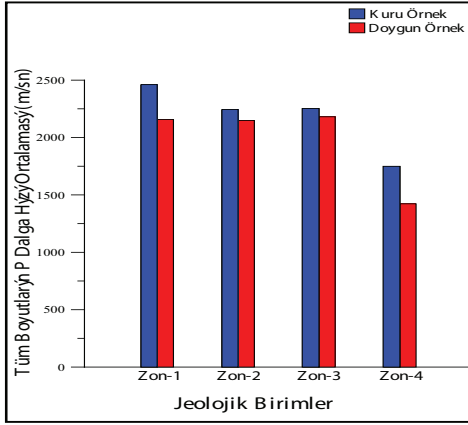
4. BULGULAR VE İRDELEME

Çalışma alanındaki değişik karbonat fasiyeslerinden oluşan 4 jeolojik birime (zon) ait kuru ve doymun ultrasonik P dalga hızlarındaki

değişim Şekil 4’te yer almaktadır. Tüm zonlarda L/D oranı 0,46 olduğu durumda doymun P dalga hızı kuru haldekenden yüksek çıkmıştır. L/D oranının 0,91 olduğu durumda kuru ve doymun numunelerde ölçülen ultrasonik P dalga hızlarının birbirine yakın çıktığı görülmüştür. L/D oranı 1,37, 1,83 ve 2,29 olan numunelerde yapılan dalga hızı ölçümlerinde ise kuru P dalga hızları doymun P dalga hızlarından yüksek çıkmıştır. Özellikle zon 1 ve zon 4’te numune boy çap oranının artmasıyla birlikte (1,37, 1,83 ve 2,29) kuru ve doymun haldeki numunelerde ölçülen P dalga hızları arasındaki farkın belirginleştiği görülmektedir. Bunun, zon 1 ve zon 4’teki kayaçlara ait boşluk oranlarının diğer zonlardaki kayaçların boşluk oranlarından yüksek olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca zon-1’in ince kesitteki mikroskopik (mineralojik analiz) incelemelerine göre bu zona ait kayacın içsel özellikleri tamamen bozulmuş şekilde gözlenmektedir. Kuru ve doymun numunelerdeki P dalga hızı arasındaki fark en fazla L/D oranının 2,29 olduğu örneklerde görülmektedir. Bu durumda numune boyutu arttıkça kuru ve doymun ultrasonik P dalga hızı arasındaki farkın arttığını, karbonatlı kayaçlar için ifade etmek gerekmektedir.



Şekil 4. P dalga hızının kuru ve doymun örneklerdeki değişimi

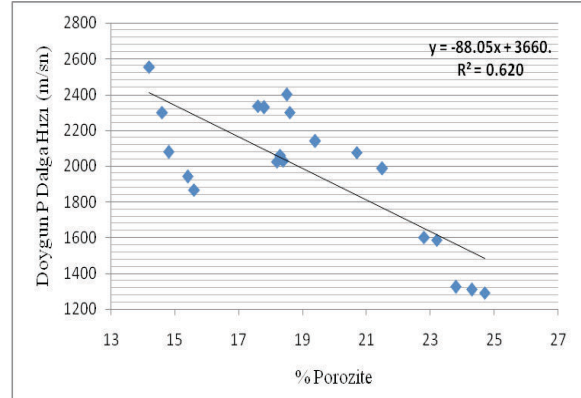
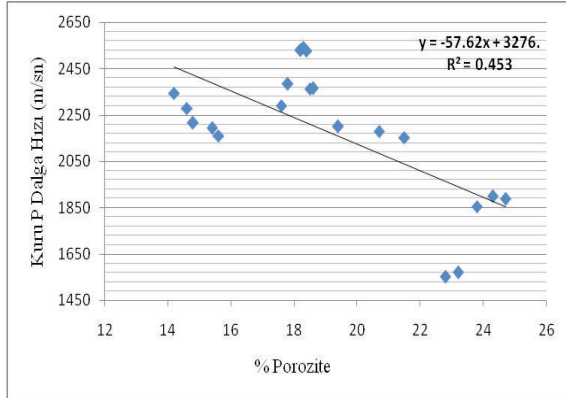


Şekil 5. Tüm boyutlardaki doymun ve kuru P dalga hızı değişimleri.

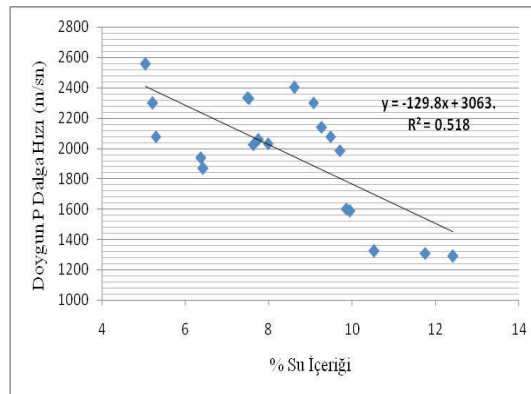
Şekil 5 her bir zon için farklı boyuttaki tüm numunelerin kuru ve doymun durumdaki P dalga hızı ortalamalarını göstermektedir. Buna göre hangi jeolojik birim olursa olsun inceleme alanındaki karbonat fasiyesindeki kireçtaşlarında kuru halde ölçülen P dalga hızları doymun durumdaki dalga hızından her zaman yüksek çıkmıştır. Literatürde yazarlar bu durumun aksi

yönde sonuçlar elde etmişlerdir (Wyllie vd, 1956; Ramana ve Venkatanarayana, 1973; Lama ve Vutukuri, 1978; Kahraman, 2007).

Şekil 6 porozite ile kuru ve doymun haldeki P dalga hızı arasında ilişki varlığını göstermektedir. Korelasyonun daha anlamlı kılınabilmesi için her bir örneğin porozite ve UPV değerleri grafiğe yansıtılmıştır. Korelasyon ilişkisi doymun ve kuru örnekler için düşük olmakla birlikte doymun örneklerin korelasyonu daha yüksektir. Her iki durumda (doymun ve kuru) porozite artışına oranla UPV değerlerinde bir azalma gözlenmiştir. Bunun nedenin kayalarındaki porozite miktarının yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Buna örnek olarak granodiyoritlerde ultrasonik hızın suya doymun durumdaki değişimlerini inceleyen Thill ve Bur, (1969) kayaç çok küçük bir poroziteye sahip dahi olsa ultrasonik hızda dikkate değer bir değişimin olduğunu göstermişlerdir. Şekil 7'deki grafiğe bakıldığında su içeriği ile P dalga hızı arasında düşük bir ilişki varlığı söz konusudur. Su içeriği arttıkça doymun numunelerde ölçülen P dalga hızı azalmaktadır.



Şekil 6. Kuru ve doymun P dalga hızları - porozite arasındaki ilişki.

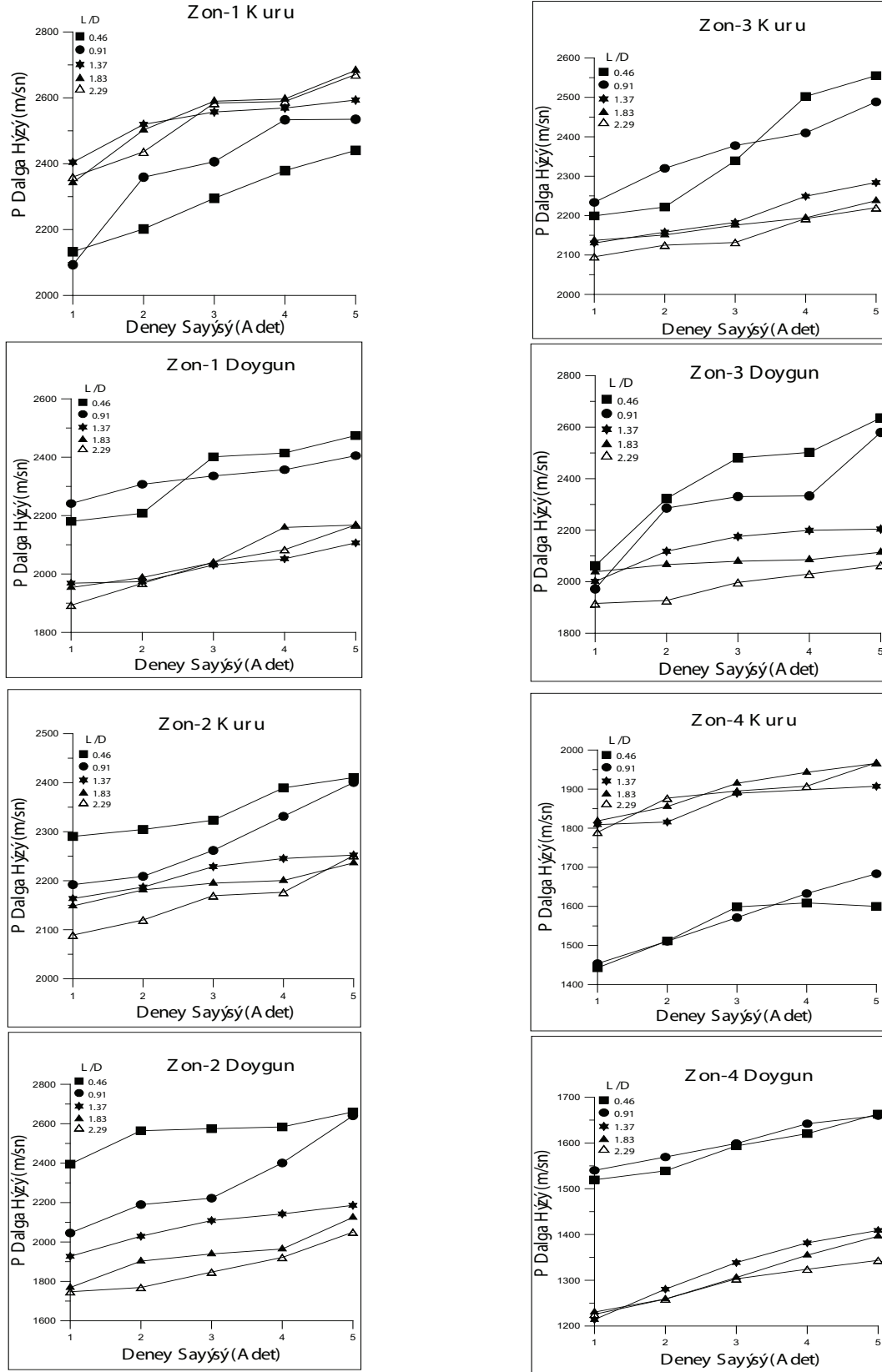


Şekil 7. Doymun P dalga hızları – su içeriği (%) arasındaki ilişki.

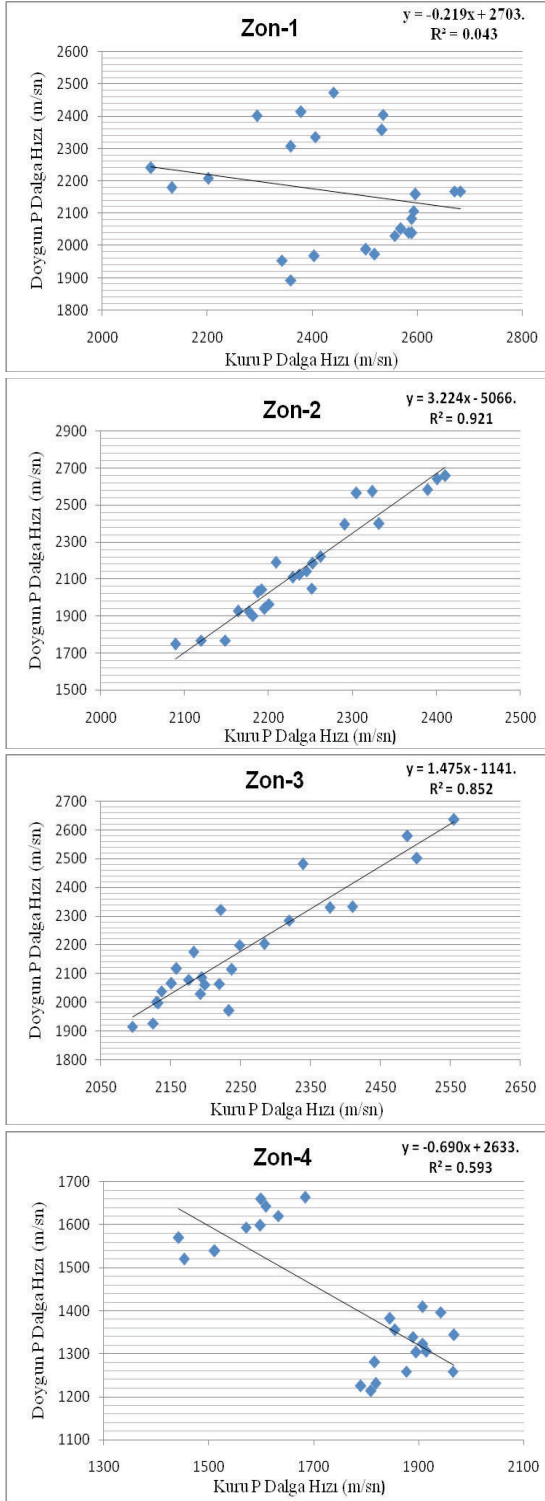
Şekil 8'deki grafiklerde x ekseninde deney sayısı yer almaktadır. Her bir numune boyutu için 5'er kez deney gerçekleştirildiğinden ve kendi içerisinde küçükten büyüğe doğru sıralandığından dolayı grafiklerdeki eğrilerde artan yönde bir eğilim gözlenmiştir. L/D oranı 0,46 ve 0,91 olan örnekler üzerinde gerçekleştirilen deneylere ait değerlerde 4 zon için kuru ve doymun durumdaki değişim aralığı en düşük % 4,9 ve en yüksek % 22,8'lik dağılım gözlenmiştir. L/D oranı 1,37, 1,83 ve 2,29 olduğunda, kuru ve doymun durumda P dalga hızı değerleri en düşük % 2,7, genelde % 5 civarında ve en yüksek % 12,9'luk değer aralığı göstermiştir. Bu değer aralıklarının, L/D oranının 0,46 ve 0,91 olduğu örneklerle nispeten, çok değişim göstermediği ve eğrilerin birbirlerine paralellik sergilediği Şekil 8'deki grafikten gözlenmektedir. Doymun durumda L/D oranının 2,29 olduğu örneklerde hesaplanan P dalga hızları diğer boyutlara göre daha düşük çıkmıştır. Bu durum numune boyutu arttıkça doymun killi kireçtaşlarında P dalga hızının azaldığına işaret etmektedir. Kuru örneklerde de kendi içerisinde poroziteden dolayı L/D oranı arttıkça P dalga hızında bir azalma söz konusu olmaktadır. Kuru halde Zon-2 ve 3'te L/D oranı arttıkça UPV değerlerinde bir azalma olduğu görülmüştür. Fakat zon-1 ve zon-4'te L/D oranı 2,29 olan örneklerde ölçülen UPV değerleri L/D oranı 1,37 ve 1,83 olan örneklerde ölçülen değerlerden daha düşük olmasına karşın L/D oranının 0,46 ve 0,91 olduğu örneklerde ölçülen UPV değerlerinden daha yüksek çıktığı gözlenmiştir. Bu durum porozite ile numune boyutu ilişkisine ters gibi görünse de, yukarıda bahsedildiği gibi boy/çap oranının 0,46 ve 0,91 olduğu örneklerde ölçülen UPV değerlerinin değişim aralığı diğer L/D oranlarındaki kayaçlara göre farklı sonuçlar verdiği için zon-1 ve zon-4'te gözlenen durumu açıklamaktadır (Şekil 8).

Kuru ve doymun örnekler arasında ölçülen P dalga hızı değerleri arasındaki korelasyon ilişkisi zon-2 ve 3'te oldukça yüksek çıkmıştır. Yapılan ince kesitlerdeki analizlerde (mineralojik analiz) zon-2 ve 3'ün tanelerinin eş boyutlu oldukları gözlenmiş ve diğer zonlara nazaran içsel dokularını korudukları gözlenmiştir. Dolayısıyla numune L/D oranı etkisi korelasyonu çok etkilememiştir. Zon-1'de korelasyon söz konusu olmamaktadır. Bunun nedeninin numune boyutu etkisi ve kayacın içsel özelliklerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Yapılan mineralojik analizlerde bu zona ait birimlerin içsel dokusunu tamamen

kaybettiği gözlenmiştir. Zon-4'te oldukça düşük korelasyon olmasının nedeninin numune boyutu etkisi olduğu grafikten gözlenmektedir (Şekil 9). Kayaçların porozitesi yüksek olmasına rağmen ultrasonik darbe hızı deneyi ile bulunan P dalga hızı değeri kuru örneklerde doymun örneklerle göre daha yüksek çıkmıştır. Çalışma alanındaki karbonat fasiyeslerindeki kayaçlarda numune boyutu arttıkça suya doymun halde kil içeriğinden dolayı suyla yumuşama gerçekleşmektedir. Buna bağlı olarak sinyal geçişini yavaşlattığı ve P dalga hızının düşük çıkmasına neden olduğu değerlendirilmektedir. Kuru örneklerde yumuşama olmadığından P dalga hızları doymun örneklerdeki P dalga hızından daha yüksek çıkmaktadır. Bunun nedeni killi karbonatlı kayaçların su varlığı karşısında veya suya doymun olduğu durumda sert yapısını kaybederek yumuşama özelliği göstermesi ve bu sebeple P dalga hızı doymun örneklerde literatürün aksine daha düşük çıkmaktadır. L/D oranının 0,46 olduğu örneklerde doymun P dalga hızının yüksek değerde olması ise uzunluğun kısa olması nedeniyle yumuşayan kısımların oransal olarak daha az olmasıdır. Numune L/D oranının artmasıyla birlikte doymun-kuru P dalga hızı arasındaki fark giderek artmaktadır. Uzunluk arttıkça doymun örneklerde P dalga hızının azaldığı tespit edilmiştir. Kil içeriği yüksek kayaçlardan veya uygun kalınlığa sahip olmayan formasyonlardan, laboratuvar ortamında düzgün ve uzun karotlar almak mümkün olamamaktadır. Bu nedenle grafik sonuçları dikkate alınarak NX çaplı killi kireçtaşları numuneleri için uygun L/D oranı için numune uzunluğunun en az 6 cm yani L/D oranının 1,1 olabileceği, en fazla 11 cm yani L/D oranının 2 olabileceği düşünülmüştür. Buna bağlı olarak $1,1 \leq L/D \leq 2$ eşitliğinin killi kireçtaşı numuneleri için daha iyi sonuçlar verdiği yapılan deneysel çalışmalar neticesinde anlaşılmıştır. Ayrıca ASTM standartları da göz önüne alınarak, ortalama tane boyutu (0,7 mm) ve numune uzunluğu grafiğine göre bu çalışmada L/D oranı en küçük 1,05 olması gerektiği gözlenmiştir.



Şekil 8. Jeolojik birimlere ait örneklerin P dalga hızlarının kuru ve doygun durum için değişim grafikleri.



Şekil 9. Doygun ve kuru P dalga hızları arasındaki ilişki

5. SONUÇLAR

Numune L/D oranı 0,46 olduğu durumda doygun haldeki P dalga hızı kuru haldekenden yüksek çıkmakta, 0,91 olduğunda kuru ve doygun durum için ultrasonik P dalga hızı değeri birbirine yakın çıkmaktadır. L/D oranı 1,37, 1,83 ve 2,29 olduğunda kuru ve doygun karot örnekler üzerinde ölçülen P dalga hızı değerlerinin tüm zonlarda kuru halde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kuru ve doygun örneklerdeki P dalga hızı arasındaki fark en fazla, L/D oranının 2,29 olduğu örneklerde görülmektedir. Bu durumda numune boyutu arttıkça kuru ve doygun ultrasonik P dalga hızlarında azalma gözlenmiştir. Doygun ve kuru ultrasonik P dalga hızları arasındaki korelasyon grafiklerinde de görüldüğü gibi kuru P dalga hızı ile doygun P dalga hızı arasında zon-2 ve 3'te iyi bir korelasyon ilişkisi bulunmuştur. Zon-1 ve 4'te ise korelasyon ilişkisi düşük çıkmıştır. Bunun nedeninin içsel özellikler, porozite, kayaç mineralojisi ve numune boyutu etkisi olabileceği düşünülmektedir. Su içeriği ve porozite ile P dalga hızı arasında korelasyon grafikleri incelenmiş ve porozite artışıyla birlikte UPV hızlarında doygun ve kuru durumda bir azalma gözlenmiştir. Su içeriği ile doygun UPV arasındaki ilişki grafiğinde, su içeriğindeki artışa karşılık UPV değerlerindeki düşüş gözlenmektedir. Bu durum, bu çalışmada karşılaşılan kuru halde ölçülen UPV değerlerinin doygun durumda ölçülen UPV değerlerinden yüksek çıktığı durumunu desteklemektedir. Numune L/D oranı 0,46 ve 0,91 olduğu durum ASTM standartlarını ve elde edilen sonuçları desteklemediğinden, bu çalışmada killi karbonatlı birimler için en uygun L/D oranının $1,1 \leq L/D \leq 2$ olabileceği gözlenmiştir. Ayrıca yumuşamanın çalışılan kayaç türü için farklı hız değişimine neden olduğu anlaşılmıştır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Karadeniz Teknik Üniversitesi araştırma fonuna (Proje No: 2008. 112.008.1) ve ince kesitlerin değerlendirilmesinde emeği geçen Yrd. Doç. Dr. Reyhan KARA GÜLBAY'a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

ASTM, 2005 D 2845-05; "Standart Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock", s. 7.

Chary, K.B., Sarma, L.P., Prasanna Lakshmi, K.J., Vijayakumar, N.A., Naga Lakshmi, V ve Rao, M.V.M.S., 2006; "Evaluation of Engineering Properties of Rock Using Ultrasonic Pulse Velocity and Uniaxial Compressive Strength", Proc. National Seminar on Non-Destructive Evaluation Dec. 7-9, Hyderabad, s.7.

D'Andrea, D.V., Fischer, R.L. ve Fogelson, D.E., 1965; "Prediction of compressive strength from other rock properties", US Bureau of Mines Report of Investigations 6702.

Gladwin, M.T., 1982; "Ultrasonic stress monitoring in underground mining", Int. J. Rock Mech. Min. Sci. **19**, 221-228.

ISRM, 1981; "Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake Durability Index Properties", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, **16(2)**, 141-156.

Kahraman, S., 2007; "The Correlations Between the Saturated and Dry P-Wave Velocity of Rocks", Ultrasonics, **46**, 341-348.

Karpuz, C ve Pasamehmetoglu, A.G., 1997; "Field characterization of weathered Ankara andesites", Eng. Geol. s.17.

Lama, R.D ve Vutukuri, V.S., 1978; "Handbook on Mechanical Properties of Rocks", Vol. 2, Trans Tech Publications, Clausthal, Germany.

Onodera, T.F., 1963; "Dynamic investigation of foundation rocks, in situ, in: Proceedings of the 5th US Symposium on Rock Mechanics", pp. 517-533.

Ramana, Y.V. ve Venkatanarayana, B., 1973; "Laboratory studies on Kolar rocks", Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. **10** (465-489).

Thill, R.E ve Bur, T.R., 1969; "An automated ultrasonic pulse measurement system",

Geophysics **34** (101-105).

Vasconcelos, G., Lourenço, P.B., Alves, C.A.S. ve Pamplona, J., 2008; "Ultrasonic Evaluation of the Physical and Mechanical Properties of Granites", Ultrasonics **48** (453-466).

Wyllie, M.R.J., Gregory, A.R ve Gardner, L.W., 1956; "Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media", Geophysics **21**, 41-70.

Young, R.P., Hill, T.T., Bryan I.R ve Middleton, R., 1985; "Seismic spectroscopy in fracture characterization", Quart. J. Eng. Geol. **18**, 459-479.