

## Kayaçların Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özelliklerinin Ultrasonik Hız Tekniği ve Zaman-Frekans Analiziyle Belirlenmesi: Bej Kireçtaşları (KD Türkiye) Üzerine Örnek Bir Çalışma

*Determination of Physical, Mechanical and Elastic Properties of the Rocks with Ultrasonic Velocity Technique and Time-Frequency Analysis: A Case Study on the Beige Limestones (NE Turkey)*

Ali Erden BABACAN<sup>1</sup>, Hakan ERSOY<sup>2</sup>, Kenan GELİŞLİ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, TRABZON

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TRABZON

Geliş (received) : 5 Mart (March) 2012

Düzeltilme (revised) : 24 Nisan (April) 2012

Kabul (accepted) : 10 Mayıs (May) 2012

### ÖZ

Kaya mekaniği ve mühendislik jeolojisi uygulamalarının çoğunda, Tek Eksenli Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü yaygın olarak kullanılan parametrelerdir. Fakat bazı durumlarda bu deney için numune hazırlanması ve deneyin yapılması pahalı ve zaman alıcıdır. Bir alternatif olarak, kayaçların önemli mühendislik özelliklerinin tahmininde çeşitli mekanik ve fiziksel özellikler arasındaki analitik ve ampirik ilişkiler kullanılabilir. Bu nedenle ultrasonik hız gibi basit deney yönteminin tek eksenli basınç dayanımını ve elastisite modülünü kestirmek amacıyla kullanımı oldukça yaygındır. Bu basit deney yöntemleri hızlı, kolay, taşınabilir ve ucuzdur. Ayrıca numune hazırlama işlemi de gerektirmeyebilirler. Bu çalışmada ise Doğu Pontidler (KD Türkiye) güney zonunda yüzeyleyen bej kireçtaşlarına ait örnekler üzerinde basit deney yöntemleri ve tek eksenli basınç dayanım deneyleri uygulanmış, kayacın tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları ile basit deney sonuçları arasında istatistiksel ilişkiler kurulmuştur. Çalışmalar sonucunda doğrudan ve dolaylı yöntemlerle belirlenen kayaç özellikleri arasında anlamlı istatistiksel ilişkiler belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fiziksel özellik, Kireçtaşı, Mekanik özellik, Sonik hız.

### ABSTRACT

*In the most of engineering geological and rock engineering applications, uniaxial compressive strength (UCS) and elasticity modulus (E) of the intact rocks are the most widely used parameters.*

*However, in some cases it can be quite difficult, time consuming and expensive to prepare specimens and to conduct this test. As an alternative, the empirical or analytical relationships between various physical and mechanical strength properties of materials can be used to estimate the required engineering properties of rocks. For these reasons, simple test method such as ultrasonic sonic velocity test is used widely. This simple test has been world widely used to estimate the UCS and E of the rock materials, because of their rapidity, simplicity, portability, low cost, non-destructiveness and easiness in both specimen preparation and test conduction. In this study, simple test methods and UCS tests were conducted on the samples obtained from the beige limestones outcropping in the southern zone of the eastern Pontides and some statistical correlations were established between results of simple tests and UCS test results. Regarding the test results obtained by the direct and indirect methods, meaningful statistical relations between the rock properties are obtained.*

**Key Words:** *Physical properties, Limestone, Mechanical properties, Ultrasonic velocity.*

## GİRİŞ

Ultrasonik teknikler uzun yıllardır madencilik alanında ve jeoteknik uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunlar, jeofizik çalışma alanlarında ve kayaçların dinamik özelliklerinin laboratuvarlarda belirlenmesinde kullanılabilir. Bu teknikler, uygulanmasının kolaylığı ve zararsız olmasından dolayı, jeoteknik mühendisliğinde artarak kullanılmaya başlanmıştır. Bilindiği gibi kayaçlar farklı fiziksel özelliklere sahiptir ve herhangi bir etki karşısında farklı tepki vermektedirler (Altıntaş, 1996). Zararsız, düşük maliyetli ve kolay uygulanabilen ölçüm tekniklerinden biri olan ultrasonik yöntemler, araziden toplanan kaya numunelerinin ultrasonik hızlarının laboratuvar ortamında belirlenmesinde uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Akustiğin bir kolu olan ultrasonik insan kulağının işitmeyeceği kadar yüksek frekanslı (>20Khz) ses dalgalarına verilen addır. Ultrasonik P (boyuna) ve S (enine) dalga hızları, ölçümü yapılan numunenin

yoğunluğuna ve dokusal özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Ultrasonik hızlar homojen ve heterojen malzemelerde doğal olarak farklılık gösterir. Kayaçlara ait fiziksel ve mekanik özelliklerin tespiti için, ultrasonik dalga hızları birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Kahraman, 2001; Karakuş vd., 2005; Singh ve Sharma, 2008; Ersoy vd., 2009; Babacan vd., 2009).

Son yıllarda, ultrasonik ölçümlerin sinyal analizi, ilgilenilen fiziksel bilginin belirlenmesinde çok önemli bir yöntem olmaya başlamıştır (Malinaric ve Kostial, 1998). Zaman-frekans analizi, ultrasonik sinyalin analizi için kullanılan veri-işlem yöntemlerinden birisidir. Ultrasonik puls yöntemiyle elde edilen sinyaller, zaman-frekans analizi ile değerlendirilmektedir. Her bir numune için elde edilecek olan sinyallerin Fourier spektrumları alınarak, zaman ortamındaki veriler frekans ortamına

aktarılır ve zaman ortamında göremediğimiz bazı özellikler belirlenebilir. Materyaller içerisindeki süreksizliklerden yansıyan sinyaller, süreksizliğin boyutu ve yeri hakkında bilgi sağlamaktadır (Saka vd., 1989).

Bu çalışmada, Doğu Pontidler (KD Türkiye) güney zonunda geniş yayılımlar gösteren Alt Kretase-Malm yaşlı Berdiga Formasyonu'na ait bej kireçtaşlarından alınan bloklardan karot örnekleri temin edilmiş, daha sonra laboratuvarda kayaçların boyuna ve enine dalga hızları ölçülmüştür. Elde edilen hızlardan dinamik-elastik parametreler ampirik olarak hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra, direk laboratuvar yöntemleri ile kayaç örneklerinin porozite, su içeriği, tek eksenli basınç dayanımı değerleri belirlenmiş, gerilme-deformasyon ilişkisinden elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır. Bu veriler birbirleriyle istatistiksel olarak ilişkilendirilmiş, kireçtaşlarının mühendislik özellikleri dolaylı yollardan belirlenmeye çalışılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Ultrasonik Hız Ölçümü

Ultrasonik hız ölçümlerinde Puntid Plus marka ultrasonik hız ölçüm cihazı kullanılmıştır. Puntid Plus ile kaya numunelerinde duyarlı ölçümler yapılabilmektedir. Boyuna dalga hızlarını belirlemek için 54 kHz'lik piezoelektriksel özellikte alıcı-verici problar kullanılırken, enine dalga hızlarını belirlemek için ise 1 Mhz'lik alıcı-verici kullanılmıştır. Verici probtan üretilen elektriksel sinyal mekanik titreşime dönüştürülerek kaya numunesine gönderilir, numune içinden geçen sinyal karşı taraftaki alıcı tarafından

kaydedilir. Hız ölçümü yapılırken, alıcı ve verici başlıklar ile numune arasına bir jel sürülmesi ve numune ile alıcı-verici başlıklara belli bir kuvvet uygulanarak başlıkların numuneye iyi temas ettirilmesi çok önemlidir. Sinyalin kaya numunesi içindeki yayılım süresinden hız belirlenir. Kayaçların hızları direk, yarı direk ve indirek yöntemler olmak üzere 3 farklı yöntem ile belirlenebilmektedir. Bu çalışmada ultrasonik ölçüm tekniklerinden biri olan puls iletim (direk ölçüm) tekniği kullanılmıştır. Puls iletim tekniği direk iletim ölçümüdür. Bu uygulamada materyallerin puls hızı; alınan kayaç numunesinin paralel yüzeyleri üzerine alıcı ve vericileri yerleştirilerek geçiş zamanı ölçülerek belirlenir. Ultrasonik sinyalleri elde etmek için duyarlı bir osiloskop, ölçüm cihazına bağlanır ve elde edilen sinyaller sayısal olarak kaydedilir. Daha sonra kaydedilen sinyallerin spektral analizi yapılır. Ultrasonik test kullanılarak elde edilen sinyallerin, analizleri ile ölçüm yapılan materyaller içerisindeki süreksizlikler ve yerleri oldukça hassas bir şekilde belirlenebilmektedir.

### Zaman-Frekans (Sinyal) Analizi

Materyaller içerisindeki süreksizlikler, mikro çatlaklar, boşluklar gibi heterojen yapılar ultrasonik sinyallerin analizi ile belirlenebilmektedir. Sinyalin Fourier dönüşümünü almak suretiyle zaman ortamındaki veri frekans ortamına aktarılır. Fakat verinin sadece frekans ortamındaki içeriğini incelemek yetmeyebilir. Verinin hem frekans hem de zamanla değişimine bakmak gereklidir. Bunun için zaman frekans analiz yöntemleri uygulanarak verinin frekans içeriğinin zamanla değişimi incelenmektedir. Değişik zaman-frekans analiz yöntemleri vardır.

Bunların en yaygın olanlarından bir tanesi kısa zamanlı Fourier dönüşümüdür (KFZD). Sismogram gibi durağan olmayan sinyaller için, frekans içeriği zamanla değişim göstermektedir.

Sinyalin genlik spektrumu farklı frekansların varlığını ortaya çıkarsa da, bu frekansların zaman içerisindeki değişimlerini göstermez. Sinyalin kısa bir zaman penceresi boyunca sabit olduğunu kabul edersek, Fourier dönüşümü belli bir zaman süresi içinde sinyalin frekans içeriği ile ilgili bilgi verir. Bu zaman penceresi uygun olarak seçilirse, sinyalin frekans içeriği ortaya çıkartılır. Bu iki boyutlu gösterim kısa zaman Fourier dönüşümü (KZFD) olarak adlandırılır. Matematiksel olarak ifade edilirse;  $w$ , frekans,  $T$  ise anlık zamanı göstermek üzere KZFD aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$KZFD_{(T, w)} = \int f(t)g(t-T)e^{-j\omega t} \quad (1)$$

Burada,  $f(t)$  zaman ortamında sinyal,  $g(t)$  pencere fonksiyonu,  $e^{-j\omega t}$  ise Fourier dönüşüm operatörüdür.

$f(t)$  sinyali, pencere fonksiyonu  $g(t)$  ile çarpılarak belirli aralıklarda parçalara bölünür. Daha sonra, bu pencerelenmiş sinyalin Fourier dönüşümü hesaplanır. Bu işlem  $g(t-T)$  fonksiyonu kullanılarak zaman içinde seçilen pencerelere tekrar uygulanır. Frekans-zaman düzlemi içindeki her bir düşey dikdörtgen, pencerelenmiş sinyalin Fourier dönüşümüdür.

KZFD yönteminde pencere fonksiyonunun seçimi oldukça önemlidir. Eğer bu fonksiyon uzun bir zaman aralığına sahipse, frekans ortamında bant genişliği dar bir bant geçişli

filtre gibi olur. Bu durum frekans ekseninin iyi örneklendiğini gösterir. Ancak, uzun zaman aralığı, zaman ortamındaki küçük değişimlerde belirsizliklere de neden olabilir (Chakraborty ve Okaya, 1995).

### Deneysel Laboratuvar Çalışmaları

Bu çalışmada, su içeriği, porozite ve sonik hız değeri gibi indeks özellikler, tek eksenli sıkışma dayanımı gibi dayanım özellikleri ve elastisite modülü, poisson oranı gibi elastik özellikler ve bu deneylerde kullanılacak karot örneklerinin hazırlanması ISRM (1981) ve CANMET (1997a ve b) standartları göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Deneyler uygun yüzleklerden seçilerek laboratuvara getirilen blok örneklerden alınan karotlar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Tek eksenli basınç direnci deneyi, silindirik bir şekle sahip kayaç malzemesi örneklerinin dayanım ve kaya kütlesi sınıflamalarında ve tasarımlarda yaygın biçimde kullanılan sıkışma dayanımının tahmini amacıyla yapılır. Bu çalışmada, kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenirken, ISRM (1981) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır. Örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı ( $\sigma_c$ ) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = F/A \quad (2)$$

Burada,  $F$ : yenilme anında kaydedilen yük,  $A$ : silindirik örneğin en kesit alanıdır.

Çalışmada, tek eksenli basınç deneyi yapılırken, kayaçların Elastisite modülü (Young Modülü) ve Poisson Oranı da tayin edilmiş,

deneylerde ISRM (1981) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır.

Çalışmada aksenal ve çapsal birim deformasyonlar ( $\epsilon_a$  ve  $\epsilon_d$ ) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır:

$$\epsilon_a = \Delta L / L_0 \quad (3)$$

$$\epsilon_d = \Delta D / D_0 \quad (4)$$

Burada;  $\Delta L$ : örneğin ekseni boyunca uzunluktaki değişim,  $L_0$ : deney öncesi örneğin orijinal aksenal boyu,  $\Delta D$ : çaptaki değişim,  $D_0$ : örneğin deney öncesindeki çapıdır

Sismik yöntemlerde kaya kütleline ait poisson oranı, kesme modülü, bulk modülü ve elastisite modülü aşağıda verilen eşitlikler (Telford vd., 1993) yardımıyla belirlenmiştir.

$$\rho = 0.31 * V_p^{0.25} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (5)$$

$$\nu = [0.5 (V_p/V_s)^2 - 1] / [(V_p/V_s)^2 - 1] \quad (6)$$

$$G = \rho * V_s^2 \quad (7)$$

$$k = \rho [V_p^2 - (4V_s^2/3)] \quad (8)$$

$$E_m = \rho * V_s^2 [(3V_p^2 - 4V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2)] \quad (9)$$

Burada,  $V_p$ : boyuna dalga hızı (m/sn),  $V_s$ : enine dalga hızı (m/sn),  $\rho$ : yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>),  $\nu$ : poisson oranı,  $G$ : kesme modülü (MPa),  $k$ : bulk modülü (MPa) ve  $E_m$  ise elastisite modülüdür (MPa).

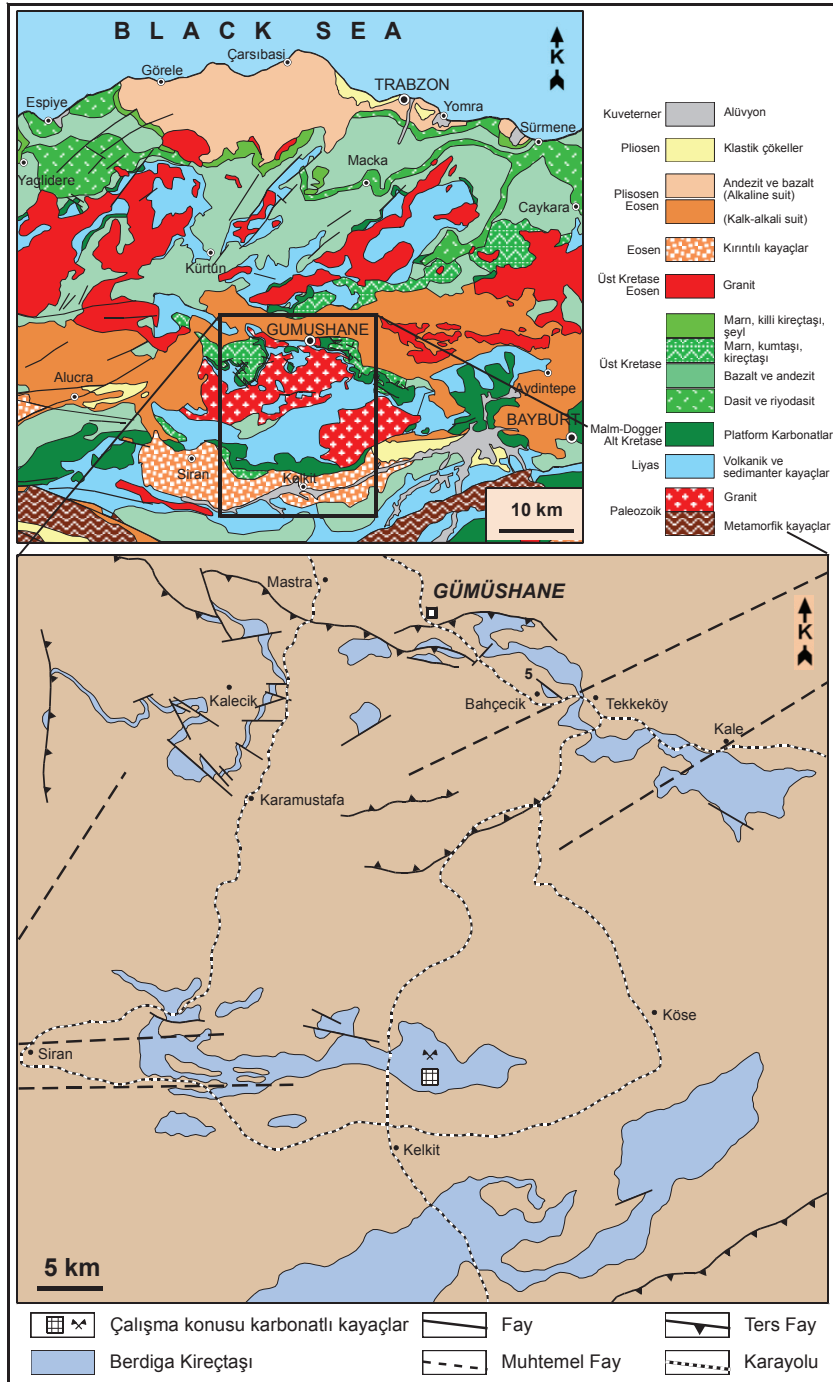
## BULGULAR

### Çalışma Alanının ve Çevresinin Jeolojisi

Türkiye'nin tektonik ve jeolojik birlikteliklerinden biri olan Doğu Pontidler, yapısal ve litolojik özellikler göz önünde

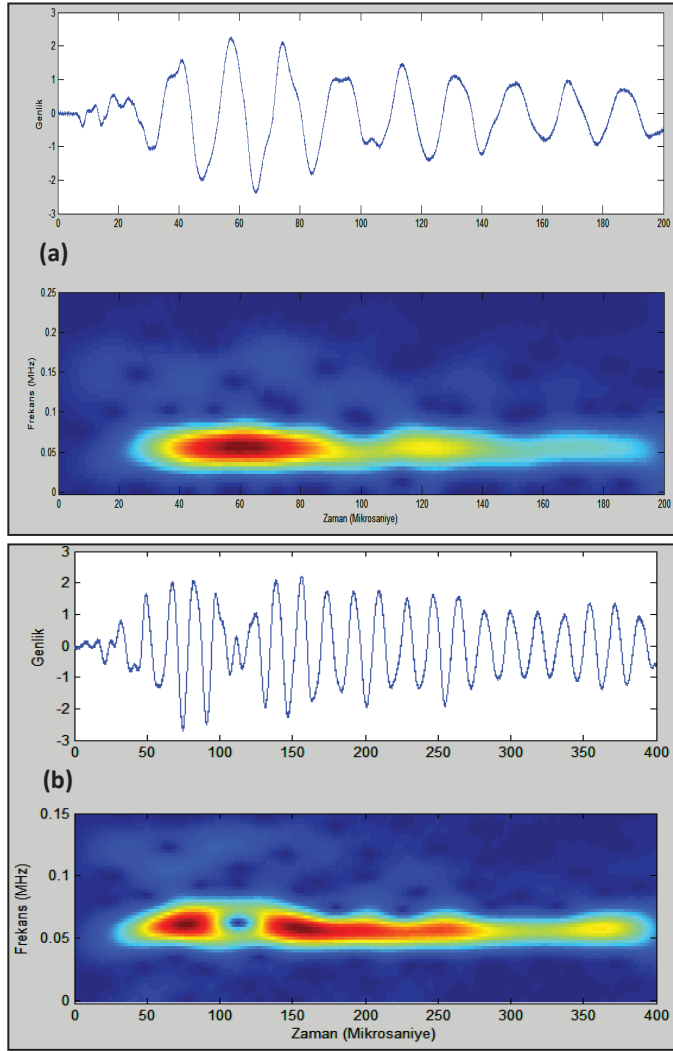
bulundurularak Kuzey ve Güney Zon olarak tanımlanan iki ayrı bölgeye ayrılmıştır (Ketin 1966; Okay ve Şahintürk, 1997). Kuzey Zon Üst Kretase ve Orta Miyosen volkanik ve piroklastik kayalarla karakteristik iken, Güney Zon ise Üst Kretase öncesi tortul birimler ile karakteristiktir. Çalışma konusunu oluşturan bej kireçtaşları, Doğu Pontidler'in güney zonunda yer alan ve platform karbonatları olarak da bilinen Alt Kretase-Malm yaşlı Berdiga Formasyonu'na aittir. Bu birim ilk kez, litostratigrafi adlama kurallarına uygun olarak Pelin (1977) tarafından Alucra (Giresun) yöresinde yayılım gösteren masif kireçtaşları için Berdiga Formasyonu adı ile tanımlanmıştır. Çoğunlukla gri, grimsi beyaz renklerde olan birim, çok çatlaklı ve tabakasız bir yapı göstermektedir. Çalışma alanı ve çevresinde yaygın olarak yüzeylenen birim, dolomitik kireçtaşı ve kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Sarp kayalıklar şeklinde gözlenmesi ile çevre kayalardan kolayca ayırt edilebilmektedir. Şekil 1a'da Doğu Karadeniz Bölgesi'nin jeoloji haritası, Şekil 1b'de ise bej kireçtaşlarının bölgedeki yayılımı görülmektedir.

Tüm Doğu Pontidler'de olduğu gibi inceleme alanında da geniş yüzleklere sahip bol fosilli, sığ denizel kireçtaşları ve dolomitik kireçtaşları tipik bir karbonat platformu ürünüdürler. Tümüyle karbonatlı kayalardan oluşan birim homojen bir yapı sunar ve genel olarak zengin mikro fosil (özellikle küçük bentik foraminifer) içerir. Birim, üst seviyeleri çört yumru ve bantlı ve tabandan tavana karbonatlı fasiyeste gelişmiş özelliklere sahiptir. Bununla birlikte ideal bir karbonat platformunda izlenen yaygın mikrofasiyes tiplerinin tümü izlenebilir özelliktedir.



Şekil 1. Doğu Pontidlere ait genelleştirilmiş jeoloji haritası (a) ve çalışma konusu bej kireçtaşlarının Doğu Pontid Güney Zonundaki dağılımı (b) (Güven, 1993'ten değiştirilerek)

Figure 1. Generalized geological map of the Eastern Pontides (a) and the locations of the studied limestones in the southern zone of the Eastern Pontide (b) (modified from Güven, 1993)



Şekil 2. Mikroçatlak içermeyen (a) ve mikroçatlak içeren kireçtaşlarına (b) ait zaman-frekans dağılımı.

Figure 2. Time-frequency graphs of the limestones having (a) no micro-cracks and (b) micro-cracks.

### Kireçtaşlarına Ait Zaman-Frekans (Sinyal) Analizi

Çalışmada ilk olarak ultrasonik yöntemler kullanılarak örnekler üzerinde sinyal analizleri yapılmış, çalışma konusu kireçtaşlarından alınan kaya malzemesinin deney standartlarına uygunluğu araştırılmıştır. Ultrasonik ölçüm

cihazına bağlanan bir osiloskop yardımıyla bej kireçtaşı örneklerinden elde edilen sinyallere bazı veri-işlem teknikleri uygulanarak bu kayaçların içyapıları analiz edilmiş, deney sonuçlarını olumsuz etkileyecek mikrofisür içeren kayaç örnekleri belirlenmiştir. Yoğun mikrofisür içeren örnekler çalışmaya dahil edilmemiştir (toplam 15 örneğin 5 tanesi). Şekil 2a'da fisür içermeyen

Tablo 1. Kireçtaşlarının dolaylı ve direk yöntemlerle belirlenen bazı fiziksel, mekanik ve elastik özellikleri  
 Table 1. Some physical, mechanical and elastic properties of the limestones measured by using direct and indirect methods.

Örnek	Dolaylı Yöntemler				Direk Yöntemler			
	Vp (m/sn)	Vs (m/sn)	$\mu$	E (GPa)	UCS (MPa)	n (%)	w (%)	E (GPa)
1	6300	4170	0.11	100	72	0.77	0.059	81
2	6200	4025	0.14	95	74	0.77	0.039	80
3	6150	4110	0.10	97	70	0.52	0.045	88
4	6100	4000	0.12	93	86	0.88	0.045	104
5	6150	4115	0.10	96	64	1.08	0.048	80
6	6120	4160	0.07	97	71	0.96	0.030	87
7	5900	3850	0.13	87	68	1.01	0.040	85
8	6010	3920	0.13	91	70	1.14	0.056	78
9	6320	4220	0.10	101	80	1.09	0.021	102
10	6200	4000	0.14	95	61	1.15	0.045	74
11	5750	3800	0.11	83	65	1.15	0.034	80
12	6150	4075	0.10	96	68	0.80	0.049	79
13	6290	4250	0.08	101	71	1.07	0.036	95
14	6300	4200	0.10	100	71	1.02	0.045	78
15	5800	3950	0.07	86	65	1.27	0.061	75
<b>Ort.</b>	<b>6145</b>	<b>4040</b>	<b>0.11</b>	<b>94</b>	<b>70</b>	<b>0.98</b>	<b>0.043</b>	<b>85</b>
<b>Std. Sp.</b>	<b>179</b>	<b>137</b>	<b>0.02</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>0,2</b>	<b>0,01</b>	<b>9</b>

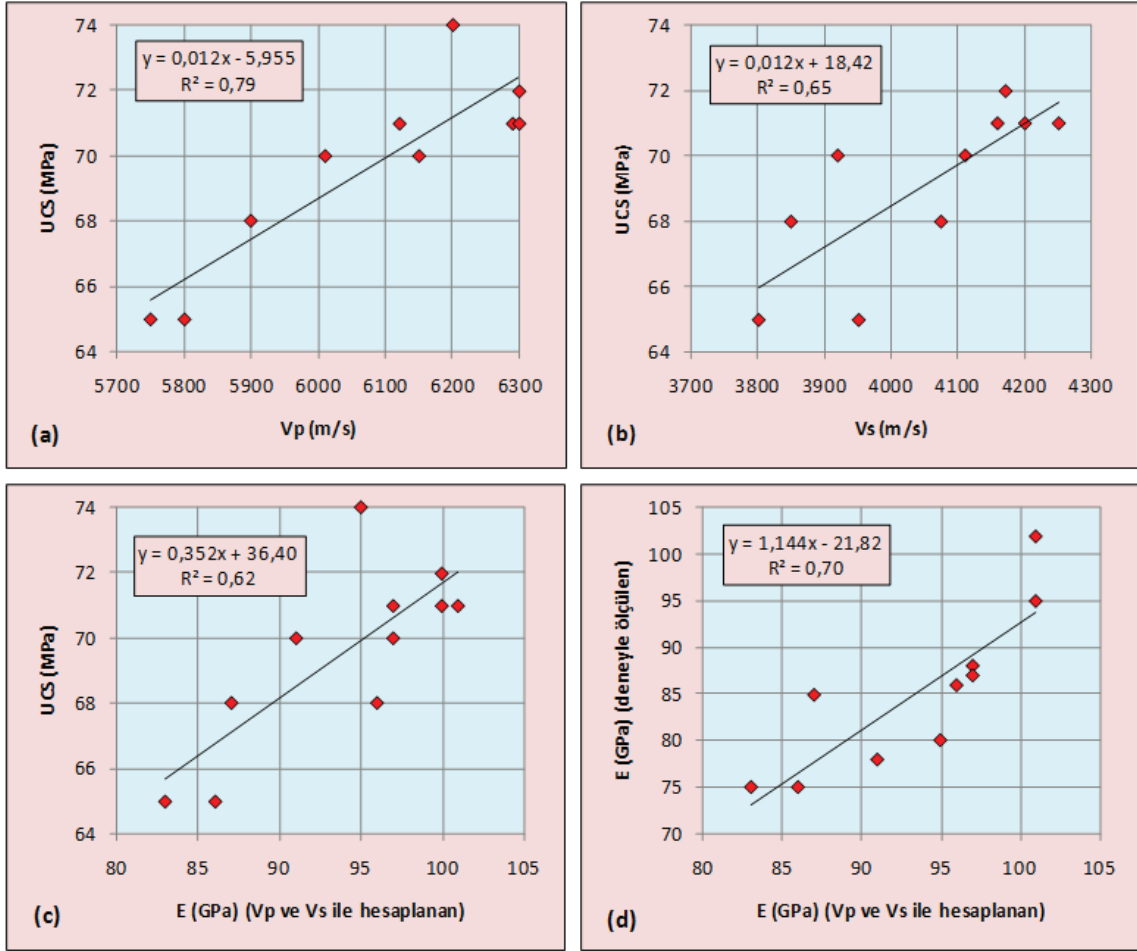
*Açıklama:* Vp ve Vs: Boyuna ve enine dalga hızı,  $\mu$ : poisson oranı, E: Elastisite modülü, UCS: tek eksenli sıkışma dayanımı, n: görünür porozite, w: su içeriği

ve homojen ortam özelliğinde olan bir örneğe ait, Şekil 2b'de ise fisür içeren ve bu nedenle heterojen özellik sunan bir örneğe ait zaman-frekans (sinyal) analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 2'de fisür içermeyen kayalara ait sinyal analiz grafiğindeki eğrinin dalga boyu homojen olarak azalırken, fisür içeren kayaçta ise bir kesiklik görülmektedir.

### Kireçtaşlarının Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özellikleri

Ultrasonik teknikler uzun yıllardır jeoteknik uygulamaların çözümünde kullanılmıştır. Birçok araştırmacı kaya özellikleri ve ses hızı arasındaki ilişki üzerinde çalışmış ve ses hızının kaya özellikleriyle oldukça ilişkili olduğunu belirlemiştir.





Şekil 3. Kireçtaşların fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerinin istatistiksel olarak karşılaştırılması (a: boyuna dalga hızı-tek eksenli sıkışma dayanımı, b: enine dalga hızı- tek eksenli sıkışma dayanımı, c: dolaylı yöntemle belirlenen elastisite modülü-tek eksenli sıkışma dayanımı, d: dolaylı yöntemle belirlenen elastisite modülü-deneyle hesaplanan elastisite modülü grafikleri)

Figure 3. The statistical comparison of the physical, mechanical and elastic properties of the limestones (a: P wave velocity-uniaxial compressive strength, b: S wave velocity-uniaxial compressive strength, c: indirect elasticity modulus-uniaxial compressive strength, d: indirect elasticity modulus- direct elasticity modulus).

Bu nedenle bu çalışmada, hem doğrudan, hem de dolaylı yöntemler uygulanmış; Doğu Karadeniz Bölgesi Gümüşhane ili Kelkit ilçesi kuzeyinde yüzeylenme veren Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşlarından alınan bloklardan elde edilen 15 adet karot örneği üzerinde laboratuvar deney-

leri gerçekleştirilmiş, ultrasonik hız (Vp boyuna ve Vs enine), porozite, su içeriği ve tek eksenli basınç dayanımları ölçülüp, gerilme-deformasyon ilişkisinden elastisite modülü değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, akustik hızlar kullanılarak geliştirilmiş olan deneysel bağıntılar yardımıyla,

kayma modülü, elastisite modülü, bulk modülü ve poisson oranı değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir.

Regresyon analizi, değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisinin bulunmasına imkân veren bir analiz yöntemidir. Korelasyon analizinde ise iki değişken arasındaki ilişkinin yönü ve şiddeti hesaplanır. Fakat bu ilişki bir neden-sonuç ilişkisi olmak zorunda değildir. İkili regresyonda, bağımsız değişken (X) hakkında sahip olunan bilgilerden hareketle bağımlı değişken (Y) tahmin edilmeye çalışılır.

Çalışmada, Doğu Karadeniz Bölümü’nde bulunan bej kireçtaşları üzerinde yapılan deneylerden elde edilen veriler üzerinde basit doğrusal regresyon analizleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 3’te verilmiştir.

Şekillerden de anlaşılacağı gibi, tek eksenli basınç değeri ile boyuna ve enine dalga hızları arasında anlamlı pozitif lineer ilişki bulunmaktadır. Bununla birlikte dolaylı yöntemlerle bulunan elastisite modülü ile tek eksenli basınç direnci arasında da benzer ilişki görülmektedir. Dolaylı yöntemlerle bulunan elastisite modülü ile doğrudan laboratuvar deneyleri ile belirlenen elastisite modülü arasında ise 0.70 regresyon katsayı değeriyle ifade edilen pozitif lineer ilişkiler belirlenmiştir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesi’nde yer alan Malm-Dogger-Alt Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu’na ait bej renkli kireçtaşlarının (Kelkit, Gümüşhane), akustik hızları laboratuvarında belirlenmiştir. Bu hızlar yardımıyla kayaçlarının kalitesi hakkında

bilgi veren dinamik-elastik parametreler hesaplanmıştır. Jeoteknik çalışmalar ile de porozite, su içeriği, tek eksenli basınç dayanımı hesaplanmış, gerilme-deformasyon ilişkisinden elastisite modülü değerleri belirlenmiştir.

Kayaçların fiziko-mekanik özelliklerinin, özellikle tek eksenli basınç direncinin belirlenmesinde numunelerin deneye uygun hale getirilmesi zaman almaktadır. Bu nedenle bu çalışmada mekanik deneyler sonucunda elde edilen verilerle sismik hızlar arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı test edilmiş ve elde edilen sonuçlardan da anlaşılacağı gibi örneklerin tek eksenli basınç dirençleriyle ultrasonik  $V_p$  hızları arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ölçülen elastisite modülü ile hesaplanan elastisite modülü ve  $V_p$  hızları karşılaştırılıp bunların arasında da anlamlı bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

Kireçtaşlarının görünür porozitesi ve su içeriği oranı değerleri oldukça düşük çıkmıştır. Bu durum yüksek hız değerleriyle doğrudan ilişkilidir. Porozite düştükçe hız değeri artmaktadır. Kireçtaşlarının hem hızlarının hem de ölçülen ve hesaplanan elastisite modüllerinin çok yüksek olması bunların oldukça sağlam bir yapıya sahip olduklarını göstermektedir. Ortaya konulan korelasyonlar numune sayısı arttıkça daha da belirginleşecektir. Genel olarak kireçtaşlarının zaman-frekans kesitlerine bakıldığında da ultrasonik sinyal formlarının fazla bozulmamış olması, genliklerinin yüksek olması, bunların oldukça homojen bir yapıya sahip olduklarını, içerisinde mikro çatlak, boşluk gibi süreksizliklerinin çok az miktarda olduğunu göstermektedir.

**KAYNAKLAR**

- Altıntaş, M., 1996. Sismik parametreler ile bazı kaya mekaniği parametreleri arasındaki ilişkiler. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara 96 s (yayınlanmamış)
- Babacan, A.E., Ersoy, H., Gelisli, K., 2009. Determination of physical and mechanic properties of rocks with direct and indirect methods: A case study on the beige limestones in the Eastern Pontides. Proceedings of The 21st International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, 123-130
- CANMET, 1997a. Laboratory Classification Tests. In Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-1, Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report 77-25, 31 p.
- CANMET, 1997b. Laboratory Classification Tests, In Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-1, Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report 77-26, 74 p.
- Chakraborty, A., Okaya, D., 1995. Frequency-time decomposition of seismic data using wavelet-based methods. Geophysics, Vol. 60, 6: 1906–1916.
- Ersoy, H., Özdemir, A., Yalçınalp, B., 2009. Geology and geotechnical properties of kalecik (Gümüşhane) travertines. Proceedings of The 21st International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, 639-648.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu. MTA Yayınları, Ankara, 65 s.
- ISRM., 1981. Rock Characterisation Testing and Monitoring ISRM Suggested Methods. Brown, E.T., (Editor), Pergamon Press, 211 p.
- 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
- 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
- Ketin, I., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birliktelikleri. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 66, 23-34.
- Malinaric, S., Kostial, P., 1998. Contribution to the Signal Processing of Ultrasonic Pulses. Journal of Physics, Volume 31, 8, 970–977.
- Okay, A.I., Şahintürk, O., 1997. Geology of the eastern Pontides. A.A.P.M Report of Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region, 68, 291– 311.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu yöresinin jeolojisi ve petrol olanakları bakımından incelenmesi. KTÜ Yayını, Trabzon, 87 s.
- Saka, M., Schneider, E., Holder, P.A., 1989. A new approach to detect and size closed cracks by ultrasonic. Research in Nondestructive Evaluation, Volume 1, 2, 65-75
- Singh, T.N., Sharma, P.K., 2008. A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Volume 67, 1, 17-22.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Scheriff, R.E., 1993. Applied Geophysics. Cambridge University Press, London, 225 p.