

GRANİTLERDE KURU VE SUYA DOYGUN NUMUNELER İÇİN DİNAMİK VE STATİK ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ümit ATICI¹ ve Tayfun Yusuf YÜNSEL²

¹ Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde/Türkiye

² Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü,
Adana/Türkiye

Özet: Kaya mekaniğinde Ultrasonik ses dalga hızları, oldukça basit, düşük maliyetli ve numuneye zarar vermeyen yöntemlerden olmasından dolayı kaya özelliklerini belirlemede uzun yıllardan beri kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada 11 farklı türdeki granitik kayaç kuru ve suya doygun numunelerinde ultrasonik ses (P ve S) dalgaları, yoğunluk, ağırlıkça ve hacimce su emme oranı, Schmidt yüzey sertlik indeksi değerleri ile porozite değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, numunelerin statik ve dinamik elastik modülleri ile poisson oranları arasındaki ilişkiler incelenmiştir

Dinamik elastisite matematiksel, statik elastisite deneysel olarak belirlenmiştir. Hesaplanan elastisite modülü ile deneysel elastisite modülü arasında kuru numuneler için korelasyon olmadığı, ancak suya doygun numuneler için yüksek bir ilişki mevcuttur. Dinamik ve statik poisson oranı için ise, korelasyon değeri kuru numunelerde $r: 0.49$, suya doygun numunelerde ise $r: 0.25$ olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan kayaçlar için dinamik poisson oranının kullanılmasının uygun olmadığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Ultrasonik ses dalgaları, Dinamik Elastisite Modülü, Statik Elastisite Modülü, Poisson Oranı, Kaya Mekaniği

EVALUATION OF THE DYNAMIC AND STATIC MODULUS OF ELASTICITY FOR DRY AND SATURATED SAMPLES IN GRANITIC ROCKS

Abstract: An ultrasonic sound wave has been used in rock mechanics to determine rock properties for many years, since it is a relatively simple, low-cost and non-destructive testing method compared to others. In this study, the ultrasonic sound (P and S) waves, density, weight and volume as the water absorption rate, Schmidt surface hardness index and porosity were determined both for dry and water-saturated samples regarding 11 different types of granitic rocks. The relationship between static and dynamic elastic modules and poisson ratio were investigated.

Dynamic and static elasticity is determined by mathematical and experimental respectively. It is found that there is no correlation between calculated and experimental elasticity modulus for dry samples, but high correlation between saturated samples. As for the dynamic and static poisson ratio, the correlation coefficients are determined for dry and saturated samples as 0.49 and 0.25 respectively. It is determined that the usage of dynamic poisson ratio is not suitable for rocks used in the study.

Key words: Ultrasonic sound waves, Dynamic elasticity modulus, Static elasticity modulus, Poisson ratio, Rock mechanics

1. GİRİŞ

Ultrasonik ses dalgaları kullanılarak kayaç özelliklerinin belirlenmesi uzun yıllardan beri kullanılmaktadır [1,2]. Bu yöntemle, kayaç özelliklerinin tespit edilmesi diğer deneylere göre daha kolay, daha kısa zamanda, daha ucuz ve deney numunelerinde deformasyona gerek olmadan uygulanmaktadır. Kayaç içersinden geçirilen basıma (P) ve makaslama (S) dalgalarının yayılma hızları bir çok kaya özelliğinden etkilenmektedir.

Kayaç içersinden geçen basma (P) ve makaslama (S) dalgalarının yayılma hızlarından yararlanılarak çeşitli kaya türlerinin dokusal özelliklerini [3], mineral yönlenmesi [4], kırık ve çatlaklar [5], porosite [6], geçirgenlik [7], anizotropi [8], yüzey sertliği [9], yoğunluk, basma dayanımı ve Youngs modülü [10] konuları hakkında bir çok çalışma yapılmıştır.

Ultrasonik ses dalgaları kullanılarak poisson oranı ve elastisite modülünün belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalar ise Link [11] ve Christensen [12] örnek olarak verilebilir. Bu çalışmalar eski olup yapılan modellemeler tüm kayaçlar için geçerli olacak şekilde yapılmıştır. Bu çalışmalar jeofiziksel yöntemlerle arazi koşullarında gerçekleştirilmiş olup, laboratuvar ortamında hassas bir şekilde yapılan çalışma sayısı oldukça azdır. Oluşturulan modellerin uygulanabilirliği ve geçerliliği çok fazla kabul görmemiş olup, hata payları değişik kayaç grupları için oldukça yüksektir. İçlerinde en fazla kullanım gören matematiksel hesap ISRM [13]'de yer almış ancak ISRM hesaplamanın güven düzeyinin oldukça düşük olduğunu belirtmektedir.

Tek eksenli basma dayanımı ise, yıllardan beri kayaçların fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan temel deneylerden birisidir. Eksenel ve yanal deformasyonun ölçülmesi ile kayacın fiziksel özelliklerinden birisi olan statik elastisite modülü ve poisson oranı belirlenebilmektedir. Ancak eksenel ve yanal deformasyonun ölçülmesi zor ve pahalı ek ekipmanlar gerektirmektedir.

Bu çalışmada, yurt içi ve yurtdışından çeşitli bölgelerden toplanan 11 adet farklı türdeki granitik kayac (Verde Butterfly, Rosa Porrino, Kır Çiçeği, Antalya Gri, Emerald Pearl, Aksaray Yaylak, Bandırma Blue, bilinmeyen, Bergama Gri, Bianco Sardo, Kaman Roza) kayaçları kuru ve suya doygun numunelerinde ultrasonik ses (P ve S) dalgaları, yoğunluk, ağırlıkça ve hacimce su emme oranı, Schmidt yüzey sertlik indeksi değerleri ile porozite değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, numunelerin statik ve dinamik elastik modülleri ile poisson oranları arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. P ve S Dalga Hızlarının Ölçülmesi

P ve S Dalga Hızlarının Ölçülmesi, kayaç örnekleri içersinden geçirilen sıkışma (P) ve makaslama (S) dalgalarının yayılma hızlarından yararlanılarak, kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerinin tahmin edilmesi amacıyla yapılır. Numuneye zarar vermeden ve kısa sürede kolay, pratik olarak yapılan bir işlem olması bu yöntemin en büyük avantajlarından. Homojen ve izotrop veya çok az derecede anizotropiye sahip kayaçlarda uygulanabilir.

P (basma) ve S (makaslama) dalga hızlarının ölçümünde ISRM (1981)'de belirtilen test metodu kullanılmıştır. Ölçümler Pundit Plus test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler 42mm çapında silindirik karot numuneler ile kuru ve suya doygun numuneler için gerçekleştirilmiştir. Numunelerin ölçüm frekansı 1 MHz alınmıştır. Pundit cihazına bağlı 50 mm çapındaki bir alıcı ve verici arasında numunenin sıkıştırılması nokta yük cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik hızın rahat iletilebilmesi için örneğin alt ve üst kısmına ultrason jeli sürülerek dalgaların kayaç içersindeki hızın rahat iletilmesi ve

GRANİTLERDE KURU VE SUYA DOYGUN NUMUNELER İÇİN DİNAMİK VE STATİK ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

ölçümün doğru yapılması sağlanmıştır. Cihazın göstergesinden okunan dalgaların yayılma süreleri numunenin boyutuna bölünerek her bir kayaç için yayılma hızları tespit edilmiştir.

2.2. Yoğunluk ve Görünür Gözeneklilik (Porozite)

Yoğunluk birim hacme düşen kayacın ağırlığı olarak adlandırılmaktadır ve kayacın değişmez kütleyle kadar kurutulmuş deney numunesinin kütesinin (gr) deney numunesinin hacmine (cm³) bölünmesi ile elde edilir ve birimi gr/cm³ veya ton/m³'dür. Yoğunluk tayini için deneyler TS 699 [14] ve ISRM [15]'e göre yapılmıştır. Birçok kayaçta yoğunluk ile kuru yoğunluk ve porozite arasında oldukça anlamlı bir ilişki vardır. Bir kayacın yoğunluğu düşükse, genellikle boşluk oranı yüksektir.

Porozite değerlerindeki değişim, kayaçların mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Yapılan araştırmalarda, porozitenin artması sonucu, kayaçların mukavemeti azalmakta ve kayaç içinde gerilmelerin oluşmasına neden olmaktadır. Porozitenin artmasıyla atmosfer etkilerine karşı direncin düştüğü bilinmektedir. Ayrıca porozitenin yüksek olması; yoğunluğun azalması, kayacın ısı ve ses iletkenliklerinin artmasını sağlamaktadır. Çalışmada kayaçların görünür gözeneklilik (Porozite) tayini TS 699 [14]'a göre yapılarak sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur.

2.3. Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyi

Ağırlıkça su emme oranı, değişmez kütleyle kadar kurutulmuş kayacın absorbe edebildiği su kütesinin, kayacın kütesine oranıdır. Hacimce su emme oranı ise değişmez kütleyle kadar kurutulmuş kayacın, absorbe edebildiği su hacminin, kayacın bütün hacmine oranıdır. Kayaçların su emme değeri, don etkilerinin belirlenmesinde etkin bir değerlendirme ölçütü olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri TS 699'a göre belirlenmiş olup, elde edilen değerler Tablo 1'de verilmiştir. Bu değerler kayaçlar içerisinde bulunan boşlukların durumlarının bilinmesinde ve bu boşlukların birbiri ile olan ilişkilerinin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Kayaç içerisindeki boşlukların varlığı, o kayacın dayanımını azaltırken deforme olabilme özelliğini de artırmaktadır. Ağırlıkça su emme ve hacimce su emme değerleri en yüksek bilinmeyen kayaç, en düşük ise Verde Butterfly'da görülmüştür.

Tablo 1. Kayaçların Yoğunluk, Porozite, Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Oranı.

Kayacın adı	Yoğunluk (g/cm ³)	Boşluk Hacmi (cm ³)	Görünür Porozite (%)	Ağırlıkça Su Emme Oranı (%)	Hacimce Su Emme Oranı
Roza Porrinno	2.59	0.72	1.03	0.40	1.03
Kaman Roza	2.67	0.79	1.10	0.41	1.10
Anadolu Gri	2.64	0.60	0.85	0.32	0.85
Aksaray Yaylak	2.64	0.65	0.91	0.35	0.91
Bergama Kozak	2.66	0.93	1.30	0.49	1.30
Bandırma Blue	2.65	0.64	0.92	0.35	0.92
Verde Butterfly	2.99	0.14	0.19	0.07	0.19
Bergama Gri	2.59	1.36	1.94	0.75	1.94
Bianco Sardo	2.63	1.21	1.67	0.64	1.67
Emerald Pearl	2.79	0.62	0.87	0.31	0.87
Bilinmeyen Kayaç	2.55	1.65	2.33	0.92	2.33

2.4. Schmidt Yüzey Sertlik İndeksi

Deneyler, taze ve pürüzsüz yüzeyler üzerinde, L-tipi çekiç kullanılarak ISRM ye göre yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’deki Schmidt yüzey sertlik indeksi verilerine göre, tüm kayaç birimlerinin ortalama geri tepme değerlerinin 45’in üzerinde olduğundan, tüm kayaçların ISRM [15] Schmidt yüzey sertlik indeksi sınıflamasına göre “çok sert kayaç ve fevkalade sert kayaç” sınıfında oldukları belirlenmiştir. Schmidt çekici sertlik indeksine göre en sert kayaç Verde Butterfly (70), en yumuşak kayaç ise Kaman Roza (47) olduğu Tablo 3’de görülmektedir.

Tablo 2. Kayaçların Schmidt Sertlik İndeksi ve Tek Eksenli Basma dayanım değerleri

Kayaç Adı	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	Schmidt Sertlik İndeksi
Roza Porrinno	98.69	66,5
Kaman Roza	78.56	47
Anadolu Gri	141.57	62,5
Aksaray Yaylak	98.74	60,8
Bergama Kozak	70.43	63,9
Bandırma Blue	105.76	55,8
Verde Buterfly	183.96	70
Bergama Gri	126.07	51,4
Bianco Sardo	120.65	49,4
Emerald Pearl	77.53	61,3
Bilinmeyen Kayaç	129.46	51,6

Tablo 3. Schmidt Yüzey Sertlik İndeksine Göre Kayaçların Sınıflandırılması (ISRM, 1978)

Kayaç Sınıfı	Schmidt Çekici Geri Darbe Sayısı
Fevkalade Yumuşak	16–20
Çok Yumuşak Kayaç	20–24
Yumuşak Kayaç	24–30
Sert Kayaç	30–45
Çok Sert Kayaç	45–60
Fevkalade Sert Kayaç	>60

2.5. Tek Eksenli Basma Dayanımı

Tek eksenli basma dayanım deneyi kayaçların dayanım, deformasyon ve yapısal karakteristiklerinin belirlenmesinde oldukça geniş kullanım alanı olan bir deney yöntemidir. Bu çalışmada otomatik kontrollü 3000 kN yükleme kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır. Tek eksenli basma dayanım deneyi ISRM (1981)’e göre yapılmış ve yükleme hızı 0,5 kN/sn alınmıştır. Her bir kayaç için en az yedi adet 42 mm çapında ve boy/çap oranı 2-2,5 olan karot numuneler kullanılmıştır. Tek eksenli basma dayanımı deneyinde kırılan 7 adet numuneden en yüksek ve en düşük deney sonuçları atılmış, geriye kalan 5 sonucun aritmetik ortalaması alınmıştır (Tablo 2).

*GRANİTLERDE KURU VE SUYA DOYGUN NUMUNELER İÇİN DİNAMİK VE STATİK
ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ*

2.6. Kayaçlarda Elastisite ve Poisson Oranı

2.6.1. Statik Elastisite ve Poisson Oranı

Kayaçlarda şekil değiştime özelliklerinin tespiti amacıyla yapılan deney sonucu kayaçların elastisite modülü ve Poisson oranları belirlenmektedir. Elastisite modülü, düşey yanal gerilme değişiminin, düşey birim deformasyona oranı şeklinde, Poisson oranı ise tek eksenli gerilme altındaki elastik bir katıda, gerilmeye dik doğrultuda oluşan normal birim şekil değiştirmenin gerilme doğrultusundaki normal birim şekil değiştirmeye oranının ters işaretlisidir şeklinde tanımlanmaktadır [16].

Deneyler ASTM [17] ve ISRM [18]'de belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında yükleme hızı sabit tutularak gerilme bağımsız değişken, deformasyon ise bağımlı değişken olarak alınmıştır. Kayaçlardaki deformasyon, her bir numune için iki yatay, iki düşey olmak üzere dört adet gerilim pulu kullanılarak ölçülmüştür. Uygulanan Yük ise 200 tonluk yük hücresi ile kaydedilmiştir. Yatay ve düşey deformasyon oranı 0.5 saniyede bir veri olacak şekilde 8 kanallı genel amaçlı data logger kullanılarak kaydedilmiştir. Şekil 1'de Bandırma Blue kayacının yanal ve eksenel deformasyon davranışı verilmiştir. Diğer kayaçlarda benzer davranışlar göstermektedir. Deney sonuçları toplu olarak Tablo 4'de verilmektedir.

Statik Elastisite (E_d) ve Poisson oranının (γ_d) belirlenmesinde kullanılan eşitlikler aşağıda verilmektedir.

$$E_s = \left[\frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \right], \quad (3)$$

$$\gamma_s = \frac{\varepsilon_d}{-\varepsilon_a}, \quad (4)$$

Burada;

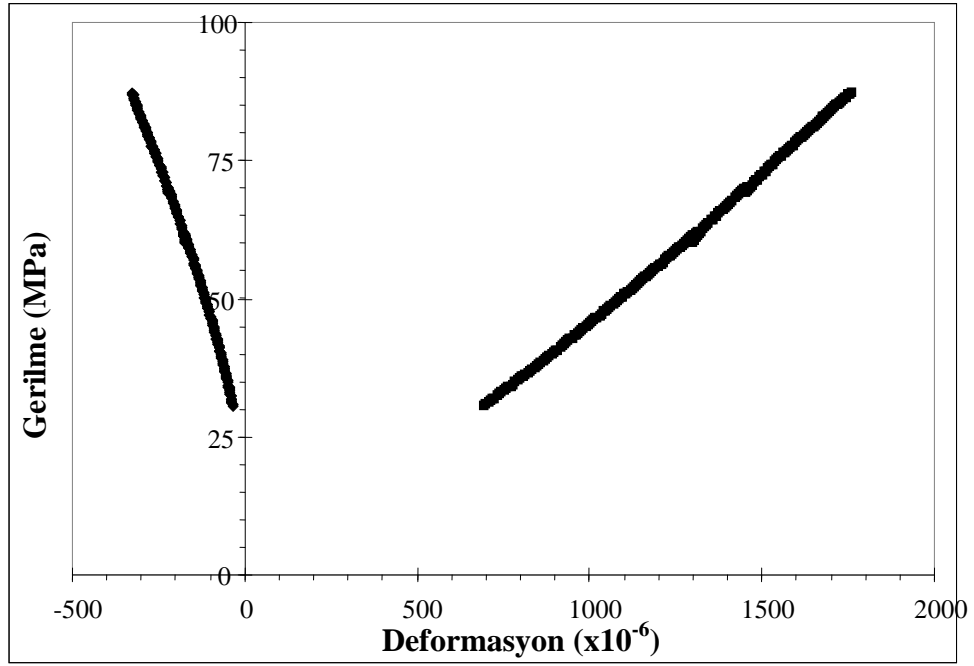
E_s : Statik elastisite modülü (GPa),

γ_d : Statik Poisson Oranı

σ : Gerilme (MPa)

ε_d : P Çapsal birim deformasyon ($\Delta D / D_0$),

ε_a : Eksenel birim deformasyon ($\Delta l / l_0$),



Şekil 1. Bandırma Blue Granit kayacı için yanıl ve aksenal deformasyon.

2.6.2. Dinamik Elastisite ve Poisson Oranı

Kayaçlarda elastisite modülü ve poisson oranı statik yöntemlerle belirlenebildiği gibi ultrasonik ses hızları kullanılarak dinamik yöntemlerle de dolaylı olarak belirlenebilmektedir. Ancak, statik yöntemlerle hesaplanan elastisite modülü homojen malzemeler için geçerli olduğundan dolayı, dinamik yöntemlerle hesaplanan değerlerden farklılıklarının olduğu bilinmektedir [19-21]. Aynı durum poisson oranı içinde geçerli olması beklenmektedir [16].

Dinamik Elastisite (E_d) ve Poisson oranının (γ_d) belirlenmesinde kullanılan eşitlikler aşağıda verilmektedir.

$$E_d = \rho V_s^2 \left[\frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2} \right], \quad (5)$$

$$\gamma_d = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)}, \quad (6)$$

Burada;

E_d : Dinamik elastisite modülü (GPa),

γ_d : Dinamik Poisson Oranı

ρ : Yoğunluk (gr/cm^3)

V_p : P dalga hızı (Km/s),

V_s : Makaslama dalga hızı (Km/s),

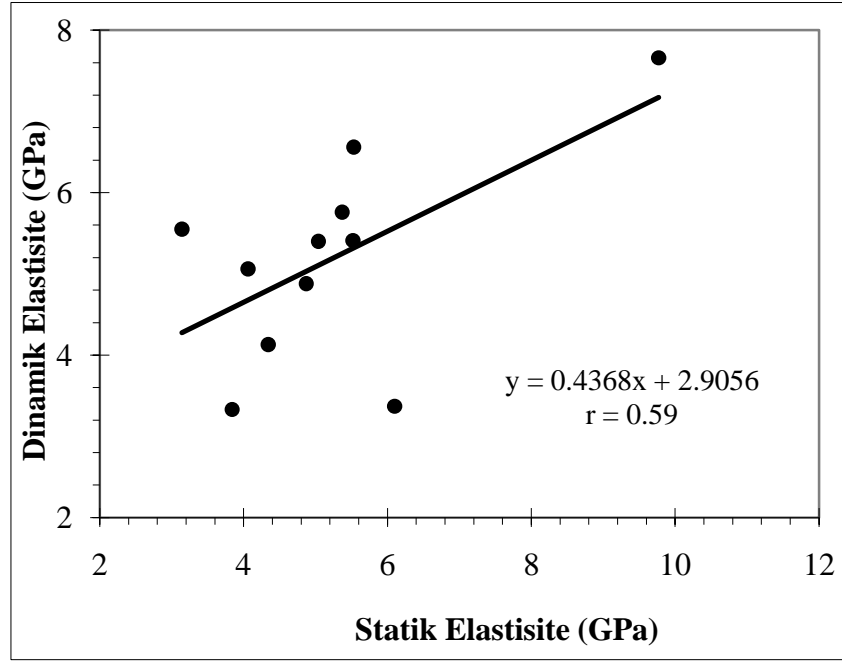
GRANİTLERDE KURU VE SUYA DOYGUN NUMUNELER İÇİN DİNAMİK VE STATİK ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yukarıdaki eşitlik kullanılarak çalışmada kullanılan kayaların dinamik elastisite ve poisson oranı değerleri hesaplanarak statik değerleri ile karşılaştırılmıştır. Hesaplama sonuçları toplu olarak Tablo 4’de verilmektedir. 11 farklı kayaç için, kuru numunelerde, Dinamik elastisite ve Statik Elastisite arasındaki ilişki incelendiğinde (r:0.59) anlamlı bir ilişkinin olmadığı (Şekil 2), suya doymun numuneler içinse (r: 0.94) oldukça anlamlı bir ilişkinin bulunduğu (Şekil 3) görülmektedir. Suya doymun numunelerde Anadolu Gri olarak adlandırılan kayacın regresyon değerini düşürdüğü, bu kayacın sapma değer olarak kabul edilerek çıkartıldığında ise korelasyon değerinin (r. 0.99) daha da yükseldiği tespit edilmiştir.

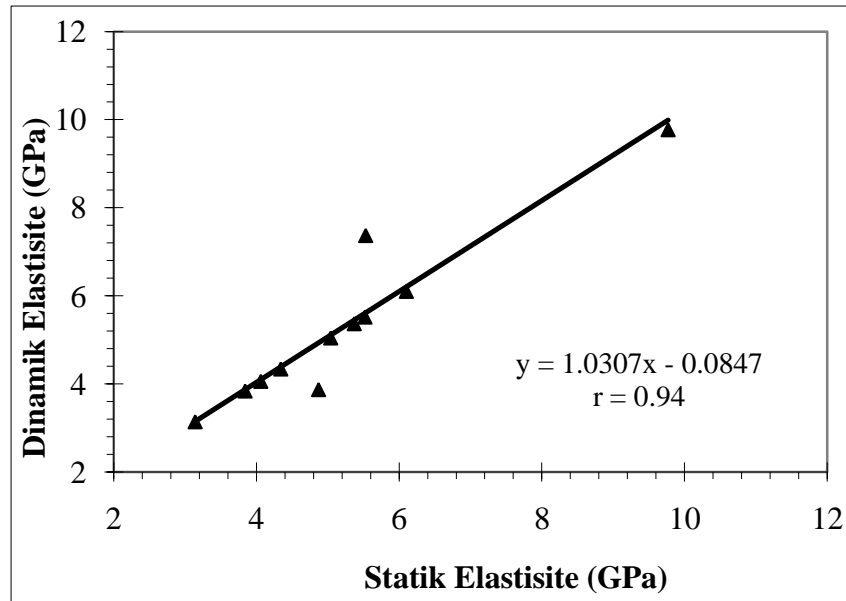
11 Farklı kayaç için, Ultrasonik ses hızları (V_p , V_s), Yüzey sertliği, yoğunluk ve boşluk oranları kullanılarak poisson oranı ve elastik modülü tahmini amacıyla veriler SPSS paket programına yüklenmiştir. İlgili program kullanılarak model oluşturulmasına çalışılmış ancak geçerli bir model tespit edilememiştir. Nonlinear regresyon analizi yapmak amacıyla Curve Expert paket programı kullanılarak tek değişkenli nonlinear regresyon analizi gerçekleştirilmiş, tutarlı bir model tespit edilemeyince Wang vd. [22] tarafından önerilen Poisson oranının tahmini için önerilen V_s/V_p ve $\ln V_s/\ln V_p$ bağıntıları kullanılarak tek değişkenli nonlinear regresyon analizi gerçekleştirilmiş ancak geçerli bir model tespit edilememiştir.

Tablo 4. Kayaçların Statik ve Dinamik elastisite, poisson oranları.

Kayaç Adı	Dinamik				Statik	
	Kuru Numuneler İçin		Suya Doymun Numuneler için		Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı
	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı		
Roza Porrinno	5.55	0.27	3.14	0.02	3.14	0.27
Kaman Roza	4.13	0.34	4.34	0.12	4.34	0.27
Anadolu Gri	6.56	0.21	7.37	0.01	5.53	0.24
Aksaray Yaylak	4.88	0.27	3.87	0.06	4.87	0.39
Bergama Kozak	5.06	0.31	4.06	0.00	4.06	0.34
Bandırma Blue	5.40	0.21	5.04	0.02	5.04	0.39
Verde Buterfly	7.66	0.33	9.77	0.00	9.77	0.36
Bergama Gri	5.76	0.24	5.37	0.00	5.37	0.29
Bianco Sardo	3.33	0.10	3.84	0.10	3.84	0.24
Emerald Pearl	3.37	0.37	6.10	0.05	6.10	0.45
Bilinmeyen Kayaç	5.41	0.26	5.52	0.01	5.52	0.3



Şekil 2. Kuru numunelerde Dinamik Elastisite ile Statik Elastisite modülü.



Şekil 3. Suya doymun numunelerde Dinamik Elastisite ile Statik Elastisite modülü.

*GRANİTLERDE KURU VE SUYA DOYGUN NUMUNELER İÇİN DİNAMİK VE STATİK
ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ*

4. SONUÇLAR

Yapılan deneyler ve neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Suya doymuş numunelerde ultrasonik ses hızları kuru numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise, boşlukların su tarafından doldurulmasıdır.

Schmidt Sertlik Çekici Deneyi sonucunda tüm kayaçların ISRM (1978) Schmidt çekici sertlik indeksi sınıflamasına göre “çok sert kayaç ve fevkalade sert kayaç” sınıfında oldukları belirlenmiştir.

Matematiksel modeller kullanılarak hesaplanan dinamik elastisite ve poisson oranları ile deneysel olarak belirlenen statik elastisite ve poisson oranları arasında yapılan değerlendirmede, homojen malzemeler için üretilen ve ISRM, ASTM gibi standartlarda verilen modellerden elastisite modülü için kullanılan modelin çalışmada kullanılan kayaçların elastisite modülünün tahmininde kuru numuneler için geçerli olmadığı, suya doymuş numuneler içinse ($r: 0.94$) gibi oldukça yüksek bir anlamlılık düzeyinde ilişkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Dinamik ve statik poisson oranı için yapılan benzer çalışmada kuru numunelerde $r: 0.49$, suya doymuş numunelerde ise $r: 0.25$ olarak tespit edilmiştir. Korelasyon değerlerinden anlaşıldığı gibi, çalışmada kullanılan kayaçlar için dinamik poisson oranının kullanılmasının uygun olmadığı, bir karşılaştırma sırasında doğru sonuçları vermeyeceği tespit edilmiştir.

Kayaçlarda ultrasonik ses hızları kullanarak elastisite modülü ve poisson oranının tahmin edilebilmesi amacıyla SPSS ve curve expected paket programları kullanılarak çok değişkenli linear regresyon analizi ve tek değişkenli nonlinear regresyon analizi gerçekleştirilmiş olup, yapılan çalışmalar sonucunda geçerli bir model tespit edilememiştir.

KAYNAKLAR

1. Kahraman, S., Estimating the direct P wave velocity value of intract rock from indirect laboratory measurements, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences (Technical Note), 39, 101-104, 2002.
2. Atici, U. and Ersoy, A., Evaluation of destruction specific energy of fly ash and slag admixed concrete interlocking paving blocks (CIPB), Construction and Building Materials, 23, 1507-1514, 2008.
3. Burilichev, D.E. Ivankina, T.I. Klima, K. Locajicek, T. Nikitin, A.N. and Pros, Z., Investigation of rock samples by neutron diffraction and ultrasonic sounding, Physica B, B276-278, 837-838, 2000.
4. Rasolofosaon, P.N.J. Rabbel, W. Siegesmund, S. and Vollbrecht, A., Characterization of rock distribution: fabric analysis versus ultrasonic inversion, Geophysical Journal International, 141, 413-424, 2000.
5. Boadu, F.K., Predicting the transport properties of fractured rocks from seismic information: numerical experiments, Journal of Applied Geophysics, 44, 103-113, 2000.
6. Khaksar, A. Griffiths, C.M. and McCann, C., Compressional- and shear- wave velocities as a function of confining stress in dry sandstones, Geophysical Prospecting, 47, 487-508, 1999.

7. King, M.S. Chaudhry, N.A. and Shakeel, A., Experimental ultrasonic velocities and permeability for sandstones with aligned cracks, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 32, 155-163, 1995.
8. Louis L. David, C. and Robion, P., Comparison of the anisotropic behaviour of undeformed sandstones under dry and saturated conditions, *Technophysics*, 370, 193-212, 2003.
9. Kahraman, S., A correlation between P-wave velocity, number of joints and Schmidt hammer rebound number, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences (Technical Note)*, 38, 729-733, 2001.
10. Yasar, E. and Erdogan, Y., Correlating sound velocity with the density, compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences (Technical Note)*, 41, 871-875, 2004.
11. Link, H., Evaluation of elasticity moduli of dam foundation rock determined seismically in comparison to those arrived at statically, *Trans. 8th Int. Cong. Large Dams*, Eddinburgh, 1964.
12. Christensen, N.I., Poisson's ratio and crustal seismology, *J.Geophys. Res.*, 101, 3139-3156, 1996.
13. ISRM., 1981. Rock characterisation testing and monitoring ISRM suggested methods, Brown, E.T., (Editor), Pergamon Press, 1981.
14. TS 699, Testing and Examination Methods of Natural Building Stones, Ankara, 2009.
15. ISRM, 1978, Suggested Methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech Abstr.*, 135-140, 1978.
16. Gerçek, H., Kayaçların poisson oranına göre sınıflanması, *Kayamek'2004-VII Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Sivas, 2004.
17. ASTM D2845-95, Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock, *Annual book of ASTM standars*, Vol. 04.08 Soil and Rock, West Conshohocken, PA: ASTM, 254-259, 1998.
18. ISRM 1977, Suggested methods for determining sound velocities. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech Abstr.*, 53-58, 1977.
19. Krech, W.W. Henderson, F.A. and Hjelmstad, K.E., A Standard rock suite for rapid excavation research, *USBM Report of Investigations*, RI 7865, 1974.
20. Eissa, E.A. and Kazi, A., Relation between static and dynamic Young's moduli of rocks, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech Abstr.*, 25, 479-482, 1988.
21. Çolak, K., Zonguldak havzası kömür çevre kayaçlarının dayanımı ve deformasyon anizotropisinin incelenmesi, *Doktora tezi*, ZKÜ Fen Bilimleri Enst. Zonguldak, 1998.
22. Wang, Q. Ji, S. Sun, S. and Marcotte, D., Correlations between compressional and shear wave velocities and corresponding Poisson's ratios for some common rocks and sulfide ores, *Tectonophysics (in pres)*, 2009.