

YAPI-KAPLAMA KAYALARININ P DALGA HIZI İLE FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Ergül YAŞAR*, Yasın ERDOĞAN*

* Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, ADANA, eyasar@cukurova.edu.tr - vasinerd@cukurova.edu.tr

ÖZET

P dalga hızının, kaya numuneleri üzerine kolay uygulanabilirliği, ekonomikliği ve numune hazırlamada fazla zorluk çekilmemesi gibi nedenlerden dolayı kaya mekaniği ve madencilik uygulamalarında kayaların dinamik özelliklerinin tespiti için kullanımı hızla artmaktadır. Çalışmanın temel amacı, özellikle doğal yapı ve kaplama taşı olarak kullanılacak kayaların P dalga hızı ile önemli fiziko-mekanik özelliklerinden olan tek eksenli basma dayanımı (UCS), elastisite modülü (E), ve birim hacim ağırlığı arasındaki ilişkilerin varlığının İstatistiksel analizlerle ortaya çıkarılmasıdır. Bu amaçla Çukurova Bölgesinden 8 farklı yapı ve kaplama kayacı belirlenerek bunların P dalga hızları, birim hacim ağırlıktan, tek eksenli basma dayanımları ve elastisite modülleri laboratuvar ortamlarında tespit edilmiştir. Tüm bu işlemlerden sonra kayaların P dalga hızları ile diğer özellikleri arasındaki ilişkilerin varlığı regresyon analizleri ile tespit edilerek ampirik formüller elde edilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler P dalga hızı, Fiziko-mekanik özellik, Tek eksenli basma dayanımı, Regresyon analizi, Yapı ve kaplama kayaları

THE STATISTICAL ANALYSIS OF RELATIONS BETWEEN P-WAVE VELOCITY AND PHYSICO-MECHANIC PROPERTIES OF BUILDING AND FACING ROCKS

ABSTRACT

P-wave velocity have increasingly been used to determine the dynamic properties of rocks in rock mechanics and mining applications due to easy applicable, no difficulty sample preparation and more economical. The main purpose of this study is to obtain a statistical relation between uniaxial compressive strength (UCS), Young's Elasticity modulus (E), unit weight and P-wave velocity of rocks which can be especially used for building and facing rock type. Eight different rock types was obtained from Çukurova region and P-

wave index, unit weight, UCS and Young's Elasticity modulus (E) of those samples were tested in laboratory conditions. After testings, the relationship between P-wave velocity and UCS, E, unit weight of rocks were analysed by regression analysis and empiric formulae were obtained and results were interpreted.

Keywords: P-Wave velocity, Physico-mechanic properties. Uniaxial compressive strength. Regression analysis. Building and facing rocks.

1. Giriş

Kayaların dinamik Özelliklerinin tespiti için kaya numuneleri üzerine kolay uygulanabilirliği, ekonomikliği ve numune hazırlamada fazla zorluk çekilmemesi gibi nedenlerden dolayı kaya mekaniği ve madencilik uygulamalarında P dalga hızının kullanımı hızla artmaktadır. Bu yöntemin özelliği genellikle laboratuvar ortamlarında, araziden alınmış numuneler üzerine uygulanarak kaya kütlelerinin yapısı, süreksizlikleri ve genel dinamik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır [1, 2], Kayaçlardaki mineralojik yapı, doku, gözeneklilik, mikro ve makro yapıdaki çatlaklar ve diğer süreksizlikler gibi fiziksel özellikler P dalga hızlarının geçişine etki etmektedir. P dalga hızı ile kayaçların birim hacim ağırlık, porozite ve süreksizlik değerleri arasındaki ilişkiler bir çok yazar tarafından araştırılmıştır. Yapılan dalga hızı çalışmalarında kaya bulonlarının güçlendirilmesinde [3], kaya kütle özellikleri ile kay aç karakteristiğinin patlatma üzerine olan etkilerinde [4, 5], kaya kütlelerindeki gerilme ve deformasyonların tespitinde [6, 7] ve kayaçlardaki çatlak ve kırıkların belirlenmesi [8] gibi çok sayıda konu üzerinde P dalga hızları, dolaylı veya dolaysız şekilde kullanılması bir çok araştırmacı tarafından yapılmıştır.

Bu çalışmada ise özellikle doğal yapı ve kaplama taşı olarak kullanılacak kayaçların P dalga hızı ile kayaçların en önemli özelliklerinden olan tek eksenli basma dayanımları, Young Elastisite modülü ve birim hacim ağırlığı arasındaki ilişkilerin varlığı istatistiksel analizlerle ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu amaçla 8 farklı yapı ve kaplama kayacının P dalga hız indeksleri laboratuvar ortamlarında tespit edilerek sınıflandırılması yapılmıştır (Çizelge 1). Dalga hızları belirlenen kayaçların sırasıyla birim hacim ağırlıkları, tek eksenli basma dayanımları ve elastisite modülleri tespit edilmiştir. Tüm bu işlemlerden sonra

kayaçların P dalga hızları ile diğer mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin varlığı regresyon analizleri ile tespit edilerek ampirik formüller elde edilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Deneyler sonucunda kayaç yapısında bulunan süreksizlikler, boşluklar, mikro ve makro yapıdaki kırık ve çatlaklar dalga iletim hızlarını olumsuz yönde etkilediği ortaya konulmuştur. Bu olumsuzluk kayacın dayanımında meydana gelen azalma ile de kendini göstermektedir. Elde edilen ampirik formüllerle de bu durum desteklenerek ortaya konulmuştur.

Çizelge 1. Dalga hız sınıflaması [9]

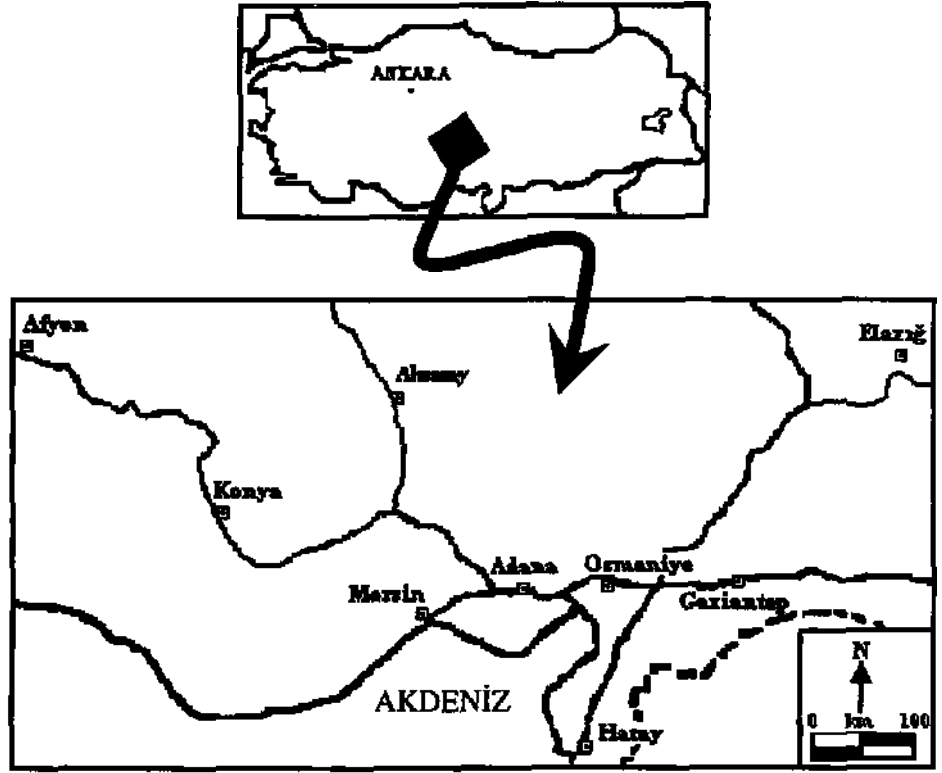
Sınıf	Dalga Hız (km/sn)	Tanımlama
1	<2.5	Çok düşük hız
2	2.5-3.5	Düşük hız
3	3.5-4	Orta hız
4	4-5	Yüksek hız
5	>5	Çok yüksek hız

2. Çalışma Alanı

Çalışmada kullanılacak yapı ve kaplama kayaçlarının hazırlanması için Adana, Osmaniye, Afyon, Elazığ, Hatay ve Mersin bölgelerindeki ocak ve mermer fabrikalarından numuneler toplanmıştır. Kayaçların mekanik özelliklerinin deney sonuçlarını etkileyebilecek yapısal özellikler (anizotropi, süreksizler ve çatlaklar) dikkate alınarak numuneler alınmış ve hazırlanmıştır. Ayrıca kayaçların petrografik ve mineralojik özellikleri incelenerek kaya sınıflamaları yapılmıştır (Çizelge 2, Şekil 1).

Çizelge 2. Analizlerde kullanılan kaya türleri

No	İsim	Sınıf	Kaya Tipi	Bulunduğu yer
1	Ceyhan Bej	Sedimanler	Kireçtaşı	Adana/Ceyhan
2	Osmaniye Vişne	Metamorfik	Mermer	Osmaniye
3	Bağcıoğlu Bej	Sedimanler	Dolomitik kireçtaşı	Mersin/Tarsus
4	Elazığ Vişne	Metamorfik	Mermer	Elazığ
5	Afyon Şekeri	Metamorfik	Mermer	Afyon
6	İskenderun Kireçtaşı	Sedimanter	Kireçtaşı	Hatay/İskenderun*
7	Karaisalı Tuf	Magmatik	Tuf	Adana/Karaisalı
8	Topraklı Bazalt	Magmatik	Bazalt	Topraklı/Oğuz



Şekil 1. Çalışma alanı yer buldum haritası

3. Laboratuvar Bulguları

Adana, Osmaniye, Afyon, Elazığ, Hatay ve Mersin Bölgesi mermer ocaklarından alınan numuneler Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarına getirilerek standartlara uygun olarak alınan silindirik ve küp numuneler (42 x 84 mm) üzerinde ISRM [10] ve TS'699'a [11] göre dalga hızları, birim hacim ağırlıkları, tek eksenli basma dayanımları ve elastisite modülleri deneyleri yapılmış ve Çizelge 3'de belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3. Kayaçların P dalga hızları, birim hacim ağırlığı, tek eksenli basma dayanımları ve elastisite modüllerinin deney sonuçları

Kaya Adı	P-dalga hızı (PortaUnJ (kül/S))	UCS (σ) (MPa)	Elastisite Modülü (E) (GPa)	Birim Hacim Ağırlık(p) (g/cm ³)
Ceyhan Be	4.9±0.40	78.2±4.28	27,95	2,71
Osmaniye Vişne	4.0±0.25	58.6±3.20	24,20	2,74
Barbaros Bej	4.2±0.36	70.2±14.68	27,40	2,78
Elazığ Vişne	3.8±0.12	64.8±13.24	23,80	2,70
Afyon Şekeri	5.2±0.44	72.2±13.16	30,10	2,89
İskenderun Kireçtaşı	5.6±0.38	116.9±5.18	43,10	2,91
Bahçe Tüf	1.7±0.38	20.4±10.20	11,10	2,22
Toprakkale Bazaltı	5.7±10.20	109±18.52	48,10	2,91

4. Sonuçların İstatistiksel Analizi

4.1. Regresyon Analizi:

Belirlenen bir bağımlı değişken üzerindeki birden fazla bağımsız değişkenin doğrusal etkisini ve ilişkisini inceleyen ve bu ilişkiye en uygun modelin seçimini sağlayan bir tahmin yöntemidir. Çok değişkenli regresyon analizinde bir bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişken bulunmaktadır.

Çok değişkenli regresyon analizleri;

$$y = \alpha + \beta_1 X_a + \beta_2 X_b + \beta_3 X_c + \dots + \beta_k X_k + e$$

bağıntısı ile gösterilmektedir.

Bağıntıdaki;

y = Bağımlı değişken,

a = Bağıntıda kullanılan sabit değer,

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_k$ = Bağımsız değişkende bir birimlik artışın

bağımlı değişkende yaratacağı değişim miktarı olup regresyon katsayıları olarak açıklanır.

$X_a, X_b, X_c, \dots, X_k$ = Bağımsız değişkenler,

e = Modelin hatası olarak açıklanır.

İstatistiksel analizlerde çok sayıda terim kullanılmaktadır. Bunlardan, determinasyon katsayısı (R^2), genel varyansın toplam varyansa oranı olarak açıklanır. Regresyon analizlerinin doğruluğunu ve uygulanan modelin ne derece doğru olduğunun göstergesinden biri olan R^2 değerinin 1'e yakın olması İstenir. Korelasyon ise iki veya daha fazla sayıdaki değişkenin arasındaki ilişkiyi gösterir. Korelasyon katsayısının önündeki (+) işaret iki değişkenin doğru orantılı olduğunu, (-) işaret ise değişkenler arasında ters orantının varlığını temsil eder. İstatistiksel analizlerde yapılacak bir tahminin doğruluk derecesinin belirlenmesine güven düzeyi denir. Yüksek doğruluk derecesi yüksek güven düzenini belirtir. Eşitliklerde genellikle %90 ila %99 arasındaki güven düzeyleri kullanılır. Yapılan istatistiksel analizlerde %95'lik bir güven düzeyi kullanılmıştır. Yüksek güven düzeyleri büyük güven aralıkları oluşturacağından yüksek hassasiyet gösteriyor gibi olsalarda hassas çalışmalar değildir. Güven aralıkları sadece tahminin hangi değer aralığında bulunduğunu gösterir. Güven aralıklarının alt ve üst sınırlarına da güven sınırları denmektedir [12].

4.2. Regresyon Analiz Sonuçları

Yapılan çalışmada önceden belirlenmiş 8 adet yapı ve kaplama kayacının P dalga hızı değerleri ile birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımları ve Young elastisite modülleri arasında var olan ilişkilerin tespiti için kayaçlar regresyon analizine tabi tutulmuştur. Regresyon analizleri sonucunda laboratuvar deney sonuçları mekanik ve fiziksel özellikleri arasında oldukça iyi bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde elde edilen ampirik bağıntılar ve R^2 değerleri Çizelge 4'de verilmiştir. İstatistiksel analizler neticesinde elde edilen bulguların grafiksel gösterimi ise Şekil 2, 3 ve 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Regresyon analiz sonuçları

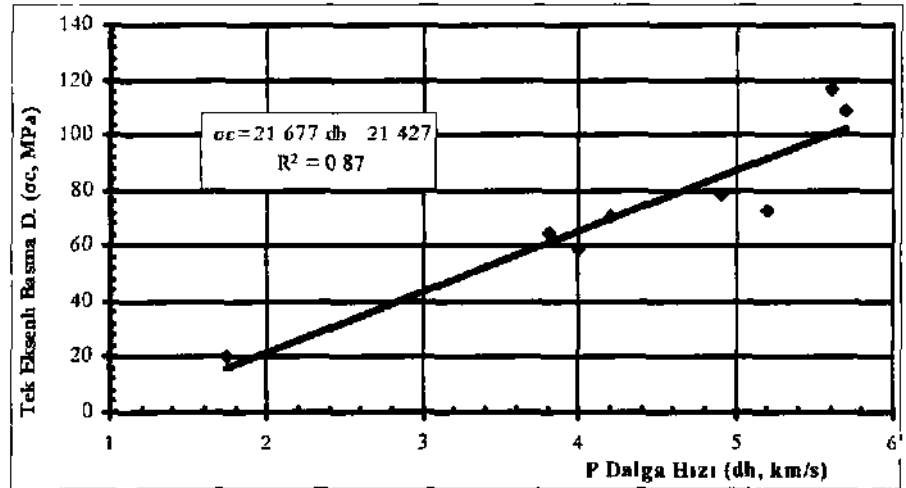
Korelasyon parametreleri	Regresyon eşitliği $Y = Ax \pm B$	R^2
Tek Eksenli Basma Dayanımı - P Dalga hızı	$Q_p = 21.677.DH - 21.427$	0.87
Young Elastisite Modülü - P Dalga hızı	$E = 5.6444.DH^{1042}$	0.91
Birim Hacim Ağırlık - P Dalga hızı	$\rho = 0.1655.DH + 2.0056$	0.90

Kayaçların mekanik değerleri arasındaki ilişkilerin lineer, logaritmik veya exponansiyel olarak hangisinin daha uygun olduğu ampirik bağıntıdaki

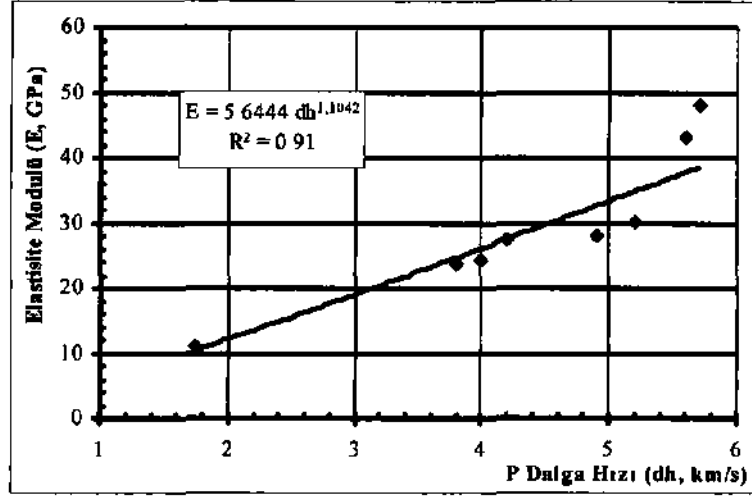
determinasyon katsayısının büyük olması ile değerlendirilir. Hangi ampirik bağıntıda determinasyon katsayısı büyük ise ampirik bağıntıyı sağlayan istatistiksel ilişki (lineer, logaritmik vs.) belirlenir.

Korelasyon sonucunda kayaçların dalga hızları ile tek eksenli basma dayanımları arasında $R^2 = 0.87$ (Şekil 2), Young elastisite modülü arasında $R^2=91$ (Şekil 3) ve birim hacim ağırlık değeri arasında $R^2= 0.90$ (Şekil 4) determinasyon katsayı değerleri bulunmuştur. Şekil 2, 3 ve 4'den görüldüğü üzere dalga hızları ile tek eksenli basma dayanımları ve birim hacim ağırlık değerleri arasındaki ilişki lineer, elastisite modülleri arasındaki ilişki ise üssel olarak belirlenmiştir

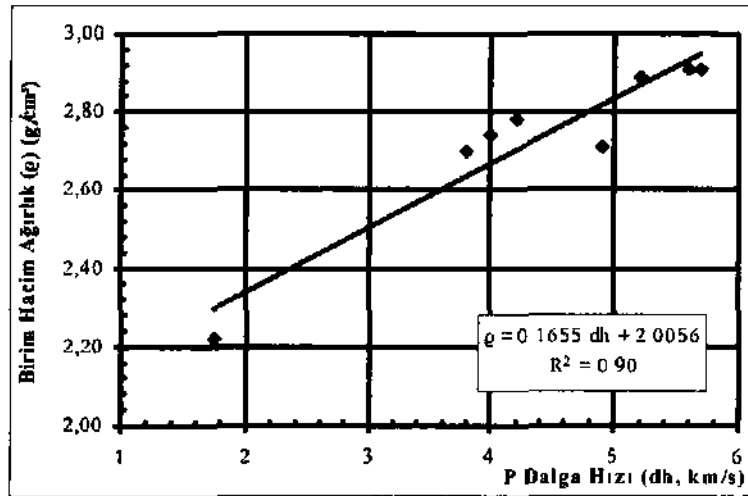
Kayaçların dalga hızları değerlerinin artması ile aynı şekilde tek eksenli basma dayanım, elastisite modülleri ve birim hacim ağırlık değerleri lineer ve üssel olmak üzere doğru orantılı olarak artmaktadır.



Şekil 2. P dalga hızı ile tek eksenli basma dayanım değerleri arasındaki ilişki



Şekil 3. P dalga hızı ile Young elastisite modülü değerleri arasındaki ilişki



Şekil 4. P dalga hızı ile birim hacim ağırlık değerleri arasındaki ilişki

5. Sonuçlar

Yapılan çalışmada kullanımı gün geçtikçe artmakta olan P - dalga hızlarının belirlenmesi ile kayaçların en önemli mekanik ve fiziksel özelliklerinden olan tek eksenli basma dayanımları, elastisite modülleri ve birim hacim ağırlık değerlerinin tahmin edilmesine çalışılmıştır.

İstatistiksel analizler sonucunda elde edilen bağıntılar sırasıyla,

1. $v_c = 21.677.DH - 21.427$
2. $E = 56444 DH^{0.42}$
3. $p = 0.1655.DH + 2.0059$ olarak bulunmuştur

Dalga hızlarına bağlı olarak belirlenen ampirik bağıntılar ile kayaçların diğer mekanik özellikleri tahmin edilebilmektedir. Bu yöntemin basitliği, kolay uygulanabilirliği ve tekrarlanabilirliği gibi özelliklerinden dolayı madencilik alanında rahatça kullanılabilir.

Kaynaklar

- 1 Birch F, The velocity of compressional waves in rocks 10kbars Part 1 J Geophys Res 65 083-1102(1960)
- 2 Birch F , The velocity of compressional waves in rocks 10 kbars Part 2 J Geophys Res 66, 2199-2224(1961)
- 3 Price DG , Malone AW. Knill TL, The application of seismic methods in the design of rock bolt system In Proceedings of the First International Congress, International Association of Engineering Geology, vol 2, p 740-52 (1970)
- 4 Young R.P. Hill T.T. Bryan I.R., Middleton R Seismic spectroscopy in traure characterization Quart J Eng Geo. 18 459-79,(1985)
- 5 Turk N , Dearman W.R. A , suggested approach to rock characterization in terms of seismic velocities In Hartman H.L. editor Proceedings of the 27th US Symposium on Rock Mechanics. Society of Mining Engineers, p 168-75, (1986)
- 6 Onodera T.F, Dynamic investigation of foundation rocks, in situ In Proceedings of the Fifth US Symposium on Rock Mechanics, Pergamon Press, New York, p 517-33. (1963)
- 7 Gladwin M.T, Ultrasonic stress monitoring in underground mining Int J Rock Mech Mm Sci.19 221-8, (1982)
- 8 Boadu F.K , Fractured rock mass characterization parameters and seismic properties analytical studies J Appl Geophys. 36 1-19, (1997)

TÜRKİYE IV MERMER SEMPOZYUMU (MERSEM 2001) BİLDİRİLER KİTABI 18-19 Aralık 2001

- 9 Anon. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping Part I- Rock and soil materials Bull Int Ass Geo,19,pp 64-371(1979)
- 10 ISRM Basic geotechnical description of rock masses Int Soc for Rock Mech , Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests Int J Rock Mech Mm Sei Géomech Abstr 18,85-U0(1981a)
- 11 TSE, Tabı Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları. TS'699. (1987)
- 12 Armstrong M, CFSG Course notes. Mining Geostatistique. C-159,119p, (1997)