

KIRMIZI TRAVERTENİN FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KURU VE DOYGUN P DALGA HIZINDAN KESTİRİMİ

Engin ÖZDEMİR¹, Didem EREN SARICI²

¹ İnönü Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, ozdemir.engin@inonu.edu.tr

² İnönü Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, didem.sarici@inonu.edu.tr

Geliş Tarihi: 01.02.2016

Kabul Tarihi:25.07.2016

ÖZ

Kayaçları sınıflandırmak ve dinamik özelliklerini belirlemek için hem laboratuvar hem de arazi ortamında uygulanan sismik teknikler, yıkıcı olmaması ve nispeten kolay uygulanabilirliği nedeniyle jeoteknik mühendisliğinde gün geçtikçe daha çok kullanılmaktadır. Kayaçların ses dalgası değerini etkileyen birçok faktör vardır. En önemli faktörler; tane boyu ve şekli, porozite, yoğunluk, anizotropi, kayaç tipi ve sıcaklıktır. Günümüze kadar birçok araştırmacı dayanım özelliklerini P dalga hızı kullanarak tahmin etmeye çalışmıştır. Bu çalışmada kuru ve doygun koşullarda P dalga hızı (V_p) ile bazı fiziko-mekanik özellikler arasındaki ilişki araştırılmıştır. Yapılan basit ve çoklu regresyon analizleri neticesinde özellikle tek eksenli sıkışma dayanımı ve Schmidt çekici sertliği ile kuru ve doygun halde P dalga hızı arasında güçlü ilişkilerin varlığı elde edilen belirleme katsayısı değerlerinden ($R^2 > 90$) anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *P Dalga Hızı, Traverten, Doygunluk, Regresyon Analizi*

PREDICTION OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF RED TRAVERINE (MALATYA) FROM DRY AND SATURATED P WAVE VELOCITY

ABSTRACT

Seismic techniques are generally employed in both site and laboratory to characterize and determine the dynamic properties of rocks. Since these techniques are non-destructive and relatively easy to apply, they are increasingly being used in geotechnical engineering. There are a number of factors that influence the sound velocity in rocks. The important factors are grain size and shape, porosity, density, anisotropy, rock type and temperature. Up to the present, studies on the prediction of strength properties of rocks from P-wave velocity have been conducted by a number of investigators. In this study, the relationship between ultrasonic wave velocity (V_p) and physico-mechanical properties of rock at dry and saturated condition were investigated. As a result of simple and multiple regression analysis it was found that there are strong relationships between V_p and physico-mechanical properties at dry and saturated conditions. This strong relationship is understood that the value of the coefficient of determination ($R^2 > 90$).

Keywords: *P-wave velocity, Travertine, Saturation, Regression Analysis*

1. GİRİŞ

Yerüstü ve yeraltı mühendislik yapılarının tasarımında kayaçların fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla yararlanılan en önemli özelliklerden bir tanesinin tek eksenli sıkışma dayanımı olduğu Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (ASTM 1984) ve Uluslararası Kaya Mekaniği Topluluğu (ISRM 1981) tarafından belirtilmiştir. Tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenebilmesi için gelişmiş bir kaya mekaniği laboratuvarına ihtiyaç duyulmaktadır. Basit deney yöntemleri ile karşılaştırıldığında numune hazırlanması zaman alıcı ve pahalıdır ayrıca hasarlı deneyler grubuna girer. Kullanılan aletlerin daha ucuz olduğu, hızlı ve deney numunesine zarar vermemenin yanında uygulanabilirlik açısından da daha kolay olan nokta yükleme dayanım deneyi (I_{s50}), Schmidt çekici sertliği

(SHV) ve sonik hız (SV) gibi basit deneyler tek eksenli sıkışma dayanımının dolaylı olarak (UCS) tahmini için yaygın olarak kullanılmaktadır [1-5].

Nokta yükleme dayanım deneyi ($I_{s(50)}$) ve Schmidt çekici (SHV) ölçüm cihazları, portatif olma özelliği sayesinde hem laboratuvar hem de arazi ortamında uygulanabilirlik açısından büyük bir avantaja sahiplerdir. Ayrıca birçok araştırmacı tarafından dolaylı yoldan tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi değerini saptamada kullanılmışlardır [6-8].

Kayaçların fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesinde numuneye zarar vermeyen, düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir olan ultrasonik test tekniklerinin kullanımı madencilik ve jeoteknik alanlarında her geçen gün artmaktadır. Ultrasonik dalgaların heterojen yapıya sahip olan kayaç içerisinde ilerleme hızları (P ve S Dalgası) kayacın yoğunluğuna, porozitesine ve dokusal özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Kayaçların fiziko-mekanik özelliklerinin ultrasonik dalga hızı ile dolaylı yoldan tespit edilmesi birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır [9-12]. Yapılan çalışmalarda kullanılan kaya numuneleri genellikle doğal nem içeriğine sahip iken testlere tabii tutulmuştur [13-18].

Ajalloian ve Karimzadeh (2003), andezit kökenli kayaçlar üzerine kurulmuş olan Givi Barajının mühendislik özelliklerini belirlemek için kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımlarının su içeriği ile değişimini incelemişler, suya doymuş olan numunelerin dayanımının kuru numunelere göre %18 azaldığını gözlemlemişlerdir [13]. Sachpazis (2004), Bernican Great (İngiltere) bölgesinden temsili numuneler almış ve bu numuneleri A (hiç metamorfizmaya uğramamış), B (düşük metamorfizmaya uğramış), C (yüksek metamorfizmaya uğramış) ve D (tamamen metamorfik kayaç) olarak sınıflamış, kayaçlara doymuş ve kuru halde iken çeşitli kaya mekaniği deneyleri uygulayarak gözlemlenen sonuçları karşılaştırmıştır. Bu sonuçlara göre; kayaçların doymuşluk derecesinin artmasıyla P dalga hızının arttığını, fakat tek eksenli sıkışma dayanım ve nokta yükleme dayanımının büyük ölçüde azaldığını belirlemişlerdir [14]. Vasconcelos vd. (2008), üç farklı örnek üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada kübik ($150 \times 150 \times 150 \text{ mm}^3$), silindirik ($D=75 \text{ mm}$, $L=150 \text{ mm}$) ve prizmatik ($a=80 \text{ mm}$, $b=50 \text{ mm}$, $c=40 \text{ mm}$) formlarda hazırlanan numunelerde doymuş ve kuru halde iken ultrasonik dalga hızlarını kıyaslayarak nem (su) içeriğinin etkisi araştırılmıştır, üç farklı örnekte de doymuşluk derecesinin artmasının dalga hızını fark edilecek büyüklükte arttırdığı gözlemlenmiştir [15]. Török vd. (2010), masif az gözenekli ve laminalı-gözenekli iki farklı traverten üzerinde yaptıkları çalışmalarında; yoğunluk, P dalga hızı, etkin porozite ve tek eksenli sıkışma dayanımının kuru ve doymuş halde değişimini incelemişler, doymuş halde tek eksenli sıkışma dayanımı değerinin her iki kayaç türü içinde azaldığını, P dalga hızı ise attığını belirlemişlerdir [16]. Jabbar (2011), nokta yükleme indeks değeri ve P dalga hızı ile kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımını tahmin etmenin daha hızlı ve karmaşık ekipmanlara ihtiyaç duyulmadığı için daha kolay olduğunu vurgulamak amacıyla istatistiksel veriler kullanarak tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) hesaplamayı tercih etmiştir. Bu amaçla çeşitli kayaçlarda tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS), P dalga hızı (V_p), nokta yükleme indeksi ($I_{s(50)}$), su içeriği ve derinlik ilişkilerini araştırmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) ve nokta yükleme indeksi ($I_{s(50)}$) değerinde su içeriğinin ve örnekleme derinliğinin artması ile azalma olduğunu tespit etmiştir. P dalga hızında da derinlik artışına bağlı olarak artış olduğunu belirlemiştir [17]. Karakul ve Ulusay (2012), kayaçların dayanım (tek eksenli sıkışma dayanımı, çekme dayanımı, kohezyon) özellikleri ve elastisite modülleri ile P dalga hızı arasındaki ilişkiyi farklı doymuşluk koşulları için araştırmışlar ve regresyon analizleri ile doymuşluktaki artışa bağlı olarak; tek eksenli sıkışma dayanımı, çekme dayanımı, kohezyon ve deformabilite özelliklerinde azalma meydana geldiğini, ayrıca P dalga hızında artan doymuşluğa bağlı değişimin gözeneklilik ve kil içeriğinin ortak etkisi sonucu gerçekleştiğini belirlemişlerdir [18].

Bu çalışmada Malatya ili Arguvan ilçesinde üretilen kırmızı traverten kullanılarak kuru ve suya doymuş durumda iken ultrasonik hız tayini yapılmış bu özellikler ile birim hacim ağırlığı, porozite, ağırlıkça su emme, Schmidt çekici sertliği, tek eksenli sıkışma dayanımı gibi bazı fiziko-mekanik özellikler arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Numune Derleme

Deneyler için Malatya Arguvan ilçesine ait kırmızı travertenlerden Elazığ Bilçağ Mermer A.Ş. aracılığıyla yaklaşık 20x20x20 cm³ ebatlarında 6 adet blok numune alınmıştır. Alınan blok numunelerin laboratuvara nakledilmesi sırasında deney sonuçlarını olumsuz yönde etki edecek darbe ve hatalı uygulamalardan kaçınılmış, nem içeriğinin korunmasına dikkat edilmiştir. Blok numunelerden karot alma makinesi yardımıyla kaya numunelerinden 30 adet silindirik karot örneği alınmış, boyları L/D oranı 2-3 arasında olacak şekilde düzeltilmiştir. Çalışma alanının yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

2.2. Fiziko-Mekanik Deneyler

2.2.1. Schmidt sertlik tayini

Schmidt sertlik çekici kayaçların Schmidt sertliği değerini belirlemek için kullanılmaktadır. Belirlenen sertlik değeri ise tek eksenli sıkışma dayanımı değerinin tahmininde ve kayaların sınıflanmasında kullanılır. Fakat yöntem çok yumuşak ve çok sert kayaçlarda uygulanamaz. L ve N tipi olmak üzere iki tür Schmidt çekici bulunmaktadır. Bu çalışmada L tipi Schmidt çekici kullanılmıştır. Test sonuçlarının güvenilirliği çekicinin tipi, örnek boyutları, yüzeyin pürüzlülüğü, örneğin zayıflığı ve nem içeriği gibi faktörlerden etkilenmektedir. Kayaçların Schmidt sertliği porozite, kuru birim hacim ağırlığı gibi özelliklerden etkilenmektedir [19]. Deneyde NX (54 mm çapında) karot numuneleri kullanılmıştır. Deneyin uygulandığı numune yüzeylerinin düzgün ve çatlaksız olmasına özen gösterilmiştir. Çekicinin ucu deney örneğinin yüzeyine dik olacak şekilde yavaşça bastırılmış ve çekicinin içindeki yaydan geri tepme sesi geldiği anda, çekicinin gövdesi üzerindeki göstere sabitleme tuşuna basılarak, geri sıçrama değeri çekicinin gövdesindeki göstergeden okunarak kaydedilmiştir. Her bir okumadan sonra deney örneği üzerinde birbirinden uzaklığı en az çekicinin uç çapına eşit olacak şekilde, 20 farklı noktada ölçüm yapılarak kaydedilmiştir. Deney esnasında herhangi bir çatlak oluşması veya gözle görülebilir bir yenilmenin gelişmesi durumunda deney iptal edilmiştir. Elde edilen 20 adet sertlik değeri büyükten küçüğe doğru sıralanmış ve bu değerlerin en küçük %50'si iptal edilmiştir. Geri kalan sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır [20].

2.2.2. Tek eksenli sıkışma dayanımı tayini

Tek eksenli sıkışma dayanımı, kaya kütlesi sınıflaması ve mühendislik tasarımlarda yaygın biçimde kullanılan bir parametredir. Bu çalışmada, kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları ISRM 1978’de belirtilen şekilde yapılmıştır. Deneyde 54 mm çapında (NX), boy/çap 2-2,5 olan karot numuneleri kullanılmıştır. Numune, presin ortasındaki yükseltme plakasının ortasına gelecek şekilde altına ve üstüne küresel yüzeyli iki çelik silindirik platen yerleştirilmiştir. Presin uygulayacağı yükleme hızı ayarlandıktan sonra deney numunesi kırılıncaya kadar sabit yükleme hızı uygulanmıştır. Deney numunesi kırılmadan önce üzerine etki etmiş olan en büyük yük presin göstergesinden okunarak kaydedilmiştir.

Numunenin basınç dayanımı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$f_b = \frac{P_k}{A} \quad (\text{MPa}) \quad (\text{Eşitlik 2.1})$$

Burada;

f_b : Numunenin basınç dayanımı (MPa)

P_k : Kırılmaya sebep olan en büyük yük (kN)

A : Numunenin yük uygulanan yüzeyinin alanı (cm²)

2.2.3. Ultrasonik dalga hızı tayini

Ultrasonik hız tayini ISRM 1978 tarafından önerilen yöntemle göre yapılmıştır [22]. Deneyde Pundit 6 ultrasonik dalga üretici cihazı ile NX (54 mm) çaplı silindirik numuneler kullanılmıştır. Numunelerin boyu ve çapı birbirine dik şekilde 0,1 mm hassasiyetle ölçülmüştür ve numunenin alt ve üst kısmına konulan silindirlerin, maksimum 2 derece eğim yapacak şekilde ayarlaması nedeniyle gönderici ve alıcının konumları örnek yüzeyinde işaretlenmiştir. Numunelerin gönderici ile temasta olacak alt ve üst yüzeylerinin düzgün ve birbirine paralel olmasına dikkat edilmiştir. Sinyalin ilerleme mesafesi 0,025 mm duraylılıkta ölçülmüş, deneyde düzgün silindirik numuneler kullanıldığı için sinyalin ilerleme mesafesi karotun boyuna (L) eşit olarak alınmıştır. Gönderici ve alıcı ile karot numunesinin yüzeyleri arasındaki teması artırmak amacıyla numunenin alt ve üst yüzeyine jel sürülmüştür. Bu ayarlamalardan sonra dakikada bir veya iki okuma yapılacak şekilde sinyal gönderilerek ses dalgasının (P) numuneden geçiş süresi (t_p) %1 duraylılıkla ölçülmüş olup başlangıç zamanı t_0 sıfır olarak alınmıştır. Şekil 2’de sonik hız deneyinin uygulamasına ait şematik bir görüntü verilmiştir.

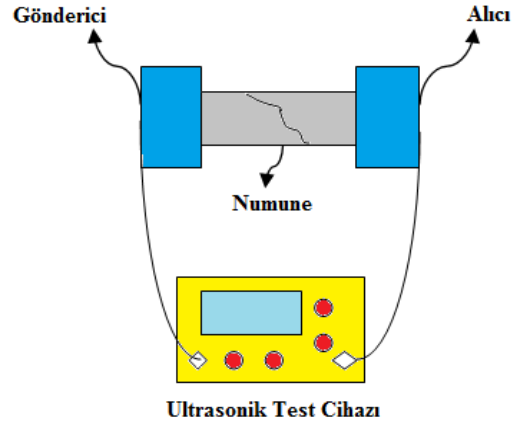
Yayıma hızları aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır:

$$V_p = \frac{L}{T_p} \quad (\text{Eşitlik 2.2})$$

$$T_p = (T_p - T_0) \quad (\text{Eşitlik 2.3})$$

Burada;

L: Silindirik deney örneğinin boyu (sinyalin katettiği mesafe, mm), V_p : P dalgasının yayılma hızı (m/s), t_p : P dalgasının ölçülen yayılma zamanı (µs), T_p : P dalgasının etkin ilerleme hızı (µs), t_0 : Ölçülen sıfır (başlangıç) zamanı (µs)



Şekil 2. Ultrasonik hız testinin uygulamasına ait şematik görüntü.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Deneysel Sonuçlar

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen, örneklerin fiziko-mekanik değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen fiziko-mekanik değerler

N. No	Ağırlıkça Su Emme (%)	Porozite (%)	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	Schmidt Sertlik	Tek Eksenli Sıkışma Day. (MPa)	P Dalga Kuru (µm/s)	P Dalga Doymun (µm/s)	P Dalga Fark
1	1,003	2,494	24,38	33	36,63	3884,39	4200,45	316,06
2	1,000	2,495	24,47	33	37,53	3891,77	4227,82	336,05
3	2,442	5,860	23,54	27	22,98	3330,35	3812,65	482,30
4	2,216	5,317	23,54	27	23,87	3375,62	3798,16	422,54
5	1,002	2,489	24,35	33	36,25	3858,44	4185,82	327,38
6	1,240	3,062	24,23	32	31,10	3730,77	4102,45	371,68
7	1,329	3,298	24,34	31	30,73	3700,87	4150,81	449,94
8	2,424	5,683	22,99	26	20,73	3297,34	3752,85	455,51
9	1,272	3,117	24,03	31	29,66	3653,90	3998,60	344,70
10	1,146	2,831	24,23	32	32,76	3765,06	4159,12	394,06
11	2,088	5,086	23,89	30	28,52	3640,67	3996,87	356,20
12	2,216	5,316	23,53	28	24,96	3398,83	3800,85	402,02
13	1,186	2,954	24,43	32	32,43	3754,45	4147,28	392,83
14	2,205	5,267	23,43	26	21,95	3284,66	3780,65	495,99
15	1,002	2,503	24,50	33	37,43	3885,63	4200,29	314,66
16	1,008	2,506	24,38	33	36,22	3852,73	4198,94	346,21
17	1,098	2,756	24,61	33	36,41	3869,35	4199,86	330,51
18	1,229	3,019	24,10	30	29,75	3659,44	4002,48	343,04
19	1,418	3,480	24,08	30	29,99	3653,98	4000,40	346,42
20	2,775	6,435	22,74	25	20,36	3218,45	3702,52	484,07
21	1,093	2,702	24,26	32	34,81	3803,53	4154,12	350,59
22	1,016	2,540	24,53	33	37,26	3907,38	4257,84	350,46
23	1,064	2,652	24,43	33	36,04	3853,01	4199,57	346,56
24	1,128	2,789	24,26	32	34,56	3817,37	4173,96	356,59
25	1,011	2,532	24,56	33	34,35	3829,68	4122,14	292,46
26	1,182	2,927	24,28	32	32,29	3737,62	4144,06	406,44
27	1,127	2,792	24,29	32	32,29	3744,62	4178,75	434,13
28	1,066	2,666	24,53	33	35,03	3839,88	4180,45	340,57
29	1,294	3,183	24,12	31	30,83	3702,28	4107,80	405,52
30	2,454	5,866	23,44	26	25,04	3426,52	3850,15	423,63
Ort.	1,458	3,554	24,08	30	31,09	3678,95	4059,59	380,64

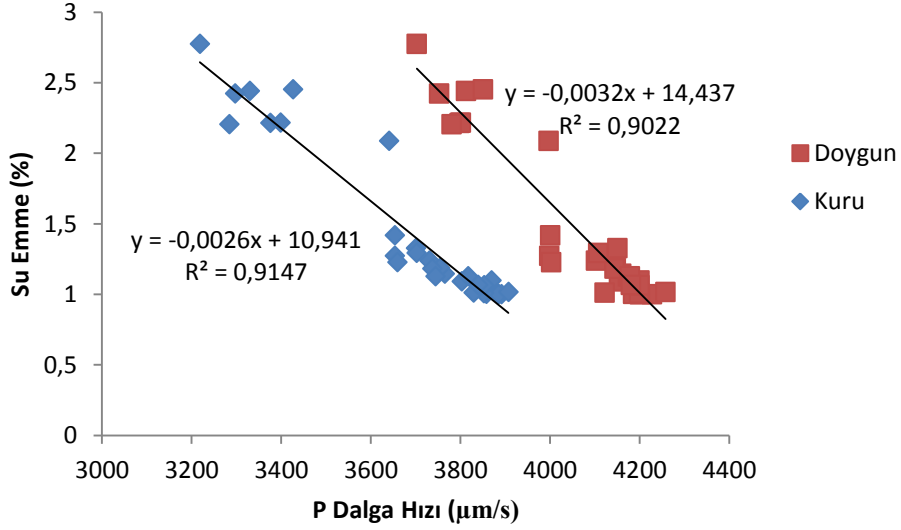
3.2. İstatistiksel Sonuçlar

Çalışma kapsamında istatistiksel analizler SPSS 20 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Örnekler kuru ve doymun koşullarda iken fiziko-mekanik özellikleri ile ultrasonik ses geçirgenliği arasındaki ilişki, basit ve çoklu regresyon analizleri yapılarak belirlenmiştir.

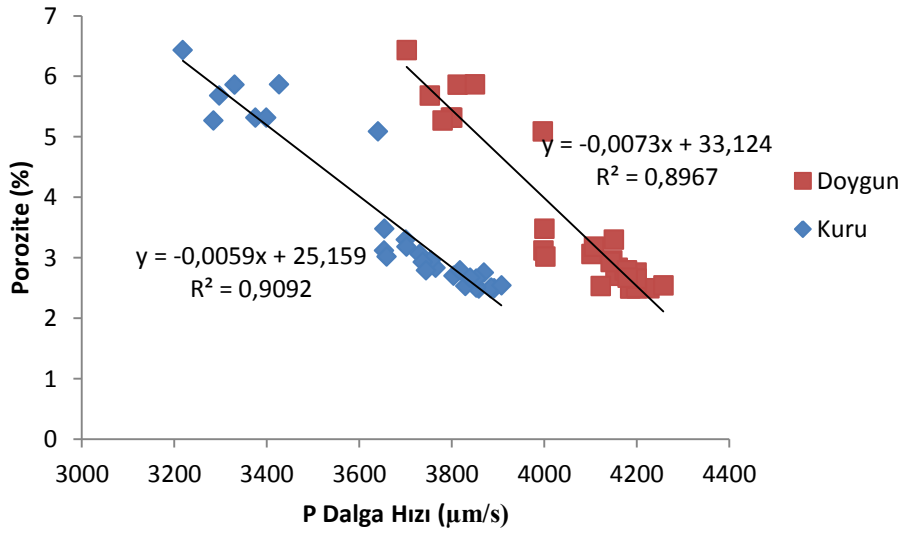
3.2.1. Basit regresyon analizi sonuçları

Her bir bağımsız değişken (ağırlıkça su emme, porozite, birim hacim ağırlığı, Schmidt çekici sertliği, tek eksenli sıkışma dayanımı) ve bağımlı değişken (kuru ve doymun durumunda P dalga hızı) için basit regresyon analizleri yapılmıştır. Elde edilen ilişkiler arasından deneysel sonuçları en iyi temsil eden ilişki belirlenmiştir. İlişkinin kuvveti belirleme katsayısı (R²) kullanılarak değerlendirilmiştir. Su emme, porozite, birim hacim ağırlığı, Schmidt sertlik

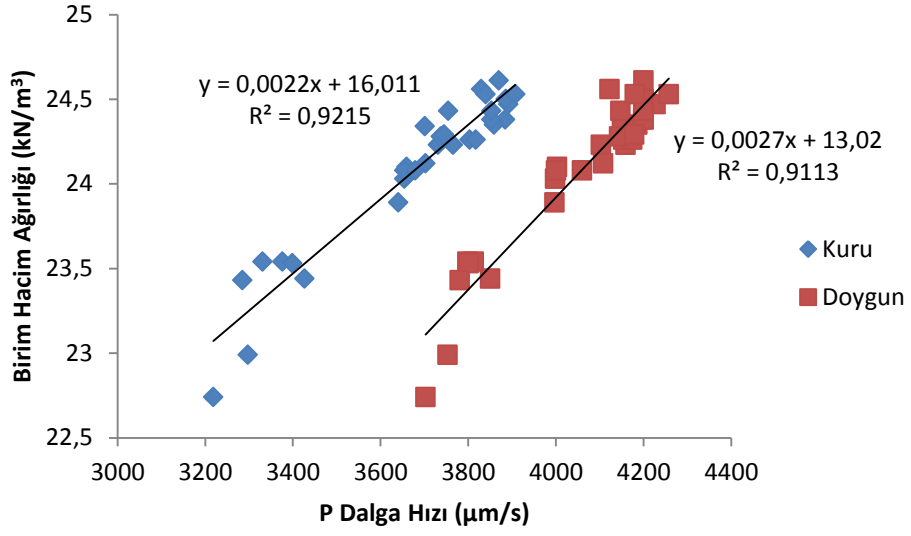
değeri, tek eksenli sıkışma dayanımı ile kuru ve doygun halde P dalga hızı arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 3 - 7'de verilmiştir.



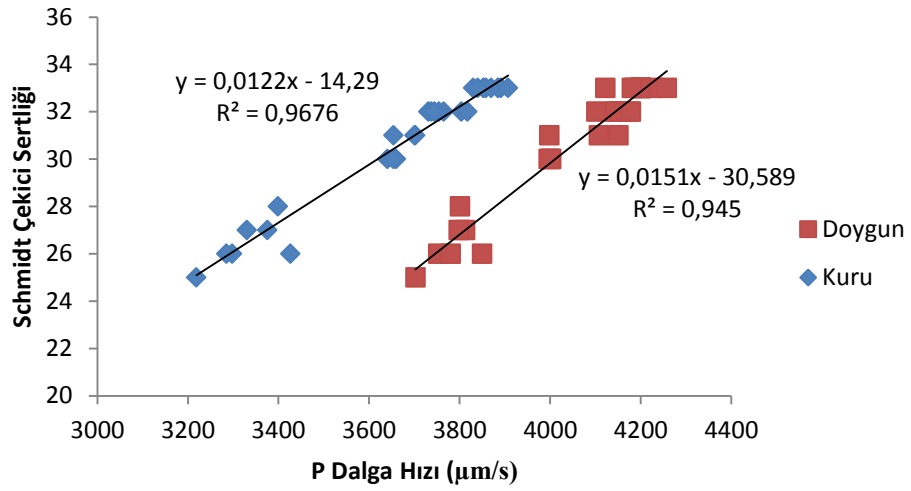
Şekil 3. P dalga hızı ile su emme ilişkisi.



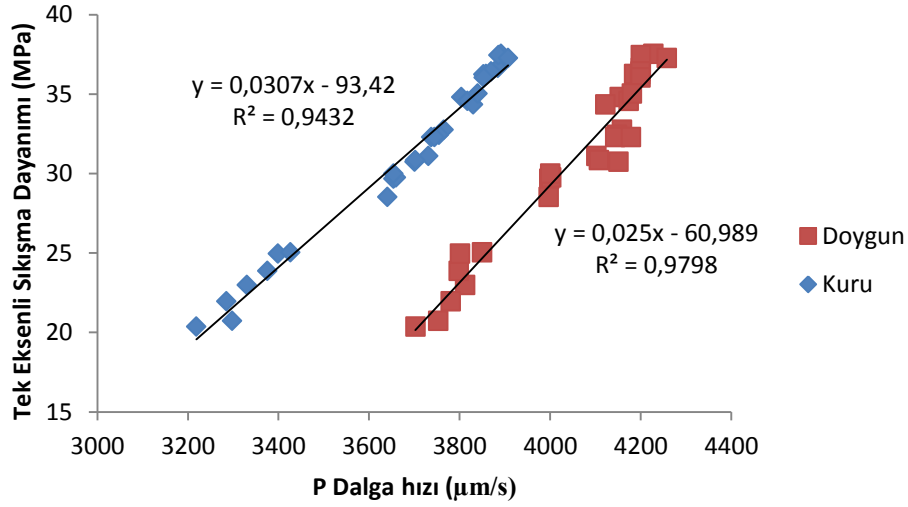
Şekil 4. P dalga hızı ile porozite ilişkisi.



Şekil 5. P dalga hızı ile birim hacim ağırlığı ilişkisi.



Şekil 6. P dalga hızı ile Schmidt çekici sertlik değeri ilişkisi.



Şekil 7. P Dalga hızı ile tek eksenli sıkışma dayanımı ilişkisi.

Yapılan basit regresyon analizi sonucunda Şekil 3-7 incelendiği zaman P dalga hızı ile fiziksel özellikler arasında güçlü ilişkilerin var olduğu elde edilen belirleme katsayısı değerlerinden ($R^2 > 90$) anlaşılmaktadır. Özellikle Schmidt çekici sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin kestiriminde P dalga hızı önemli bir belirteç olarak düşünülebilir.

3.2.2. Çoklu regresyon sonuçları

Tüm bağımsız değişkenler (Su emme, porozite, birim hacim ağırlık, tek eksenli sıkışma dayanımı, Schmidt çekici sertliği) için çoklu regresyon analizleri ile su emme, porozite, birim hacim ağırlığı, Schmidt sertlik değeri, tek eksenli sıkışma dayanımı ile kuru ve doymun halde P dalga hızı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çoklu regresyon analizi %5 güven aralığında kuvveti belirleme katsayısı (R^2) kullanılarak değerlendirilmiştir. İstatistiksel paket programında elde edilen en anlamlı ve en güvenilir sonucu Schmidt sertlik değeri ve tek eksenli sıkışma dayanımı ile P dalga hızı arasında elde edilmiştir. Elde edilen eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$P \text{ Dalga}_{\text{kuru}} = 1953 + 31,9 * \text{Schmidt} + 23,8 * \text{Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı} (R^2 = \%98)$$

$$P \text{ Dalga}_{\text{doymun}} = 2582 + 32,7 * \text{Schmidt} + 15,1 * \text{Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı} (R^2 = \%96)$$

3.2.3. Mutlak ortalama hata hesabı

Oluşturulan modellerin mutlak ortalama hata değerleri aşağıdaki formül ile belirlenmiştir.

$$MOH = \frac{1}{n} \times \left| \frac{X_d - X_m}{X_d} \right| \times 100 \quad (\text{Eşitlik 3.1})$$

Burada;

MOH: Mutlak ortalama hata X_d : Deneyden elde edilen sonuçlar X_m : Modelden elde edilen sonuçlar n: Deney sayısı

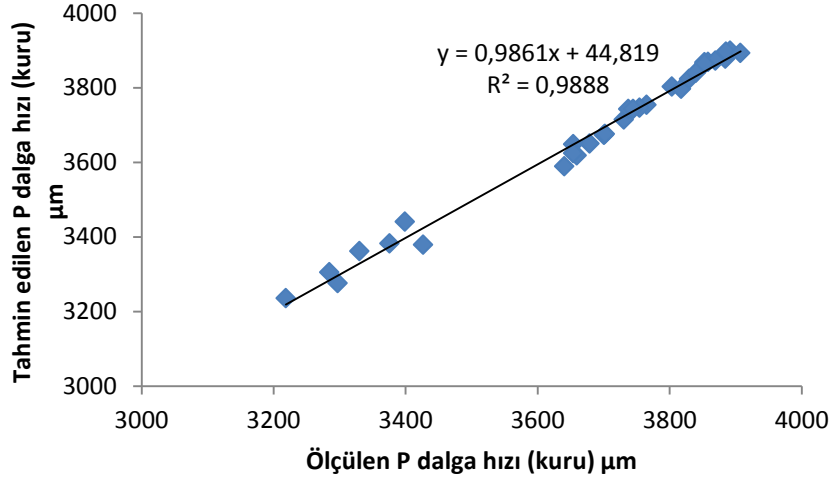
Çizelge 2'de Doymun ve kuru koşullarda yapılan P dalga hızı tayini için oluşturulan modellerin mutlak ortalama hata değerleri verilmiştir.

Çizelge 2. Doygun ve kuru koşullarda yapılan P dalga hızı tayini için oluşturulan modellerin mutlak ortalama hata değerleri

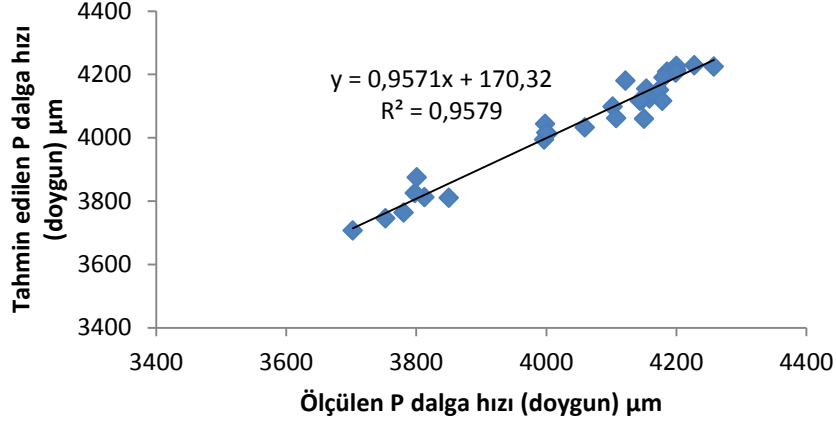
Kuru halde P dalga hızı Mutlak Hata Değerleri	Doygun halde P dalga hızı Mutlak Hata Değerleri
0,177531	0,327655
0,183567	0,000402
0,92705	0,019724
0,20103	0,715531
0,259431	0,541232
0,450041	0,108228
0,745663	2,194439
0,654042	0,203232
0,166726	1,124544
0,307352	0,866626
1,425397	0,080513
1,218596	1,937619
0,234815	0,703762
0,613458	0,44979
0,280624	0,619076
0,38949	0,216293
0,075155	0,262652
1,131047	0,243474
0,826989	0,386186
0,516336	0,11927
0,032917	0,002142
0,381125	0,801204
0,271009	0,136538
0,551217	0,567902
0,168421	1,398424
0,125267	0,67762
0,061902	1,502148
0,012136	0,229712
0,719178	1,133624
1,405741	1,034921
0,788486	0,668319
MOH= 0,4936	MOH= 0,62170

Çizelge 2 de incelendiğinde elde edilen mutlak ortalama hata değerlerinin 1 in altında olduğu görülmektedir. Bu modelin hata payının düşük olmasının bir göstergesidir.

Kuru ve doygun koşullarda yapılan P dalga hızı deneylerinden elde edilen sonuçlar ile çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen P dalga hızlarının karşılaştırması Şekil 8-9 da verilmiştir.



Şekil 8. Deneyle elde edilen kuru halde P dalga hızı ile modelden tahmin edilen kuru P dalga hızı ilişkisi.



Şekil 9. Deneyle elde edilen doygun halde P dalga hızı ile modelden tahmin edilen doygun P dalga hızı ilişkisi.

Oluşturulan modellerden elde edilen kuru ve doygun halde P dalga hızları ile deneyler sonucunda ölçülen kuru ve doygun P dalga hızları değerleri grafiğe geçirildiğinde benzer eğilim gösterdikleri görülmüştür. Elde edilen R^2 (belirleme katsayısı) değerleri %95 in üzerinde bulunmuştur. Sonuç başarılı bir model yapısını işaret etmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Arguvan (Malatya) kırmızı traverteninde kuru ve doygun koşullarda P dalga hızı ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Yapılan basit ve çok değişkenli regresyon analizleriyle elde edilen görgül ilişkiler kullanılarak kuru ve doygun koşullar için fiziko-mekanik özelliklerin P dalga hızından kestiriminin mümkün olduğu saptanmıştır. Basit regresyon analizlerinde bağımlı (P dalga hızı) ve bağımsız (porozite, ağırlıkça su emme, birim hacim ağırlığı, Schmidt çekici sertliği, tek eksenli sıkışma dayanımı) her bir değişken arasında yüksek bir ilişki elde edilmesine rağmen tüm veriler ile P dalga hızını tahmin etmek istatistiksel olarak olumlu sonuçlar doğurmamıştır. Schmidt sertlik değeri ve tek eksenli sıkışma dayanımının birlikte P dalga hızını tahmin etmede kullanılması daha uygun olacağı görülmüştür. Çoklu regresyon analizleri sonucunda elde edilen modellerin mutlak ortalama hata değerleri düşük olduğu belirlenmiştir (<1) Yapılan performans analizleri neticesinde ölçülen P dalga hızı ile modelden elde edilen P dalga hızı ilişkisi belirleme katsayısı değerleri (R^2)>95 olarak bulunmuştur. Bu durum oluşturulan modelin iyi olarak değerlendirilebileceğinin göstergesidir.

Katkı Belirtme

Yazarlar; deneysel çalışmalarda kullanılmak amacıyla numune sağlayan Bilçay Mermer A.Ş.'ye teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKÇA

- [1] A. Kılıç and A.Teymen, Determination of mechanical properties rocks using simple methods, Bull. Eng. Geol. Environ 67, 237-244 (2008)
- [2] H. Ersoy and D. Kanik, Multicriteria decision-making analysis based methodology for predicting carbonate rocks uniaxial compressive strength, Earth Sci. Res. J. 16(1), 65-74 (2012)
- [3] S. Kahraman and T. Yeken, Electrical resistivity measurement to predict uniaxial compressive and tensile strength of igneous rocks, Buildings Material Science, 33 (6), 731-735 (2010)
- [4] D.A. Mishra and A. Basu, Use of the block punch test to predict to compressive and tensile strengths of rocks, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 51, 119-127 (2012)
- [5] H. Sönmez, C. Gökçeoğlu, E.W. Medley, E. Tuncay and H.A. Nefesilioğlu, Estimating the uniaxial compressive strength of a volcanic bimrock, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 43(4), 554-561 (2006)
- [6] M. Heidra, G.R. Khanlari, M.T.Kaveh and S. Kargarian, Predicting uniaxial compressive and tensile strength of gypsum rock by point load testing, Rock Mech. Rock Eng. , 45, 265-273 (2012)
- [7] S.Kahraman, Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock, Int. J. Rock Mech. & Min. Sci., 38. 981-994 (2001)
- [8] S. Kahraman, O. Günaydın and M. Fener, The effect of porosity on the relation between uniaxial compressive strength and point load index, Int. J. Rock Mech. & Min. Sci., 42, 584-589 (2005)
- [9] M. Karakuş, M.Kumral and O. Kılıç, Predicting properties of intact rocks from index tests using multiple regression modeling, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 42, 2, 323-330 (2005)
- [10] T.N. Singh and P.K. Sharma, A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 67, 1, 17-22 (2008)
- [11] A.E.Babacan, H. Ersoy and K.Gelisli, 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 (2009)
- [12] H. Ersoy, A. Özdemir and B., Yalçınalp, Geology and geotechnical properties of kalecik (Gümüşhane) travertines. Proceedings of The 21st International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, 639-648. (2009)
- [13] R. Ajalloian and L. Karimzadeh, Geotechnical rock mass evaluation of Givi dam site, 10th Int. Cong. On Rock Mechanics, (1) 7-10 (2003)

- [14] C.I. Sachpazis, Monitoring and correlating geotechnical engineering properties and degree of metamorphism in a four-stage alteration process passing from pure limestone to pure marble, *Elektronic Journal of Geotechnical Engineering*, (2004)
- [15] G. Vasconcelos, P. B. Lourenço, C. A. S. Alves and J. Pamplona, Ultrasonic evaluation of the physical and mechanical properties of granites, *Ultrasonic*, (48) 453-466 (2008)
- [16] A. Török and B. Vasarhelyi, The influence of fabric and water content on selected rock mechanical parameters of travertine, examples from Hungary, *Engineering Geology*, (115) 237-245 (2010)
- [17] M.A. Jabbar, Correlations of point load index and pulse velocity with the uniaxial compressive strength for rocks, *Journal of Engineering*, (4) 992-1006 (2011)
- [18] H. Karakul ve R. Ulusay, Kayaların dayanım özelliklerinin farklı doygunluk koşullarında P-dalga hızından kestirimi ve P dalga hızının fiziksel özelliklere olan duyarlılığı, *Yer Bilimleri*, 33(3) 239-268 (2012)
- [19] S. Kahraman, A correlation between P-wave velocity, number of joints and Schmidt hammer rebound number, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 38 729-733 (2001)
- [20] ISRM, Suggested Methods for Determination of Schmidt Rebound Hardness, *International Journal of Rock Mechanic and Mining Science and Geomechanic Abstracts*, (15:3) 101-102 (1978)
- [21] ISRM, Suggested Methods For Determining The Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials, *International Journal of Rock Mechanic and Mining Science and Geomechanic Abstracts*, (16) 135-140. (1978)
- [22] ISRM, Suggested Methods For Determining Sound Velocity, *International Journal Of Rock Mechanic and Mining Science and Geomechanic Abstract*, (15) 53-58. (1978)