



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Denizli travertenlerinde P ve S dalga hızları ile bazı fiziksel ve tek eksenli sıkışma dayanımı özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırılması

Investigation of relations between P and S wave velocities and some physical and uniaxial compressive strength properties in denizli travertines

Yazar(lar) (Author(s)): Sefer Beran ÇELİK¹, İbrahim ÇOBANOĞLU²

ORCID¹: 0000-0003-1850-5229

ORCID²: 0000-0002-2747-6397

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çelik S. B. ve Çobanoğlu İ., “Denizli travertenlerinde P ve S dalga hızları ile bazı fiziksel ve tek eksenli sıkışma dayanımı özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 341-349, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.444370

Denizli Travertenlerinde P ve S Dalga Hızları ile Bazı Fiziksel ve Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Sefer Beran ÇELİK*, İbrahim ÇOBANOĞLU

Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 05.01.2018 ; Kabul/Accepted : 08.06.2018)

ÖZ

Denizli havzası traverten çökelinin yaygın olarak görüldüğü dünyaca ünlü havzalardan birisidir. Traverten, çökelim koşullarına bağlı olarak gözeneklilik, tabakalanma, sertlik gibi değişken yapısal özellikler sunmaktadır. Bu durum travertenin çok geniş bir aralıkta değişen fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada Denizli traverteninin temel fiziksel özellikler ve TSD değerlerinin V_p ve V_s değerlerinden tahmini amaçlanmıştır. Doğal yapı taşı olarak Denizli travertenleri, Dünya'nın çeşitli bölgelerine ihraç edilmekte ve gerek yurt içi gerekse de yurtdışında önemli bir pazara sahiptir. Bu çalışmada, Kaklık bölgesinden temin edilen traverten bloklarından alınmış 56 karot örneğinin kuru ve doymun birim hacim ağırlık (γ_k , γ_d) görünür porozite (n_a) ve tek eksenli sıkışma dayanımı (TSD) değerleri belirlenmiş ve bu özelliklerin boyuna (V_p) ve enine (V_s) ultrasonik dalga hızları ile karşılaştırılması yapılmıştır. Denizli travertenlerinde γ_k , γ_d değerlerinin artışıyla ölçülen V_p ve V_s dalga hızı değerlerinin de doğrusal olarak arttığı, bunun tersine örneklerin n_a değerlerinin artışına bağlı olarak da V_p ve V_s dalga hızlarında doğrusal bir düşüm gözlenmiştir. TSD değerlerinin γ_k değerlerinin artışıyla üstel olarak arttığı, n_a değerlerinin artışıyla ise üstel olarak azaldığı görülmüştür. V_p ve V_s dalga hızlarının artışıyla TSD değerlerinin üstel olarak arttığı ortaya konmuştur. Denizli travertenleri için elastik parametrelerden olan kayma modülü, poisson oranı ve elastisite modülü değerleri V_s ve V_p değerlerinden ampirik olarak hesaplanmış ve sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Denizli traverteni, boyuna ses dalgası hızı, enine ses dalgası hızı, tek eksenli sıkışma dayanımı, elastik özellikler.

Investigation of Relations between P and S Wave Velocities and Some Physical and Uniaxial Compressive Strength Properties in Denizli Travertines

ABSTRACT

The Denizli basin is one of the most familiar basins in the world where large travertine deposits are existed. The travertine exhibits various structural properties such as porosity, layer, hardness depending on sedimentation conditions. This causes the travertine to have physical and mechanical properties varying in wide range. As a natural building stone, Denizli travertines are exported to various regions of the world and became an important market both in Turkey and abroad. In this study, the apparent porosity (n_a), dry and saturated unit volume weight (γ_k , γ_d) and uniaxial compressive strength (UCS) values of 56 cores taken from the travertine blocks obtained from the Kaklık region were determined and these results were compared to longitudinal compressional wave velocity (V_p) and shear wave velocity (V_s) values. Measured V_p and V_s wave velocity values were increased with increasing γ_k , γ_d values whereas V_p and V_s wave velocities were linearly decreased with increasing n_a values. UCS values increased exponentially with increasing γ_k values and decreased exponentially with the increase of n_a values. V_p and V_s wave velocities exponentially increased with increasing UCS values. Shear modulus, poisson ratio and modulus of elasticity values were also calculated empirically by measured V_p and V_s values.

Keywords: Denizli travertine, longitudinal wave velocity, shear wave velocity, uniaxial compressive strength, elastic properties.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yaygın olarak doğal yapı taşı sektöründe kullanılan traverten, ismini Roma yakınlarında bulunan ve yakınında traverten çökellerinin bulunduğu Tivoli kasabasından almıştır. Chafetz ve Folk [1] travertenleri,

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : scelik@pau.edu.tr

organik veya inorganik işlevlerle çökelen tatlı su karbonatları olarak tanımlamışlardır. Karbondioksit içeren yeraltı sularının yer yüzeyine çıktıkları yerlerde çözünmüş karbondioksit basıncı atmosferdeki karbondioksitin kısmi basıncından yüksek olduğu için karbondioksitin atmosfere kaçışıyla suyun pH'ı yükselerek bikarbonat iyonları karbonata ayrışmaktadır. Bu durumda kalsitin doymunluk indeksi artmakta ve

traverten çökeli mi gerçekleşmektedir. Denizli Kaklık bölgesi Kuvaterner traverten çökelleri açılma tektoniğine bağlı olarak yer yüzeyine ulaşan sular tarafından çöktürülmektedir. Denizli travertenleri sedimantolojik olarak bantlı, tabakalı, kristalin kabuk, pisoid gibi türlere ayrılmakta ve çok büyük oranda kalsit mineralinden oluşmaktadır [2].

Traverten çökeli mi koşullarına bağlı olarak oldukça karmaşık bir içyapı sunmaktadır. Bu karmaşıklık, kaynak pozisyonu, taban topografyası, traverten çökelti nuların kimyasal bileşimi, organik aktivite ve yüzey suları gibi birçok faktörden kaynaklanmaktadır [3]. Bu durum aynı zamanda travertenin mekanik özelliklerini de büyük ölçüde etkilemektedir. Doğal yapı taşı olarak traverten genellikle iç ve dış yüzeylerde kaplama taşı olarak (binalar, oteller, saunalar, restoranlar, camiler vb.) kullanılmaktadır. Traverten, gözenekli bir yapıya sahip olmasına rağmen genellikle dayanımlı bir yapıtaşı olarak değerlendirilebilir, bu nedenle eski zamanlardan beri dünya çapında yapı taşı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Denizli havzasında Hierapolis, Laodikeia ve Tripolis gibi antik kentlerde travertenin yapı taşı olarak kullanıldığı bilinmektedir. Doğal yapı taşı olarak travertenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur [4-9].

Kayaların boyuna (sıkışma, V_p) ve enine (kayma, V_s) dalga hızları önemli ölçüde gözeneklilik ve doyumluk derecesinden etkilenmektedir [10]. V_p ve V_s dalga hızları pratik ve ekonomik olarak ölçülebildiği için kaya malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ultrasonik dalga hızlarını etkileyen en önemli faktörler, kaya türü, dokusal özellikler, yoğunluk, tane boyu ve şekli, gözeneklilik, anizotropi, su içeriği, gerilme ve sıcaklıktır [11]. Karakul ve Ulusay [12], on dört farklı kaya türü üzerinde, tek eksenli sıkışma dayanımı, çekme dayanımı, kohezyon, elastisite modülü ve V_p dalga hızlarını farklı doyumluk koşullarında incelemiştir. İncelenen kaya türleri için, V_p dalga hızının gözeneklilikle ters, yoğunlukla doğru orantılı olarak değiştiğini ve kaya malzemesi içindeki farklı fazların ifade edilebildiği katı tane yoğunluğu ve gözeneklilik özellikleri kullanılarak V_p dalga hızının tahminine olanak sağlayan bir eşitlik önermişlerdir. Soete vd. [13], Denizli travertenleri ve Macaristan'dan iki grup traverten üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada V_p ve V_s hızları ile gözeneklilik ve gözenek türü ilişkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, tüm örneklerin gözenekliliğinin % 2.8 ile 34.7 arasında, V_p hızlarının 3.695 ile 6.097 km/s arasında ve V_s hızlarının ise 2.037 ile 3.140 km/s arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Örneklerin tane yoğunluklarında değişiklik olmadığından, kütle yoğunluğunun hemen hemen gözenekliliğe bağlı olduğunu belirtmişler, boyuna ve enine dalga hızlarının azalan gözeneklilikle artan bir eğilim gösterdiklerini vurgulamışlardır. V_p ve V_s hızlarının ölçümünde çalışmanın amacı doğrultusunda örnekler 40 MPa çevre basıncı uygulandı ğı belirtilmiştir. V_p/V_s hızları oranlarının 1.8 ile 2 arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Kuşçu ve Demiray [14], Yapı taşı olarak kullanılan kayaların (Diyabaz, andezit, trakiandezit, kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kristalize kireçtaşı ve traverten) görünür porozite, gözeneklilik oranı ve basınç dayanımı değerlerinin V_p dalga hızlarıyla ilişkilerini incelemiştir. Elde ettikleri verilere göre, mağmatik ve tortul kökenli kayaların porozite değerleri düştükçe V_p dalga hızlarının doğrusal olarak arttığını belirtmişlerdir. Çelik [15], Afyonkarahisar bölgesinden, Ayazini, Seydiler, Döğ er ve Seyitgazi tüflerinin fiziko-mekanik özellikleri ile V_p dalga hızları arasındaki ilişkileri incelemiştir. Tüf örnekleri üzerinde, V_p dalga hızlarının porozite ve su emme değerlerine bağlı doğrusal olarak azaldığını, yoğunluk, TSD ve eğilme dayanımı değerlerinin artışına bağlı olarak ise doğrusal olarak arttığını belirlemiştir. Ayrıca Karbonat ve benzeri kaya türlerinin TSD değerlerini tahmin etmek için gerçekleştirilmiş çok sayıda çalışma mevcuttur [16-36].

Bu çalışma kapsamında, Denizli travertenlerinin kuru ve doyum birim hacim ağırlık, görünür porozite ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin, V_p ve V_s hızlarıyla karşılaştırılarak bu değerlerin V_p ve V_s hız değerlerinden pratik ve ekonomik olarak tahmin edilebilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca ölçülen ultrasonik dalga hızlarından Denizli travertenleri için hesaplanan kayma modülü, poisson oranı ve elastisite modüllerinin literatüre kazandırılması ayrıca amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Denizli Kaklık bölgesinden temin edilmiş blok örneklerden ASTM [37] standardına göre boy/çap oranı 2 olan 54 mm çaplı 56 adet silindirik karot örnekleri hazırlanmıştır (Şekil 1). Örneklerin alt ve üst yüzeylerinin paralel olması için taşlama makinası kullanılarak aşındırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Örnek hazırlama ve tüm deneyler Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Traverten karot örneklerinin görünümü. (A view of prepared core samples)

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

3.1. Bazı Fiziksel özellikler (Some Physical Properties)

Denizli travertenlerinden hazırlanmış 56 adet örneğin kuru, doyum birim hacim ağırlığı ve görünür porozite değerleri belirlenmiştir. Belirlenen değerler Çizelge 1'de sunulmuştur. Kuru birim hacim ağırlığı değerlerinin

18.73 ile 24.56 arasında değiştiği ve ortalama değerin 23.15 kN/m^3 olduğu belirlenmiştir. Travertenler bu değerle Anon [38]'a göre orta birim hacim ağırlıklı kaya grubuna girmektedir. Doymun birim hacim ağırlığı bakımından ise değerlerin 20.94 ile 24.82 arasında değiştiği ve ortalama değerin 23.68 kN/m^3 olduğu belirlenmiştir. Görünür gözeneklilik değerlerinin çok geniş bir aralıkta değiştiği belirlenmiştir. Traverten kaya türünün gözeneklilik değerinin geniş bir aralıkta değişmesi V_p , V_s ve TSD değerlerinin de geniş aralıkta değişmesine neden olmaktadır.

3.2. V_p , V_s ve TSD değerlerinin Belirlenmesi

Çizelge 1. Denizli travertenlerinin belirlenen bazı fiziksel özellikleri (Some physical properties of Denizli travertines)

Parametre	Min.	Maks.	Ort.	Std. Sapma	Sınıflama (Anon, 1979)
Kuru birim hacim ağırlık γ_k (kN/m^3)	18.73	24.56	23.15	1.43	Düşük-Orta
Doymun birim hacim ağırlık γ_d (kN/m^3)	20.94	24.82	23.68	1.02	Düşük-Orta
Görünür gözeneklilik (%)	1.73	25.27	5.37	4.63	Düşük-Yüksek

(Determination of V_p , V_s and UCS values)

Gerek arazide, gerekse laboratuvar ölçüğünde malzemeden geçen boyuna ve enine dalgalarının hızları kayaların karakterizasyonu amacıyla sıkça kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında V_p ve V_s dalga hızlarının ölçümünde, Pundit Lab [39] ultrasonik deney cihazı kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Bu çalışmada kullanılan Proceq Pundit Lab+ ultrasonik dalga hız ölçüm cihazı ve P (54 kHz) ve S (250 kHz) dalga transdüserleri. (Proceq Pundit Lab+ ultrasonic test device and its P (54 kHz) and S (250 kHz) wave transducers used in this study)

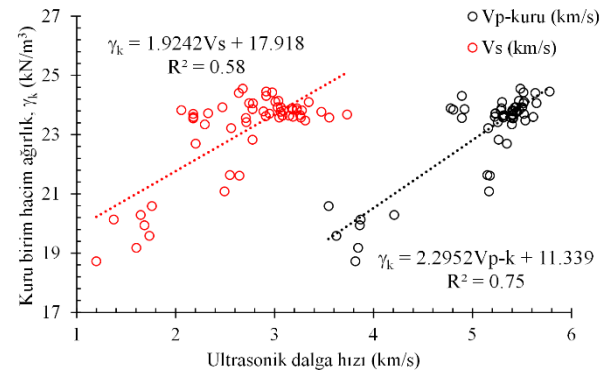
V_p ölçümleri 54 kHz frekanslı, V_s ölçümleri ise 250 kHz frekanslı transdüserler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaya malzemelerin ultrasonik dalga hızlarının ölçümü çok pratik ve ekonomiktir. Bu sebeple özellikle mekanik parametrelerin tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin bir uçundan diğer ucuna ultrasonik dalganın geçiş zamanı ölçüldükten sonra, bu değer dalga geçiş yolu uzunluğuna bölünmesiyle ilgili hız belirlenmektedir. Her örnek üzerinde V_p ve V_s hızları belirlenmiştir. Elde edilen ultrasonik dalga hızları topluca Çizelge 2'de verilmiştir.

4. DENEY VERİLERİ ARASINAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI (INVESTIGATION OF RELATIONS BETWEEN TEST RESULTS)

Bu çalışma kapsamında, Denizli travertenleri üzerinde elde edilen tüm deneysel veriler Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2'de düşük gözeneklilikten yükseğe doğru her bir karot üzerinde elde edilen veriler sunulmuştur.

Doymun birim hacim ağırlığı ile doymun koşulda ölçülen V_p hızları arasında da kuru koşullara benzer olarak pozitif doğrusal bir ilişki belirlenmiştir. İlgili ilişkinin R^2 değeri ise 0.77 olarak bulunmuştur.

Şekil 4'de γ_d ile doymun koşuldaki boyuna dalga hızı (V_p) değerleri arasındaki dağılım verilmiştir.



Şekil 3. Denizli travertenleri için $\gamma_k - V_p$ ve V_s değerleri arasındaki ilişkiler (Correlation between dry unit weight and V_p , V_s velocities of Denizli travertines)

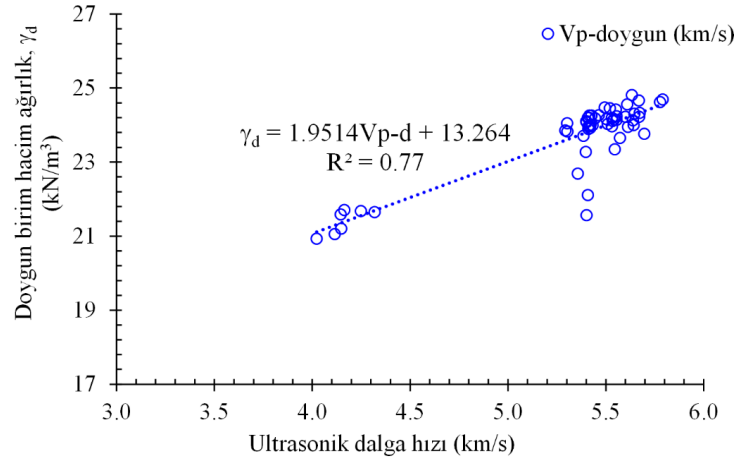
Denizli travertenlerinin kuru ve doymun birim hacim ağırlığı ile görünür gözeneklilik değerleri incelendiğinde, gerek kuru gerekse de doymun birim hacim ağırlığı değerlerinin artışıyla görünür gözenekliliğin doğrusal olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Kuru ve doymun birim hacim ağırlığı ile görünür gözeneklilik arasında belirlenen doğrusal azalmalar için sırasıyla 0.88 ve 0.76, R^2 değerleri elde edilmiştir (Şekil 5).

Denizli travertenlerinde V_p ve V_s dalga hızları ile görünür gözeneklilik değerlerinin değişimi incelenmiştir. Bu değişimde diğer ilişkilerde olduğu gibi doğrusal olduğu ve önceki çalışmalardaki bulgulara paralel olarak artan gözeneklilikle azaldığı belirlenmiştir. γ_k ile V_p ve V_s arasındaki ilişkiler Şekil 6'da verilmiştir. V_p ve V_s değerlerinin gözeneklilik ile değişimi 0.74 ve 0.56 determinasyon katsayısı değerleri ile belirlenmiştir.

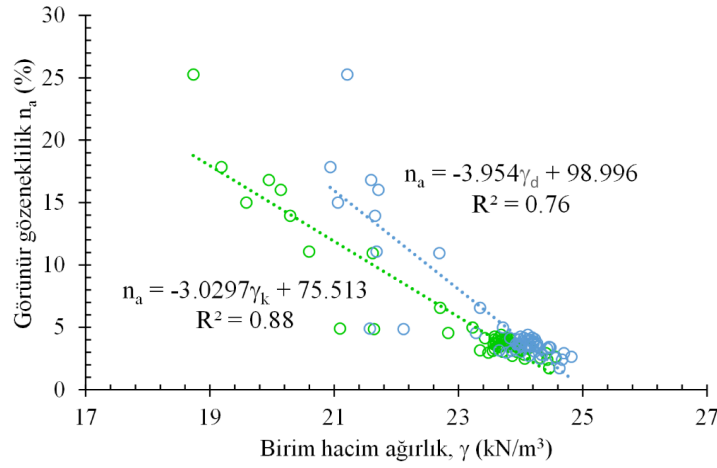
Fiziksel özellikler ile V_p ve V_s dalga hızları arasındaki ilişkilerin incelenmesinden sonra Denizli travertenlerinin TSD değerleri ile olan ilişkilerin araştırılması amaçlanmıştır.

Çizelge 2. Elde edilen deneysel veriler (The obtained test data)

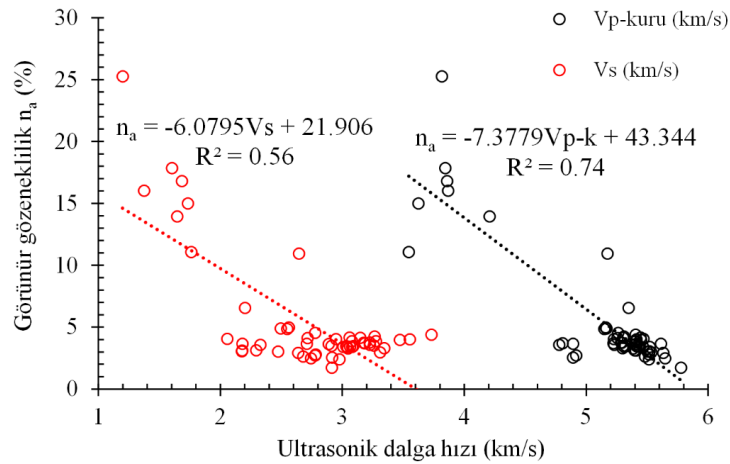
γ_k (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	n_a (%)	Kuru V_p (km/s)	V_s (km/s)	Doygun V_p (km/s)	Kayma modülü G (GPa)	Poisson oranı	Elastisite modülü E (GPa)	TSD (MPa)
24.46	24.63	1.73	5.777	2.914	5.777	21.18	0.33	56.31	63.64
24.43	24.67	2.41	5.515	2.976	5.669	22.06	0.29	57.11	31.16
24.07	24.31	2.49	5.646	2.742	5.646	18.45	0.35	49.66	33.77
24.31	24.57	2.56	4.891	2.915	5.609	21.07	0.22	51.60	36.35
24.56	24.82	2.63	5.483	2.678	5.632	17.96	0.34	48.25	33.54
23.87	24.13	2.72	4.918	2.777	5.638	18.76	0.27	47.51	49.07
24.06	24.34	2.80	5.514	2.780	5.672	18.97	0.33	50.43	27.11
24.41	24.70	2.93	5.633	2.637	5.790	17.31	0.36	47.07	33.74
23.48	23.77	2.97	5.533	3.308	5.696	26.20	0.22	64.03	34.23
23.93	24.23	3.05	5.502	2.473	5.670	14.92	0.37	40.99	35.82
23.70	24.00	3.05	5.518	2.176	5.641	11.45	0.41	32.24	38.73
23.55	23.86	3.12	5.408	2.177	5.293	11.39	0.40	31.96	45.80
23.35	23.66	3.15	5.396	2.294	5.571	12.53	0.39	34.83	35.89
23.58	23.90	3.28	5.385	3.047	5.410	22.32	0.26	56.45	46.73
24.10	24.43	3.31	5.298	3.344	5.551	27.47	0.17	64.23	45.17
24.15	24.48	3.39	5.467	3.037	5.494	22.71	0.28	58.00	27.35
23.65	23.99	3.40	5.313	3.081	5.413	22.89	0.25	57.08	43.26
24.12	24.46	3.42	5.520	3.007	5.520	22.23	0.29	57.32	42.04
23.92	24.26	3.44	5.427	3.064	5.427	22.90	0.27	57.99	42.63
23.81	24.15	3.47	5.412	3.088	5.541	23.16	0.26	58.30	45.58
23.93	24.27	3.48	5.438	3.030	5.463	22.41	0.27	57.13	39.42
23.63	23.97	3.49	5.302	2.911	5.530	20.42	0.28	52.44	30.85
23.67	24.01	3.51	5.321	3.258	5.421	25.62	0.20	61.49	27.97
23.89	24.24	3.59	4.777	3.225	5.555	25.34	---	54.80	46.34
23.73	24.08	3.59	5.230	2.327	5.401	13.10	0.38	36.08	20.54
23.79	24.14	3.64	5.407	2.887	5.554	20.22	0.30	52.59	34.36
23.56	23.92	3.66	4.892	2.709	5.418	17.63	0.28	45.10	31.47
23.60	23.96	3.66	5.613	2.179	5.613	11.43	0.41	32.26	24.93
23.61	23.97	3.70	5.223	3.186	5.419	24.43	0.20	58.83	49.62
23.84	24.21	3.71	4.806	3.182	5.412	24.62	0.11	54.64	44.05
23.90	24.26	3.74	5.292	3.175	5.416	24.57	0.22	59.89	66.01
23.83	24.20	3.76	5.284	3.224	5.408	25.25	0.20	60.79	45.59
23.65	24.03	3.88	5.407	3.077	5.510	22.84	0.26	57.57	45.21
23.82	24.20	3.88	5.401	3.275	5.531	26.05	0.21	63.00	57.23
23.78	24.17	3.98	5.451	3.472	5.502	29.22	0.16	67.72	54.16
23.58	23.98	4.03	5.411	3.552	5.411	30.34	0.12	68.05	36.09
23.71	24.11	4.04	5.229	2.948	5.400	21.01	0.27	53.25	41.75
23.83	24.23	4.06	5.469	2.057	5.600	10.28	0.42	29.15	33.37
23.43	23.83	4.14	5.254	2.714	5.303	17.59	0.32	46.38	33.20
23.65	24.05	4.16	5.302	3.147	5.302	23.88	0.23	58.65	54.11
23.77	24.18	4.18	5.445	3.058	5.445	22.68	0.27	57.58	61.62
23.58	24.00	4.25	5.308	3.265	5.432	25.64	0.20	61.30	40.51
23.68	24.12	4.40	5.405	3.731	5.534	33.63	---	70.26	43.91
22.83	23.28	4.54	5.261	2.777	5.397	17.96	0.31	46.94	31.45
21.64	22.12	4.87	5.149	2.548	5.408	14.32	0.34	38.32	22.47
21.09	21.57	4.90	5.165	2.494	5.401	13.38	0.35	36.06	16.29
23.22	23.71	4.99	5.158	2.561	5.386	15.53	0.34	41.52	21.24
22.70	23.35	6.57	5.347	2.202	5.545	11.22	0.40	31.37	33.58
21.62	22.69	10.94	5.174	2.645	5.356	15.42	0.32	40.80	20.56
20.59	21.68	11.08	3.545	1.760	4.248	6.51	0.34	17.39	7.55
20.29	21.66	13.94	4.207	1.646	4.318	5.61	0.41	15.81	8.46
19.59	21.06	15.01	3.623	1.734	4.114	6.00	0.35	16.23	6.25
20.14	21.71	16.03	3.867	1.373	4.164	3.87	0.43	11.06	9.01
19.95	21.59	16.80	3.859	1.684	4.145	5.77	0.38	15.95	7.42
19.18	20.94	17.86	3.844	1.602	4.022	5.02	0.39	14.01	5.93
18.73	21.21	25.27	3.816	1.198	4.148	2.74	0.45	7.92	6.52



Şekil 4. Denizli traverteni için γ_d ile V_{p-d} değerleri arasındaki ilişkiler (Relations between unit weight and V_{p-d} velocity values of Denizli travertines)



Şekil 5. Denizli traverteni için n_a ile γ_k ve γ_d değerlerinin değişimi (Variations of apparent porosities with dry and saturated unit weights of Denizli travertines)

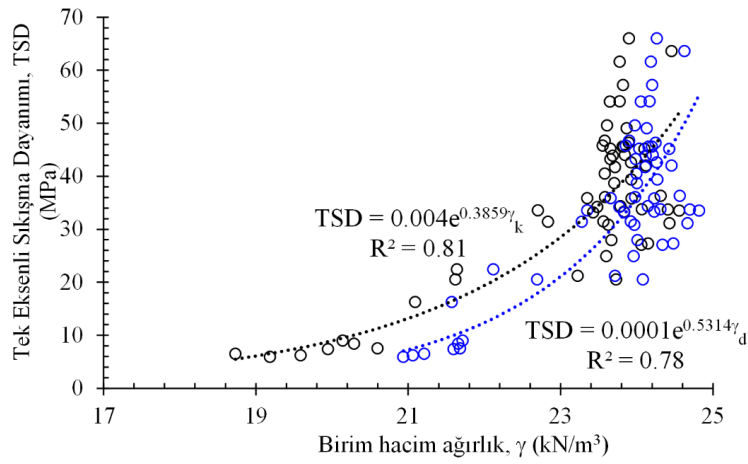


Şekil 6. Denizli traverteni için n_a ile V_p ve V_s değerleri arasındaki ilişkiler (Correlations of apparent porosities with V_p and V_s wave velocities of Denizli travertines)

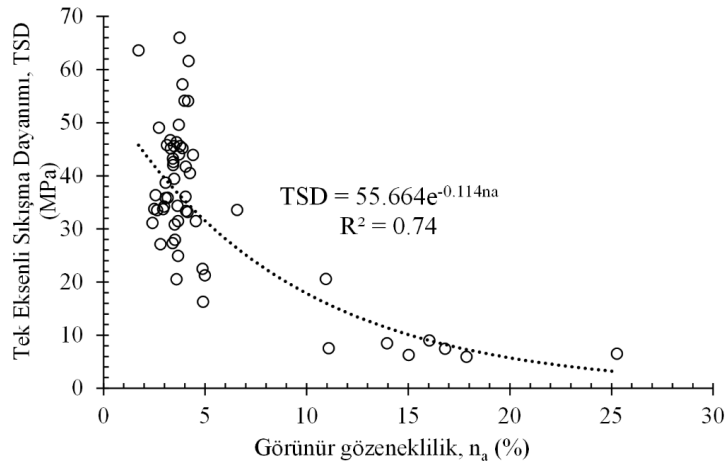
Bu amaç doğrultusunda elde edilen veriler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 7'de TSD değerleri ile γ_k ve γ_d değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Elde edilen ilişkilerin üstel fonksiyonlarla ifade edilebildiği görülmüş ve γ_k değerlerinin artışı ile TSD değerlerinin de

üstel olarak arttığı ve değerler arasında 0.81 gibi yüksek bir R^2 değeri elde edilmiştir.

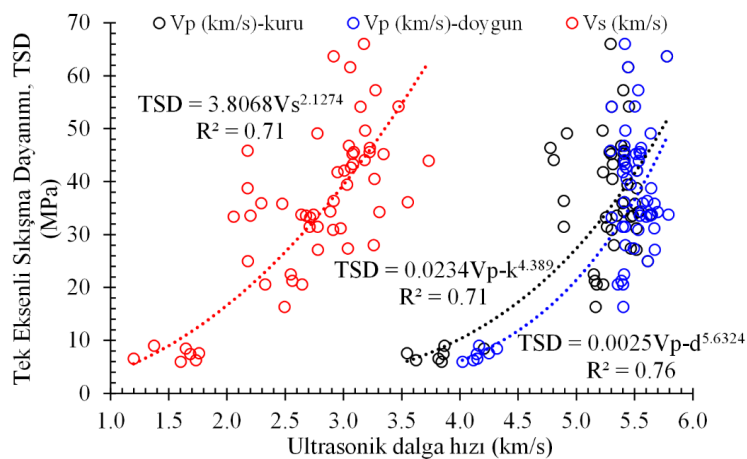
Çalışmanın ana amacı doğrultusunda, TSD değerleri ile Ultrasonik dalga hızı değerleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.



Şekil 7. Denizli traverteni için γ_k ve γ_d ile TSD değerleri arasındaki ilişkiler (Correlations of γ_k and γ_d with UCS values of Denizli travertines)



Şekil 8. Denizli traverteni için n_a ile TSD değerleri arasındaki ilişkiler (Correlation of n_a and UCS values of Denizli travertines)



Şekil 9. Denizli travertenlerinde TSD değerleri ile V_p ve V_s değerleri arasındaki ilişkiler (Relationships between UCS and V_p , V_s values of Denizli travertines)

Şekil 9'da bu ilişkiler topluca sunulmuştur. Kuru koşullarda ölçülmüş V_p ve V_s değerleri ve doymuş koşulda ölçülmüş V_p -d değerlerinin artışı ile Denizli travertenlerinin TSD değerlerinin üstel olarak arttığı

belirlenmiştir. Kuru koşullarda ölçülmüş V_p ve V_s değerleri ile TSD değerleri arasında belirlenen ilişkilerde birbiri ile aynı olarak 0.71 R^2 değeri elde edilmiştir.

Çizelge 3. Denizli travertenleri için hesaplanan elastik parametreler. (Elastic parameters calculated for Denizli Travertines)

Parametre	Min.	Maks.	Ort.	Std. Sapma
Kayma modülü, G (GPa)	2.74	33.63	18.53	7.19
Poisson oranı, ν	0.11	0.45	0.30	0.08
Elastisite Modülü, E (GPa)	7.92	68.05	46.55	15.82

Örneklerin doygun koşullarda ölçülen V_p -d değerleri ile TSD değerleri arasında da benzer ilişki elde edilmiş ve bu ilişkinin R^2 değeri ise 0.76 olarak belirlenmiştir.

V_p ve V_s dalga hızları ölçüldüğünde kayalar için aşağıda verilen formüller kullanılarak elastik malzeme parametreleri hesaplanabilmektedir [40].

$$G = \gamma V_s^2 \quad (1)$$

Burada, G: kayma modülü (Pa), γ : birim hacim ağırlık (kg/m^3), V_s : kayma dalga hızı (m/s).

$$\theta = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (2)$$

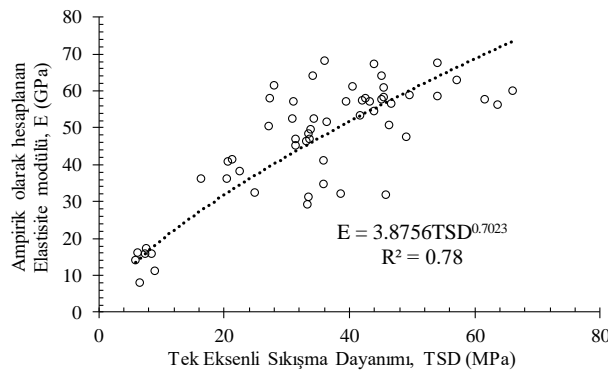
Burada, ν : poisson oranı, V_p : boyuna dalga hızı (m/s), V_s : kayma dalga hızı (m/s) olarak verilmiştir. Yukarıda verilen formüllerle (1 ve 2) kayma modülü ve poisson oranı değerleri hesaplandıktan sonra aşağıda verilen formülle (3) elastisite modülü (E, GPa) hesaplanabilmektedir.

$$E = 2G(1 + \theta) \quad (3)$$

V_p ve V_s dalga hızları ölçüldüğünden Denizli travertenleri için Çizelge 3'de verilen elastik parametreler hesaplanabilmektedir.

Hesaplama sonuçlarına göre Denizli travertenlerinin kayma modülü, poisson oranı ve elastisite modülü değerleri ortalama değerler olarak sırasıyla, 18.53 GPa, 0.30 ve 46.55 GPa olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma ile Denizli travertenleri için hesaplanan bu elastik parametreler literatüre kazandırılmıştır.

Şekil 10'da TSD değerleri ile E değerlerinin dağılımı verilmiştir. Bu ilişki, üstel bir fonksiyonla belirtilmiş olduğunda R^2 değerinin 0.78 olduğu ortaya konmuştur. Bu ilişki ile Denizli travertenleri için TSD değerlerinden E değerlerinin tahmini için bir yaklaşım önerilmiştir.

**Şekil 10.** Denizli travertenlerinin TSD değerleri ile E değerlerinin dağılımı (Correlation of UCS and E values of Denizli travertines)

5. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu deneysel çalışma sonucunda Denizli-Kaklık bölgesinden alınan traverten karot örneklerinin kuru, doygun birim hacim ağırlık, görünür porozite ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri ile Ultrasonik dalga hızları arasındaki ilişkiler araştırılmış ve bu değerler arasındaki ilişkiler yüksek determinasyon katsayıları ile ilişkiler ortaya konmuştur. Ultrasonik dalga hızlarının ekonomik ve pratik ölçümüyle, doğrudan ölçülen kaya malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin tahmini günümüzde tercih edilmektedir.

Denizli travertenlerinin kuru ve doygun birim hacim ağırlıklarının artışıyla, ölçülen V_p ve V_s dalga hızı değerlerinin de doğrusal olarak arttığı belirlenmiştir. Bunun tersine örneklerin görünür porozite değerlerinin artışıyla V_p ve V_s dalga hızlarında doğrusal bir düşüm gözlenmiştir. TSD değerleri ise γ_k değerlerinin artışıyla üstel olarak artmakta, n_a değerlerinin artışıyla ise üstel olarak azalmaktadır. V_p ve V_s dalga hızlarının artışıyla TSD değerlerinin üstel olarak arttığı ortaya konmuştur. Denizli travertenleri için elastik parametrelerden olan kayma modülü, poisson oranı ve elastisite modülü değerleri V_s ve V_p değerlerinden ampirik olarak hesaplanmış ve sunulmuştur. Bu değerler ortalama olarak 18.53 GPa, 0.30 ve 46.55 GPa olarak hesaplanmıştır.

Travertenin özellikle yapı taşı olarak kullanılması durumunda kullanım yeri ve şeklinin seçiminde göz önünde bulundurulması gereken fiziksel ve dayanım özelliklerinin tahmini için pratik yöntemlere ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu çalışma ile uluslararası önemli bir pazara sahip olan Denizli travertenleri ve benzer özellikler sunan farklı bölge travertenlerinin bazı fiziksel ve TSD değerlerinin, V_p ve V_s dalga hızlarından ekonomik ve pratik olarak tahmini mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Chafetz H.S. and Folk R.L., "Travertines: Depositional morphology and the bacterially constructed constituents", *Journal of Sedimentary Petrology* 54(1): 289-316, (1984).
- [2] Özkul M., Kele S., Gökçöz A., Shen C.C., Jones B., Baykara M.O., Fözizs I., Németh T., Chang Y.W. and Alçıçek M.C., "Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli extensional basin based on their depositional and geochemical data", *Sedimentary Geology*, 294: 179-204, (2013).
- [3] Özkul M., Varol B. and Alçıçek M.C., "Depositional environments and petrography of the Denizli travertines", *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 125: 13-29, (2002).

- [4] Török A. and Vásárhelyi B., “The influence of fabric and water content on selected rock mechanical parameters of travertine, examples from Hungary”, *Engineering Geology*, 115:237-245, (2010).
- [5] Yağız S., “P-wave velocity test for the assessment of some geotechnical properties of rock materials”, *Bulletin of Materials Science*, 34: 943-957, (2011).
- [6] García-del-Cura M.A., Benavente D., Martínez-Martínez J. and Cueto N., “Sedimentary structures and physical properties of travertine and carbonate tufa building stones”, *Construction and Building Materials*, 28: 456-467, (2012).
- [7] Çobanoğlu İ. and Çelik S.B., (2012) Determination of strength parameters and quality assessment of Denizli travertines (SW Turkey). *Engineering Geology*, 129-130:38-47, (2012).
- [8] Çelik S.B., Çobanoğlu İ. and Atatanır L., “General material properties of Denizli (SW Turkey) travertines as a building stone”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73: 825-838, (2014).
- [9] Ağan C., “A preliminary study on the conservation and polishing performance of Şanlıurfa limestones as a traditional building material”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75: 13-25, (2016).
- [10] Toksöz M.N., Cheng C.H. and Timur A., “Velocities of Seismic Waves in Porous Rocks”, *Geophysics*, 41(4): 621-645, (1976).
- [11] Kahraman S., “The correlations between the saturated and dry P-wave velocity of rocks”, *Ultrasonics*, 46: 341-348, (2007).
- [12] Karakul H. and Ulusay R., “Kayaların Dayanım Özelliklerinin Farklı Doygunluk koşullarında P-dalga Hızından Kestirimi ve P-Dalga Hızının Fiziksel Özelliklere Olan Duyarlılığı”, *Yerbilimleri*, 33(3): 239-269, (2012).
- [13] Soete J., Kleipool L.M., Claes H., Claes S., Hamaekers H., Kele S., Özkul M., Foubert A., Reijmer J.J.G. and Swennen, R., “Acoustic properties in travertines and their relation to porosity and pore types”, *Marine and Petroleum Geology*, 59: 320-335, (2015).
- [14] Kuşçu M. ve Demiray Z., “Mermer ve Yapıtaşı Olarak Kullanılan Farklı Jeolojik Kökenli Kayaçların Porozite, P-Dalga Hızı ve Basınç Dayanımı İlişkisinin İncelenmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2): 16-23, (2015).
- [15] Çelik M.Y., “Afyonkarahisar yöresi tüflerinin fiziko-mekanik özelliklerinin ultrases dalga hızı ile ilişkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 961-970, (2017).
- [16] Deere D.U. and Miller R.P., “Engineering classification of intact rock”, *Technical Report AFWL-TR-65-116*, Kirtland Air Force Base, New Mexico, 300p, (1966).
- [17] Katz O., Reches Z. and Roegiers J-C., “Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37: 723-728, (2000).
- [18] Kahraman S., “Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38: 981-994, (2001).
- [19] Palchik V. and Hatzor Y.H., “The influence of porosity on tensile and compressive strength of porous chalk”, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 37(4): 331-341, (2004).
- [20] Yaşar E. and Erdoğan E., “Correlating sound velocity with the density, compressive strength and Young’s modulus of carbonate rocks”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41: 871-875, (2004).
- [21] Karakuş M., Kumral M. and Kılıç O., “Predicting elastic properties of intact rocks from index tests using multiple regression modelling” *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 42:323-330, (2005).
- [22] Fener M., Kahraman S., Bilgil A. and Günaydın O., “A comparative Evaluation of indirect methods to estimate the compressive strength of rocks”, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 38(4): 329-343, (2005).
- [23] Sharma P.K. and Singh T.N., “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).
- [24] Yağız S., “Predicting uniaxial compressive strength, modulus of elasticity and index properties of rocks using Schmidt hammer”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68: 55-63, (2009).
- [25] Yılmaz I. and Yüksek G., “Prediction of the strength and elasticity modulus of gypsum using multiple regression”, ANN, and ANFIS models. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(4): 803-810, (2009).
- [26] Dehghan S., Sattari G.H., Chehreh C.S. and Aliabadi M., “Prediction of unconfined compressive strength and modulus of elasticity for Travertine samples using regression and artificial neural networks” *Mining Science and Technology*, 20: 41-46, (2010).
- [27] Sharma P.K., Khandelwal M. and Singh T.N., “A correlation between Schmidt hammer rebound numbers with impact strength index, slake durability index and P-wave velocity” *International Journal of Earth Sciences*, 100(1): 189-195, (2011).
- [28] Altındağ R., “Correlation between P-wave velocity and some mechanical properties for sedimentary rocks. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 112: 229-237, (2012).
- [29] Ersoy H. and Kanık D., “Multicriteria decision-making analysis based methodology for predicting carbonate rocks’ uniaxial compressive strength”, *Earth Sci Res SJ* 16(1): 65-74, (2012).
- [30] Ceryan N., Okkan U. and Kesimal A., "Prediction of unconfined compressive strength of carbonate rocks using artificial neural networks”, *Environmental Earth Sciences*, 68: 807-819, (2013).
- [31] Karakul H. and Ulusay R., “Empirical correlations for predicting strength properties of rocks from P-wave velocity under different degrees of saturation. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46: 981-999, (2013).
- [32] Momeni E., Nazir R., Armaghani D.J. and Mohamad E.T., “Prediction of unconfined compressive strength of rocks: a review paper” *Jurnal Teknologi*, 77(11): 43-50, (2015).
- [33] Selçuk L. and Nar A., “Prediction of uniaxial compressive strength of intact rocks using ultrasonic pulse velocity and rebound-hammer number”, *Quarterly*

- Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 49(1): 67-75, (2015).
- [34] Parent T., Domede N., Sellier A. and Mouatt L., "Mechanical characterization of limestone from sound velocity measurement", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, (79): 149-156, (2015).
- [35] Madhubabu N., Singh P.K., Kainthola A., Mahanta B., Tripathy A. and Singh T.N., "Prediction of compressive strength and elastic modulus of carbonate rocks", *Measurement*, 88: 202-213, (2016).
- [36] Azimian A., "Application of statistical methods for predicting uniaxial compressive strength of limestone rocks using nondestructive tests", *Acta Geotechnica*, 12: 321-333, (2017).
- [37] ASTM, "Standard practice for preparing rock core specimens and determining dimensional and shape tolerances (Designation: D 4543). *Annual Book of ASTM Standards*, Philadelphia, PA, USA, (1985).
- [38] Anon, "Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, (19): 364-371, (1979).
- [39] Proceq, Pundit lab/Pundit lab+ ultrasonic instrument operating instructions. Proceq SA, 31p, (2014).
- [40] Jeager J.C. and Cook N.G.W. "*Fundamentals of Rock Mechanics*" 3rd ed., Chapman and Hall, London, (1979).