



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

Afyonkarahisar yöresi tüflerinin fiziko-mekanik özelliklerinin ultrases dalga hızı ile ilişkisinin incelenmesi

The relationship of physico-mechanical properties with ultrasonic wave velocity of Afyonkarahisar tuffs

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa Yavuz ÇELİK

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çelik M. Y., “Afyonkarahisar yöresi tüflerinin fiziko-mekanik özelliklerinin ultrases dalga hızı ile ilişkisinin incelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 961-970, (2017).

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

DOI: 10.2339/politeknik.369111

Afyonkarahisar Yöresi Tüflerinin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Ultrases Dalga Hızı ile İlişkisinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mustafa Yavuz ÇELİK

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğal Yapıtaşları Teknolojisi Programı, Ali Çetinkaya Kampüsü, 03100, Afyonkarahisar

(Geliş/Received : 24.10.2016 ; Kabul/Accepted : 14.01.2017)

ÖZ

Yoğunluk, porozite, su emme, ultrases dalga hızı, tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı yapı taşı olarak kullanılan kayaçların önemli özelliklerindedir. Bu çalışmada, yapı taşı olarak kullanılan dört farklı volkanik tüfün fiziko-mekanik özellikleri laboratuvarında belirlenmiş ve P-dalga hızı ile ilişkisi incelenmiştir. Test sonuçlarının regresyon analizi ile incelenmesi sonucunda tüm tüf örneklerinin fiziko-mekanik özellikleri ve P-dalga hızları arasında, önemli ilişkiler olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar P-dalga hızlarının, porozite ve su emme değerlerine bağlı olarak azaldığını, yoğunluk, tek eksenli basınç dayanımı ve eğilme dayanımının artışına bağlı olarak da önemli oranda arttığını göstermiştir. P-dalga hızları ile fiziko-mekanik özellikler arasında en iyi korelasyon ilişkisi Seyitgazi tüflerinde 0,9824 ile tek eksenli basınç dayanımı, Döğer tüflerinde 0,895 ile yoğunluk, 0,9798 ile porozite ve Ayazini tüflerinde 0,9824 ile ağırlıkça su emme değerleri arasında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapı taşı, tüf, ultrases dalga hızı, fiziko-mekanik özellikler.

The Relationship of Physico-Mechanical Properties with Ultrasonic Wave Velocity of Afyonkarahisar Tuffs

ABSTRACT

Density, porosity, absorption water, ultrasonic pulse velocity, uniaxial compressive strength, flexural strength is important properties of rocks which are used as building stones. In this study, the physico-mechanical properties of four volcanic tuff rock types were determined in the laboratory and correlated with P-wave velocity. Test results were indicated by simple regression analysis, good correlations were found between physico-mechanical properties and P-wave velocity of the all tuff samples. The results show that the directly proportional decrease in porosity and water absorption by weight have some great significance in increase of the P-wave velocities while it rises with increasing density, uniaxial compressive strength and flexural strength data of the tested tuff stones. The best regression coefficient is obtained between P-wave velocities with density in the correlation coefficient of 0,895 for Döğer tuff, with porosity 0,9798 for Döğer tuff, with water absorption by weight 0,8555 for Ayazini tuff, with uniaxial compressive strength 0,9824 for Seyitgazi tuff.

Keywords: Building stone, tuff, ultrasonic wave velocity, physico-mechanical properties.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Antik dönemlerden beri yapıtaşı olarak kullanılan doğal taşların en önemlilerinden birisi de tüflerdir. Anadolu'da; Hitit, Eski Yunan, Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı uygarlık dönemlerine ait tarihi eserlerde de tüflerin kullanıldığı görülmektedir. Bu eserlerin inşasında kullanılan doğal taşların elde edildiği taş ocaklarından bazıları halen çalışmaktadır. Anadolu Selçuklu döneminde, daha çok Orta ve Doğu Anadolu'daki tüflerle, ünlü medreseler, camiler, türbeler, kervansaraylar inşa edilmiştir. Özellikle Orta Anadolu'da çeşitli şehirlerde renkli ve volkanik tüflerden

yapılan eserler, günümüzde de işlevlerini sürdürmektedir [1].

Selçuklu ve Osmanlı Dönemi yapıları ile tarihi dokunun yaşatıldığı, Anadolu'daki Türk kültürünü yansıtan önemli eserlerin bulunduğu illerden birisi de Afyonkarahisar'dır. Afyonkarahisar'da, günümüze kadar gelebilene cami, medrese, köprü ve han gibi genel kullanıma açık tarihi yapıların yanı sıra, çeşme, hamam, bent ve su kemeri gibi su mimarisi yapıları da önemli bir yer tutmaktadır. Bu tarihi yapıların birçoğunda Ayazini ve Seydiler tüfleri kullanılmıştır [2].

Tüfler, volkanik kökenli sedimanter oluşumlardır. İyi pekişmemiş tüfler, zaman içerisinde bol gözenekli yapısı nedeniyle, diğer doğal taşlara göre daha çabuk ayrışmaktadır. Tüfler değişik oranlarda, cam parçaları

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mycelik@aku.edu.tr

(pümis, cam), kristaller ve kayaç parçaları (litik) gibi üç farklı bileşenden oluşmaktadır [3]. Tüflerin dayanımı, bileşimde yer alan minerallere, boşluk miktarına, kimyasal bileşimine ve camsı madde içeriğine göre değişmektedir. Tüfler ocaktan çıkarıldığında bir miktar doğal nem içeriğinden dolayı kolay şekillendirilmektedir. Yapıtışı olarak kullanılacak tüfler hemen kullanılmaz, işlendikten sonra açık havada kurumaya bırakılır ve bu süreçte sağlam kalanlar kullanılır. Önemli yapılarda yapıtaşı olarak kullanılacak kayaçların kullanıldığı yerde deformasyona uğramamaları için kullanılmadan önce birtakım tekniklerle denetlenmesi gerekmektedir.

20 kHz'in üzerindeki sesler ultrases olarak adlandırılır. Ultrases teknikler, uzun yıllardır madencilik ve jeoteknik uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunlar, kayaçların dinamik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan jeofizik ve laboratuvar çalışmalarıdır. Bu teknikler, uygulama kolaylığı ve malzemenin örselenmemesinden dolayı, çeşitli mühendislik çalışmalarında kullanılmaktadır. Kaya kütle deformasyonu ve basıncının tahmini, yeraltı açıklıklarının etrafında gelişmiş çatlak zonlarının büyüklüğü (uzunluğu), kayacın su içerme derecesinin saptanması ve çatlak kaya kütle karakteristiği sismik tekniklerin uygulandığı diğer bazı uygulamalardır [4].

Kayaçların fiziko-mekanik özellikleriyle, P-dalga hızları arasında yakın ilişkiler olduğu bilinmektedir. Del Río vd. [5], İspanya'daki granitlerin fiziko-mekanik özellikleri ile ultrases dalga yayılma hızları arasındaki ilişkiyi regresyon analizi ile incelemişlerdir. Kahraman [6], 11 magmatik, 15 sedimanter ve 15 metamorfik olmak üzere toplam 41 çeşit kayaç örneğinde kuru halde ve suya doygunluk derecesinin bir fonksiyonu olarak değişen P-dalga hızını incelemiştir. Sáez-Pérez ve Rodríguez-Gordill [7], Macael (Almería, İspanya), mermerlerindeki yapısal süreksizlikleri ultrases dalgalar kullanarak belirlemişlerdir. Kahraman ve Yeken [8], 14 değişik karbonatlı kayacın fiziko-mekanik özellikleriyle P-dalga hızları arasında çok kuvvetli ilişkilerin bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Sharma ve Singh [9], 7 farklı kayaç örneği üzerinde yaptıkları laboratuvar çalışmalarında P-dalga hızları ile darbe dayanım etkisi ve dağılmaya karşı dayanıklılık indeksi arasında ampirik bağıntılar geliştirmişlerdir. Fener [10], 9 farklı kayaç örneğinden 6 farklı çapta karot örneği kullanarak P-dalga hızlarının boyuta göre değişimini incelemiştir. Büyük çaplı örneklerde P-dalga hızının arttığı gözlenmiştir. Bunların yanı sıra birçok yazar yine aynı şekilde kayaçların mekanik özellikleri ile P-dalga hızının yayılması arasında yakın ilişki olduğunu tespit etmiştir [11-17].

Volkanik tüflerin, kolay kesilip şekillendirilebilme özelliğinden dolayı yerel olarak yapılarda değişik amaçlar için kullanımı gittikçe artmaktadır. Tüfler düşük maliyetli yapı malzemesidir. Özellikle gözenek miktarı, basınç dayanımı ve su emme miktarı gibi fiziksel özellikler, tüflerin kullanımını doğrudan etkileyen parametrelerdir. Bu makalede, Afyonkarahisar yöresinde

yapıtışı olarak kullanılan 4 farklı tüfün fiziko-mekanik özelliklerinin ultrases dalga hızı ile ilişkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Deneylerde, Afyonkarahisar yöresinde yapıtaşı olarak kullanılan Ayazini, Seydiler, Seyitgazi ve Döğer tüfleri kullanılmıştır. Bu tüf örneklerinin alındığı taş ocaklarının lokasyon haritası Şekil 1'de verilmiştir. Örneklerin alındığı Ayazini, Seydiler ve Döğer ocaklarında insan gücüne dayalı üretim yöntemi kullanılırken Seyitgazi tüf ocağında mekanik üretim yöntemi kullanılmaktadır. Bu ocaklara ait resimler Şekil 2'de verilmiştir. Her bir ocaktan ortalama 50x25x25 cm boylarında alınan bloklardan, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu Mermer Atölyesinde, deneyler için standartlarda öngörülen boyutlarda örnekler (70x70x70 mm) elde edilmiştir.

2.2. Yöntem (Method)

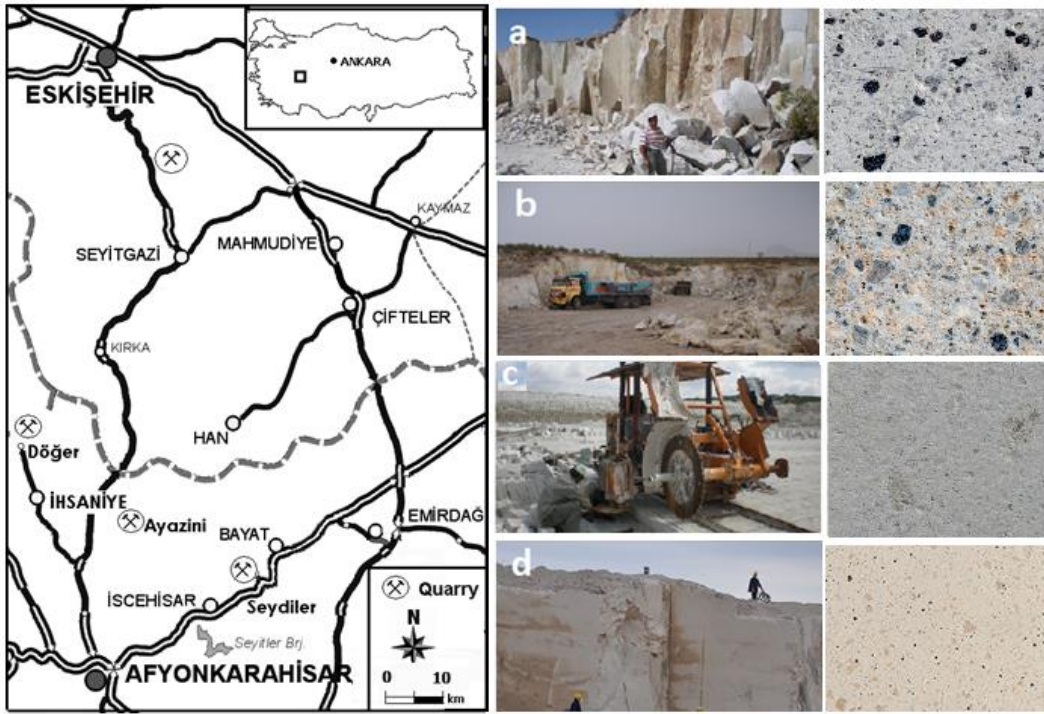
Deneylerde kullanılan tüflere kimyasal, fiziksel ve mekanik deneyler uygulanmıştır. Fiziksel ve mekanik deneyler TS ve TS EN standartlarına göre yapılmıştır. Tüflerin kimyasal analizi Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Doğaltaş Analiz Laboratuvarında Rigaku/ZSX Primus II marka XRF cihazı ile yapılmıştır. Fiziksel ve mekanik deneylerde Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Doğaltaş Analiz Laboratuvarında bulunan cihazlar kullanılmıştır. Fiziksel ve mekanik deneylerde kullanılan standartlar ve örnek özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Ultrases geçiş hızı deneyleri TS EN 14579 [18] (Turkish Standart European Norms) standardına göre yapılmıştır. Tüflerin ultrases geçiş hızı ölçümleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Doğaltaş Araştırma Laboratuvarında bulunan Ele marka Ultrases test cihazı (P-dalgası) ile yapılmıştır (54 kHz). Deneylerde her bir tüf cinsi için 6'şar adet 7x7x7 cm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Örneklerin iki yüzeyi arasındaki mesafe kumpas yardımıyla ölçülmüş, ölçüm yapılacak yüzeylerde hava boşluğunun kalmaması için özel yağ ile pürüzsüz olması sağlanmıştır. Propların (verici-alıcı) arasına numune yerleştirilerek aynı hizaya getirilmiş ve cihaz çalıştırılmıştır. Cihazdaki okunan değer kaydedilmiş ve ultrases geçiş hızı değerleri denklem (1) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$V = \frac{L}{t} \quad (1)$$

Burada; V: Ultrases geçiş hızı (m/sn), L: Yüzeyler arası mesafe (cm), t: Dalganın numuneden geçiş süresi (sn).

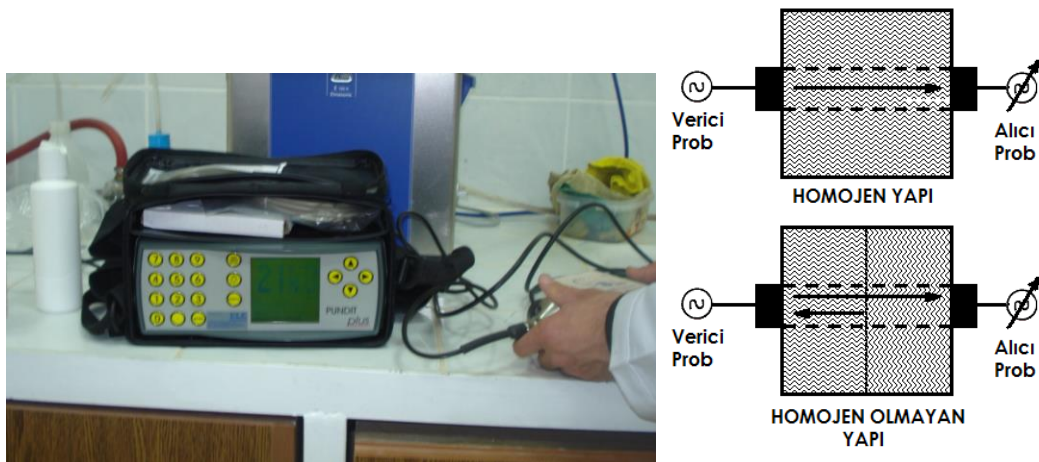
Sesin geçiş hızı taşın yoğunluğuna, gözenekliliğine ve çatlaklı yapısına bağlı olarak değişmektedir. Taşın yoğunluğu düşük ve bünyesinde gözenekli yapı ve çatlaklar var ise sesin geçiş hızı da bunlara bağlı olarak düşük olmaktadır (Şekil 2). Donma-çözülme deneyleri TS EN 12371 [23]'e göre yapılmış olup her bir tüf örneğine 25 donma-çözülme çevrimi uygulanmış ve malzeme kaybı % olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan tuf örneklerinin alındığı ocakların lokasyon haritası ve tuf örneklerinin görünümü. a: Ayazini, b: Seydiler, c: Seyitgazi, d: Döğer. (Location map of the tuffs used in the experiments, a: Ayazini, b: Seydiler, c: Seyitgazi, d: Döğer.)

Çizelge 1. Fiziko mekanik testlerde kullanılan örnekler ve ilgili standartlar. (* her bir tuf için) (Sample sizes and numbers for physico-mechanical tests and related standards)

Testler	Boyut (mm)	Örnek	Toplam	İlgili standart
Yoğunluk (g/cm^3)	70x70x70	6x4*	24	TS EN 1936 [19]
Ağırlıkça Su Emme (%)	70x70x70	6x4*	24	TS EN 13755 [20]
Hacimce Su Emme (%)	70x70x70	6x4*	24	TS EN 13755 [20]
Porozite (%)	70x70x70	6x4*	24	TS EN 1936 [19]
Ultrases Dalga Hızı ($km s^{-1}$)	70x70x70	6x4*	24	TS EN 14579 [18]
Basınç Dayanımı (MPa)	70x70x70	6x4*	24	TS EN 1926 [21]
Eğilme Dayanımı (MPa)	360x60 x60	6x4*	24	TS EN 12372 [22]
Donma Çözülme (Don Kaybı) (%)	70x70x70	6x4*	24	TS EN 12371 [23]



Şekil 2. Ultrases geçiş hızının kayacın yapısal özelliklerine göre şematik gösterimi ve ölçümü. (Schematic representation and measurement of ultrasound transit speed according to the structural properties of the rock)

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARIN İRDELENMESİ (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSIONS)

3.1. Tüflerin Kimyasal Analizleri (Chemical Analysis of Tuffs)

Ayazini, Seydiler, Döğer ve Seyitgazi tüflerine ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Tüflerin en büyük bileşeni SiO_2 olup %67,2 ile 73,50 arasında değişmektedir. Diğer bileşenler normal sınırlarda olup sadece Seydiler tüfünün ateş yayıtı diğerlerine göre daha azdır. Kimyasal analiz verilerine göre tüflerin kökenini bulmak amacıyla Le Bas, vd. [24] tarafından önerilen toplam alkali ve silis diyagramı kullanılmıştır. Ayazini, Seydiler ve Döğer Tüflerinin kimyasal analiz sonuçları, Le Bas, vd. tarafından önerilen toplam alkali ve silis diyagramına göre, riyolitik bileşimli olduklarını göstermektedir. Seyitgazi tüfleri ise trakitik bileşimlidir (Şekil 3).

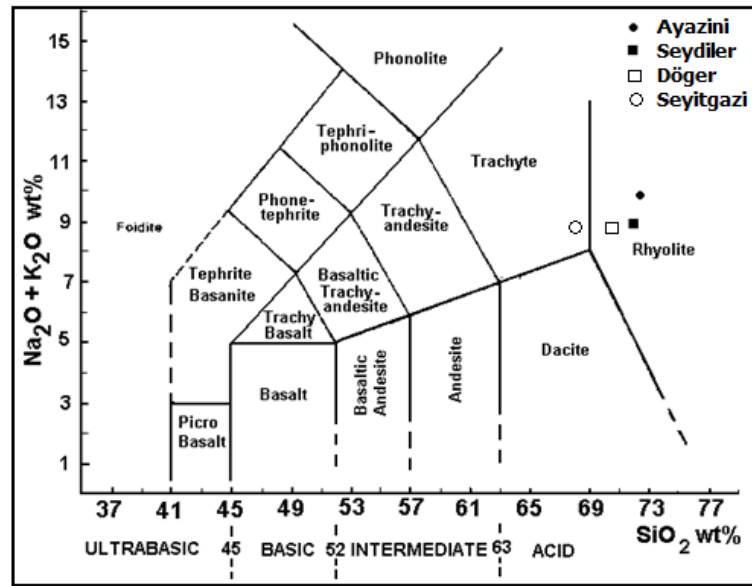
3.2. Tüflerin Fiziko-mekanik Özellikleri (Mechanical and Physical Properties of the tuffs)

Kayaçların fiziko-mekanik özellikleri baraj, tünel, maden ocakları gibi büyük ölçekli maden ve inşaat mühendisliği uygulamalarında çok önemlidir. Aynı şekilde yapı taşı olarak kullanılacak doğal taşların da kullanım yerlerine göre belirli özellikleri taşınması gerekir. Kayaçların porozite, su emme ve yoğunluk gibi özellikleri, mekanik dayanımları ile ilişkilidir. Düşük yoğunluklu ve yüksek poroziteli kayaçlar genellikle daha dayanıksızdır.

Ayazini, Seydiler, Döğer ve Seyitgazi tüflerinin her birisinden 6 adet olmak üzere, ilgili standartlarda öngörülen ebatlarda örnekler kullanılarak, tüflerin fiziko-mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Deneylerde elde edilen verilerin minimum, maksimum ve ortalamaları Çizelge 3’de verilmiştir. Bu verilere göre en düşük yoğunluk $2,29 \text{ g/cm}^3$ ile Seyitgazi tüfüne, Döğer tüfüne $2,45 \text{ g/cm}^3$ ile en yüksek yoğunluğa

Çizelge 2. Tüflerin kimyasal analizleri [25-27] (Chemical composition of the tuffs)

Kimyasal bileşim (%)	Ayazini	Seydiler	Döğer	Seyitgazi
SiO_2	72,30	73,50	70,70	67,20
Al_2O_3	13,60	14,70	14,10	14,20
Fe_2O_3	1,43	0,52	1,48	1,31
MgO	0,12	0,11	0,13	1,15
CaO	1,02	0,85	0,97	1,16
Na_2O	2,29	3,78	2,16	1,87
K_2O	6,24	5,70	6,70	6,09
TiO_2	0,11	0,06	0,04	0,11
A.Z.	2,84	0,78	3,54	6,62
Top.	99,95	100,00	99,69	99,71



Şekil 3. Tüflerin toplam alkali içeriğine karşı silis diyagramında sınıflandırılması Le Bas, vd. [24]. Kesikli çizgi: Alkali-subalkali ayrımı Irvine ve Baragar [28]’e göredir. (Total alkali vs. silica classification diagram for the tuffs. Dashed line: alkaline-subalkaline division according to Irvine and Baragar (1971).

sahiptir. Bu değerlerin porozite ile doğrudan ilişkili olduğu da görülmektedir. Aynı şekilde en düşük yoğunluğa sahip olan Seyitgazi tufünün %44,6 ile en yüksek porozite değerine de sahip olduğu görülmektedir. Benzer bir ilişki de tek eksenli basınç dayanımı deneyleri sonuçlarında görülmektedir. Porozite miktarı en yüksek (%44,6) olan Seyitgazi tufünün basınç dayanımı değerleri (13,13 MPa) en düşük seviyede olmuştur. Porozite değerlerinin yüksek olması kayacın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Tüflerin ultrases dalga hızı değerleri 1990 kms^{-1} ile 2675 kms^{-1} arasında ölçülmüştür. En yüksek değer Seydiler, en düşük değer ise Ayazini tüflerinde ölçülmüştür.

3.3. Tüflerin Fiziko-mekanik Özelliklerinin Ultrases Dalga Hızı ile İlişkisi (Relationship between ultrasound wave velocity and physico-mechanical properties of tuffs.)

Sismik teknikler genellikle kayaçların dinamik özelliklerini belirlemek ve karakterize etmek için

ve jeoteknik mühendisliğinde kullanılmaktadır. Kayaçlarda ultrases dalga hız değerini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar; kayaç cinsi, dokusu, tane boyutu ve şekli, porozitesi, yoğunluğu, su içeriği ve anizotropisidir. Anizotropik kayaçlarda dalga hızı; örneğin yönü ve geçiş mesafesi gibi faktörlerden etkilenebilmektedir. Bunların dışında ayrışma ve alterasyon zonları, eklem özellikleri (su, dolgu malzemesi, pürüzlülük, doğrultu, eğim vb.) gibi faktörler ultrases hız değerini etkileyen önemli parametrelerdir.

3.3.1. Tüflerin ultrases dalga hızı ile yoğunluk arasındaki ilişkiler (Relationship between ultrasound wave velocity and density of tuffs)

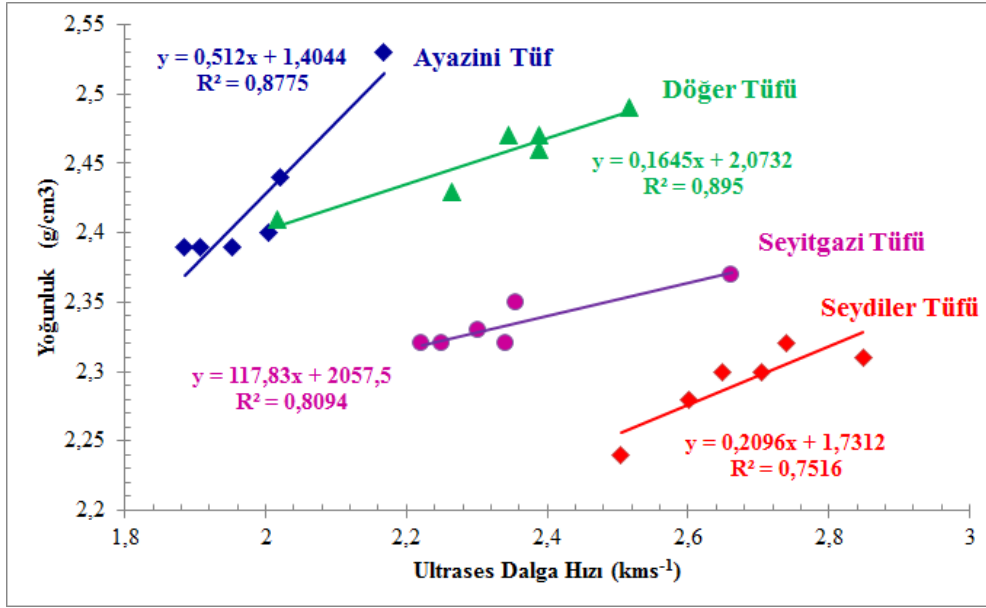
Tüflerin yoğunluk değerleri ile ultrases dalga hızı arasındaki ilişkilere ait grafikler Şekil 4'de verilmiştir. Korelasyon sonucunda kayaçların ultrases dalga hızları ile yoğunluk arasında ilişkiler doğru orantılı olup tüflerde yoğunluk arttıkça ultrases dalga hızı yayılımının da arttığı görülmektedir. Ultrases dalga hızı yayılımının

Çizelge 3. Tüflerin fiziko-mekanik özellikleri (Her bir deney için 6 örnek kullanılmıştır). (Averege physico-mechanical properties of tuffs (6 samples used in each experiment)).

Deneyler	Ayazini Tüfü			Seydiler Tüfü		
	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.
Yoğunluk (g/cm^3)	2,39	2,44	2,42	2,27	2,31	2,29
Ağırlıkça Su Emme (%)	16,73	17,18	16,93	17,93	19,56	18,51
Hacimce Su Emme (%)	26,59	27,42	27,00	23,68	25,24	24,21
Porozite (%)	34,30	39,50	37,30	33,60	38,70	36,00
Ultrases Dalga Hızı (kms^{-1})	1885	2168	1990	2505	2848	2675
Basınç Dayanımı (MPa)	21,61	23,68	22,21	17,14	20,76	19,07
Eğilme Dayanımı (MPa)	1,28	1,50	1,37	0,99	1,12	1,07
Don Kaybı (%)	0,073	0,349	0,192	0,166	0,346	0,248
Deneyler	Döğer Tüfü			Seyitgazi Tüfü		
	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.
Yoğunluk (g/cm^3)	2,43	2,49	2,45	2,32	2,37	2,34
Ağırlıkça Su Emme (%)	22,29	22,99	22,49	22,26	23,25	22,60
Hacimce Su Emme (%)	32,91	33,82	33,30	28,60	29,60	29,08
Porozite (%)	38,77	42,85	41,06	44,05	45,17	44,60
Ultrases Dalga Hızı (kms^{-1})	2017	2517	2320	2222	2661	2355
Basınç Dayanımı (MPa)	19,56	24,19	21,22	12,39	14,59	13,13
Eğilme Dayanımı (MPa)	2,35	3,13	2,69	2,25	4,90	3,11
Don Kaybı (%)	0,52	2,78	1,46	1,24	1,93	1,50

kullanılır. Bu teknikler tahribatsız ve nispeten uygulaması kolay olduğundan, giderek daha çok jeolojik

artmasının en önemli sebebi ise porozite miktarının azalması olarak ifade edilebilir.



Şekil 4. Tüflerde ultrases dalga hızı ile yoğunluk arasındaki ilişkiler. (Relationship between ultrasound wave velocity and density in tuffs.)

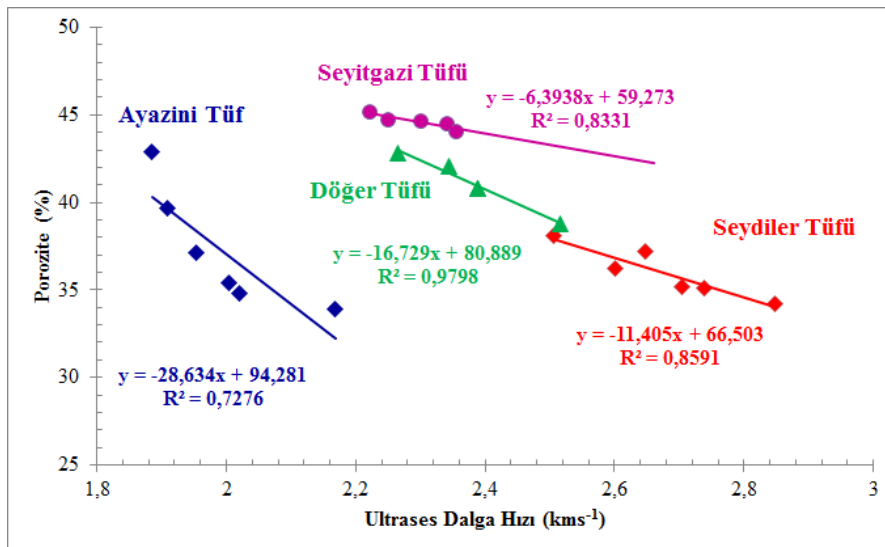
3.3.2. Tüflerin ultrases dalga hızı ile porozitesi arasındaki ilişkiler (Relationship between ultrasonic wave velocity and porosity of tuffs)

Yüksek porozite miktarının, kayacın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Ultrases dalga hızını etkileyen en önemli unsurlardan birisi de porozitedir. Tüflerdeki porozite miktarları ortalama Ayazini tüflerinde %37,3, Seydiler tüflerinde %36, Döğer tüflerinde %41,6 ve Seytgazi tüflerinde %44,6 olarak belirlenmiştir. Tüflerin ultrases dalga hızı ile porozitesi arasındaki ilişkilere ait grafikler Şekil 5'de verilmiştir. Tüflerdeki ultrases dalga hızı ile porozite arasındaki ilişkiler ters orantılı olup porozite miktarı

azaldıkça ultrases dalga hızı yayılımının da arttığı görülmektedir (Şekil 5).

3.3.3. Tüflerin ultrases dalga hızı ile kütlece su emme değeri arasındaki ilişkiler (Relationship between ultrasound wave velocity and water absorption value of tuffs)

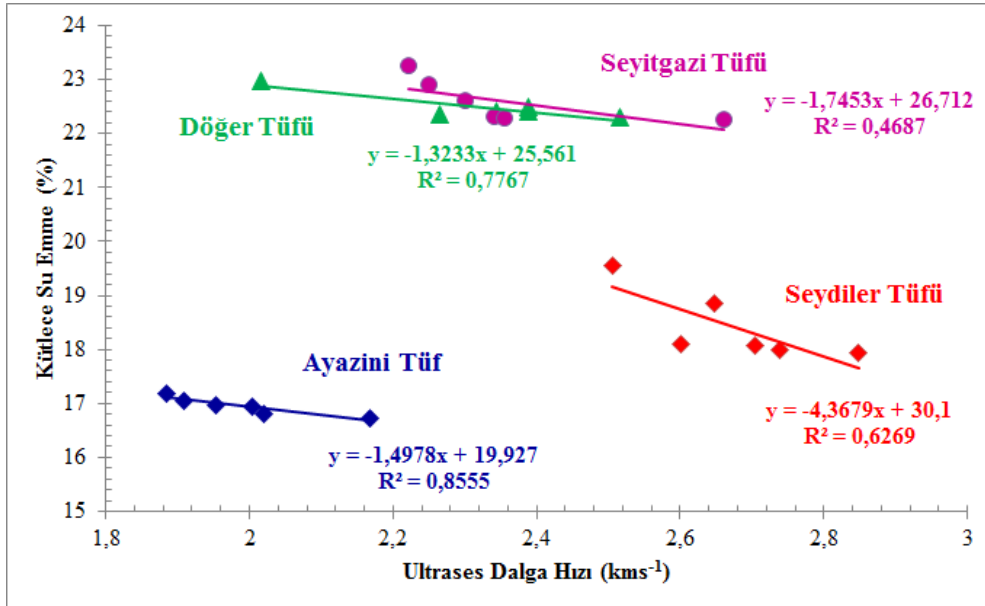
Tüflerin ultrases dalga hızı ile kütlece su emme değeri arasındaki ilişkilere ait grafikler Şekil 6'da verilmiştir. Tüflerdeki kütlece su emme değerleri ortalama Ayazini tüflerinde %16,93, Seydiler tüflerinde %18,51, Döğer tüflerinde %22,49 ve Seytgazi tüflerinde %22,6 olarak belirlenmiştir. Tüflerdeki ultrases dalga hızı ile kütlece su emme değeri arasındaki ilişkiler ters orantılı olup kütlece su emme değeri azaldıkça ultrases dalga hızı



Şekil 5. Tüflerde ultrases dalga hızı ile porozite ilişkisi. (Relationship between ultrasonic wave velocity and porosity of tuffs)

yayılımının arttığı görülmektedir. Kayaçlarda su emme değerleri doğrudan porozite miktarı ile ilişkilidir. Bu durum boşluk miktarı azaldıkça ses dalgalarının yayılımının artmasının doğal bir sonucudur (Şekil 6).

dayanımı değerleri en düşük seviyede olmuştur. Tüflerde tek eksenli basınç dayanımı değerleri Ayazini tüflerinde 22,21 MPa, Seydiler tüflerinde 19,07 MPa, Döğer tüflerinde 21,22 MPa ve Seyitgazi tüflerinde 13,13 MPa

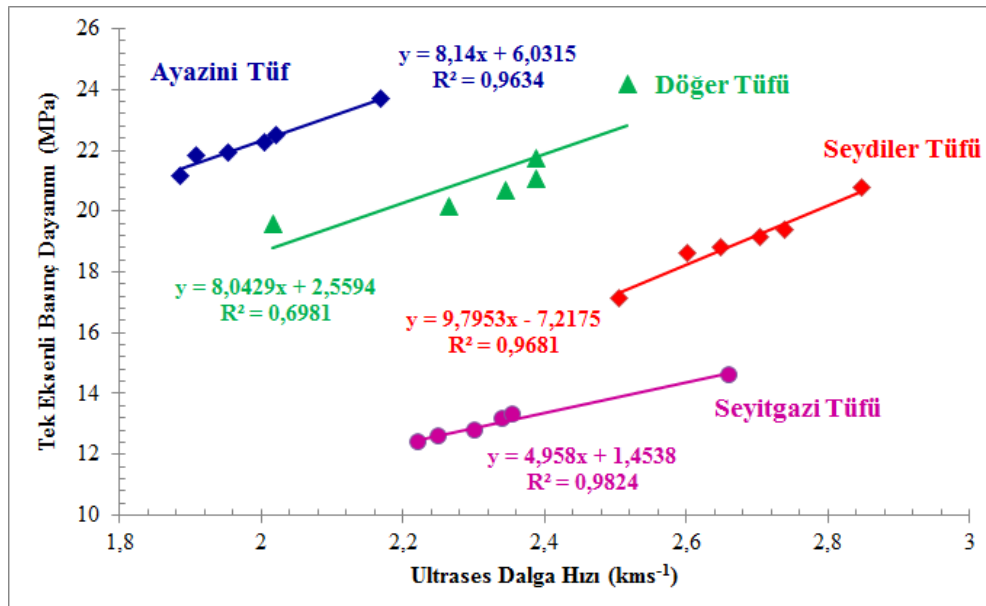


Şekil 6. Tüflerde ultrasens dalga hızı ile kütlece su emme ilişkisi. (Relationship between ultrasound wave velocity and water absorption value of tuffs)

3.3.4. Tüflerin ultrasens dalga hızı ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkiler (Relationship between ultrasound wave velocity and uniaxial compressive strength of tuffs)

Kayaçların mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilen en önemli unsurların başında porozite miktarı gelmektedir. İnceleme yapılan tüflerde %44 ile en yüksek porozite değerine sahip olan Seyitgazi tüfünün basınç

olarak bulunmuştur. Tüflerdeki ultrasens dalga hızı ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkiler doğru orantılı olup porozite miktarı arttıkça ultrasens dalga hızlarının azaldığı, ayrıca ultrasens dalga hızlarının artışına bağlı olarak tek eksenli basınç dayanım değerlerinin de arttığı ve aralarında lineer bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Tüflerde ultrasens dalga hızı ile tek eksenli basınç dayanımı ilişkisi. (Relationship between ultrasound wave velocity and uniaxial compressive strength of tuffs)

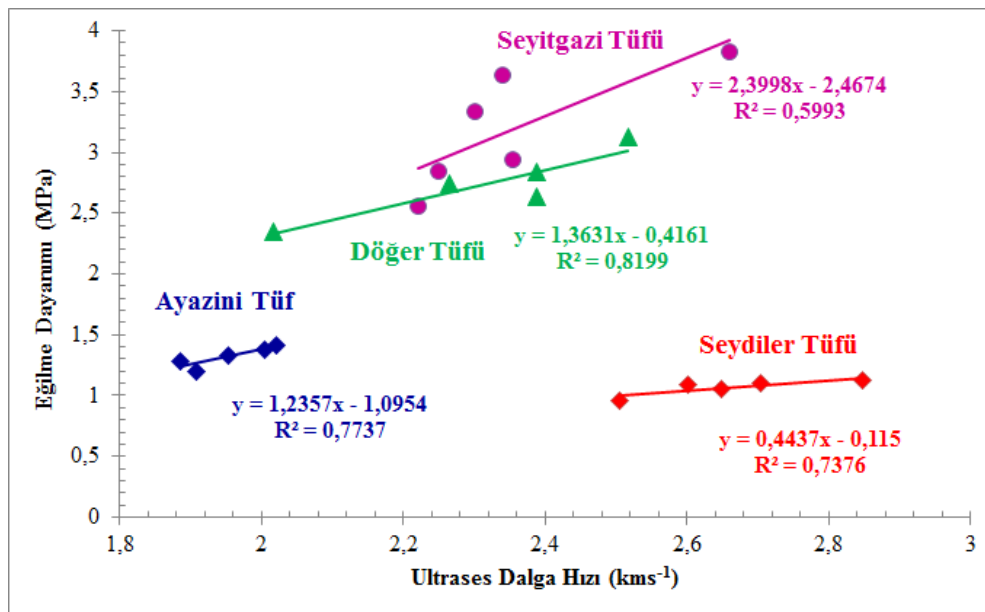
3.3.5. Tüflerin ultrases dalga hızı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişkiler (Relationship between ultrasound wave velocity and flexural strength of tuffs)

Eğilme dayanımı, standart boyutlardaki plakaların belirli doğrultuda kırılmaya karşı gösterdikleri dirençtir. Kullanımı genellikle belirli boyut ve kalınlıklarda, plaka şeklinde olan kayalarda eğilme direnci son derece önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Çünkü plaka kalınlığı, plaka boyut ve destek noktaları arasındaki mesafe eğilme dayanımına göre tespit edilmektedir.

Tüflerde eğilme dayanımı değerleri Ayazini tüflerinde 1,37 MPa, Seydiler tüflerinde 1,07 MPa, Döğer tüflerinde 2,69 MPa ve Seyitgazi tüflerinde 3,11 MPa olarak bulunmuştur. Tüflerdeki ultrases dalga hızı ile

Donma-çözülme deneyleri TS EN 12371 [23]'e göre yapılmış olup tüflerde don kaybı değerleri Ayazini tüflerinde %0,192, Seydiler tüflerinde %0,248, Döğer tüflerinde %1,46 ve Seyitgazi tüflerinde %1,5 olarak bulunmuştur. Tüflerdeki ultrases dalga hızı ile don kaybı arasındaki ilişkiler doğru orantılı olup ultrases dalga hızlarının artışına bağlı olarak don kaybı değerlerinin arttığı ancak aralarında çok zayıf bir lineer bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir (Şekil 9).

Bunun sebebi donma-çözülme olayları sonucunda kayacın bünyesindeki süreksizliklerin ve boşlukların artması şeklinde yorumlanabilir. Böylece, kayaçta donma ve çözülme periyotları sonucunda malzeme kaybı meydana gelmektedir. Açık porozite miktarı yüksek olan kayalar, donma ve çözümlerin sık görüldüğü soğuk iklimlerde dış mekanlarda dikkatli kullanılmalıdır.

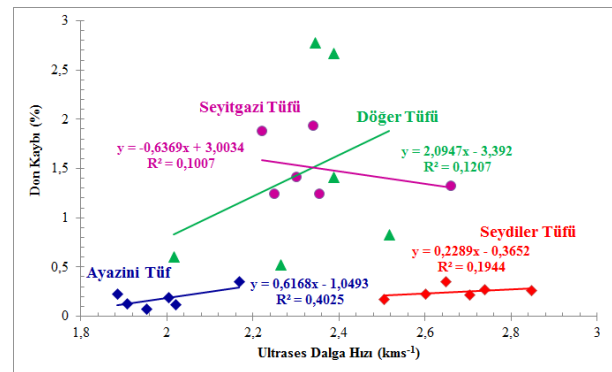


Şekil 8. Tüflerde ultrases dalga hızı ile eğilme dayanımı ilişkisi. (Relationship between ultrasound wave velocity and flexural strength of tuffs)

eğilme dayanımı arasındaki ilişkiler doğru orantılı olup ultrases dalga hızlarının artışına bağlı olarak eğilme dayanım değerlerinin arttığı ve aralarında lineer bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir (Şekil 8).

3.3.6. Tüflerin ultrases dalga hızı ile don kaybı arasındaki ilişkiler (Relationship between ultrasound wave velocity and freeze-thaw loss of tuffs)

Doğal taşların kullanılacağı bölgenin mevcut iklim koşullarına göre gece-gündüz, yaz-kış arasındaki sıcaklık farkları, kayaların dayanımları üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Yağışlı dönemlerde tüflerin yüksek gözenekliliğinden ötürü su doygunluğu artmakta ve gece/gündüz yaşanan don olayları ile bünyesindeki su donarak, kayaç yapısında mikro hatta makro büyüklükte çatlaklar oluşmaktadır. Bu yüzden yapı malzemesi olarak kullanılacak tüflerin, dona karşı dayanımlarının belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 9. Tüflerde ultrases dalga hızı ile don kaybı ilişkisi. (Relationship between ultrasound wave velocity and freeze-thaw loss of tuffs)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, Afyonkarahisar bölgesinde bulunan ve yörede yapı taşı olarak kullanılan Ayazini, Seydiler, Döğer ve Seyitgazi bölgeleri tüflerinin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek, bu özelliklerin ultra ses dalga hızı ile olan ilişkileri incelenmiştir. Ultrases yöntemler, fiziksel deney yöntemlerine göre daha hızlı ve ekonomik olması yanı sıra zaman ve ekonomiden tasarruf da sağlaması nedeniyle doğal taşların özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden birisi olmuştur.

Yapılan incelemelere göre; tüflerin ultrases dalga hızları ile yoğunluk ağırlığı, tek eksenli basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri arasında pozitif yönlü ilişkiler varken porozite ve kütlece su emme değerleri arasında negatif yönlü ilişkilerin varlığı ortaya konulmuştur. Tüflerin dalga hızları değerlerinin artması ile tek eksenli basınç dayanımı, yoğunluk ağırlığı ve eğilme dayanımı değerleri lineer olmak üzere doğru orantılı olarak artmakta, porozite ve kütlece su emme değerleri ise aynı şekilde azalmaktadır. Tüflerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin olumsuz olmasında porozite miktarı önemli bir parametredir. Nitekim tek eksenli basınç dayanımı, yoğunluk ve eğilme dayanımı değerleri ile kütlece su emme değerleri porozite miktarına göre azalmakta veya artmaktadır.

Sonuç olarak yapılan bu çalışmada Afyon yöresindeki bazı tüf ocaklarından alınan numunelerin fiziko-mekanik özellikleri ile ultrases dalga hızları arasındaki istatistiksel analizde yüksek korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Birçok mühendislik özelliği bakımından aynı kategoride değerlendirilebilen kayaçların özelliklerinden yola çıkılarak elde edilen bağıntıların kullanılmasında fayda vardır. Yüksek porozite değerine sahip olan tüflerin, kullanım yerlerinin belirlenmesinde fiziko-mekanik özelliklerin bilinmesinin son derece önemli olduğu bilinmektedir. Nispeten kolay bir deney yöntemi olan ultrases dalga hızlarının belirlenmesi ile fiziko-mekanik özellikler hakkında bilgi sahibi olunabilecektir. Özellikle dış mekanlarda ve atmosfer etkilerine açık alanlarda kullanılan yüksek poroziteli taşların çabuk ayrışmaya başladığı bilinmektedir. Ayrışmaya sebep olan ana etken su emme miktarıdır. Su emme miktarı da porozite ile ilişkilidir. Ultrases dalga hızı yöntemi ile bu özellikler hakkında bilgi sahibi olunacak ve ayrışmaya çok yatkın taşların kullanım yerlerinin belirlenmesinde önemli bir katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Çelik M.Y., Doğaltaş Restorasyonu ve Konservasyon, *Ders Notları*, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Afyon, (2009).
2. Çelik M.Y. and Sel H., "Afyondaki tarihi çeşmelerde doğaltaş kullanımı ve restorasyonu", *Mersem 2008 Türkiye VI. Mermer Sempozyumu*, (Editör: M. Ersoy vd.), Afyon, 39-58, (2008).
3. Schmid R., "Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous rocks", *Geology*, 9, 41-3: 1432-1149, (1981).

4. Ürünveren K.A., "Kadirli (Osmaniye) Kösepinar köyü ve çevresindeki mermerlerin mühendislik özelliklerinin değerlendirilmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, (2008).
5. Del Río L.M., Tejado J.J., López F., Esteban F.J., Mota M., González I., San Emeterio J.L. and Ramos A., "Ultrasonic characterization of granites obtained from industrial quarries of Extremadura (Spain)", *Ultrasonics*, 44: 1057-1061, (2006).
6. Kahraman S., "The correlations between the saturated and dry P-wave velocity of Rocks", *Ultrasonics*, 46: 341-348, (2007).
7. Sáez Pérez M.P. and Rodríguez-Gordillo J., "Structural and compositional anisotropy in Macael marble (Spain) by ultrasonic, XRD and optical microscopy methods", *Construction and Building Materials*, 23(6): 2121-2126, (2009).
8. Kahraman S. and Yeken T., "Determination of physical properties of carbonate rocks from P-wave velocity", *Bull. Eng. Geol. Environ.* 67: 277-281, (2008).
9. Sharma P.K. and Singh T.N., "A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength". *Bull Eng Geol Environ*, 67: 17-22, (2008).
10. Fener M., "The effect of rock sample dimension on the p-wave velocity", *Journal of Nondestructive Evaluation*, 30(2): 99-105, (2011).
11. Sousa L.M.O., Suárez Del Río L.M., Calleja L., Ruiz De Argandoña V.G. and Rodríguez Rey A., "Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites". *Engineering Geology*, 77: 153-168, (2015).
12. Chary K.B., Sarma L.P., Prasanna Lakshmi K.J., Vijayakumar N.A., Naga Lakshmi V. and Rao M.V.M.S., "Evaluation of engineering properties of rock using ultrasonic pulse velocity and uniaxial compressive strength", *Proc. National Seminar on Non-Destructive Evaluation*, 7-9, Hyderabad, s.7, (2006).
13. Chaki S., Takarli M. and Agbodjan W.P., "Influence of thermal damage on physical properties of a granite rock: porosity permeability and ultrasonic waves evolutions", *Construction and Building Materials*, 22(7): 1456-1461, (2008).
14. Vasconcelos G., Lourenço P.B., Alves C.A.S. and Pamplona J., "Ultrasonic evaluation of the physical and mechanical properties of granites", *Ultrasonics*, 48: 453-466, (2008).
15. Akin M. and Ozsan A., "Evaluation of the long-term durability of yellow travertine using accelerated weathering tests", *Bull Eng Geol Environ*, 70: 101-114, (2011).
16. Erdal M. and Şimşek O., "Ahlat taşı (ignimbrit) atıklarının taşunu olarak beton içinde kullanılabilirliğinin araştırılması", *Politeknik Dergisi*, 14(3): 173-177, (2011).
17. Şimşek O. and Erdal M., "Ahlat taşının (ignimbrit) bazı mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması", *G. Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 17(4): 71-78, (2004).
18. TS EN 14579, "Doğal taşlar- deney metotları- ses ilerleme hızı tayini", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2006).
19. TS EN 1936, "Doğal taşlar deney metotları, gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2010).

20. TS EN 13755, “Doğaltaşlar-deney metotları-atmosfer basıncında su emme tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2006).
21. TS EN 1926, “Doğaltaşlar-deney metotları-basınç dayanımı tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2006).
22. TS EN 12372, “Doğal taşlar deney metotları, tek eksenli yük altında eğilme dayanım tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2007).
23. TS EN 12371, “Doğal taşlar-deney metotları-dona dayanım tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2003).
24. Le Bas M.J., Le Maitre R.W. and Woolley A.R., “The construction of the total alkali-silica chemical classification of volcanic rocks”, *Miner Petrol*, 46: 1-22, (1992).
25. Ergül A., “Afyonkarahisar’da yapıtaşı olarak kullanılan tüflerdeki poroziteye bağlı su içeriğinin fizikomekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Yayınlanmamış. (2009).
26. Alkan E., Seyitgazi (Eskişehir) bölgesi tüflerinin yapı taşı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü*, Afyonkarahisar, Yayınlanmamış. (2009).
27. Tan G., Afyonkarahisar Türbe Camii restorasyonu ve restorasyonda kullanılan tüflerin özelliklerinin incelenmesi, Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü*, Afyonkarahisar, Yayınlanmamış. (2009).
28. Irvine T.N. and Baragar W.R.A., “A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks”, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-548, (1971).