

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEYBATI TÜRKİYE’ DE SERPANTİNLEŞMİŞ
ULTRABAZİK KAYAÇLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİ**

Pelin ÖZER

**Danışman
Doç. Dr. Züheyr KAMACI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2015**

© 2015 [Pelin ÖZER]

TEZ ONAYI

Pelin ÖZER tarafından hazırlanan " **Güneybatı Türkiye’de Serpantinleşmiş Ultrabazik Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri** " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak savunulmuştur.

Danışman **Doç. Dr. Züheyr KAMACI**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof. Dr. Mahmut OKYAR**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Yrd. Doç. Dr. Özgür AKTÜRK**
Akdeniz Üniversitesi

Enstitü Müdürü **V. Doç. Dr. Yasin TUNCER**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Pelin ÖZER

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
GRAFİKLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ÖZETLERİ	3
3.SERPANTİNLEŞMİŞ ULTRABAZİK KAYAÇLARIN OLUŞUMU	5
3.1.Bazik ve Ultrabazik Kayaç Kavramı	5
3.1.1. Bazik kayaçlar ailesi	5
3.1.2. Ultrabazik kayaçlar ailesi.....	8
4. İNCELEME ALANININ KONUMU	10
4.1. İnceleme Alanının Jeolojisi	12
5. MATERYAL ve METOD.....	15
5.1. Büro Çalışmaları.....	15
5.2. Arazi Çalışmaları.....	15
5.2.1. Sismik kırılma yöntemi.....	15
5.2.1.1. İki tabakalı ortamda kırılma	16
5.2.1.2. Eğimli tabakalı ortamlarda kırılma	17
5.2.2. Elektrik öz direnç yöntemi.....	22
5.2.2.1. Düşey elektrik sondajı (DES)	22
5.2.2.2. Elektrik haritalama (yanal tarama).....	23
5.2.2.3. Schulumberger arazi çalışması.....	24

5.2.3. Mikrotremör yöntemi.....	26
5.2.3.1. Mikrotremör verilerinin toplanma aşaması.....	27
5.2.3.2. Mikrotremör arazi çalışması	29
6.3. Laboratuvar Çalışmaları	36
6.3.1. Numune hazırlanması	36
6.3.2. Numunelerin fiziksel özellikleri	37
6.3.2.1. Birim hacim ağırlık deneyi.....	38
6.3.2.2. Su emme deneyi	38
6.3.2.3. Yoğunluk deneyi	40
6.3.2.4. Görünür ve toplam porozite deneyi.....	43
6.3.2.5. Sismik hız (UPV) deneyi	43
6.3.3. Numunelerin mekanik özellikleri	45
6.3.3.1. Tek eksenli basınç dayanımının (UCS) belirlenmesi.....	45
6.3.4. Numunelerin minerolojik özellikleri	47
7. SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	63
Ek-A Sismik veriler ve değerlendirilmesi.....	63
Ek-B Deney Sonuçları.....	71
ÖZGEÇMİŞ	76

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEYBATI TÜRKİYE'DE SERPANTİNLEŞMİŞ ULTRABAZİK KAYAÇLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Pelin ÖZER

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Züheyr KAMACI

Kaya mekaniğinde kayaç özelliklerini belirlemek için kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bu tezin amacı serpantinleşmiş ultrabazik kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmaktır. Serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlar mimari ve yol yapım çalışmaları gibi birçok alanda yapıtaşı olarak kullanılmaktadır. Bu kayaçlar ayrıca iç mimaride, masa, sütun ve farklı türdeki süslemelerde de kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında aynı bölgeden alınmış 9 farklı serpantinleşmiş kayaç grubunun kuru ve suya doygun numuneleri üzerinde P ve S dalga hızları, Poisson oranı, rijitlik modülü, elastisite modülü, bulk modülü, doğal periyot, güvenli taşıma kapasitesi, yatak katsayısı ve kayaç kalitesi tasarım değeri gibi parametreleri belirlemek için jeofiziksel ve jeoteknik testler yapılmıştır. Burada jeofiziksel ve jeoteknik laboratuvar testleri söz konusu küp numuneler üzerinde tabakalanma yüzeylerine dik ve paralel olarak yapılmıştır: ultrasonik ses dalga hızı (UPV), tek eksenli basınç dayanımı (UCS), efektif porozite, kuru birim hacim ağırlık, yoğunluk, ağırlıkça ve hacimce su emme oranı değerlerini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Sonuçta UCS ile birim hacim ağırlık, hacimce su emme, ağırlıkça su emme, porozite ve UPV ile birim hacim ağırlık, hacimce su emme, ağırlıkça su emme, porozite arasındaki ilişkiler değerlendirilerek regresyon analizi yardımıyla uyumlu istatistiksel ilişkiler kurulmuştur.

Anahtar Kelimeler: serpantin, kaya mekaniği, ultrasonik dalga hızı (UPV), tek eksenli basınç dayanımı(UCS), kayaç kalitesi tasarım değeri (RQD)

2015, 76 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SERPENTINIZED ULTRABASIC ROCKS IN SOUTHWESTERN TURKEY

Pelin ÖZER

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Geophysics Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Züheyr KAMACI

In rock mechanics, various methods are available for detecting the rock properties. The purpose of this thesis is to examine physical and mechanical properties of the serpentized ultrabasic rocks. The serpentized ultrabasic rocks are the foundation rocks of architecture and the ground under road bases in many areas. They are also frequently used for indoor work such as tables, pilasters and ornaments of different kinds. In this thesis, geophysical and geotechnical tests including P – and S - wave velocities, Poissons ratio, rigidity modulus, elasticity modulus, bulk modulus, natural period, safe bearing capacity, bedding coefficient and Rock Quality Designation (RQD) were performed on nine different rock samples, collected from the same area. Geophysical and geotechnical studies were carried out both parallel and perpendicular to foliation planes, of the cubic samples. Ultrasonic Compressional Pulse Velocity (UPV) , Uniaxial Compressive Strength (UCS), effective porosity, dry unit volume weight, density and weight and volumetric water contents of the all samples were calculated. Finally, statistical relations among the measured parameters were established by using regression analysis.

Keywords: serpentine, rock mechanics, ultrasonic pulse velocity (UPV), uniaxial compressive strength (UCS), rock quality designation (RQD)

2015, 76pages

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca yardımcı olan Sayın Danışman Hocam Doç. Dr. Züheyr KAMACI' ya teşekkürlerimi sunarım. Tezin laboratuvar çalışmaları esnasında karşılaştığım her zorlukta yanımda olan ve benden desteğini esirgemeyen değerli hocam Arş. Gör. Deniz AKBAY'a ve maden mühendisliği öğrencilerinden Erdinç KILIÇ, Hasan AYNALI ve Miraç SAYIN, Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarını kullanmama imkan sağlayan ve fikirleriyle çalışmama yön veren Sayın Hocam Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ'a, arazi çalışmalarında yardımcı olan değerli Hocam Doç. Dr. Yalçın KALYONCUOĞLU' na ve Jeofizik Mühendisi Yüksel KARAMAN'a teşekkür ederim.

SDÜ BAP 3661- YL1- 13 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Pelin ÖZER

ISPARTA, 2015

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Aksu-Ayvalıpınar arasının jeoloji haritası (Elitok, 2012).....	11
Şekil 4.2. Çalışma alanındaki serpantinleşmiş ultrabazik kayaların görünümü.....	14
Şekil 5.1. Sismik ışınların yayılımı ve yol- zaman diyagramı (Us, 1993).....	17
Şekil 5.2. Arazi sismik çalışması	19
Şekil 5.3. Rezistivite ölçüm aletleri	24
Şekil 5.4. Arazi rezistivite eğrisi (1. nokta)	24
Şekil 5.5. Arazi yer elektrik kesiti (1. nokta).....	25
Şekil 5.6. Arazi rezistivite eğrisi (2. nokta)	25
Şekil 5.7. Arazi yer elektrik kesiti (2. nokta).....	25
Şekil 5.8. Arazi rezistivite eğrisi (3. nokta)	26
Şekil 5.9. Arazi yer elektrik kesiti (3. nokta).....	26
Şekil 5.10. Mikrotremör ölçüm aleti ve kayıt cihazı.....	29
Şekil 5.11. 2 No.lu noktada arazi mikrotremör ölçüm kaydı	29
Şekil 5.12. %5 katlanma ile 25'er sn. lik pencerelere ayrılmış kayıt.....	30
Şekil 5.13. 2 No.lu noktada elde edilmiş H/V-frekans grafiği.....	30
Şekil 5.14. 3 No.lu noktada arazi mikrotremör ölçüm kaydı	31
Şekil 5.15. %5 katlanma ile 25'er sn. lik pencerelere ayrılmış kayıt.....	31
Şekil 5.16. 3 No.lu noktada elde edilmiş H/V – frekans grafiği	32
Şekil 5.17. 4 No.lu noktada arazi mikrotremör ölçüm kaydı	32
Şekil 5.18. %5 katlanma ile 25'er sn. lik pencerelere ayrılmış kayıt.....	33
Şekil 5.19. 4 No.lu noktada elde edilmiş H/V -frekans grafiği.....	33
Şekil 5.20. 5 No.lu noktada arazi mikrotremör ölçüm kaydı	34
Şekil 5.21. %5 katlanma ile 25'er sn. lik pencerelere ayrılmış kayıt.....	34
Şekil 5.22. 5 No.lu noktada elde edilmiş H/V –frekans grafiği	35
Şekil 6.1. Karot kesme makinesi.....	36

Şekil 6.2. Küp numuneler.....	37
Şekil 6.3. 0,1 g hassasiyetli tartı.....	40
Şekil 6.4. Numunelerin �����lmesi.....	41
Şekil 6.5. 0,2 mm açıklıklı elek.....	42
Şekil 6.6. Vakum pompası	42
Şekil 6.7. Sismik hız (P-dalgası) �l�me aleti	45
Şekil 6.8. Tek eksenli basınç dayanımı deneyinin yapıldığı hidrolik pres ve deney düzeneği	47
Şekil 6.9. Harzburjiti oluşturan olivin, klinopiroksen ve kromit minerallerinin görünüşü. a) tabakalanmaya paralel, b) tabakalanmaya dik olarak alınmıştır.....	48
Şekil 6.10. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde UCS – ASE grafikleri	49
Şekil 6.11. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde UCS – HSE grafikleri	50
Şekil 6.12. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde UCS – BHA grafikleri.....	50
Şekil 6.13. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde UCS – Yoğunluk grafikleri.....	50
Şekil 6.14. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde Vp – ASE grafikleri	51
Şekil 6.15. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde Vp – HSE grafikleri	51
Şekil 6.16. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde Vp – BHA grafikleri	51
Şekil 6.17. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde Vp – Yoğunluk grafikleri.....	52
Şekil 6.18. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde UCS – Vp grafikleri	52

GRAFİKLER DİZİNİ

Çizelge 5.1. P dalga hızına bağlı olarak kayaçların ayrışma dereceleri.....	19
Çizelge 5.2. Poisson oranı ve V_p/V_s oranına göre zemin/kaya ortamlarının sıklığı....	20
Çizelge 5.3.Çalışma alanında sismik kırılma kayıtlarından belirlenen ultrabazik serpantinleşmiş kayacın ortalama dinamik P ve S hızları ve mühendislik özellikleri.....	21
Çizelge 5.4. Dalga hızı oranlarına göre kayaç kalitesi (Onodera, 1963)	22
Çizelge 5.5. Mikrotremör değerleri.....	35
Çizelge 6.1. Kayaçların poroziteye göre sınıflandırılması (Tarhan, 1989).....	43
Çizelge 6.2. Tek eksenli basınç direncine göre kayaçların sınıflandırılması	47
Çizelge 6.3.Deney sonuçlarının ortalama değerleri	49
Çizelge 6.4.Ampirik ilişkiler ve mühendislik özellikleri	53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A:	kesit, cm^2
A_0 :	Yatay/ Düşey kuvvet oranı
ASE:	Ağırlıkça su emme oranı (%)
BHA:	Birim hacim ağırlık, g/cm^3
Cprx:	Klinopiroksen
Cr:	Kromit
d_k :	Kaya biriminin kuru birim hacim ağırlığı (γ_d), g/cm^3
E:	Elastise modülü, GPa
f_0 :	doğal frekans, Hz
G:	Rijitlik veya kayma modülü, GPa
G_{dh} :	Doygun haldeki taşın su içindeki kütlesi, g
G_{ds} :	Deney numunesinin suya doymuş doğal kütlesi, g
G_k :	Deney numunesinin değişmez kütleye kadar kurutulmuş kütlesi, g
G_n :	numune kütlesi, g
G_{pn} :	Piknometre ve deney numunesi kütlesi, g
G_{pns} :	Piknometre, su ve numune kütlesi, g
G_{ps} :	Piknometre ve su kütlesi, g
HSE:	Hacimce su emme oranı (%) (=effektif porozite)
k:	Bulk modülü, GPa
K_s :	Güvenli taşıma katsayısı, kN/m^3
L:	Numunenin boyu, m
Oli:	Olivin
Ort:	ortalama
P:	kırılma yükü, kg
P_t :	Toplam porozite
q_s :	Güvenli taşıma kapasitesi, kPa
RQD:	Kayaç kalitesi tasarım değeri

γ_{sat} : Yoğunluk, g/cm³

Std spm: standart sapma

T_o : Doğal hakim titreşim periyodu, s

T_p : P – dalgasının geçiş süresi, s

UCS: Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c), MPa

UPV: Ultrasonik P dalga hızı, m/s

V_p : P – dalgasının yayılma hızı, m/s

ν : Poisson oranı

1.GİRİŞ

Çalışmanın amacı, ayrıntılı bir saha araştırması sonucu güvenli olabilecek yerlerin tasarımı ve inşaatı için serpantinleşmiş ultrabazik kayaçları jeolojik, jeofiziksel ve jeoteknik anlamda karakterize etmektir. Bu kayaçlar birçok mimari yapıda ve yol temellerine stabilize malzemesi olarak rahatlıkla kullanılabilir. Bunun yanı sıra iç mimaride sıkça kullanılan bir malzeme olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Kurtuluş vd., 2011). Söz konusu serpantinleşmiş ultrabazik kayaçların ekonomik önemi nedeniyle, jeolojik ve jeofiziksel yöntemler kullanılarak, mühendislik ve mekanik özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Kökenlerine göre kayaçlar; magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçlar olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Ancak bu sınıflamanın dışında, mühendislik çalışmalarında kullanılan kaya sınıflamaları, jeolojik sınıflamadan oldukça farklılık göstermektedir. Çünkü mühendislik çalışmalarında kayaçların kökenlerinden başka, dayanıklılıkları ve duyarlılıkları önem kazanmaktadır. Bu nedenle kayaçların petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri gibi farklı özelliklerin saptanması ve aralarında ilişki kurulması özellikle mühendislik ve iç- dış dekoratif çalışmalar ile ilgili fizibiliteleri önemli faydalar sağlamaktadır. Söz konusukaya karakterizasyonunun ortaya çıkarılması kentsel planlama ve mimarlığın tasarımı açısından çok önemlidir. Bu anlamda sahadaki yeraltının tanımlanması için elde edilen sismik hızlar ile dinamik zemin parametreleri ve kaya mekaniği özellikleri jeolojik proje tasarımında en önemli unsurlar olarak bilinir. Serpantinleşmiş ultrabazik kayacın mekanik özelliklerinin belirlenmesinde tek eksenli basınç dayanımı (Uniaxial Compressive Strength= UCS), (ISRM, 2007) ve (ASTM D7012-10, 2010) testi mühendislik sınıflaması açısından önemlidir. Ancak UCStesti zordur ve uzun zaman alır. Bunu gerçekleştirmek için ilgili standartlarda açıklandığı gibi düzgün olarak kesilen küpkayaç örneklerine ihtiyaç duyulur. Genel olarak kayaların ve zeminlerin mekanik ve mühendislik özelliklerini belirlemek için pek çok çalışma yapılmış olmasına rağmen (Morgan, 1969; Youash, 1970; Hamilton, 1978; Castagna vd., 1985; Chau ve Wong 1996; Schön, 1998; Kahraman, 2001; Yaşar ve Erdoğan, 2004; Vasconcelos vd., 2007; Kahraman ve Yeken, 2008) bu çalışmaların sadece çok azı serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlar üzerinde gerçekleştirilmiştir (Koumantakis, 1982; Paventi vd. 1996; Courtier vd., 2004; Kurtuluş vd., 2010; 2011).

Güneybatı Türkiye’ de yer alan Isparta-Pazarköy güneyinde yüzeyleyenserpantinleşmiş ultrabazik kayalara ”Eğirdir Kızıldağ Harzburjit” adı verilmiştir (Juteau, 1975). Tümüyle serpantinleşmiş ultrabazik magma ürünü kayalardan oluşan Kızıldağ serpantinit, bu çalışmanın alanı olan Pazarköy güneyinde en geniş yüzeylemesini vermektedir (Mutlutürk, 1985). Bu serpantinit kütleleri içinde dağılmış küçük mostralara halinde diyabaz daykları ve kromit mercikleri yer almaktadır.

Bu çalışmada saha çalışması olarak sismik, elektrik özdirenç ve mikrotremör yapılmıştır. Jeofizik çalışmalara ek olarak, söz konusu sahada kayaç numunelerinden elde edilen küp numuneler üzerinde tabakalanmaya paralel ve dik şekilde UCS, ultrasonik sismik hız (Ultrasonic Pulse Velocity=UPV), doygun ve kuru birim hacim ağırlık, hacimce ve ağırlıkça su emme, yoğunluk, porozite deneyleri kapsamlı bir şekilde yapılmıştır. Bütün bu deneylerden elde edilen veriler basit bir regresyon yöntemi kullanılarak istatistiksel açıdan analiz edilmiş ve tüm bu özellikler arasındaki ilişkiler matematiksel olarak çıkarılmış ve aralarında iyi bir uyum ortaya çıktığı görülmüştür.

2.KAYNAK ÖZETLERİ

ASTM C170/ C170M- 14a (2014) ve TS EN 1926 (2000) standartlarına göre 2x2x2 inç lik yani 51x51x51 mm lik küp kayaç numuneler üzerinde tek eksenli basınç dayanım deneylerinin rahatlıkla yapılabileceğini göstermektedir.

Onodera (1963), Deere ve Miller (1966) ve Othman (2005) araştırmalarında sağlamlık katsayısına göre kayaçları sınıflandırarak sismik dalga hızına göre de kayaç kalitesi tasarım değerini (Rock Quality Designation= RQD) ortaya koymuşlardır.

Morgan (1969), Youash (1970), Gardner vd. (1974), Hamilton (1978), Castagna vd. (1985), Chau ve Wong(1996), Schön (1998), Yaşar ve Erdoğan (2004) ile Kahraman ve Yeken (2008) yaptıkları çalışmalarda yoğunluk ve porozite ile UPV ilişkisini incelemişlerdir.

Rao ve Ramana(1974) araştırmalarında kırılma esnasındaki ultrabazik kayaçların dilatasyon davranışını incelemişlerdir.

Koumantakis (1982)ile Paventi vd.(1996) yaptıkları araştırmalarla karmaşık serpantinleşmiş kayaçlar üzerinde çeşitli fiziksel ve mekanik özellikleri ile mühendislik özellikleri üzerinde çalışmalar yapmışlar ve ilişkileri açıklamışlardır.

Bozcu ve Yağmurlu(1997) ile Şenel vd. (1996)çalışmalarında Eğirdir Isparta güneyinde yer alan Mesozoik yaşlı tortullarınjeolojisini incelemişlerdir.

Kurtuluş (2000;2002) ve Tezcan vd. (2007) deneysel bağıntılardaki tabaka hızlarından söz konusu tabakaların dinamik elastisite özelliklerini hesaplamışlardır.

Helvatjoglud.(2006) ve Stavrogin vd. (1984)gerilme – deformasyon eğrisinden elde edilen statik elastisite modülünün dinamik elastisite modüllerinden daha düşük değerlerde olduklarını göstermişlerdir.

Ercan (2001) çalışmasında Poisson oranı ile V_p/V_s oranına göre kaya zemin ortamlarının sıklığını incelemiştir.

Christensen (2004) ile Courtier vd. (2004)serpantinler üzerinde yapılan jeofizik uygulamalarla sismolojik ve sismik özellikleri ortaya koymuşlardır.

Song vd. (2004) ve Vasconcelos vd. (2007)kayaçta tabakalanmaya paralel yöndeki sismik hız değerinin tabakalanmaya dik yöndekinden daima daha yüksek olduğunu göstermişlerdir. Özellikle metamorfik kayaçların tabakalanması ile ilgili iki yön arasındaki değer farkının anizotropik ortamdan ileri geldiğini ve tabakalanmaya paralel yönde ölçülen sismik hız değerinin tabakalanmaya dik yönüne göre daha yüksek olduğunu açıklamışlardır.

Teymen (2005) bazı kayaçların petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri incelemiş ve kayacı oluşturan minerallerin kristal yapılarına ve kayaç içerisindeki dizilme şekillerine bağlı olduklarını göstermiştir.

Marinos vd.(2006) ofoyolitler üzerinde jeolojik indeks anlamında kantitatif olarak kayaçların mühendislik özelliklerinin değiştiğini göstermişlerdir.

Diamantis vd.(2009)Orta Yunanistan'daki serpantinlerin dinamik ve fiziksel özelliklerini saptayarak deneysel ilişkiler kurmuşlardır.

Kurtuluş vd. (2010), D'Andrea vd. (1964), Broch ve Franklin (1972), Bieniawski (1975), Hassani vd. (1980), Read vd.(1980), Forster(1983), Gunsallus ve Kulhawy (1984), Cargill ve Shakoore (1990) ve Chau ve Wong (1996)en küçük kareler yöntemiyle regresyon analizi sonucunda, $I_{s(50)}$ ile UCS ilişkisinin varlığını belirlemişlerdir.

Kurtuluş vd. (2011) Kuzeybatı Türkiye'de serpantinleşmiş ultrabazik kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini ayrıntılı olarak ortaya koymuşlardır.

Elitok (2012) Güneybatı Türkiye'de Antalya kompleksinin kuzey kanadındaki mafik – ultramafik kayaçların jeolojik, kimyasal ve jeodinamik etkilerini ayrıntılı bir şekilde incelemiştir.

3.SERPANTİNLEŞMİŞ ULTRABAZİK KAYAÇLARIN OLUŞUMU

Serpantinleşme, ultrabazik kayaçlara H₂O ve CO₂ ilavesi ile bu kayaçların bünyesinde bulunan olivin ve piroksenlerin serpantin minerallerine (krizotil, antigorit, lizardit) dönüşmesi ile oluşan alterasyon türüdür. Bazı durumlarda, karbonatlaşmış serpantinler Au, Ag ve Co yatakları ile ilişkili olabilirler. Serpantinleşmiş ultrabazikler, ultrabazik kayaçların ayrışmaları sonucu oluşur. Serpantinleşmiş ultrabazikler içinde yaygın olarak tektonik kayma yüzeyleri gözlenir (Helvacı vd., 2013).

3.1. Bazik ve Ultrabazik Kayaç Kavramı

Bazik ve ultrabazik kayaçların, doğal taş sektöründeki son yıllarda değeri önemli derecede artmıştır. Bu nedenle, talebi önemli boyutlara erişen magmatik kayaçların ticari isminin yanı sıra, mineralojik ve petrografik olarak da bazı terimleri doğal taş sektöründe yer almıştır.

Bu kayaçların mineralojik kompozisyonunda yer alan minerallerin azlık ve çoklukları da, kayaçların isimlendirilmesinde, bu kayaçların kesilip parlatılmasında, ticari değerinde, hatta blok veriminde çok önemli bir yer tutmaktadır. Bazik ve ultrabazik kayaçların petrografik ve petrolojik özelliklerinin yanı sıra mineralojik bileşimlerinde önem arz etmektedir (Kibici, 2003).

3.1.1. Bazik kayaçlar ailesi

Aşağıdaki bilgiler aksi belirtilmediği sürece Kibici (2003)' nin yayınından alınmıştır.

• Gabro

- Esas mineraller

• Bazik plajiyoklas (labrodor, bitovnit), mafik mineraller (piroksen, olivin, nadiren hornblend), eser miktarda ilmenit (FeTiO₃)

- **Mineralojik bileşim** = Labrador + piroksen ± olivin

. Bazik plajiyoklas % 45-70

. Mafik mineraller % 25-50

- Tali mineraller

Magnetit, ilmenit, sfen, apatit, bazı gabrolarda tali olarak kuvars, orto, kromit bulunabilir.

- Sekonder mineraller "Ayrışma ürünleri"

Sosuritleşme, skapolitleşme, uralitleşme, serpantinleşme sonucu zoizit, dişten, albit, serisit, hornblend, kuvars gibi sekonder mineraller oluşur. Ayrıca, skapolit grubu minerallerden meionit, marialit gibi minerallerde meydana gelebilir.

** Mafik minerallerin cins ve miktarlarına göre,

• **Normal gabro** = labrador + ojit (diallaj) + monoklinik piroksen

• **Norit** = labrador + ortorombik piroksen

• **Troktolit** = labrador + olivin

• **Olivinli gabro** = labrador + piroksen + olivin

• **Hornblendli gabro** = labrador + hornblend + piroksen

• **Anortozit** = Esas olarak bazik plajiyoklaslardan (labrador, bitownit) oluşur. Mafik mineral max. % 10 dur.

• **Melagabro** = Renk indisi (COL) %70 civarında olan ve dolayısıyla, bol miktarda mafik mineral içeren gabro türüdür.

• **Feldspatoidli gabro**

Nefelin % 5-10

Mafik mineraller % 35-50

- Tali mineraller

Apatit, analsim, biyotit, olivin, sfen, titanlı magnetit.

• **Diyabaz**" Dolerit "

- **Dolerit** = Plajiyoklas (labrador) + piroksen ± olivin

- **Diyabaz** = Plajiyoklas (An5-50) + hornblend

. Mafik mineraller % 25-65

. Bazik plajiyoklas % 30-70

- Tali mineraller

Magnetit, ilmenit, apatit, kuvars, bazen biyotit.

- Sekonder mineraller " Ayrışım ürünleri "

Sosuritleşme, uralitleşme, kloritleşme, albitleşme, serpantinleşme, sonucu oluşan epidot, zoizit, hornblend, albit, antigorit, bastit, kalsit sekonder kuvars.

- Çeşitleri

- Olivinli diyabaz
- Ojitli diyabaz
- Albit ve kloritli diyabaz
- Kuvarslı diyabaz (kuvars % 5 ten az)
- Meladiyabaz

• Bazalt

- Esas mineraller

Bazik plajiyoklas (labrador), mafik mineraller (piroksen, olivin).

- **Mineralojik bileşim** = Labrador + piroksen $\pm$ olivin + hamur maddesi.

. Bazik plajiyoklas % 40-60

. Mafik mineraller % 35-55

- Tali mineraller

Apatit, titanlı magnetit, ilmenit, kuvars, ortoz, kristobalit ve feldspatoid (lösit, nefelin)

- Sekonder mineraller " Ayrışım ürünleri "

Serpantinleşme, sosuritleşme, albitleşme, kloritleşme, uralitleşme, silisleşme, kaolenleşme ve zeolitleşme sonucu oluşan epidot, zoizit, kalsit, albit, klorit, hornblend, sekonder silis, opal, kalsedon, zeolit grubu mineraller ve kaolen.

- Çeşitleri

a- Olivinli bazalt

. **Oseanit** => olivince zengin bazalt

b- Olivinsiz bazalt " Toleyitik bazalt "

c - Kuvarslı bazalt (bileşimlerinde % 5-10 SiO₂)

. **Melafir** => Paleozoik yaşlı bazalt

d - Olivinli ve feldspatoidli bazalt " Bazanit "

. **Nefelinli bazanit** = nefelin + labrador + olivin + ojit.

. **Lösitli bazanit** = lösit + labrador + olivin + ojit.

e - Olivinsiz feldspatoidli bazaltlar " Tefrit "

. **Nefelinli tefrit** = nefelin + labrador + ojit.

. **Lösitli tefrit** = lösit + labrador + ojit.

- Tali mineraller

Bazaltik hornblend, biyotit, alkali hornblend (barkevisit, arfvedronit), sfen, melanit, magnetit, ilmenit, apatit.

Bazaltların diğer önemli bir sınıflaması da şöyledir.

* Toleyitik bazalt

* Yüksek alüminalı bazalt

* Alkali bazalt

Aşırı doygun bazalt " doyumlu bazalt " - Doyumsuz bazalt

3.1.2. Ultrabazik kayaçlar ailesi

Aşağıdaki bilgiler aksi belirtilmediği sürece Kibici (2003)' nin yayınından alınmıştır.

• Peridotit

- Esas mineraller

Olivin, piroksen, bazen mika ve hornblend, opak mineraller (kromit, magnetit, platin grubu minerallerden platin)

- **Mineralojik bileşimi** = Olivin + piroksen ± kromit.

. Olivin + piroksen % 90-95

. Kromit, magnetit % 3-10

*** Olivin miktarının azalmasıyla kayaç piroksenite geçer .

- Tali mineraller

Kromit, magnetit, ilmenit, pirit, pirotin, platin grubu mineraller, pirop, perovskit, bazen anortit ve bitovnit gibi bazik plajiyoklaslar (plajiyoklas oranı % 5 -10 olursa o zaman kayacın adı plajiyoklaslı peridotit olur.)

- Sekonder mineraller

Serpantinleşme ve lateritleşme sonucu oluşan antigorit, krizotil, lizardit, bastit, opal, kalsedon, limonit.

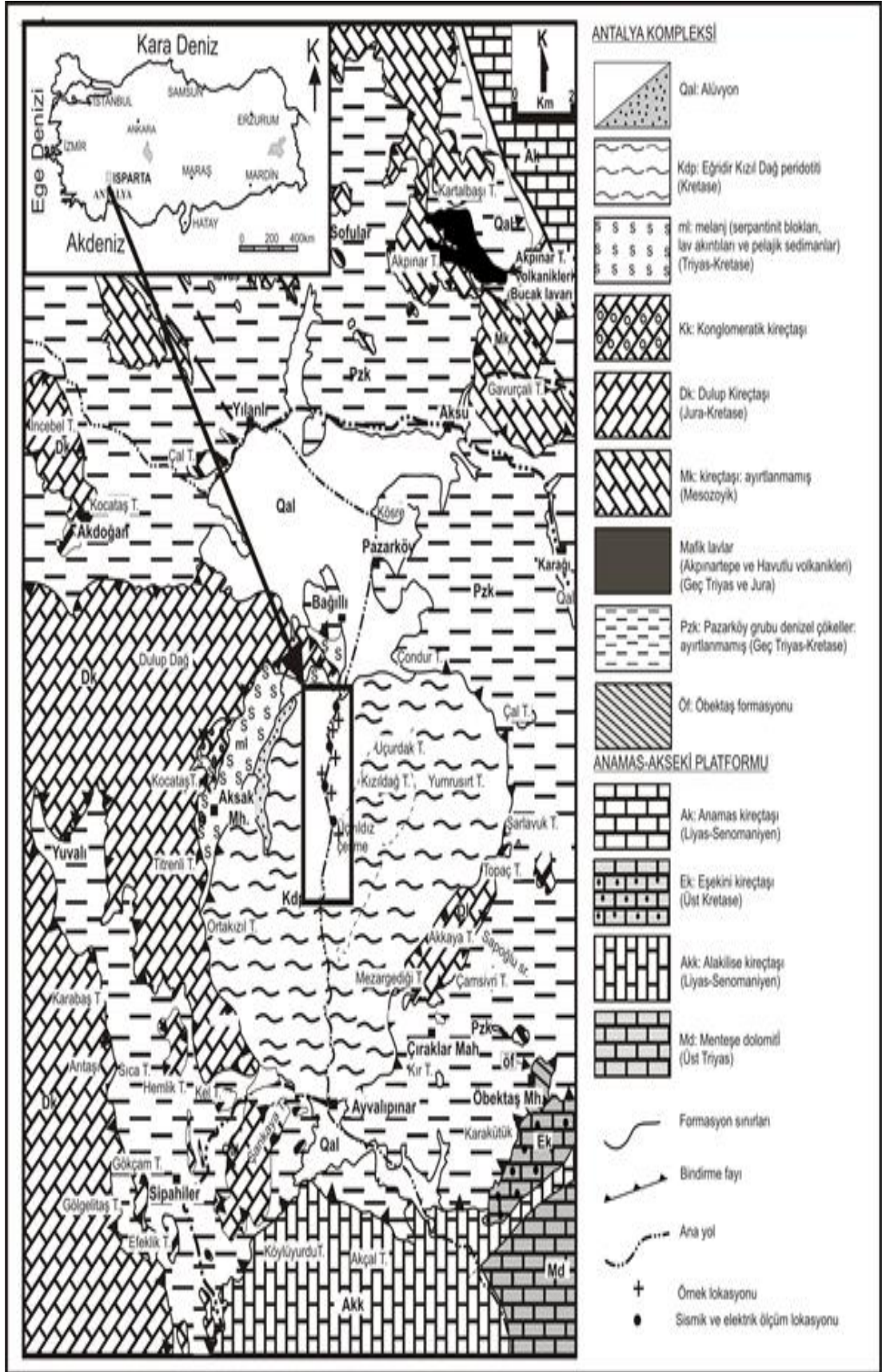
- Çeşitleri

- **Dunit** = olivin ± kromit.
- **Harzburgit** = olivin + hipersten.
- **Kimberlit** = olivin + mika + piroksen + granat ± elmas.
- **Piroksenit** " piroksenolit" = piroksen ± olivin (% 10-% 30)
- **Hornblendit** = hornblend ± olivin (% 10-% 30)

Bu çalışmada incelenen kayaç çeşidi harzburgittir.

4. İNCELEME ALANININ KONUMU

İnceleme alanının temelini kuzeydoğuda Anamasdağ formasyonu, Güneydoğu ve doğuda Menteşe dolomiti, Alakilise Kireçtaşı ve Eşekini formasyonunu oluşturan karbonatlı birimler oluşturmaktadır. Bunlar üzerine Pazarköy Grubu adı altında toplanan farklı havza koşullarını yansıtan, birbirleriyle tektonik ilişkili olarak bir arada bulunan sedimanter kaya birimleri ve yine farklı tektonik ortamlarda gelişmiş volkanik kayalar (Akpınar Tepe volkanitleri, Havutlu volkanitleri) , Kızıldağ peridotitleri, Dulup kireçtaşları, Öbektaş formasyonu tektonik olarak gelmektedir (Elitok, 2012). Şekil 4.1 de bölgeye ait jeoloji haritası verilmiştir.



Şekil 4.1. Aksu-Ayvalıpınar arasının jeoloji haritası (Elitok, 2012)

4.1. İnceleme Alanının Jeolojisi

Anamasdağ Formasyonu orta-kalın katmanlı, bej, kirli beyaz, açık kahve, krem renkli, yersel masif görünümlü olan birim inceleme alanının kuzeydoğu kesimlerinde mostra vermektedir. Şenel vd. (1996) birimin yaşını Kampaniyen-Maastrichtiyen olarak belirlemişlerdir.

Menteşe Dolomiti Üst Noriyen-Resiyen yaşlı Mentşe Dolomiti arazide açık grimsi, katmanlanması belirsiz, oldukça kırılğan ve dağılğan özelliklerde gözlenmektedir. Dolomitler kalın katmanlı, yoğun bitüm kokulu yer yer masif yapılıdır(Elitok, 2012).

Alakilise Kireçtaşı Ayvalıpınar güneyinde, Akpınar tepe ve doğu kesimlerinde yüzeyleme vermektedir. Birim genelde koyu gri, grimsi orta-kalın katmanlı, yer yer masif görünümlü, sık eklemli karstik erime boşluklu olarak gözlenmektedir. Kireçtaşları daha çok rekristalize özellikte, bozunma rengi gri, beyazımsı gri, taze kırık yüzey rengi, bej, beyazımsı bej, masif yapılı, bol kırık çatlaklı, erime boşlukludur. Kireçtaşlarında açılmış olan yol yarmasında kireçtaşlarının orta-kalın katmanlanma sunduğu gözlenmektedir. Bozcu ve Yağmurlu (1997) birimin yaşını elde ettikleri fosil bulgularına göre Liyas-Üst Kretase aralığı olarak belirlemişlerdir.

Eşekini Formasyonu genellikle grimsi, sarımsı, kırmızımsı ince-orta düzgün katmanlı, pelajik, yer yer şeyl ve kilaşı arakatkılı mikritik, killi yer yer çörtlü mikritik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bozcu ve Yağmurlu (1997) birimin yaşını elde ettikleri fosil bulgularına göre Üst Kretase olarak belirlemişlerdir.

Öbektaş Formasyonu Öbektaş mahallesinin olduğu kesimlerde grimsi, kırmızımsı kahve, yeşilimsi renklerde oldukça altere, kolay kırılğan ve dağılğan, afanitik ve amigdoloidal dokulu volkanik kayaçlar, diyabazik kaya kırıntıları, kırmızı kahve, yeşil, sarımsı yeşil, koyu yeşil çamurtaşları ve bunlarla birlikte aynı malzeme ürünü olistostromal oluşuklardan meydana gelmektedir. Yine mahallenin kuzeyine doğru karbonatlı, kırıntılı, spilitik kaya kırıntı ve blokları olistostromal karışık halinde yer almakta hatta kireçtaşı blokları kendi içerisinde konglomeratik özellik sunmaktadır.

Kızıldağ Peridotitleri daha çok harzburjitik peridotitler, bunları kesen piroksenit ve izole diyabaz daykları ile harzburjitler içerisinde yer yer lens şekilli dunitlerden oluşmaktadır. Peridotitlerin genelde bozunma rengi kahve, sarımsı kahve, yeşilimsi kahve taze kırık yüzey rengi koyu yeşil, siyahımsı yeşil, sarımsı yeşil renk tonlarındadır. Peridotitler genelde kolay kırılğan ve dağılğan olup kılcal serpantin ağları yoğun gelişmiş ve masif içerisinde yer yer sert ve yoğun özellik sunmaktadır. tektonizmadan dolayı breşleşmiş ve yer yer şisti yapı kazanmıştır. Ayvalıpınar kuzey kesimlerinde ultramafiklerde yoğun kılcal serpantin ağları, diyagonal gelişmiş sık çatlaklar mevcuttur. Yine bu kesimlerde ultramafiklerde magmatik bantlaşma ve bu bantlaşmaya paralel dizilmiş piroksen mineralleri ya da piroksence zengin ince seviyeler yer almakta ve piroksenler kayaç içerisinde yüksek rölyefli kısımları oluşturmaktadır (Elitok, 2012).

Ofiyolitik melanj Kızıldağ peridotitlerinin batı, kuzeybatı sınırı boyunca Dulup kireçtaşı ile olan dokanak boyunca ve onun taban kesimlerinde gözlenmektedir. Aksak mahallesi güney kesimlerinde oldukça serpantinleşmiş, ezik makaslamaya uğramış koyu kahvemsı gri, sarımsı yeşil harzburjitler içerisinde koyu kırmızı, bordomsu kırmızı cm-dm kalınlığında ince tabakalı radyolarit çörtler yer almaktadır. Çörtler kendi içinde mikrokıvrımlı ve mikrofaylı olup yönelimi serpantinitletler içerisinde genel makaslama düzlemlerine paraleldir. Ofiyolitik melanj içerisinde konglomera, mikrokonglomera, kumtaşı blokları yer almaktadır. Aksak mahallesi batı kesimlerinde masif dolomitik rekrystalize kireçtaşları yer almaktadır. Dulup dağı doğusu ve Aksak Mahallesi kuzey kesimlerinde bozunma rengi sarımsı yeşil, siyahımsı gri, taze kırık yüzey rengi koyu gri, siyahımsı gri bazaltik kayaçlar yer almaktadır (Elitok, 2012).

Akpınar Tepe VolkanitleriAksu kuzeyinde Akpınar Tepe civarında yüzeylenmektedir. Bozunma rengi açık kahve, sarımsı gri, koyu gri, siyahımsı gri ve taze kırık yüzey rengi kahve, sarımsı kahve renklerde oldukça altere, kolay kırılğan ve dağılğandır. Daha çok alt kesimlerde masif yapılı, orta ve üst kesimlerde yastık lav özelliği sunmaktadır (Elitok, 2012).

Havutlu Volkanitleri Havutlu köyünün hemen batısındaki Erenler tepe'nin doğu yamacında mostra vermektedir. Volkanikler kahvemsı, yeşilimsi, siyahımsı

renklerde, afanitik, porfirik dokulu, oldukça altere, kolay kırılğan ve dağılğan özelliklerdedir. Lavların alt ve üst kesimlerinde kırmızı pelajik kireçtaşlarının bulunması dikkat çekicidir. Bu kırmızı pelajik kireçtaşları içerisinde yine kırmızımsı çört yumru ya da mercekleri yer almaktadır (Elitok, 2012).

Pazarköy Grubu genellikle yeşilimsi gri çört bantları içeren bozunma rengi gri, yeşilimsi gri ve taze kırık yüzey rengi beyaz gri, yeşilimsi gri kireçtaşları, bitkili kumtaşları ve içerisinde kireçtaşı bloklarında yer aldığı kırmızı kahve radyolarit-çörtler, plaketsli ince tabakalı kireçtaşlarından oluşmaktadır (Elitok, 2012).

Dulup kireçtaşları genelde bozunma rengi gri, beyazımsı gri, taze kırık yüzey rengi bej, bej gri renklerde olup bu kireçtaşları rekristalize özellikte olup bol kırık çatlaklı ve erime boşlukludur. Birim genelde masif yapıda olup yer yer ince tabakalanma sunmaktadır (Elitok, 2012).

Çalışma alanındaki ultrabazik kayaçlar Şekil 4.2 deki gibidir.



Şekil 4.2. Çalışma alanındaki serpantinleşmiş ultrabazik kayaçların görünümü

5. MATERYAL ve METOD

Isparta- Eğirdir- Pazarköy güneyinde yapılan bu çalışma; büro çalışmaları, arazi çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere üç aşamada yürütülmüştür.

5.1. Büro Çalışmaları

Büro çalışmalarına araştırma konusu ile ilgili literatür derlemeleriyle başlanmıştır. Yapılan gözlem ve deneylerden elde edilen bütün veriler, bilgisayar ortamına aktarılarak, elde edilen veriler arasında karşılaştırılma yapılmıştır.

5.2. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmalarına sismik kırılma ve elektrik özdirenç çalışmaları ile başlanmıştır. Sismik veriler yardımıyla katmanların dinamik elastik parametreleri belirlenmiştir. Aynı alanda DES yöntemiyle serpantinleşmiş ultrabazik kayaların özdirençleri bulunarak yapı hakkında önemli bilgiler elde edilmiştir. Bunun yanı sıra jeofizik veriler değerlendirilerek söz konusu serpantinleşmiş ultrabazik kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri ortaya konmuştur.

5.2.1. Sismik kırılma yöntemi

Mühendislik çalışmalarında; zeminlerin elastik parametrelerinin saptanmasında, örtü tabakasının kalınlığının ve ana kaya derinliğinin araştırılmasında, zeminlerin sınıflandırılması ve sökülebilirliğinin belirlenmesinde sismik kırılma yöntemleri oldukça başarılı olmaktadır.

Tüm sığ kırılma çalışmaları, yeryüzünde yapay olarak oluşturulan elastik dalgaların alıcılara (jeofon) ilk varış zamanlarının kaydedilmesi esasına dayanır. Elastik dalgaların farklı ortamlarda farklı hızlarla yayıldığı bilinmektedir. Buna göre yerde oluşturulan elastik dalgaların belirli uzaklıklardaki alıcılara varış sürelerinin kayıtçılar tarafından kaydedilmesi ile elastik dalgaların ortam içindeki yayılım hızı bulunur.

5.2.1.1. İki tabakalı ortamda kırılma

Kırılan dalgalar iki farklı hıza sahip ortamların her ikisinde de yayındığından bu iki hıza bağlıdır. Bu dalgaların yeryüzünde kaydedilebilmeleri için kritik açı koşulunun ($\sin(i_c) = V_0/V_1$) sağlanması gerekir. Dalganın bu kritik açı altında, alttaki tabaka içinde yayılması “baş dalgası” olarak adlandırılır.

İki tabakalı eğimli bir ortam için yayınım süresi;

$$T_x = \frac{1}{V_0[x.\sin(i_c+\theta)+2.h\cos i_c]} \quad (5.1)$$

Bağıntısı ile verilir. Burada θ , ikinci tabakanın eğimidir. i_c , kritik açılı dalga yoluna ait kritik dalga cephesinin kaynaktan alıcıya gitmesi için gerekli zaman,

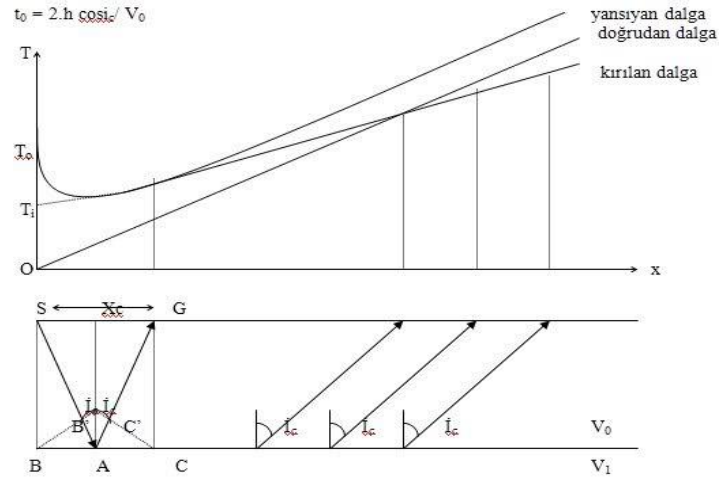
$$t = (x_c/V_1) + (SB' + C'G/ V_0) \quad t = \left(\frac{x_c}{V_1}\right) + \left(SB' + \frac{C'G}{V_0}\right) \quad (5.2)$$

$$\text{veya} \quad \cos(i_c) = \frac{SB}{h} = \frac{C'G}{h} \text{ alınarak} \quad (5.3)$$

$$t = \left(\frac{x_c}{V_1}\right) + \left(2h.\cos\left(\frac{i_c}{V_0}\right)\right) \quad (5.4)$$

$$\text{ve } \cos(i_c) = \frac{(V_1 - V_0)}{V_1} \text{ yazılabilir.} \quad (5.5)$$

Yukarıdaki bağıntı ($t-x$) grafiği $1/V_1$ eğimli doğru olup $x=0$ için t eksenini kestiği yer, kesme zamanı olarak adlandırılır.



Şekil 5.1. Sismik ışınların yayınımlı ve yol- zaman diyagramı (Us,1993)

(t-x) grafiklerinden kesme zamanı (t_0) ve (V_0 , V_1) hızları belirlenebileceğinden,

$$h = \left(\frac{t_0}{2} \right) \left(\frac{V_0}{\cos(i_c)} \right) \quad (5.6)$$

Bağıntısı ile ilk tabakanın kalınlığı hesaplanabilir.

5.2.1.2. Eğimli tabakalı ortamlarda kırılma

Eğimli bir tabakada kırılma bağıntılarını çıkarmak için yukardaki şekilde görülen modelden yola çıkarsak,

$$\tan \varphi_0 = \frac{1}{V_1} \quad (5.7)$$

$$\tan \varphi_0 = \left(\frac{1}{V_1} \right) \sin(i_c - \delta) \quad (5.8)$$

$$\tan \varphi_0 = \left(\frac{1}{V_1} \right) \sin(i_c + \delta) \quad (5.9)$$

φ_0 , φ_1 , φ_2 açılar ve V_1 hızı t-x eğrisinden bulunur. Kaynaktan (S) çıkan dalga, (P) noktasında tam yansıma uğrar.

$$\text{Snell yasasından, } \sin(i_c) = \left(\frac{V_1}{V_2}\right) \text{ yazılır.} \quad (5.10)$$

Doğrudan dalganın zaman uzaklık eğrisi ise,

$$t_0 = \left(\frac{x}{V_1}\right) \text{ olarak verilebilir.} \quad (5.11)$$

Kırılmaya uğrayan dalganın varış zamanı,

$$t_r = \left(\frac{SP}{V_1}\right) + \left(\frac{PP'}{V_1}\right) + \left(\frac{S'P'}{V_1}\right) \text{ olacaktır.} \quad (5.12)$$

Yukarıdaki şekilden yararlanarak bağıntılar kurulursa,

$$SP = \left(\frac{h}{\cos(i_c)}\right) = T \left(\frac{\cos(\theta)}{\cos(i_c)}\right) \quad (5.13)$$

$$S'P' = \left(\frac{h}{\cos(i_c)}\right) = T' \left(\frac{\cos(\theta)}{\cos(i_c)}\right), T' = T - (x \cdot \tan(i_c)) \quad (5.14)$$

$$PP' = \left(\frac{1}{\cos(\theta)}\right) \left(x \left(1 + \frac{\cos(\theta)}{\cos(i_c)}\right) \sin(i_c + \theta) - T \left(\frac{\cos(\theta)}{\cos(i_c)}\right) \sin(i_c + \theta) + \sin(i_c - \theta)\right) \quad (5.15)$$

Sismik kırılma çalışmalarında 12 kanallı WZG -48 sismik kayıtcı kullanılmıştır. Sistem kayıtları almak için diz üstü bilgisayar, bir balyoz, 12 adet yatay jeofon, 12 adet düşey jeofon ve özel bağlantı ünitelerinden oluşmaktadır. Sismik dalga kaynağı olarak (P) dalgaları için 8 kg. ağırlığındaki balyoz ile çelik plaka üzerine yaptırılan vuruşlardan, (S) shear dalga kaynağı olarak çelik plaka üzerine balyozla yapılan yanal vuruşlardan yararlanılmıştır (Şekil 5.2). P ve S kayıtları değerlendirilerek sahada yüzeylenmiş ultrabazik kayacın P sismik hız değerleri 2823 m/s ile 5549 m/s ve S sismik hız değerleri 1243 m/s ile 1603 m/s arasında bulunmuştur. Sismik arazi veri değerlendirmesine ait kayıtlar Ek- A' da verilmiştir.



Şekil 5.2. Arazi sismik çalışması

Arazi çalışmalarından elde ettiğimiz P dalga hızının yardımıyla kaya sınıflandırmasını, Poisson oranı veya V_p/V_s sayesinde ise zemin – kaya sıklığını belirleyebiliriz (Çizelge 5.1Çizelge 5.2). Arazide sismik ölçüm yapılan yerlerin koordinatlarıÇizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. P dalga hızına bağlı olarak kayaçların ayrışma dereceleri (Iliew, 1966)

Ayrışma Derecesi $K=((V_o-V_w)/V_o)$	P Dalga Hızı (m/sn)	Kaya Sınıfı
0	≥ 5000	Ayrışmamış Kaya
0 - 0,2	$5000 < V_p \leq 4000$	Az Ayrışmış Kaya
0,2 - 0,4	$4000 < V_p \leq 3000$	Orta Ayrışmış Kaya
0,4 - 0,6	$3000 < V_p \leq 2000$	Fazla Ayrışmış Kaya
0,6 - 1,0	< 2000	Çok Fazla Ayrışmış Kaya

Çizelge 5.2. Poisson oranı ve V_p/V_s oranına göre zemin/kaya ortamlarının sıklılığı
(Ercan, 2001)

Poisson Oranı	Zemin/Kaya Sıklılığı	V_p/V_s Oranı
0,5	Cıvık - Sıvı	Sonsuz
0,4 - 0,49	Çok Gevşek	Sonsuz - 2,49
0,3 - 0,39	Gevşek	2,49 - 1,87
0,2 - 0,29	Sıkı - Katı	1,87 - 1,71
0,1 - 0,19	Katı	1,71 - 1,5
0 - 0,09	Sağlam	1,5 - 1,41

Çalışma alanındasismik kırılma kayıtlarından belirlenen ultrabazik serpantinleşmiş kayaçların ortalama dinamik P ve S hızları ve mühendislik özelliklerini belirlemek için Çizelge 5.3’dekullanılan bağıntılar aşağıda gösterildiği gibidir.

$$\text{Poisson oranı } \nu = \frac{1-2\left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2}{2-2\left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2} \quad (5.16)$$

$$\text{Kaymamodülü } G = \frac{(DUW)V_s^2}{100} \quad (5.17)$$

$$\text{Elastisite modülü } E = 2(1 + \nu)G \quad (5.18)$$

$$\text{Güvenli taşıma kapasitesi } q_s = 0,024(DUW)V_s \quad (5.19)$$

$$\text{Güvenli taşıma katsayısı } K_s = 40 \left(\frac{V_p}{V_s}\right) q_s. 19,99 \quad (5.20)$$

$$\text{Kurubirim hacimağırlığı } \gamma_d = \frac{((0,002)V_p)^{+16}}{10} \quad (5.21)$$

Kayaç kalitesi tasarım değeri

$$RQD = 87,117 + 18,26. \cos \left(13,0,5 \left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 + 3,34 \right) \quad (5.22)$$

$$\text{Bulk modülü } k = \left(\frac{2(1+\nu)}{3(1-2\nu)} \right) G \quad (5.23)$$

Çizelge 5.3. Çalışma alanında sismik kırılma kayıtlarından belirlenen ultrabazik serpantinleşmiş kayacın ortalama dinamik P ve S hızları ve mühendislik özellikleri

Serim No	Koordinatlar		Ofset (m)	Jeofon arası (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	γ_d (kN/m ³)	ν	G (Gpa)	E (Gpa)	k (Gpa)	T _o (s)	q _s (kPa)	K _s (Gpa)	RQD
	D	K													
1	37°44'40.2563"	31°01'36.6615"	3	3	4701	1517	2,540	0,44	5,73	16,53	4,74E+08	0,09	924,8	2291618	69,27
2	37°44'40.1577"	31°01'36.5824"	3	3	2823	1603	2,165	0,26	5,45	13,76	9,64E+08		832,8	1172661	85,97
3	37°43'34.3277"	31°01'44.0481"	2	4	4590	1243	2,518	0,46	3,81	11,14	4,69E+08		751,2	2217954	75,30
4	37°41'58.3264"	31°01'47.6532"	3	3	5549	1400	2,710	0,47	5,21	15,27	7,49E+08		910,5	2885599	90,94
Std. Spm					1145	156	0,229	0,10	0,85	1,87	7,75E-08	-	80,1	711972	9,86

Arazi P ve S sismik hız değerleri göz önünde bulundurularak kayacın kalite tasarım değeri, çatlak sıklığı ve hız oranından kayaç kalitesi belirlenmiştir. Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4.Dalga hızı oranlarına göre kayaç kalitesi (Onodera, 1963)

Kayaç Kalitesi	RQD (%)	Çatlak Sıklığı (m ⁻¹)	Hız Oranı (V _a / V _i)
Çok Zayıf	0 - 25	> 15	0,0 - 0,2
Zayıf	25 - 50	15 - 8	0,21 - 0,4
Orta	50 - 75	8 - 5	0,41 - 0,6
İyi	75 - 90	5 - 1	0,61 - 0,8
Çok İyi	90 - 100	≤ 1	0,81 - 1,0

NOT: Burada V_a arazide ölçülen P dalga hızı, V_i ise laboratuvarında ölçülen P dalga hızı

5.2.2. Elektrik özdirenç yöntemi

Elektrik özdirenç yöntemi en sık kullanılan jeofizik yöntemlerden biridir. Elektriksellik, elektroliz işlemiyle yeryüzü boyunca oluşan iletimdir ve toprak ile kayaçlarda bulunan gözeneklilik ile gözeneklerin içerdiği su oranına bağımlı olarak değişim gösterir. Bu yöntemde amaç; yer içindeki yapıların yatay ve düşey yönde elektriğin iletim biçimlerini araştırmaktır. Kayaçların özdirenci elektriği iletme yeteneğinin yanı sıra elektriğin iletimine karşı direnç anlamına gelir. Kayaç birimleri içerisindeki gözenekliliği az ve sıkı olanlar oldukça zayıf ileticiler ve yüksek dirence sahiptirler. Buna karşı gözeneklilik miktarı arttıkça gözeneklerdeki sıvı oranına bağlı olarak iletkenlik artar ve direnç azalır.

5.2.2.1. Düşey elektrik sondajı (DES)

Düşey elektrik sondaj yöntemi, elektrik sondajında sabit bir nokta simetrimerkezi olacak şekilde, her ölçüm sonucunda bu noktanın iki tarafında elektrotların bir çizgi boyunca açılmasıyla uygulanır. Böylece yer içinde düşey yöndeki özdirenç değişimi incelemeye çalışılır.

DES tekniği, bir jeolojik yapının birimin derinliğinin hesaplanması veya birimin üzerinde yer alan jeolojik yapının kalınlığının veya taban topoğrafyasının belirlenmesi gibi yeryüzünden derinlere doğru araştırma yapmayı veya yapının derinliğini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Burada, DES tekniği ile yeraltındaki katmanların gerçek özdirenci ve kalınlıklarının elde edilebilmesi için görünür

özdirenç (pa) değerleri, elektrot aralığının bir fonksiyonu olarak grafik haline getirilmelidir.

Elektrotlar arasındaki aralık arttıkça inebileceği derinlik artacağından, bu uygulama ile sığ derinliklerden başlayarak belirli bir derinliğe kadar olan tabakaların özdirençlerinin etkileri ölçülmüş olur. Bu şekilde ölçülen veri, yatay eksen (AB/2 m) ve düşey eksen ölçülen görünür özdirenç (pa-ohm) değerleri olacak şekilde çizilir. Elde edilen eğri, DES eğrisi olarak adlandırılır. AB/2 ve ölçülen görünür özdirenç değerlerinin çok geniş aralıkta değişmesinden dolayı, genel olarak DES eğrisinde her iki eksen de logaritmiktir. Görünür özdirençin değişiminden birinci tabakanın kalınlığı, özdirenci ve alt tabakanın özdirenci hesaplanabilir. DES yöntemiyle yeraltı tabakalarının arasındaki sınırları yeraltı yapı kesitleriyle belirleyebiliriz. DES yöntemi, yeraltı suyu içeren tabakaların aranmasında, ana kaya üstündeki örtü kalınlığının bulunmasında kullanılır. Yöntem özellikle, yatay ya da az çok yatay olan tabakaların etüdünde kullanılmaktadır (Kopaçlı, 2009).

5.2.2.2. Elektrik haritalama (yanal tarama)

Eğer tabakalar veya ara yüzeyler yatay olmayıp düşey iseler uygulanan rezistivite ölçüm yöntemi elektrik haritalama veya profil adını alır. Bu yöntemin amacı yanal değişimleri bulmaktır ve bilhassa mineral prospeksiyonunda çok önemlidir. İnşaat mühendisliği çalışmasında üstteki tabakanın (yani temel kaya) derinliğini belirlemede kullanılır. Mineral araması, düşey kontakların (örneğin, faylar, dayklar, makaslama zonları, dik bir şekilde eğimli maden damarları gibi) ve üç boyutlu cisimlerin (örneğin, iletken masif sülfürlü cevherler gibi) yerinin saptanmasını içerir. İncelenecek yapının doğrultusuna dikey olay profiller üzerinde ölçüm yapılır.

Arazi durumuna bağlı olarak seçilen herhangi bir elektrot dizilişi kullanılabilir. En fazla kullanılanlar Wenner-Schlumberger'dir. Bütün bu durumlarda görünür rezistivite potansiyel elektrotlarının orta noktasına göre işaretlenir. Bu durumda Schlumberger için görünür rezistivite,

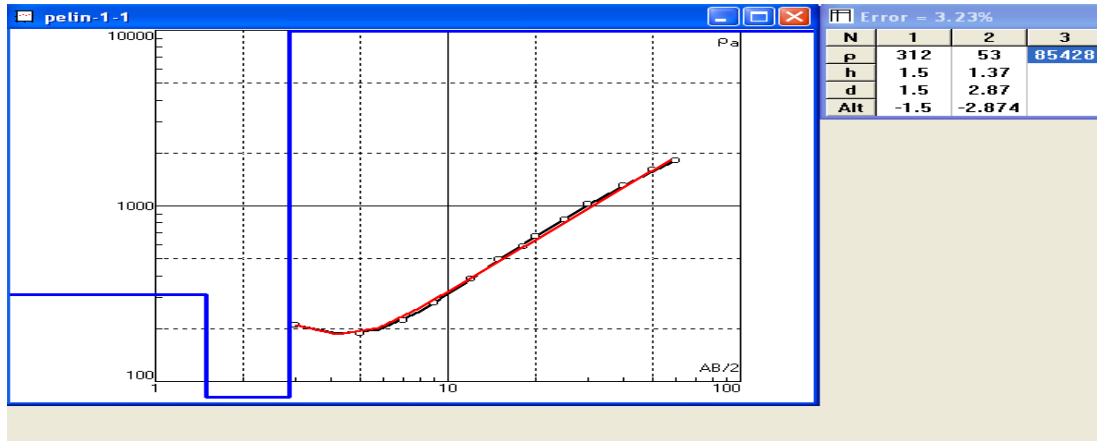
$$\rho_a = \pi L^2 / I (\Delta V / \Delta r) \quad (5.24)$$

5.2.2.3. Schulumberger arazi çalışması

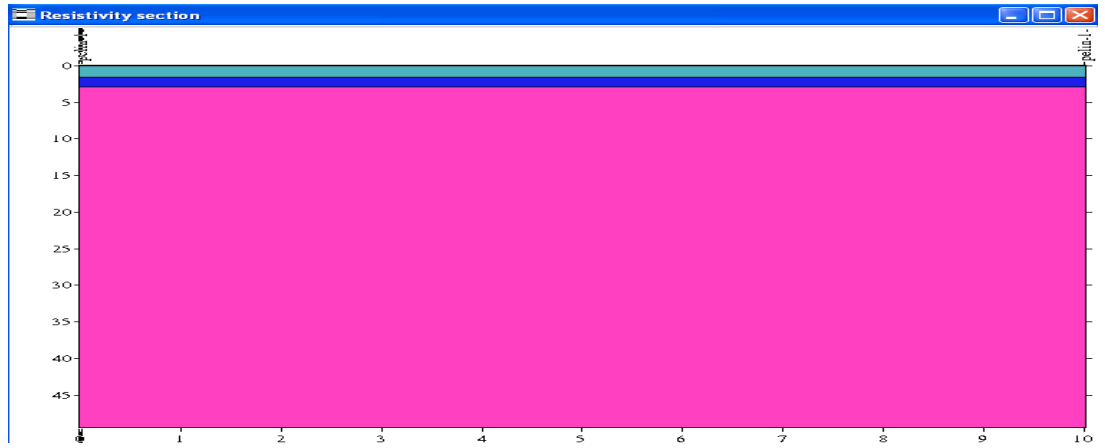
Bu çalışmada sismik kırılma noktalarının olduğu yerlerde birer DES çalışması yapılmıştır. AB/2 ortalama 30m ile 60m arasında değişmektedir. Araziden elde edilen görünür öz direnç değerleri logaritmik olarak çizdirilmiş ve IP2WIN programıyla değerlendirilmiştir (Şekiller 5.4 –5.9). Bu değerlendirmeye göre sahada yüzeylenmiş ultrabazik kayacın elektrik öz direnç değeri 1200 Ω m ile 3400 Ω m arasında bulunmuştur.



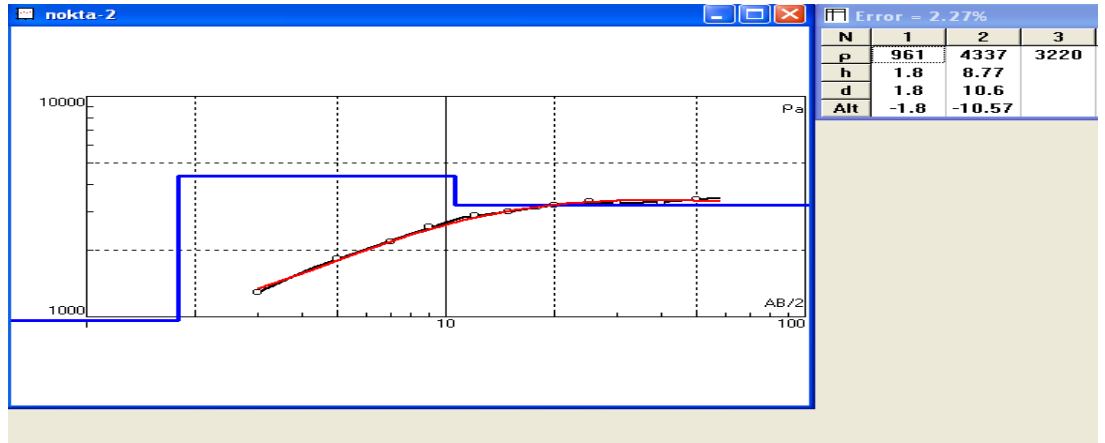
Şekil 5.3. Rezistivite ölçüm aletleri



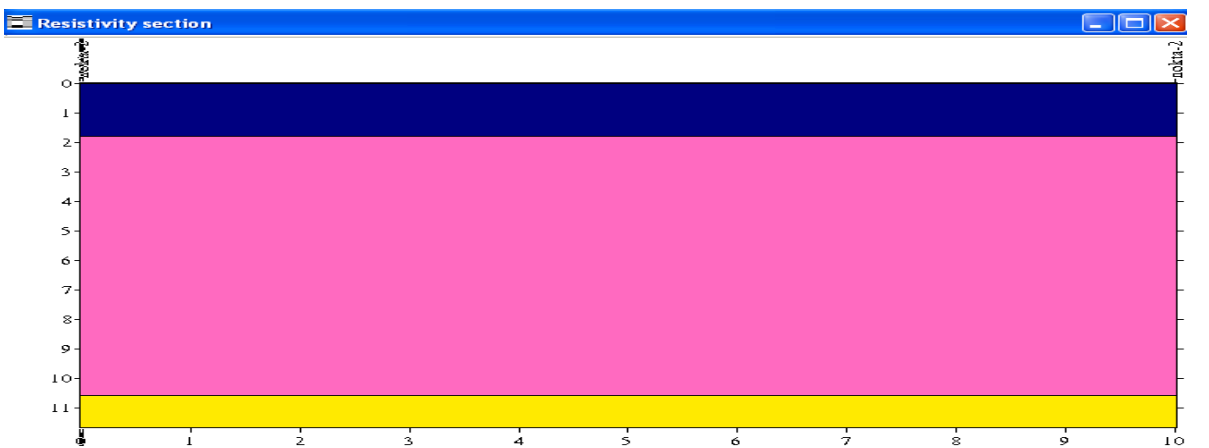
Şekil 5.4. Arazi rezistivite eğrisi (1.nokta)



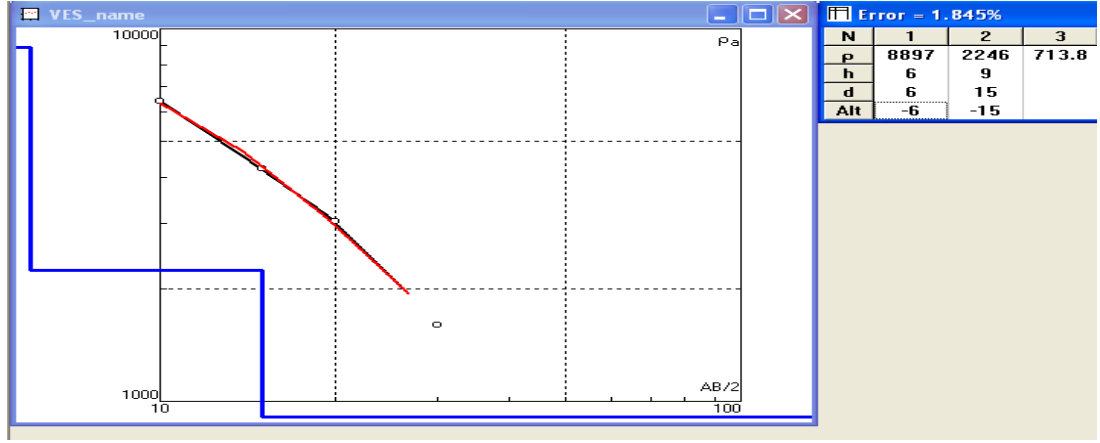
Şekil 5.5. Arazi yerelektrik kesiti (1.nokta)



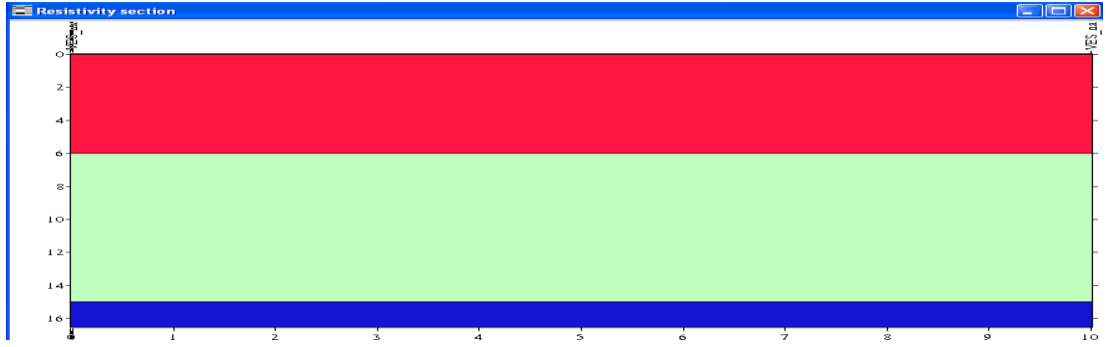
Şekil 5.6. Arazi rezistivite eğrisi (2.nokta)



Şekil 5.7. Arazi yerelektrik kesiti (2.nokta)



Şekil 5.8. Arazi rezistivite eğrisi (3.nokta)



Şekil 5.9. Arazi yerelektrik kesiti (3.nokta)

5.2.3. Mikrotremör yöntemi

Mikrotremör kısa süreli depremler veya patlatmalar hariç zeminde var olan her türlü titreşimlerin adıdır. Deprem sismolojisinde olduğu gibi, arazide ölçülen bir gürültünün spektrumu gürültüye neden olan kaynağın özellikleriyle ölçünün alındığı arazinin yer yapısı özelliklerinin toplamından oluşur.

Yüzey tabakaları genellikle doğal kaynaklar (fırtına, deniz dalgaları) ve yapay kaynaklarla (bitkiler, otomobil, tren vs.) titreşim açığa çıkarırlar (Nakamura, 1989). Mikrotremörler, farklı kaynaklardan yayılan yeryüzündeki sürekli titreşimlerdir. Bu titreşimlerin genlikleri 0,1-1 mikron arasında, periyodları ise 0.05-2 s arasında değişir. Mikrotremörlerin kaynağı da çeşitlilik gösterir. Araştırmacılara göre mikrotremörler doğal kaynaklı çevresel titreşimler veya insan aktivitesi sonucu

oluşurlar. 0.1-1 s arası periyotlardaki mikrotremorların, rüzgar, trafik, tren ve diğer endüstriyel aktivitelerle oluştuğu, orta periyotlu (0,3-0,5 Hz ve 1 Hz arasında) mikrotremörlerin deniz dalgalarının kıyıdaki yayılımından kaynaklandığı, daha uzun periyotlu hareketlerin ise atmosferdeki alçak basınç- okyanus etkileşmesi ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Bu tür mikrotremörler 6-8 saniyelik periyotlarla yayılırlar ve çok uzaklara ulaşabilirler. Okyanusların oluşturduğu titreşimler 12 s, durağan dalgaların oluşturduğu periyotlar ise 6 saniyede maksimum verir. Bütün bu etkenler yeryüzünde titreşim olarak algılanabilir. Mikrotremörlerin en önemli özelliği, bu tür titreşimlerin noktadan noktaya belirgin değişimler göstermesidir. Bu değişimler ölçülen yerin jeolojik özellikleri ile ilişkilidir. 1 saniye ve altındaki (1 Hz üzeri) periyotlarda ve kültürel kaynaklarca (trafik, insan faaliyetleri vb.) oluşturulan titreşimlere kısa periyotlu titreşimler buna karşın, 1 saniye ve üzerindeki (1 Hz altı) periyotlarda ve doğal olaylarca (okyanusal gel-gitler, rüzgar ve atmosferik değişimler vb.) oluşturulan titreşimlere uzun periyotlu titreşimler denilir. Kimi araştırmacılar 0.01–0.5 s periyot aralığındaki titreşimleri kısa periyot, 0.5–1 sn periyot aralığındaki titreşimleri orta periyot ve 2 saniyeye kadar olan titreşimlere de uzun periyot derken, 2 s üzerindeki titreşimleri ‘mikroseism’ olarak adlandırmaktadır (Dikmen, 2006). Genel olarak mikrotremörler, cisim ve yüzey dalgalarının girişimi ile oluşur ve enerjisinin büyük bir kısmı yüzey dalgası olarak yayılır. Mikrotremörlerin içerdiği cisim ve yüzey dalgaları çeşitli mekanizmalarla zamansal ve uzaysal rastgele kaynaklar tarafından oluşur ve değişik jeolojik birimlerde ilerlerler. Sonuç olarak, mikrotremör kayıtları basit matematiksel işlemlerle tanımlanamayan çok karmaşık bir dalga formuna sahiptirler. Böylece belli bir zaman ve konumda mikrotremörlerin genlikleri kestirilemez. Bu aslında stokastik (rastgele) bir olaydır. Şöyle ki mikrotremörlerin genliği belirsiz ve tekrarlanamazdır (Okada, 2003).

5.2.3.1. Mikrotremör verilerinin toplanma aşaması

Sismometreler ivme, hız ve yer değiştirmeye duyarlı olup bu üç büyüklükten biri seçilerek kayıt alınabilmektedir. Mikrotremör kayıtlarının elde edilmesinde genellikle Hız ölçen sismometreler kullanılmaktadır. Sismometreler iki yatay (Kuzey-Güney ve Doğu-Batı) ve bir düşey olmak üzere üç bileşenlidir. Kayıtlarda güç kaynağı olarak 12V pil kullanılabilen ve arazide kayıtlar doğrudan dizüstü bilgisayar bağlantısı ile sayısal olarak alınabilmektedir. Ölçümler screamprogramıyla

sayısal olarak istenilen formatta kaydedilebilmektedir. Ölçüm noktalarının koordinatları ölçüm cihazlarına ait GPS ler veya el GPS leri kullanılarak belirlenebilmektedir. Mikrotremör ölçümlerinde kaydedilen değerler, sismometrenin üzerinde bulunduğu zeminin özelliklerini yansıtmaktadır. Bu sebeple ölçüm yapılan alanlarda sismometre doğal zemin üzerine yerleştirilmelidir. Aşırı gürültülü, asfalt ve beton gibi yapay zemin karakteri taşıyan yüzeyler üzerinde, ağaç, elektrik direği ve benzeri yapıların yakınında, aşırı rüzgarlı ve yağışlı havalarda ve insan kaynaklı gürültülerin en yoğun olduğu zaman dilimlerinde kayıt alınmamalıdır. Ölçümlerin asfalt, kaldırım gibi yapay zeminlerde alınması durumunda elde edilen kayıtlar değerlendirildiğinde doğal zeminin baskın periyodu ve büyümesi değil, yapay zeminin baskın periyodu ve büyümesi bulunacaktır. Aynı şekilde sismometrenin üzerine yerleştirildiği zeminde çakıl, çimen gibi unsurların bulunması da kayıtlar üzerinde gerçek değerlerinden saptırıcı etki yapacaktır.

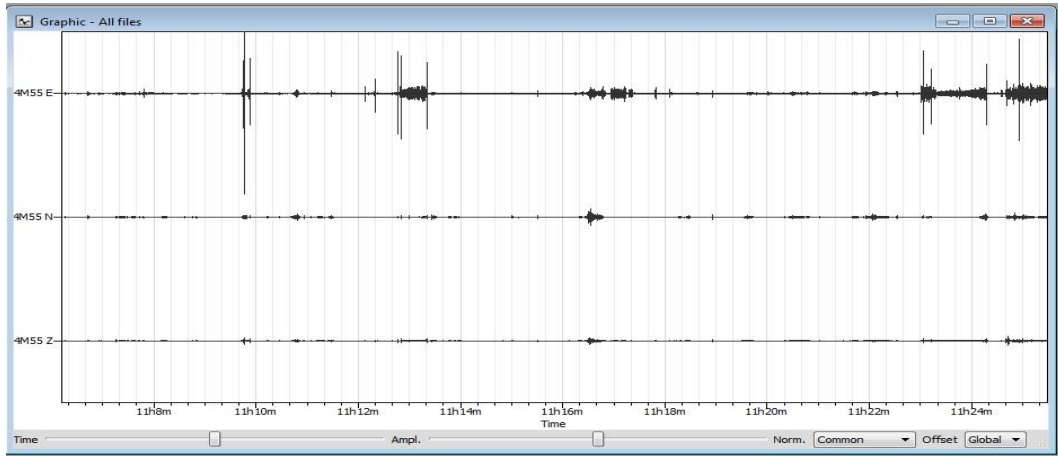
Mikrotremörlerin kaynakları çeşitli yapay ve doğal gürültüler olmasına rağmen, ölçüm alınan bölgenin bu gürültülerden (kaynağın büyüklüğüne ve özelliklerine bağlı olarak) yeterince uzak olmaması durumunda bu etkenler kaynak oluşturmak yerine ölçümlerde bozucu etkilere neden olabilmektedir. Böyle bir durumda alınacak kayıtlar zeminin özelliklerini yansıtmak yerine, kaynağın özelliklerini yansıtacaktır. Arazi çalışmasında böyle durumlardan kaçınılmalıdır. Mikrotremör ölçümleri kültürel gürültünün en az olduğu zaman dilimleri arasında alınmalıdır. Ölçüm noktalarının konumları ve aralarındaki uzaklıklar çalışılacak bölgedeki yerleşimler göz önüne alınarak seçilmelidir. Arazide kayıtlar bilgisayar üzerinde anında görüntülenebildiğinden kayıt süresi, gürültü içeriği göz önüne alınarak belirlenebilir. Gürültünün fazla olduğu yerlerde sakin aralıkları yakalayabilmek için kayıt süresi daha uzun tutulmalıdır. Ayrıca kayıt kalitesi düşük olan mikrotremör ölçümleri yenilenmelidir.



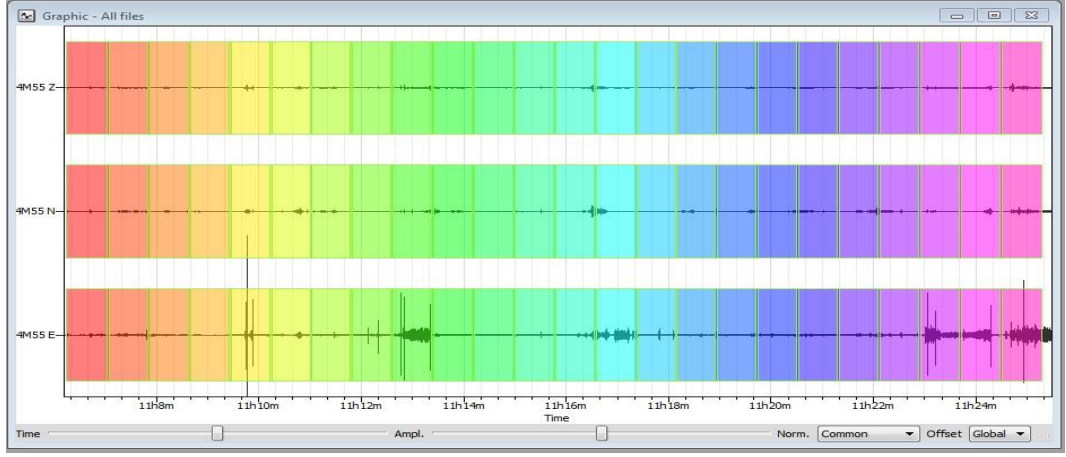
Şekil 5.10.Mikrotremör ölçüm aleti ve kayıt cihazı

5.2.3.2. Mikrotremör arazi çalışması

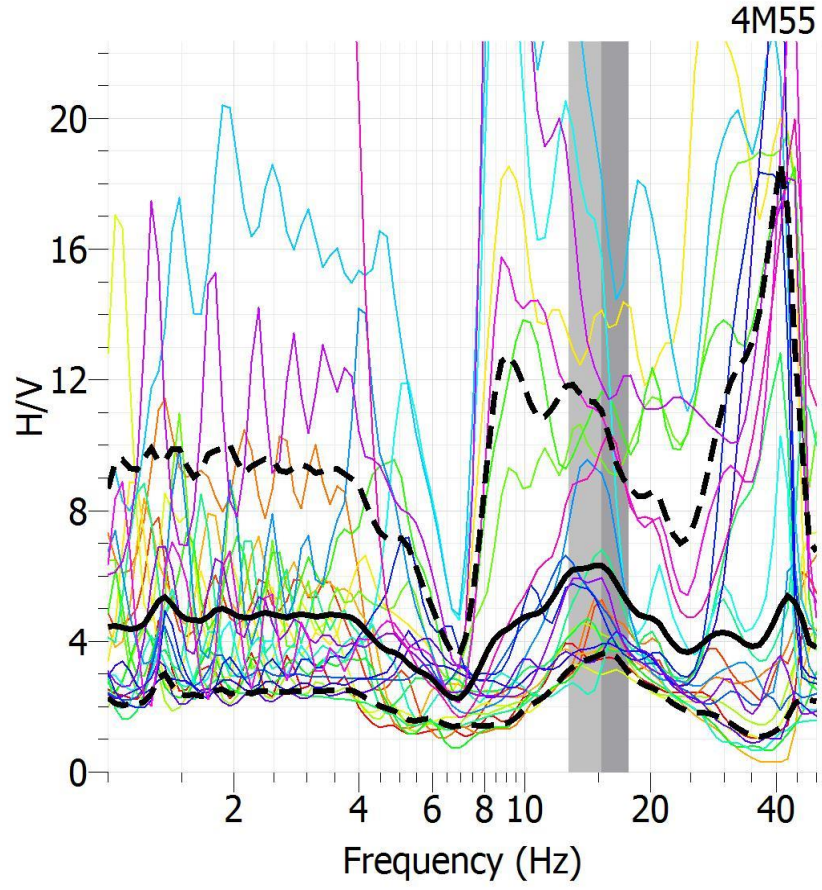
Sismik ölçümlerin alınmış olduğu yerlerde mikrotremör kaydı da alınmıştır. Her bir noktada yaklaşık 30 dakika ölçüm süresi ve 100 Hertzörnekleme kullanılarak alınan ölçülere 25 sn pencere ve %5 katlanma uygulanarak elde edilen sonuçlar Şekiller5.35-5.46’da verilmiştir.



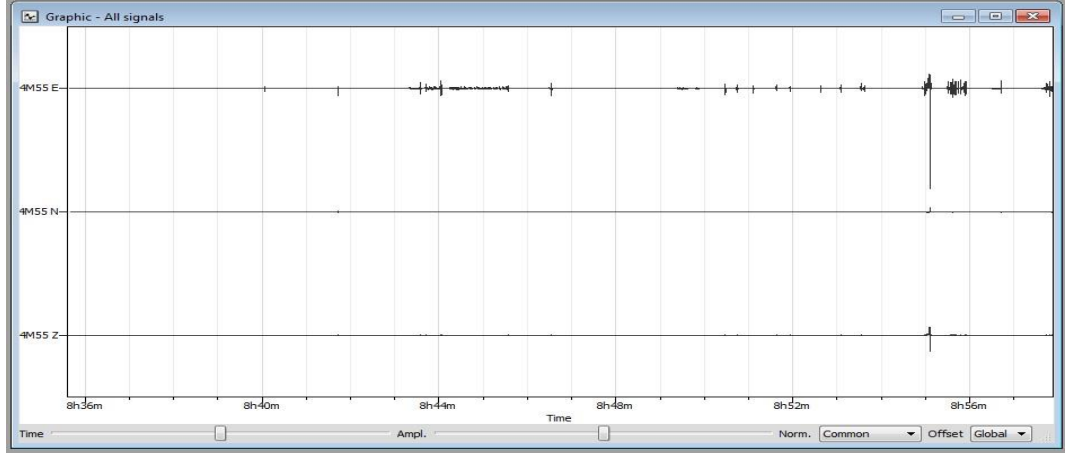
Şekil 5.11. 2 No.lu noktada arazi mikrotremör ölçüm kaydı



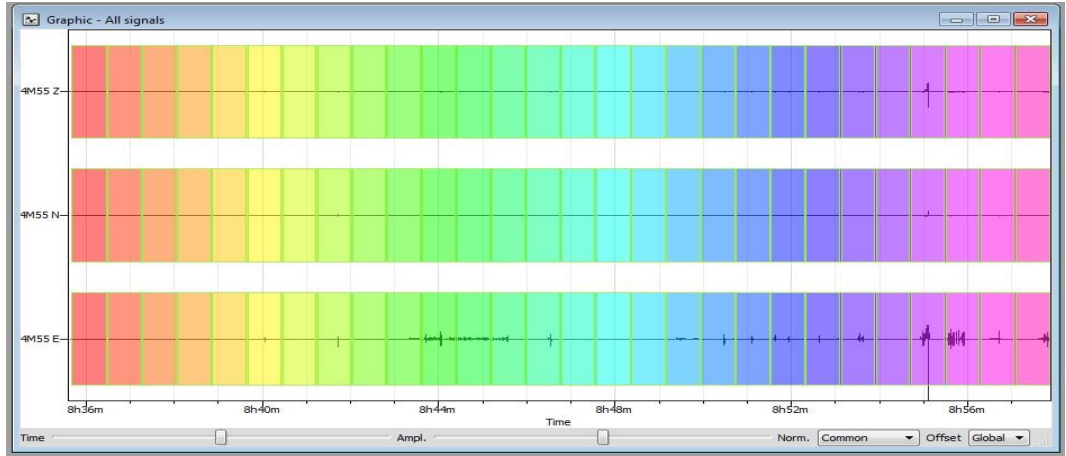
Şekil 5.12. %5 katlanma ile 25'er sn. lik pencerele ayrılmış kayıt



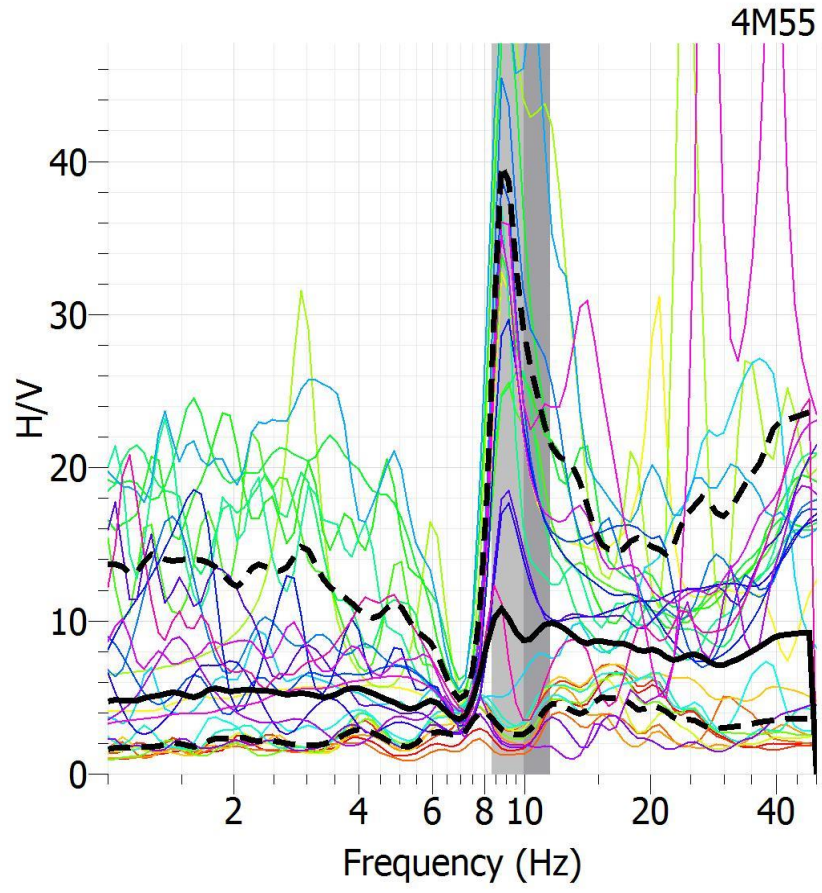
Şekil 5.13. 2 No.lu noktada elde edilmiş H/V-frekans grafiği



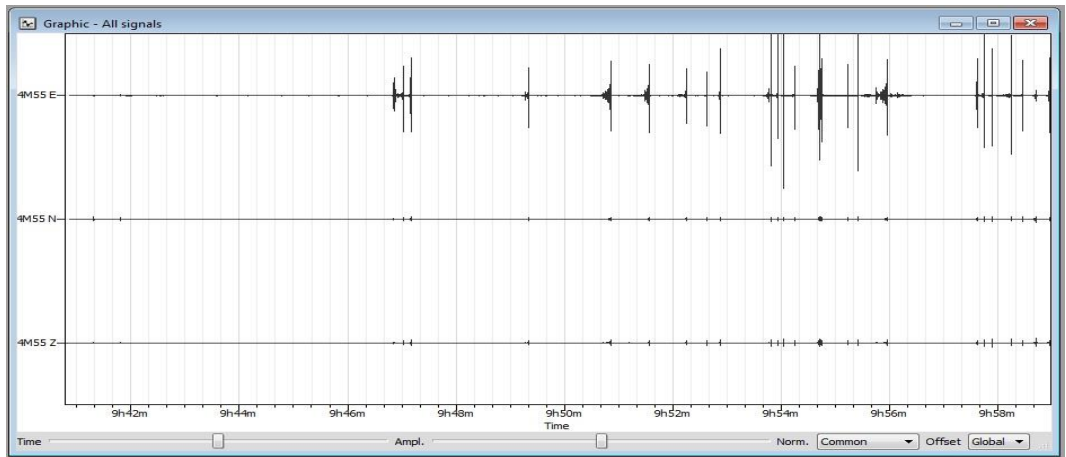
Şekil 5.14.3 No.lu noktada arazimikrotremörölçüm kaydı



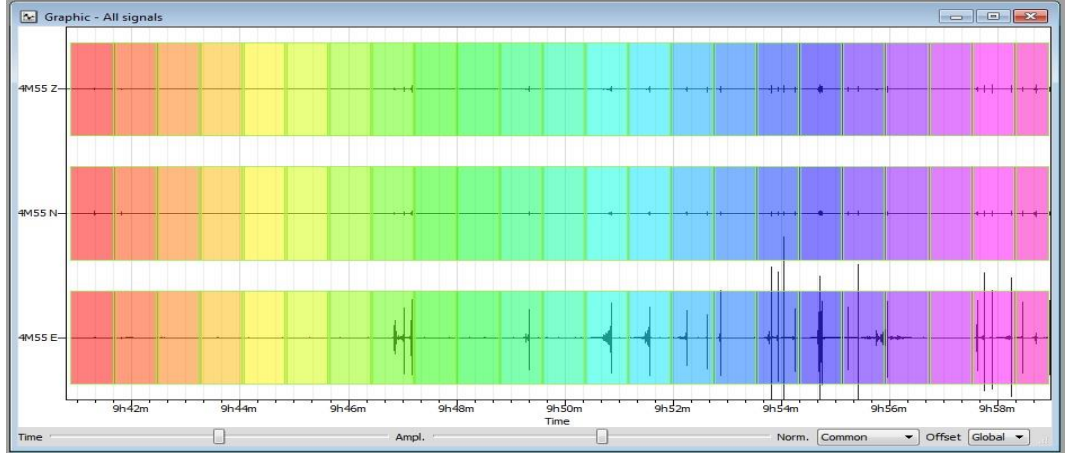
Şekil 5.15. %5 katlanma ile 25'er sn. lik pencerelelere ayrılmış kayıt



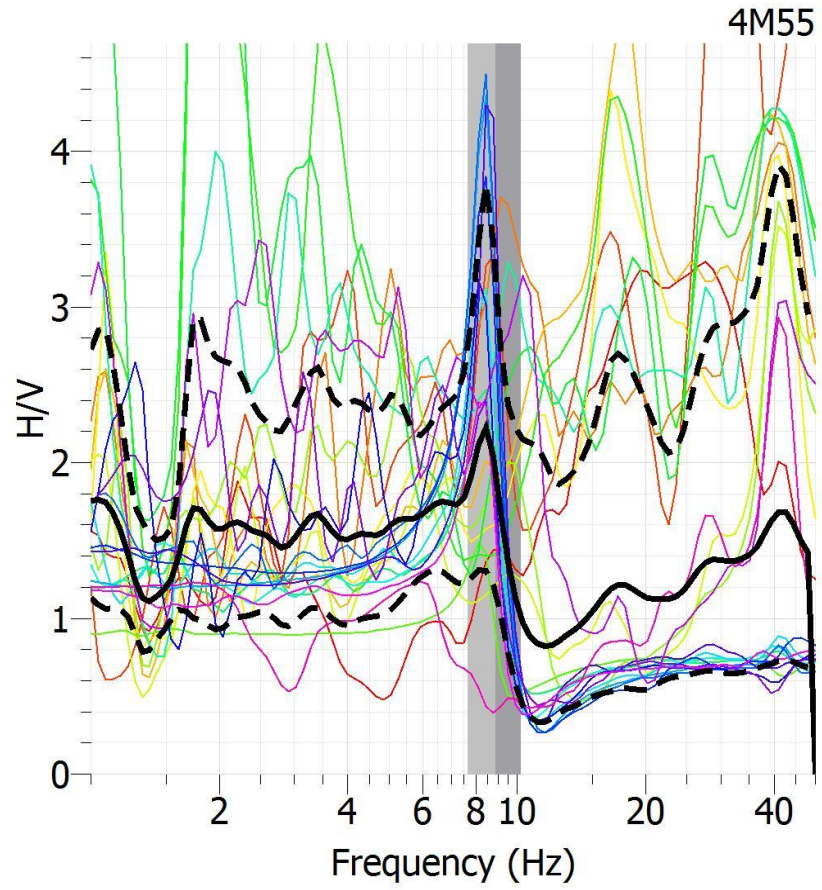
Şekil 5.16. 3 No.lu noktada elde edilmiş H/V – frekans grafiği



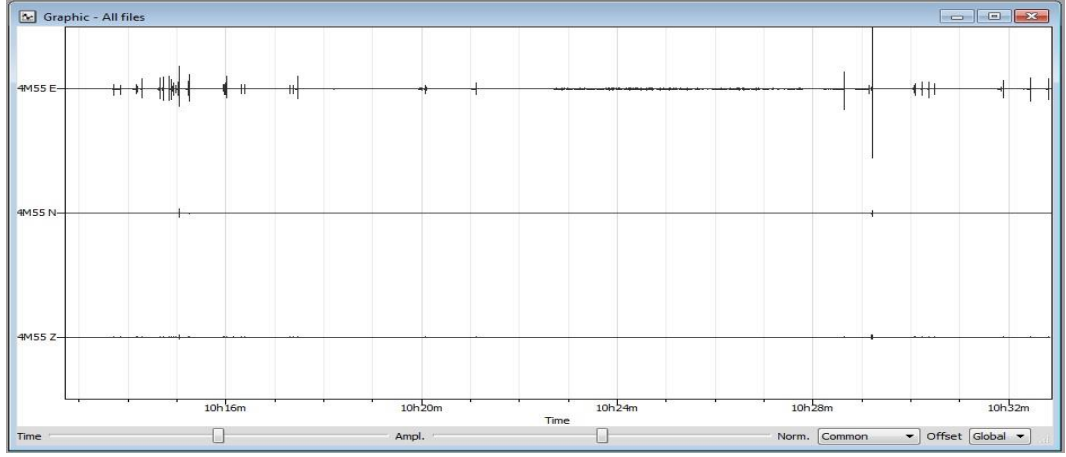
Şekil 5.17. 4 No.lu noktada arazimikrotremör ölçüm kaydı



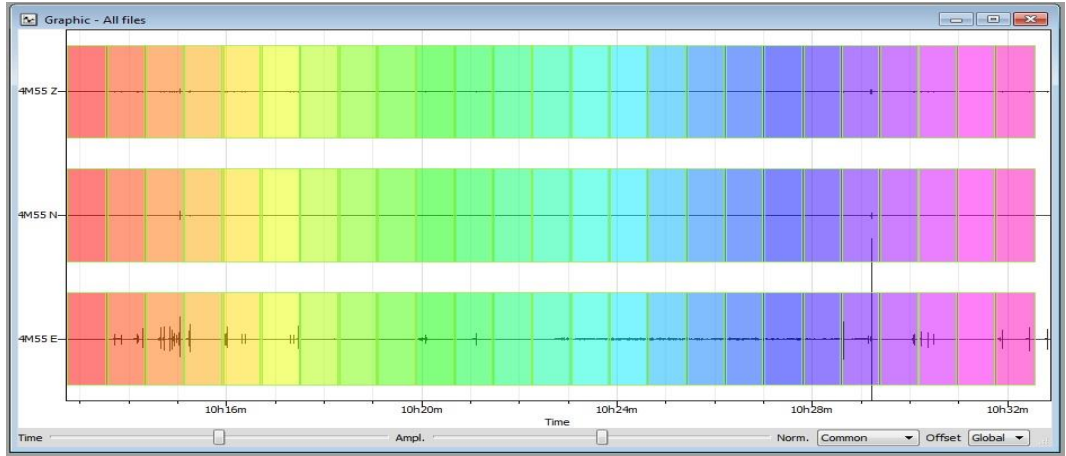
Şekil 5.18.%5 katlanma ile 25'er sn. lik pencerelere ayrılmış kayıt



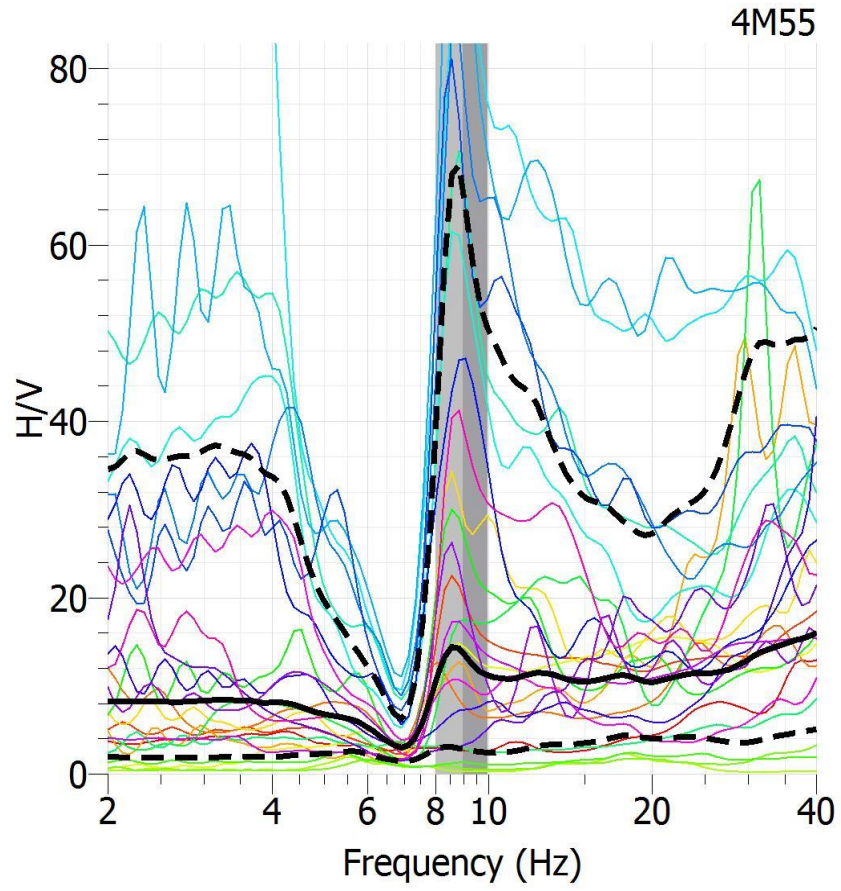
Şekil 5.19. 4 No.lu noktada elde edilmiş H/V -frekans grafiği



Şekil 5.20.5 No.lu noktada arazimikrotremörölçüm kaydı



Şekil 5.21.%5 katlanma ile 25'er sn. lik pencerelelere ayrılmış kayıt



Şekil 5.22. 5 No.lu noktada elde edilmiş H/V –frekans grafiği

Tüm noktalar için değerlendirme sonucu elde edilen periyotve büyütme değerleri Çizelge 5.6’de verilmiştir.

Çizelge5.5. Mikrotremör değerleri

No	f_o	A_o	t_o (sn)
2	$15,26 \pm 2,5$	6,31 [3,61 / 11,05]	0,065
3	$9,93 \pm 1,58$	8,7 [2,63 / 28,88]	0,100
4	$8,92 \pm 1,27$	1,9 [1,15 / 3,17]	0,110
5	$8,98 \pm 0,97$	13,66 [2,83 / 65,82]	0,110

6.3. Laboratuvar Çalışmaları

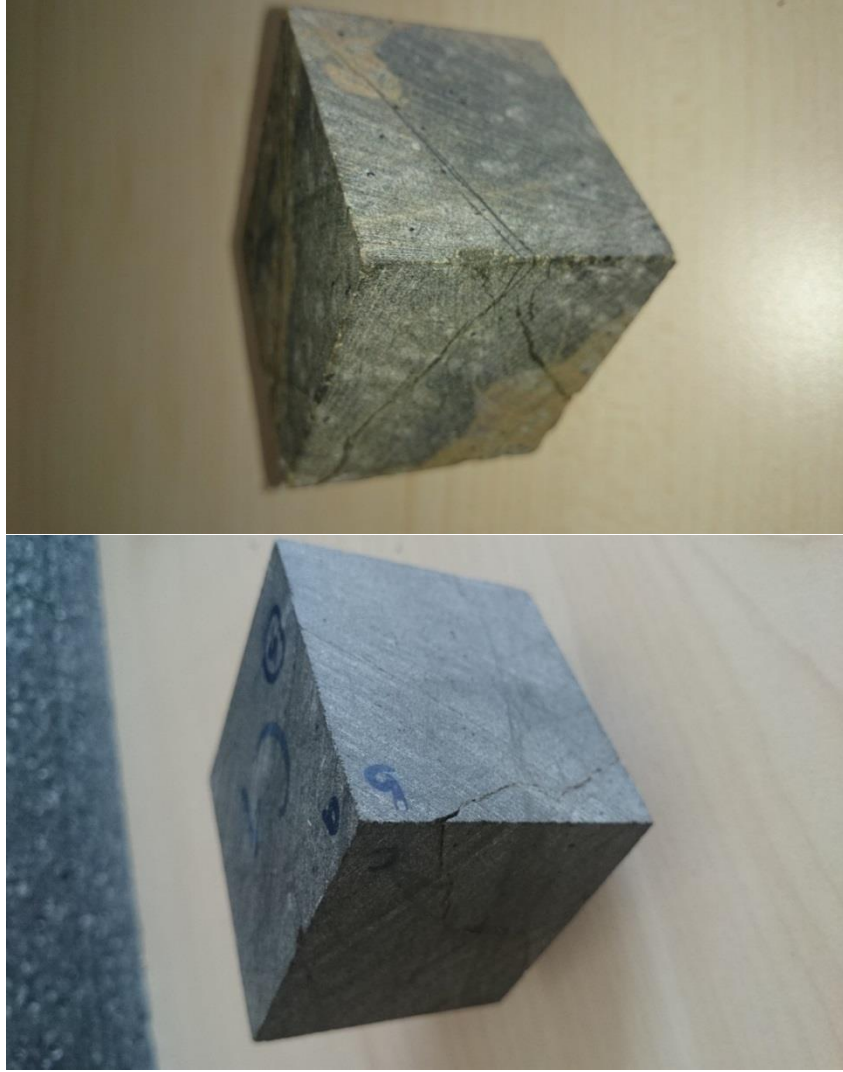
Pazarköy güneyinde yapılan ön inceleme sonucu kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Serpantinleşmiş kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini ortaya koyabilmek amacıyla Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünün Kazı Mekaniği ve Doğal Taşlar laboratuvarı kullanılmıştır. Laboratuvar deneylerinin yapılışı ve sonuçların elde edilişi sırasıyla aşağıdaki alt başlıklarda verilmiştir.

6.3.1. Numune hazırlanması

Numune alma işlemi, arazi çalışmaları süresince temin edilen çeşitli büyüklüklerde blok numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Dört farklı yerden alınan bloklardan 5x5x5 cm. lik küp numuneler elde edilecek şekilde taş kesme makinesiyle kesilmiştir ve düzeltilmiştir (Şekil 6.1). Aynı bölgeden alınmış ve alındıkları yerlere göre numaralandırılmış toplamda 6 farklı grup (A1- B1-B2-B3-C1-D1-E1-E2-G1) olmak üzere 66 numune elde edilmiştir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra numuneler numaralandırılarak deneylere hazır hale getirilmiştir (Şekil 6.2).



Şekil 6.1. Karot kesme makinesi



Şekil 6.2. Küp numuneler

6.3.2. Numunelerin fiziksel  zellikleri

Bu bölümde numunelerin yoğunluğu, birim hacim ağırlığı, görünür porozitesi, kütlece ve hacimce su emme oranı, sismik hız gibi özellikleri belirlenmiştir.

6.3.2.1. Birim hacim ağırlık deneyi

Bu deneyde ele alınan kayaçların kuru birim hacim ağırlıkları TS EN 1936 (2010) da belirtilen standartlara göre uygun olarak tayin edilmiştir. Deney numunelerinin yüzeyleri su ile yıkanarak temizlenir ve değişmez kütleye gelinceye kadar etüvde 105°C de kurutulur. Oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 0,1 g hassasiyetle tartılır (G_k). Su emme deneyleriyle bulunan G_{ds} ve G_{dh} değerleri bağıntı 6.1 ile hesaplanmıştır.

$$d_k = \frac{G_k}{G_{dh} - G_{ds}} \quad (6.1)$$

Burada;

d_k : Kaya biriminin doğal birim hacim ağırlığı (g/cm^3) (BHA)

G_k : Deney numunesinin değişmez kütleye kadar kurutulmuş kütlesi (g)

G_{ds} : Deney numunesinin suya doymuş doğal kütlesi (g)

G_{dh} : Doymuş haldeki taşın su içindeki kütlesi (g)

6.3.2.2. Su emme deneyi

Kayaç örneklerinin su emme kapasitesinin belirlenmesi için TS EN 1936 (2010) standardına uygun olarak atmosfer basıncında hacimce ve ağırlıkça su emme deneyleri yapılmıştır. Kütleye su emme oranı, etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuş numunenin, absorbe edebildiği su kütlesinin numunenin tüm kütlesine oranı, hacimce su emme oranı ise numunenin bünyesine absorbe edebildiği su hacminin numunenin boşlukları dahil tüm hacmine oranı olarak tanımlanır.

Alınan numuneler yıkanıp temizlendikten sonra derin bir kap içerisine yerleştirilir. $\frac{1}{4}$ 'ü batacak şekilde saf su konur. 1 saat bekletildikten sonra numunelerin $\frac{1}{2}$ 'si suya batacak şekilde su ilave edilir ve 1 saat daha beklenir, $\frac{3}{4}$ 'ü batacak şekilde aynı işlemler yapıldıktan sonra numunenin tamamı su içerisinde 48 saat süreyle bekletilir. Bu sürede buharlaşan suyun yerine numunelerin tamamı su içerisinde kalacak şekilde saf su ilave edilir. Sürenin tamamlanmasıyla su içerisinden çıkartılan numunelerin üzeri nemli bir bez yardımıyla silinerek su damlacıkları alınır ve 0,1 g hassasiyetli

terazide tartılarak (G_{ds}) belirlenir (Şekil 6.3). Aynı işlemler tekrar yapılarak G_d değişmez kütleyle gelinceye kadar tekrarlanır. Bu işlemlerden sonra doymuş hale gelen deney numuneleri, Arşiment terazisinde tartılarak su içindeki kütleleri bulunur (G_{dh}). Daha sonra numuneler değişmez kütleyle gelinceye kadar kurutulur (105^0C) oda sıcaklığına soğutulduktan sonra 0.1 g hassasiyetli terazide tartılarak kütlesi bulunur (G_k). Bu işlemler yapıldıktan sonra bulunan değerler bağıntı 6.2 ve 6.3 yardımıyla bulunmuştur.

$$ASE = \frac{G_k}{G_{dh} - G_{ds}} \quad (6.2)$$

$$HSE = \frac{G_{dh} - G_k}{G_{dh} - G_{ds}} \times 100 \quad (6.3)$$

Burada;

ASE: Ağırlıkça su emme oranı (%)

HSE: Hacimce su emme oranı (%)

G_k : Deney numunesinin değişmez kütleyle kadar kurutulmuş kütlesi (g)

G_{ds} : Deney numunesinin suya doymuş doğal kütlesi (g)

G_{dh} : Doymuş haldeki taşın su içindeki kütlesi (g)



Şekil 6.3.0,1 g hassasiyetli tartı

6.3.2.3. Yoğunluk deneyi

Yoğunluk deneyleri TS EN 1936 (2010)'ya göre yapılmıştır. Çalışma sahasının değişik yerlerinden alınan bloklardan elde ettiğimiz küp numuneler öğütülüp 0.2 mm açıklığı olan elekler yardımıyla toz haline getirilir. (Şekil 6.4 ve Şekil 6.5)

Deney esnasında;

- Piknometre
- Cam plaka
- Pipet
- Etüv
- Terazî
- Desikatör kullanılır.

Bu deneyde her numune için 3'er yoğunluk deneyi yapılmış ve değerlendirmelerde aritmetik ortalaması dikkate alınmıştır. Toz haline gelmiş numuneden hassas terazide tartılarak yaklaşık 5'er gramlık örnekler alınır (G_n). Piknometre içine koyulan numunenin üstüne yaklaşık yarısı dolana kadar saf su ilave edilir ve içindeki hava

kabarcıklarının çıkarılması amacıyla sağa sola sallanır (Şekil 6.6). Daha sonra, piknometre kapağın tepesine kadar saf suyla doldurulur. Su berraklaşana kadar bir süre beklenir. Piknometre dışyüzeyi iyice kurulandıktan sonra 0,1 g hassasiyetli terazide tartılır (G_{pns}). Piknometre boşaltılır, iyice temizlenir ve vidalı kapağın tepesine kadar oda sıcaklığındaki suyla doldurulur. Piknometre, dışyüzeyi yeniden kurutulduktan sonra 0,1 g hassasiyetli tartıda tartılır (G_{ps}). Yukarıdaki işlemler her bir örnek için yapılır. Yoğunluk değerlerinin hesaplanması için bulunan değerler 6.4 de ki bağıntıda yerine yazılır.

$$\gamma_{sat} = \frac{G_n}{G_n - (G_{pns} - G_{ps})} \quad (6.4)$$

Burada;

γ_{sat} : Yoğunluk (g/cm^3)

G_{pn} : Piknometre ve deney numunesi kütlesi (g)

G_n : numune kütlesi (g)

G_{pns} : Piknometre, su ve numune kütlesi(g)

G_{ps} : Piknometre ve su kütlesi (g)



Şekil 6.4. Numunelerin öğütülmesi



Şekil 6.5. 0,2 mm açıklıklı elek



Şekil 6.6.Vakum pompası

6.3.2.4. Görünür ve toplam porozite deneyi

Görünür ve toplam porozite deneyleri TS EN 1936 (2010)'ya göre yapılmıştır. Kayacın görünür porozitesi hacimce su emme değerine eşittir ($P_g = \% HSE$). Toplam porozite değeri 6.5 bağıntısı ile hesaplanır.

$$P_t = \left(1 - \left(\frac{d_k}{d_o} \right) \right) \times 100 \quad (6.5)$$

Burada;

Pt: Kayacın toplam porozitesi (%)

dk: Numunenin birim hacim ağırlığı (g/cm³)

do: Numunenin gerçek yoğunluğu (g/cm³)

Poroziteye bakarak kayaçların hangi kaya sınıfında olduğunu bulmak için Çizelge 6.1 kullanılmıştır.

Çizelge 6.1. Kayaçların poroziteye göre sınıflandırılması (Tarhan, 1989)

Kayaç Sınıfı	Porozite (%)
Çok Kompakt	< 1
Az Boşluklu	1- 2,5
Orta Boşluklu	2,5 -5
Oldukça Boşluklu	5 - 10
Çok Boşluklu	10 - 15
Çok Fazla Boşluklu	> 20

6.3.2.5. Sismik hız (UPV) deneyi

Küp şeklindeki numunelerin P-dalga hızları (V_p) ISRM (2007)'de belirtilen standartlara uygun olarak UPV E48 marka sismik hız cihazıyla tek tek ölçülmüştür (Şekil 6.7).

Deneyler öncelikle kuru örnekler üzerinde yapılmıştır. Deney numunelerinin boyları ölçülmüş, numuneler küp olduğu için üç farklı yüzey için ölçüm yapılmıştır. Numune tabanları sonuçların sağlıklı olması açısından pürüzsüz ve düzgün hale getirilmiştir. Deneye başlamadan önce deney aleti kalibre edilmiştir. Numunenin alt ve üst yüzeyleri ile aletin gönderici ve alıcıları arasındaki temasın artırılarak tam temas sağlamak amacıyla ve düz bir yüzey oluşturmak için numunelerin tabanlarına ince bir şekilde ultrasonik jel sürülmüştür. Daha sonra cihaz yardımı ile P dalgasının örnekten geçiş süresi (T_p) olarak ölçülmüştür. Sismik hız ölçümlerinde her kayaç örneği için 5x5x5 cm boyutlarında küp numune örnekleri kullanılmıştır. Aynı deneyler numuneler suya doygun hale getirildikten sonrada yapılarak doygun sismik hızları hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu bulunan değerler 6.6 eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$v_p = \frac{L}{T_p} \times 10000 \quad (6.6)$$

Burada;

V_p : P– dalgasının yayılma hızı (m/s)

L : Numunenin boyu (m)

T_p : P– dalgasının geçiş süresi (s)



Şekil 6.7. Sismik hız (P-dalgası) ölçme aleti

6.3.3. Numunelerin mekanik özellikleri

İncelenen kayaç örneklerinin mekanik özellikleri ISRM (2007) standartları dikkate alınarak belirlenmiştir. Mekanik özelliklerin tayininde kayaçların tek eksenli basınç dayanım deneyi yapılmıştır.

6.3.3.1. Tek eksenli basınç dayanımının (UCS) belirlenmesi

Deneyler ISRM (2007)'de belirtilen standartlara uygun olarak yapılmıştır. 200 ton yükleme kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır (Şekil 4.9). Tek eksenli basınç dayanımı, üzerine uygulanan basma yüklerine karşı kayanumunelerinin, kırılmadan önce dayanma yeteneği olarak tanımlanır (Karpuz vd.,1986). Deneydeki amaç hazırlanan küp numunelerin uygulanan yükler altındaki dayanım sınırının bulunmasıdır.

Deney için, arazi çalışmaları sırasında temin edilen blok numunelerden alınan gerekli standartlara uyan toplam 66 küp numune kullanılmıştır. Deney yapılacak numunenin boyutları kumpas ile birbirlerine dik iki yönde ayrı ayrı ölçülerek kesit alanı hesaplanmıştır. Numunenin kırma yönü belirlendikten sonra test makinesine yerleştirilmiştir (Şekil 6.8). Uygulanan yükün numune üzerine eşit dağılımını

sağlamak için numunenin alt ve üst kısmına çelik diskler yerleştirilmiştir. Numunenin üzerine konulduğu alt tabla yukarı doğru hareket etmektedir. Hız kontrolü elle gerçekleştirilirken yük kontrolü dijital göstergelerden yapılmıştır. Hidrolik pres tablaları arasında boşluk kalmayınca kadar pres çalıştırılarak alt tabla yükseltilmiştir. Numunepresin plakaları arasına yerleştirildikten sonra bilgisayarda hız ayarı programı kontrol edilmiştir. İki plaka arasında yüke maruz kalan numune belli bir süre sonra yükü taşıyamaz duruma gelip kırılmasıyla deney tamamlanmış ve numune üzerindeki yük kaldırılmıştır.. Numunenin kırıldığı andaki yük değeri maksimum yük (P) kullanılarak numunenin tek eksenli basınç dayanımı değeri (σ_c), 6.7 eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (6.7)$$

Burada;

σ_c = Basınç dayanımı (MPa), UCS

P = kırılma yükü (kg)

A = kesit (cm^2)



Şekil 6.8. Tek eksenli basınç dayanımı deneyinin yapıldığı hidrolik pres ve deney düzeneği

Tek eksenli basınç dayanımına göre kayaçların dirençlerine göre ayrıldığı kaya sınıflaması Çizelge 6.2. 'de gösterilmiştir.

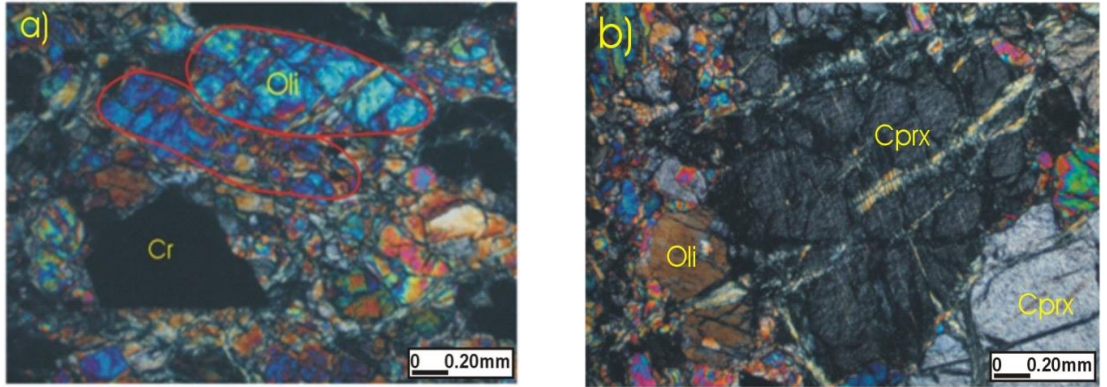
Çizelge 6.2. Tek eksenli basınç direncine göre kayaçların sınıflandırılması (Deer ve Miller 1966)

Kaya Sınıfı	Tek Eksenli Basınç Direnci (MPa)
Çok Düşük Dirençli	< 25
Düşük Dirençli	25 - 50
Orta Dirençli	50 - 100
Yüksek Dirençli	100 - 200
Çok Yüksek Dirençli	> 200

6.3.4. Numunelerin minerolojik özellikleri

Çalışma alanında magmatik tabakalanmanın görüldüğü bir yerden alınan kayaçtan, tabakalanmaya dik ve paralel olacak şekilde iki yönde yapılan ince kesitlerin mineralojik ve petrografik özellikleri incelenmiştir (Şekil 6.3).

Kayacın esas minerallerini başlıca olivin ve klinopiroksenler oluştururlar. Tali mineral olarak kromit bulunur. Holokristalen (tüm kristalli) doku özelliği bulunan kayacın çoğunluğunu olivinler oluşturur. Özşekilsiz ve yarı özşekilli kristaller olarak bulunan olivinle, kenar ve dilinim düzlemleri boyunca ayrıışarak serpantişleşmişlerdir. Bundan dolayı olivinler elek dokusu gösterirler. Kristaller orta-iri boyutlardadırlar. Klinopiroksen mineralleri enstatitle temsil edilirler. Bunlar genellikle iri kristaller şeklinde olup, bazen orta boyuttadırlar. Olivinlerde olduğu gibi bunlarda da serpantinleşme görülür. Ayrıca polisentetik ikizlenmeleri bulunur. Tabakalanmaya dik olarak alınan kesitteki mineraller ile paralel alınan kesitteki mineraller arasında önemli farklılık minerallerin biçimlerinde oluşan farklılıktır. Tabakalanmaya dik olarak alınan kesitteki mineraller genel olarak yuvarlağımsı ve elips şeklinde iken, paralel olarak alınan kesitlerdeki mineraller belli bir yönde uzamış olarak bulunurlar. Orta tane büyüklüğünde olan kromitler yarı özşekilli ve özşekilsiz olup, opak tırlar.



Şekil 6.9. Harzburgiti oluşturan olivin, klinopiroksen ve kromit minerallerinin görünüşü. a) tabakalanmaya paralel, b) tabakalanmaya dik olarak alınmıştır.

NOT: Paralel olan kesitte kayacı oluşturan mineraller belli bir yönde uzamış olarak, diğerinde ise yuvarlak şekillerde bulunuyor. Oli: Olivin, Cpx: Klinopiroksen, Cr: Kromit

6.3.5. Deney verilerinin değerlendirilmesi

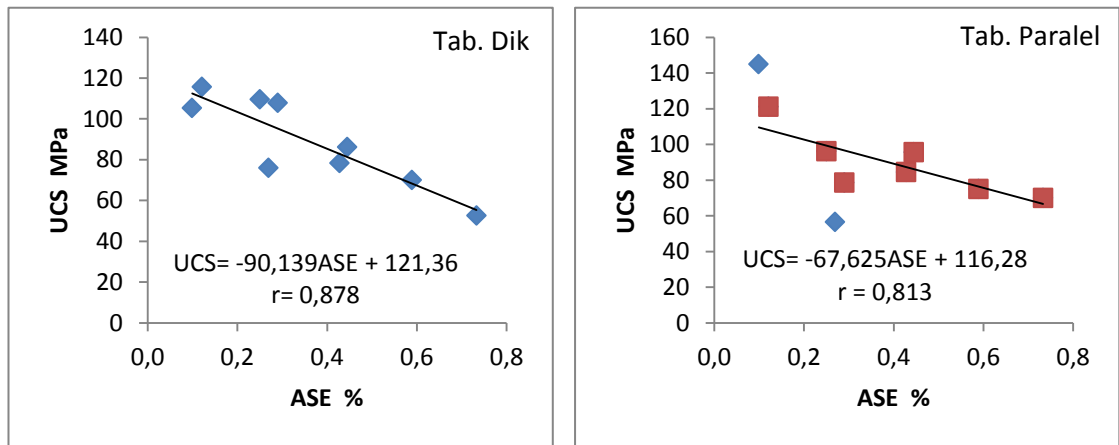
Kayaç numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinden yoğunluk, birim hacim ağırlık, görünür porozite, hacimce ve ağırlıkça su emme, sismik hız ve tek eksenli basınç dayanımı deneyleri bölüm 6.3.2 ve 6.3.3 de anlatıldığı gibi yapılmıştır. En düşük, en yüksek ve ortalama değerleri ile standart sapmaları eklerde verilmiştir.

Kayaçlardan elde edilen verilere göre yapılan deneylerdeki sonuçların ortalamaları alınarak aşağıdaki çizelge oluşturulup grafikleri çizilmiştir (Çizelge 6.3).

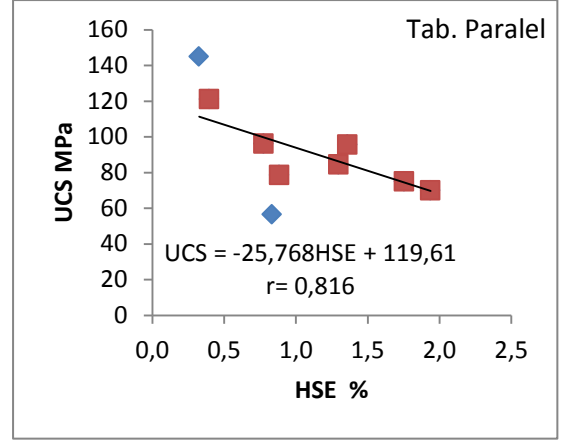
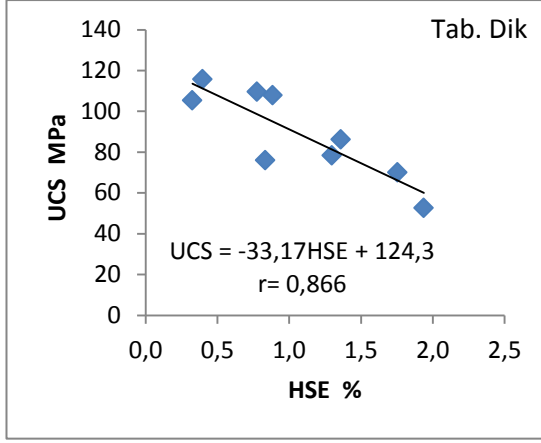
Çizelge 6.3.Deney sonuçlarının ortalama değerleri

Numune No						Tab. Dik		Tab. Paralel	
	Ort. ASE (%)	Ort. HSE (%)	Ort. BHA (g/cm ³)	Ort. γ_{sat} (g/cm ³)	Ort. P_t (%)	Ort. UCS (MPa)	Ort. V_p (m/s)	Ort. UCS (MPa)	Ort. V_p (m/s)
A1	0,59	1,75	2,98	3,15	5,17	69,99	5564	74,93	6063
B1	0,43	1,30	3,04	3,15	3,68	78,34	5907	84,41	6433
B2	0,27	0,83	3,11	3,25	4,33	76,03	5913	56,44	7853
B3	0,45	1,36	3,06	3,18	3,76	86,24	5683	95,56	6605
C1	0,73	1,94	2,65	2,69	1,29	52,64	4416	70,04	5723
D1	0,29	0,88	3,05	3,19	4,40	107,88	5933	78,61	6852
E1	0,10	0,33	3,29	3,35	1,83	105,30	7429	144,94	8009
E2	0,12	0,40	3,27	3,41	4,17	115,64	7435	121,05	7923
G1	0,25	0,78	3,10	3,21	3,48	109,52	6473	96,18	7024
Std. Sap.	0,21	0,56	0,19	0,20	11,06	21,58	941	27,27	835

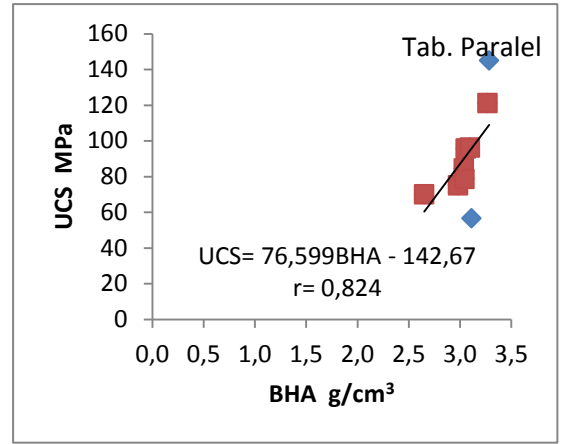
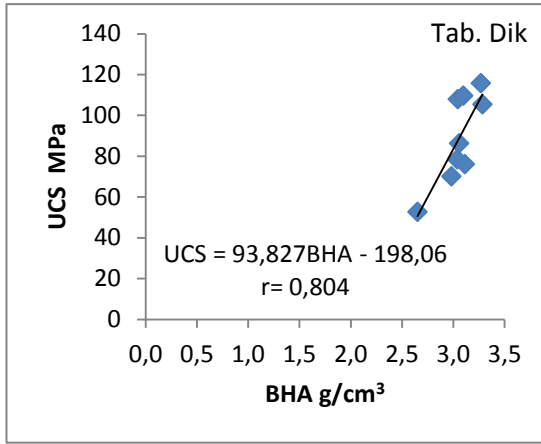
Regresyon analizleri UCS ve V_p ile olan ilişkileri tanımlamak için yapılmıştır. Grafikler; ASE-UCS, HSE-UCS, BHA-UCS, γ - UCS arasında tabakalanmaya dik ve paralel yönde ASE- V_p , HSE- V_p , BHA- V_p , γ - V_p arasında da tabakalanmaya dik ve paralel yönde çizdirilmiştir. Elde edilen sonuçlar lineer regresyon yöntemi kullanılarak yorumlanmıştır.



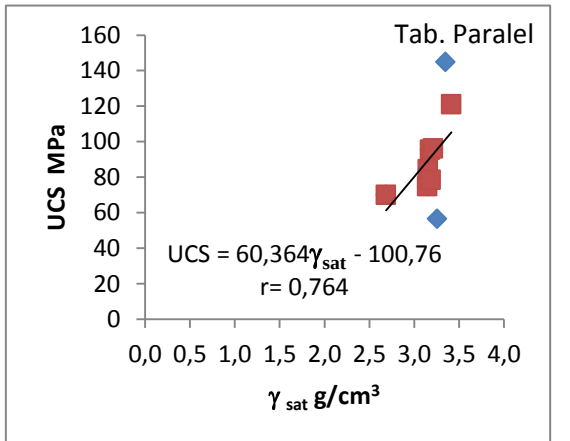
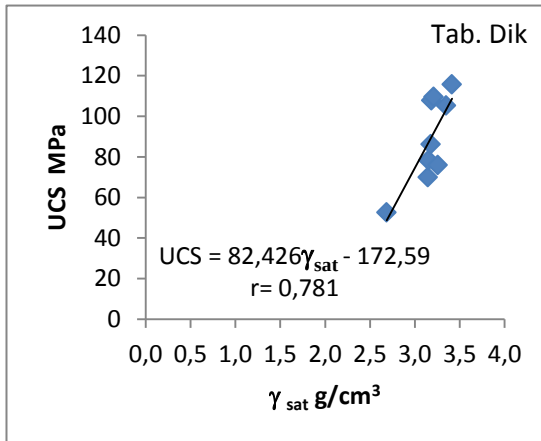
Şekil 6.10. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde UCS – ASE grafikleri



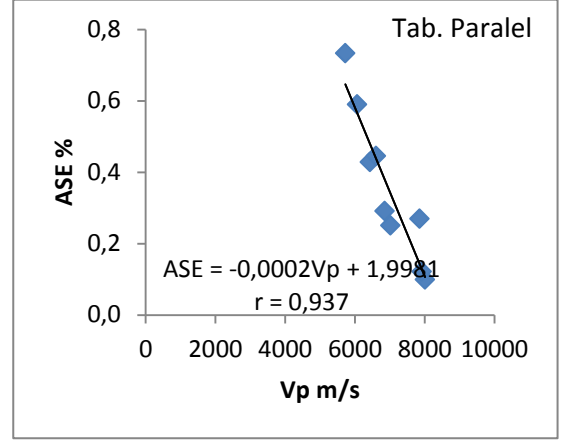
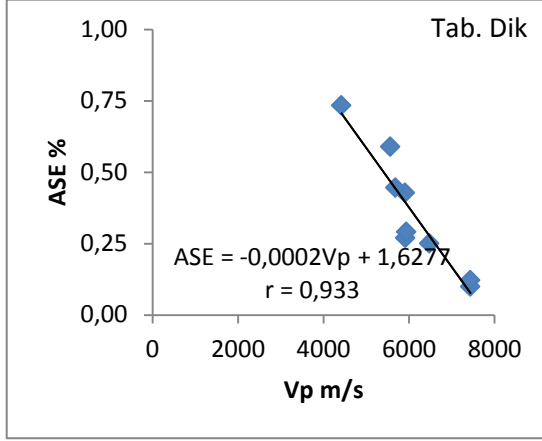
Şekil 6.11. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde UCS – HSE grafikleri



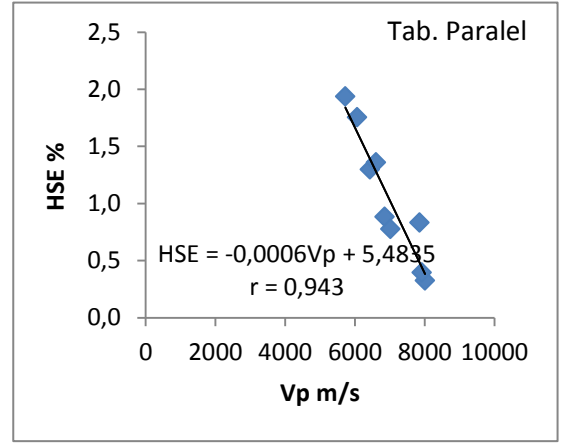
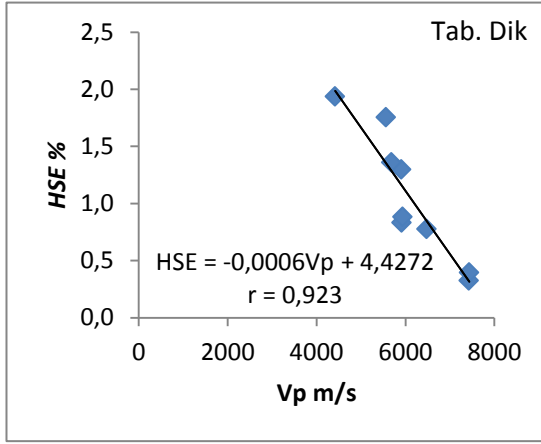
Şekil 6.12. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde UCS – BHA grafikleri



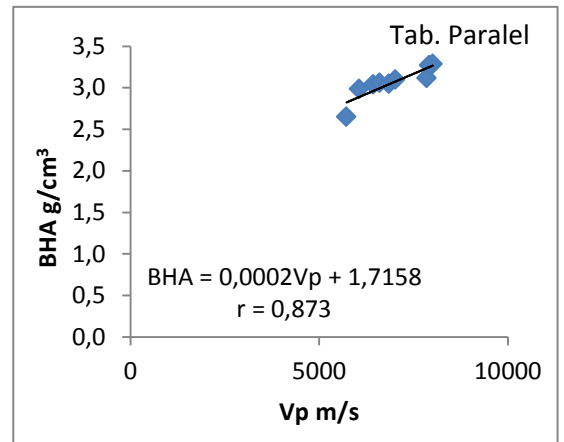
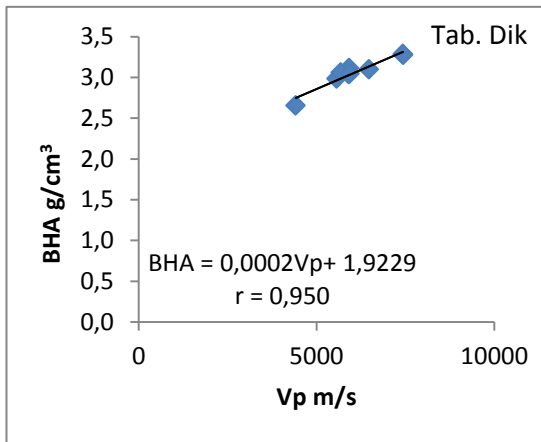
Şekil 6.13. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde UCS – Yoğunluk grafikleri



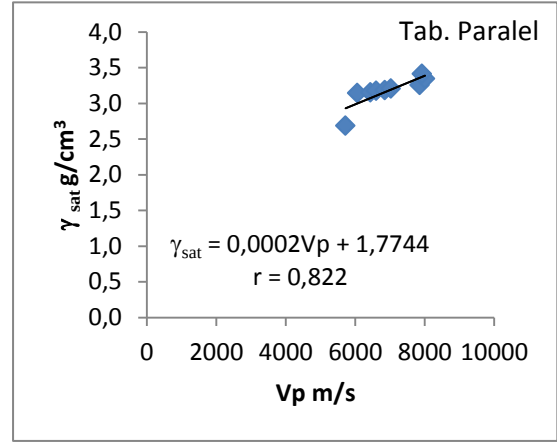
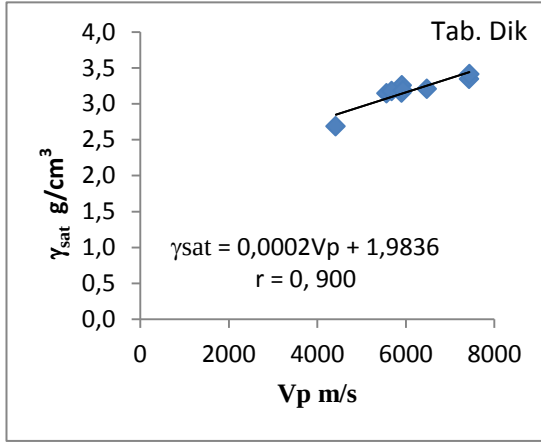
Şekil 6.14. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde Vp – ASE grafikleri



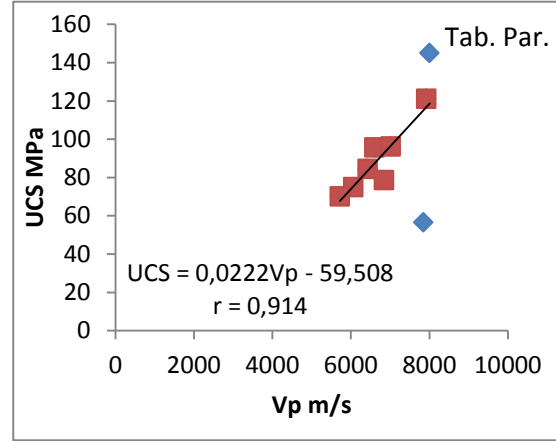
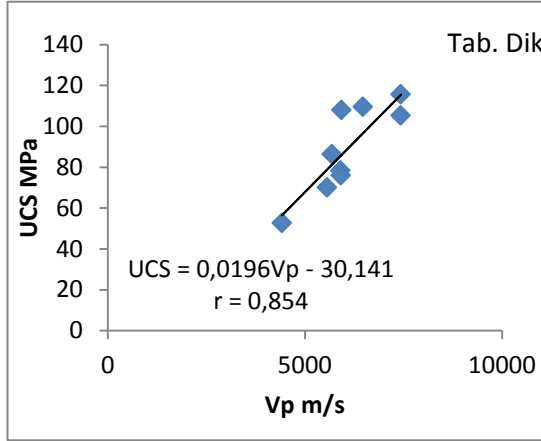
Şekil 6.15. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde Vp – HSE grafikleri



Şekil 6.16. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde Vp – BHA grafikleri



Şekil 6.17. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde Vp – Yoğunluk grafikleri



Şekil 6.18. Tabakalanmaya dik ve paralel yönde UCS – Vp grafikleri

Çizelge 6.4.Ampirik ilişkiler ve mühendislik özellikleri

Ampirik İlişkiler	Tabakalanma Yönü	r
$UCS = -90,139ASE + 121,36$	Tab. Dik	0,88
$UCS = -67,625ASE + 1116,28$	Tab. Paralel	0,81
$UCS = -33,17HSE + 124,3$	Tab. Dik	0,87
$UCS = -25,768HSE + 119,61$	Tab. Paralel	0,82
$UCS = 93,827BHA - 198,06$	Tab. Dik	0,80
$UCS = 76,599BHA - 142,67$	Tab. Paralel	0,82
$UCS = 82,426\gamma_{sat} - 172,59$	Tab. Dik	0,80
$UCS = 60,364\gamma_{sat} - 100,76$	Tab. Paralel	0,82
$ASE = -0,0002Vp + 1,6277$	Tab. Dik	0,93
$ASE = -0,0002Vp + 1,9981$	Tab. Paralel	0,94
$HSE = -0,0006Vp + 4,4272$	Tab. Dik	0,92
$HSE = -0,0006Vp + 5,4835$	Tab. Paralel	0,94
$BHA = 0,0002Vp + 1,9229$	Tab. Dik	0,95
$BHA = 0,0002Vp + 1,7158$	Tab. Paralel	0,87
$\gamma_{sat} = 0,0002Vp + 1,9836$	Tab. Dik	0,90
$\gamma_{sat} = 0,0002Vp + 1,7744$	Tab. Paralel	0,82
$UCS = 0,0196Vp - 30,141$	Tab. Dik	0,85
$UCS = 0,0222Vp - 59,508$	Tab. Paralel	0,91

UCS ve Vp ye göre mühendislik özelliklerinin arasındaki ilişkiler çizelge 6.4’de verilmiştir..En yüksek korelasyon katsayısı tabakalanmaya dik numunelerde BHA ve Vp arasında $r=0,95$ ’tir. Tabakalanmaya paralel numunelerde ise ASE ve Vp arasında $r=0,94$ olarak bulunmuştur.En düşük korelasyon katsayısı tabakalanmaya dik numunelerde BHA ve UCS ile yoğunluk ve UCS arasında $r=0,80$ ’dir. Tabakalanmaya paralel numunelerde UCS ve ASE arasında $r=0,81$ olarak bulunmuştur.Tabakalanmaya dik ve paralel yöndeki UCS ve ASE, UCS ve HSE arasında azalan doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Söz konusu kayaçta ASE veya HSE değeri arttıkça UCS değeri azalmaktadır. Tabakalanmaya dik ve paralel yöndeki UCS ve BHA, UCS ve yoğunluk arasında artan doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Kayacın BHA veya yoğunluğu arttıkça UCS değeri de artmaktadır.Tabakalanmaya dik ve paralel yöndeki Vp ve ASE, Vp ve HSE arasında azalan doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Burada ASE ve HSE oranı arttıkça sismik hız değeri azalmaktadır. HSE değeri efektif poroziteye eşit olduğundan porozite ile sismik hız arasında da ters bir ilişki olduğu söylenebilir.Tabakalanmaya dik ve paralel yöndeki Vp ve BHA,

Vp ve yoğunluk arasında artan doğrusal bir ilişki elde edilmiştir. Söz konusu kayacın yoğunluk ve BHA değeri arttıkça sismik hız değeri de artmaktadır. UCS ve Vp arasında artan doğrusal bir ilişki elde edilmiştir.

7.SONUÇLAR

Bu çalışmanın en önemli amacı serpantinleşmiş ultrabazik kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanında dinamik mühendislik değerlerinin belirlenmesidir. Bu amaçla sahada 9 farklı yerden kayaç örneği toplanıp sismik ve elektrik öz direnç çalışmaları dört farklı noktada yerinde yapılmıştır. Aynı derinlikteki serpantinleşmiş ultrabazik tabaka için P ve S sismik dalga hızları sırasıyla 5549 m/s ve 1400 m/s olarak bulunmuştur. Söz konusukayaç üzerinde düşünülen derinlikte elektrik öz direnç değerleri 1200 Ω m ile 3400 Ω m arasında değiştiği saptanmıştır. Aynı derinlikte sahada tabakaya ait P sismik hız değerlerinin dağılımına bakıldığında 4590 m/s ile 5549 m/s arasındadır. Dolayısıyla sahadaki rezistivite ile sismik hız değerleri litolojik açıdan birbirleriyle uygunluk göstermektedir.

Mikrotremör arazi sonuçlarına göre periyodun 0,1s olması ortamın kompakt (sıkı) ve yüksek P dalga hızına sahip olduğunu göstermiştir. A_0 hesaplanan aralığının geniş olması ortam parametrelerinin yön bağımlı (anizotropik) olarak değişebileceğine işaret etmektedir.

Arazideki P dalga hızlarına göre 1. serim ile 3. serim altındaki kayaç “az ayrıışmış kaya” , 2.serim altındaki kayaç “fazla ayrıışmış kaya”, 4. serim altındaki kayaç “ayrıışmamış kaya” sınıfında olduğu saptanmıştır (çizelge 5.1). Poisson oranına göre sınıflandırma yapılacak olursa 1.serim, 3.serim ve 4.serim altındaki kayaç“çok gevşek”, 2.serim altındaki kayaç ise “sıkı-katı” dır (çizelge 5.2). Kayaç kalitesine göre 1.serim altındaki kayaç “orta” , 2.serim ile 3.serim altındaki kayaç“iyi” , 4.serim altındaki kayaç ise“çok iyi” dir (çizelge 5.4).

Numune grupları üzerinde yapılan çalışma sonucunda yoğunluk değerinin 2,69 g/cm³ ile 3,41 g/cm³ arasında olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla yoğunluk arttıkça buna bağlı olarak hacimce ve ağırlıkça su emme kapasitesi ve boşluk oranı azalmaktadır. Boşluk oranı arttıkça birim hacim ağırlık ve sismik hız azalmaktadır. Kayacın porozite değerleri 0,01 ile 0,05 arasında değişmektedir.Bu durumda poroziteye göre sınıflandırma yapıldığı zaman söz konusu kayaç “çok kompakt “ kaya sınıfında yer almaktadır (çizelge 6.1).

Tek eksenli basınç direncine göre sınıflandırılma yapıldığında tabakalanmaya dik olan gruplardan A1,B1,B2,B3,C1 ve tabakalanmaya paralel olan gruplardan A1,B1,B2,B3,C1,D1,G1 kayaç numunelerinin“orta dirençli kaya“sınıfında yer aldığı görülmüştür (çizelge 6.2). Tabakalanmaya dik gruplardan D1,E1,E2,G1 ve tabakalanmaya paralel olan gruplardan E1,E2 kayaç numunelerinin “yüksek dirençli kaya” sınıfında yer aldığı görülmüştür. Basınç dayanım değerleri (UCS) 52,64 MPa ile 115,64 MPa arasındadır.

Serpantinleşmiş ultrabazik kayaçla ilgili toplanan tüm verilerin jeomekanik özelliklerinden kayacın süs taşı olarak, iç- dış dekorasyonda ve inşaat işlerinde rahatlıkla kullanılabileceği açıkça anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

- ASTM C170/ C170M-14a, 2014. Standard Test Method for Compressive Strenght of Dimension Stone. ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- ASTM D7012-10, 2010. Standard Test Method for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core specimens under varying States of Stress and Temperatures.ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- Bieniawski, Z.T., 1975. Point load test in geotechnical practice. Eng Geol. 9(1), 1–11.
- Bozcu, A., Yağmurlu, F., 1997. Eğirdir (Isparta) güneyinde yer alan Mesozoyik yaşlı birimlerinpetrol jeolojisi yönünden incelenmesi. Geosound 30, 1–9.
- Broch, E., Franklin, J.A., 1972. Point-load strength test, Int J Rock Mech Min Sci. 9(6), 669–97.
- Cargill, J.S., Shakoor, A., 1990. Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength, Int J Rock Mech Min Sci. 27, 495–503.
- Castagna, J.P., Batzle, M.L., Eastwood, R.L., 1985. Relationships between compressional-wave and shear wave velocities in clastic silicate rocks. Geophysics, 50, 571–581.
- Chau, K.T., Wong, R.H.C., 1996. Uniaxial compressive strength and point load strength of rocks. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 33 (2), 183–188.
- Christensen, N.I., 2004. Serpentinites, peridotites, and seismology. Int. Geol. Rev. 46, 795–815.
- Courtier, A.M., Hart, D., Christensen,. N.I., 2004. Seismic properties of leg 195 serpentinites and their geophysical implications. In shinohara, M.,Salisbury, M.H. and Richter, C (Eds.), Proc. ODP. Sci. Results, 195, 1- 12, U.S. Ggut. Ptg. Ofc., Washington, DC.

- D'Andrea, D.V., Fisher, R.L., Fogelson, D.E., 1964. Prediction of compression strength from other rock properties. U.S.Dept of the Interior. Bureau of Mines, Report of Investigations 6702.
- Deere, D.U., Miller, R.P., 1966. Engineering Classification and Index Properties of Rock. Air Force Weapons Laboratory, Tech. Rap. AFNL - TR- 65-116; New Mexico.
- Diamantis, K., Gartzos, E., Migros, G., 2009. Study on uniaxial compressive strength, point load strength index, dynamic and physical properties of serpentinites from Central Greece: test results and empirical relations. *Engineering Geology*, 108, 199–207.
- Dikmen, Ü., 2006. Mikrotremor Yöntemi, Veri Toplama, Veri İşlem ve Yorum. Kısa Kurs Notları, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Elitok, Ö., 2012. Geology, geochemistry and geodynamic implications of the mafic–ultramafic rocks from the northern part of the Antalya Complex, SW Turkey, *Tectonophysics*, 568-569, 335-356.
- Ercan, A., 2001. Yer Araştırma Yöntemleri; Bilgiler Kurallar. TMMOB Jeofizik Müh. Odası Yayını, 339 s. , Ankara.
- Forster, I.R., 1983. The influence of core sample geometry on the axial point-load test, *Int J Rock Mech Min Sci* 20, 291–295.
- Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974, Formation velocity and density, the diagnostic basis for stratigraphy. *Geophysics* 39 (6), 770–780.
- Gunsallus, K.L., Kulhawy, F.H., 1984. A comparative evaluation of rock strength measures, *Int J Rock Mech Min Sci* v: 21, 233–48.
- Hamilton, L. 1978. Sound velocity density relations in sea floor sediment, *J Acoustic Soc Am* 63, 366–377.
- Hassani, F.P., Scoble, M.J., Whittaker, B.N., 1980. Application of point load index test to strength determination of rock and proposals for new size-

correctionchart, In: Proceedings of the 21st US Symposium on Rock Mechanics. Rolla, 543–564.

Helvacı, C., Gündoğan, İ., Oyman, T., Sözbilir, H., Parlak, O., 2013. Çaldağ (Turgutlu-Manisa) lateritik Ni-Co yatağının jeolojisi, mineralojisi ve jeokimyasal özellikleri. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri, 34 (2), 101-132.

Helvatjoglu, M., Antoniadessa, Y., Papadogiannis, Y., Lakes, R.S., Dionysopoluos, P. and Papadogiannis, D., 2006. Dynamic and static elastic modulu of packable and flowable composite resins and their development after initial photo curing. Dental Materials, 22, 450–459.

Iliew, I.G., 1966. An attempt to estimate the degree of weathering of intrusive rocks from their physico- mechanical properties. Proceedings of the 1st Congress of the International Society of Rock Mechanics Issue 3, pages 109- 114.

ISRM, 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006, (Ulusay, R. and Hudson, J.A., Editors), Kozan Ofset Matbaacılık, Ankara.

Juteau, T., 1975. Les ophiolites des noppes d' Antalya (Taurides occidentales, Turquie) Theseso Terre, Mem.No:32, 602P, Nancy.

Kahraman, S., Yeken, T., 2008. Determination of physical properties of carbonate tocks from P-wave velocity. Bull. Engineering Geol Environ. 67, 227–281.

Kahraman, S., 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 38, 981–994.

Karpuz, C., Özenoğlu, A., Tutluoğlu, L., Ünal, E., 1986. Kaya Mekaniği İlkeleri O.D.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme Anabilim dalı, Seminer No: 6-7, 50-56s, Ankara.

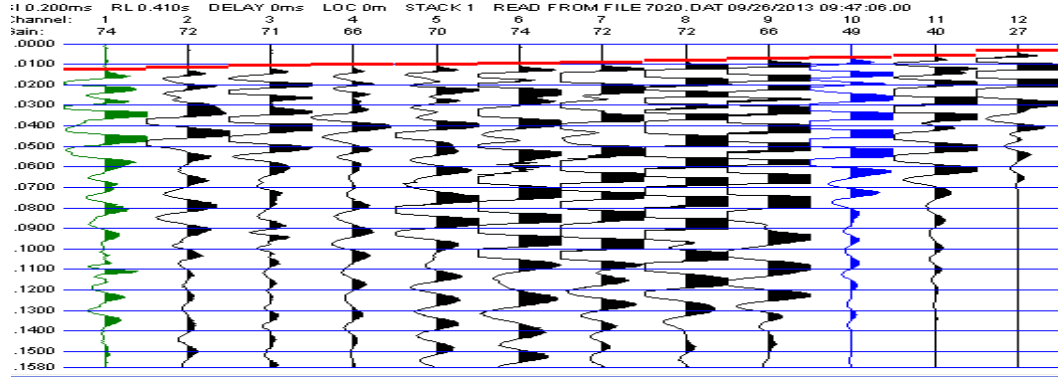
- Kibici, Y., 2003. Asit magmatik kayaçların minerolojisi, petrografisi ve doğal taş sektöründe isimlendirilmesindeki önemi. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003) Bildiriler Kitabı 505- 524, Afyon.
- Kopaçlı, A., 2009. Hatay İli Yayladağ İlçesinde Özdirenç Yöntemiyle Yeraltı Suyu Aramaları. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi 93s, Adana.
- Koumantakis, J., 1982. Comportement des peridotites et serpentinites de la Grece en travaux public. Leur proprietes physiques et mechaniques. Bull. IAEG. 25, 53–60.
- Kurtuluş, C. 2000. Sismik yöntemlerle belirlenen ampirik taşıma gücü bağıntısı ve uygulaması, Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi Kocaeli Üniversitesi. 1 (6), 51–59.
- Kurtuluş, C., 2002. Sismik Arama, Teori ve Uygulama. Kocaeli Üniversitesi Yayınları, 55s.
- Kurtuluş, C., Bozkurt, A., Endes, H., 2011. Physical and mechanical properties of serpentinitized ultrabasic rocks in NW Turkey. Pure Appl. Geophys. DOI 10.1007/s00024-011-0394-z.
- Kurtuluş, C., Sertçelik, F., Canbay, M., Sertçelik, I., 2010, Estimation of Atterberg limits and bulk mass density of an expansive soil from P-wave velocity measurements, Bull. Eng. Geol. Environ. 69, 153–154.
- Marinos, P., Hook, E., Marinos, V., 2006. Variability of the engineering properties of rock masses quantified by the geological strength index: the case of ophiolites with special emphasis on tunneling. Bull. Eng. Geol. Environ. 65, 129–142.
- Morgan, N.A., 1969. Physical properties of marine sediments as related to seismic velocities, Geophysics. 3 (4), 529–545.
- Mutlutürk, M., 1985. Pazarköy (Isparta İli) ve Dolayının Jeolojisi. İ.Ü.FBE. Yüksek Lisans Tezi 41p, İstanbul.

- Nakamura, Y., 1989. A method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface, Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), 30(1), 25-33.
- Okada, H., 2003. The Microtremor Survey Method, Geophysical Monograph Series, 12, 135p, Society of Exploration Geophysicists Tulsa Oklahoma.
- Onodera, S., 1963. Numerical analysis of relative resistivity for a horizontally layered earth. Geophysics. 28 (2), 222- 231.
- Othman, A.A.A., 2005. Constructed geotechnical characteristic of foundation beds by seismic measurements, Journal of Geophys. Eng. 2, 126-138.
- Paventi, M., Scoble, M., Stead, D., 1996. Characteristics of a complex serpentinised ultramafic rock mass at the Birchtree Mine. Manitoba. In: Mitri. H. Aubertin (Ed.), North American Rock Mechanics Symposium, 339–346, Rotterdam.
- Rao, M.V., M.S. Ramana, Y.V. 1974. Dilatant behaviour of ultramafic rocks during fracture. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. 11p.
- Read, J.R.L., Thornton, P.N., Regan, W.M., 1980. A rational approach to the point load test, In: Proceedings Aust-N.Z. Geomechanics. 2, 35–9.
- Schön, J.H., 1998, Physical properties of rocks: Fundamentals and principles of petrophysics, Pergamon Press, 582pp, London.
- Song, I., Suh, M., Woo Yong-Kyun, Hao, T., 2004. Determination of the elastic modulus set of foliated rocks from ultrasonic velocity measurements, Engineering Geology. 72, 293–308.
- Stavrogin, A.N., Zaretskii - Feoktistov G.G., Tanov G. N., 1984. Static and Dynamic elastic moduli of rock in a complex axisymmetric stressed state. Journal of Mining Science, 20 (5), 343–350.
- Şenel, M., Gedik, İ., Dalkılıç, H., Serdaroğlu, M., Bilgin, A.Z., Uğuz M.F., Bölükbaşı, A.S., Korucu, M., Özgül, N., 1996. Isparta bükümü doğusunda, otokton ve allohton birimlerin stratigrafisi (Batı Toroslar). MTA Dergisi, 118, 111- 160.

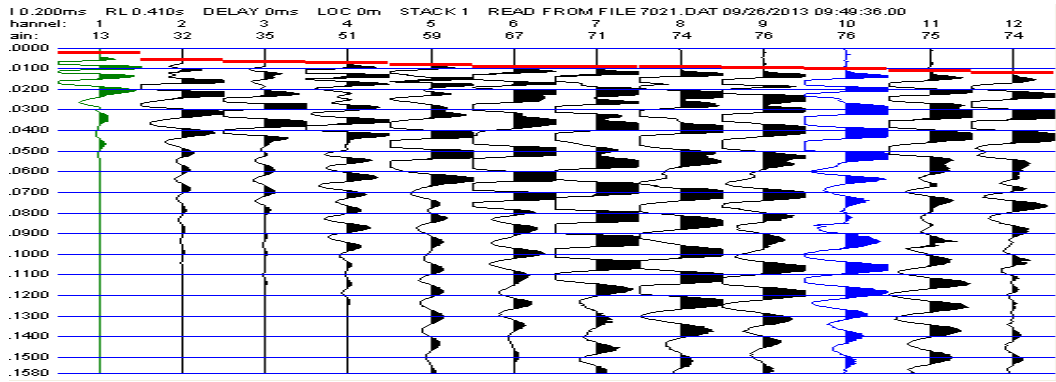
- Tarhan, F., 1989. Mühendislik Jeolojisi Prensipleri. KTÜ Basımevi yayınları, 384 s, Trabzon.
- Teymen, A., 2005. Bazı Kayaçların Petrografik, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi.Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. 108 s, Adana.
- Tezcan, S.S., Özdemir, Z., Keçeli, A., Erkal, A. 2007. Zemin Emniyet Gerilmesinin Sismik Yöntem ile Belirlenmesi. 5'inci Yıl Mühendislik Mimarlık Sempozyumu CV-387, T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi,. 14-16 Kasım, Isparta.
- Toksöz, M.N.,Lacoss, R.T., 1968. Microseisms: mode structures and sources. Science, 159 (3817), 872-873.
- TS EN 1926, 2000. Doğal Taşlar –Deney Metodları- Basınç Dayanım Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 1936, 2010. Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini, TSE, Ankara.
- Us, E., 1993. Sismik Yöntemler ve Yorumlamaya Giriş. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara.
- Yaşar, E.,Erdoğan, Y., 2004. Correlation sound velocity with the density, compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 41, 871–875.
- Youash, Y., 1970. Dynamic Physical Properties of Rocks: Part 2.Experimental result.Proceeding of the and Congress of the International Society for Rock Mechanic, Beograd, Vol,1, pp. 185–195.
- Vasconcelos, G.,Lourec,O., P.B., Alves, C.S.A.,Pamplona, J., 2007. Prediction of the mechanical properties of granites by ultrasonic pulse velocity and Schmidthammerhardness. North American Masonry Conference, June 3–6, St Louis, Missouri, USA, 980–991.

EKLER

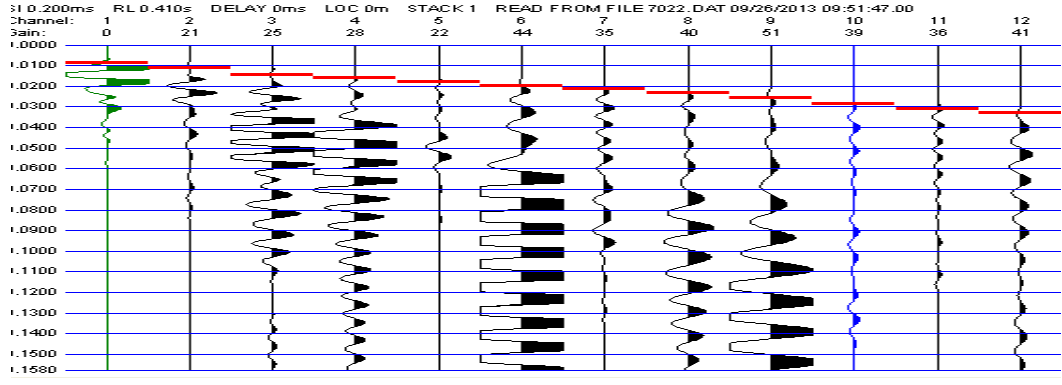
Ek-A Sismik veriler ve değerlendirilmesi



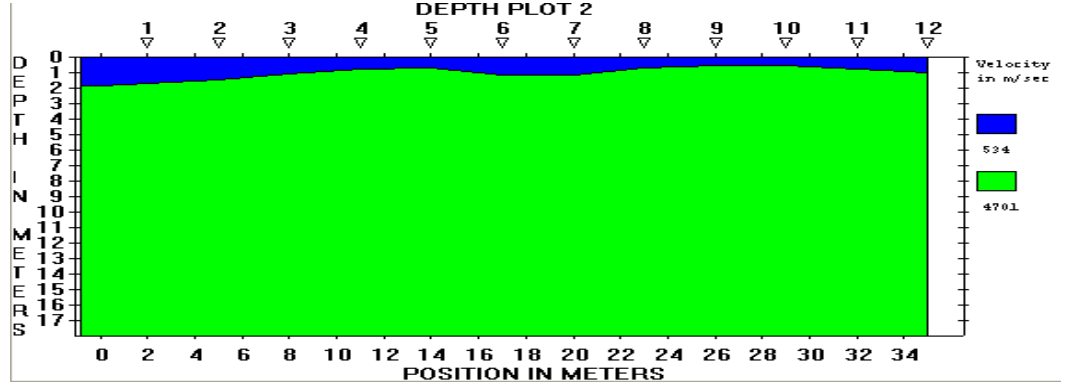
şekil A.1. P ters atış kaydı (serim 1)



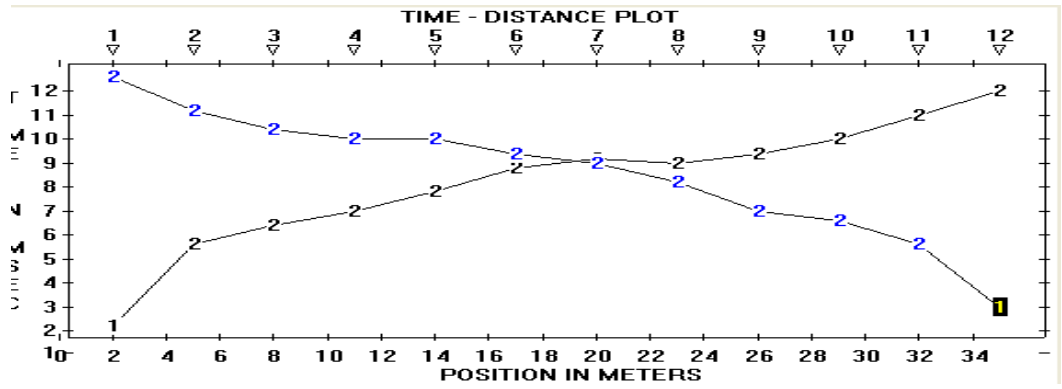
şekil A.2. P düz atış sinyal görünümü (serim 1)



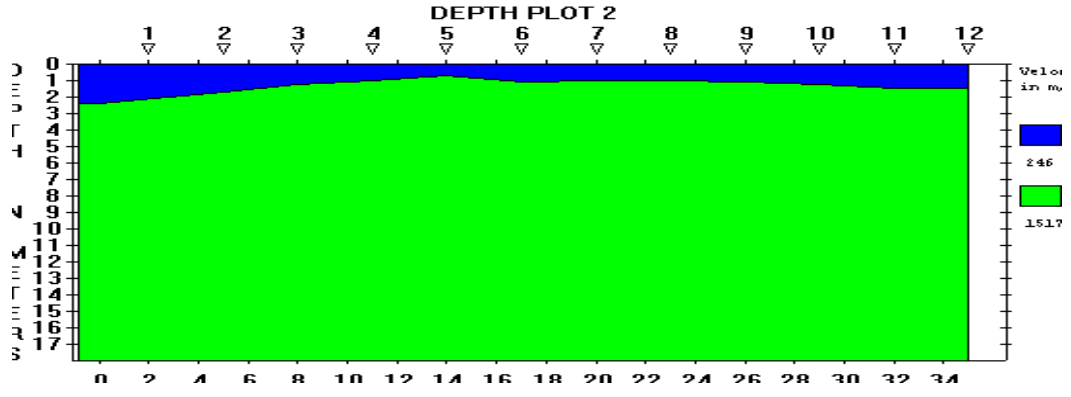
Şekil A.3. S ters atış sinyal görünümü (serim 1)



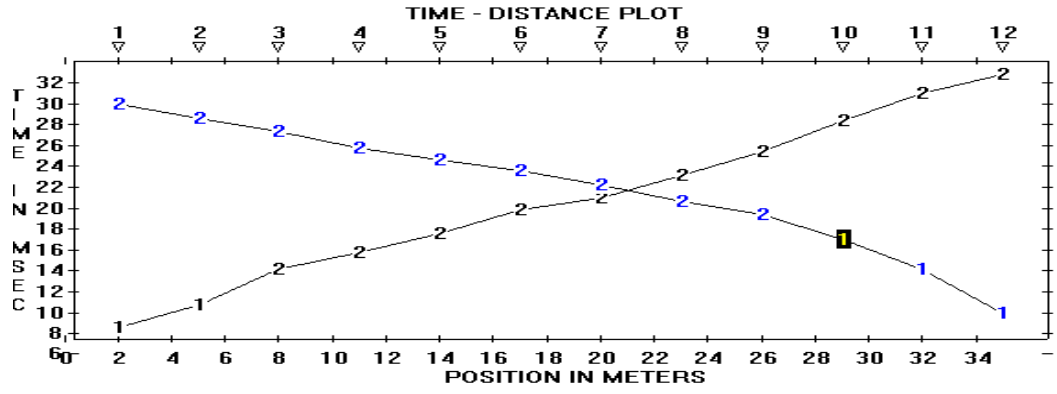
Şekil A.4. P sismik yapı kesiti (serim 1)



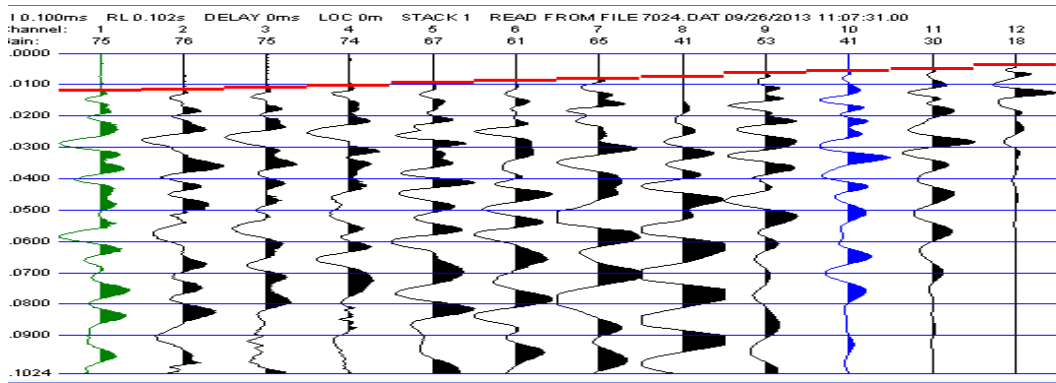
Şekil A.5. P yol – zaman grafiği (serim 1)



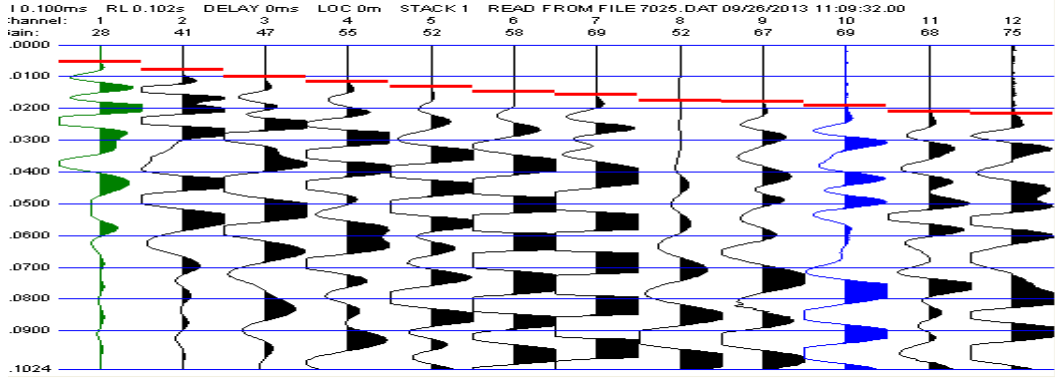
Şekil A.6. S sismik yapı kesiti (serim 1)



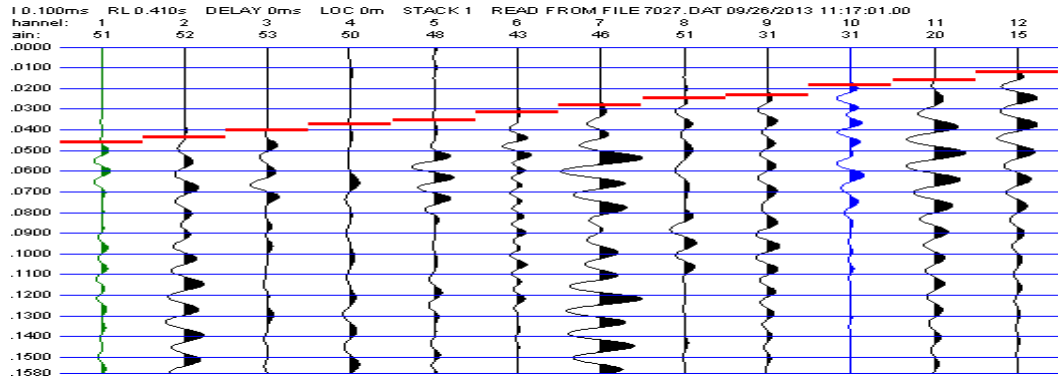
Şekil A.7. S yol – zaman grafiği (serim 1)



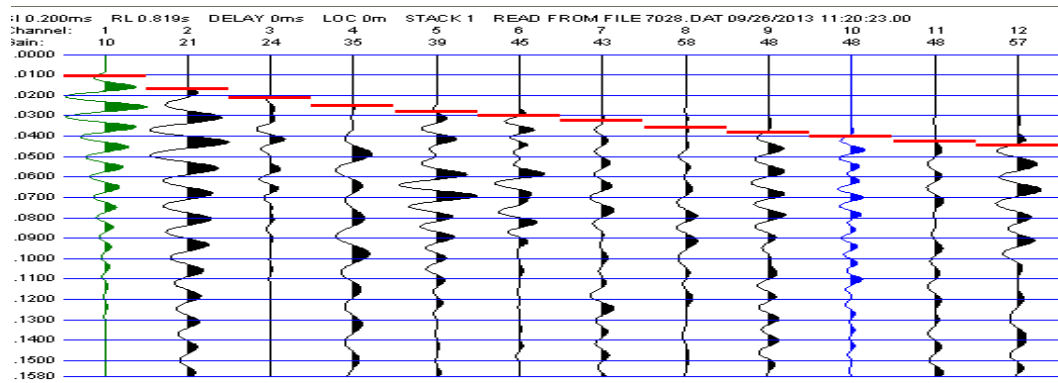
Şekil A.8. P ters atış sinyal görünümü (serim 2)



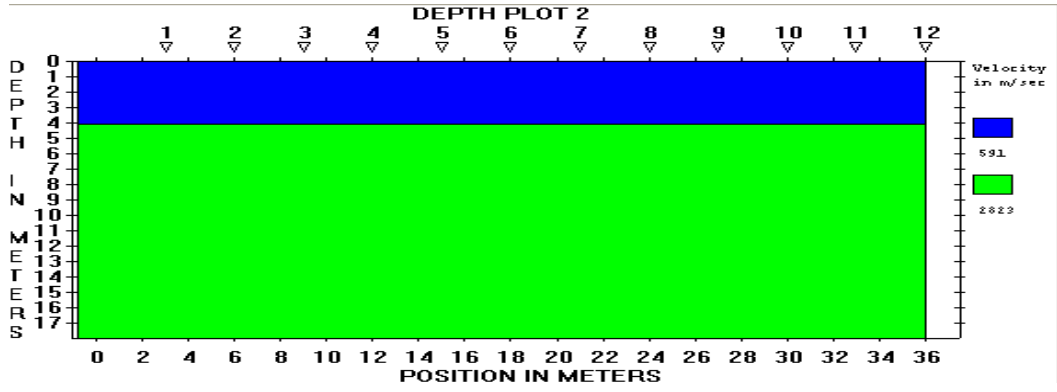
Şekil A.9. P düz atış sinyal görünümü (serim 2)



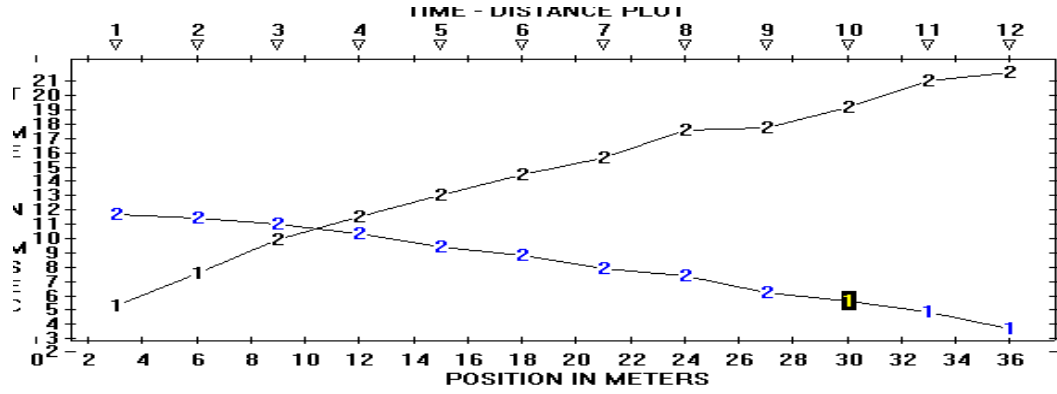
Şekil A.10. S düz atış sinyal görünümü (serim 2)



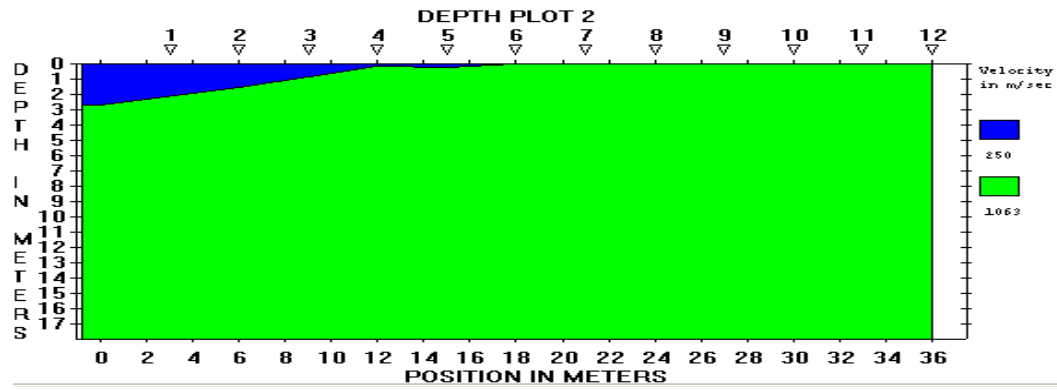
Şekil A.11. S düz atış sinyal görünümü (serim 2)



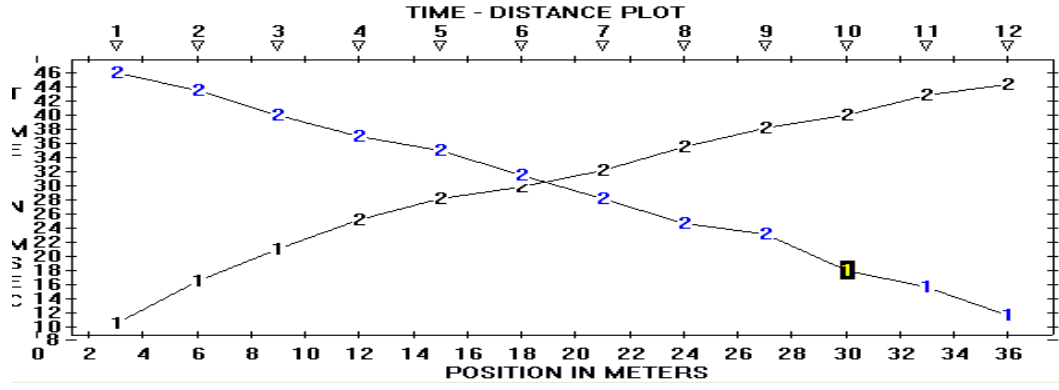
Şekil A.12. P sismik yapı kesiti (serim 2)



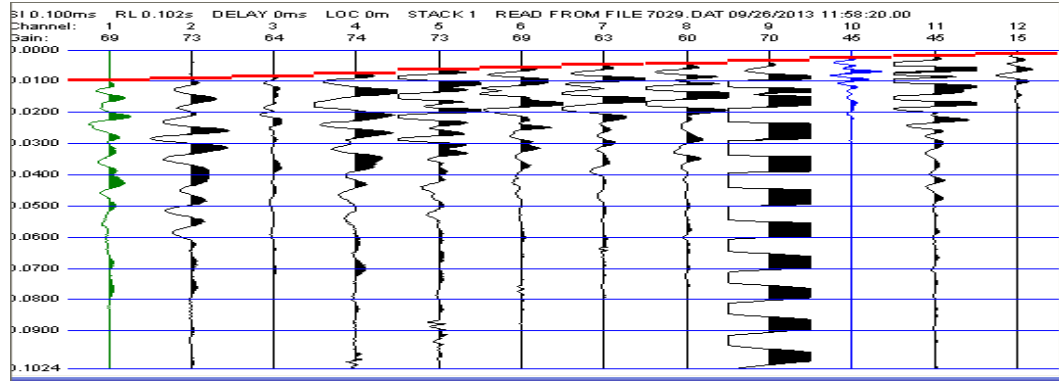
Şekil A.13. P yol – zaman grafiği (serim 2)



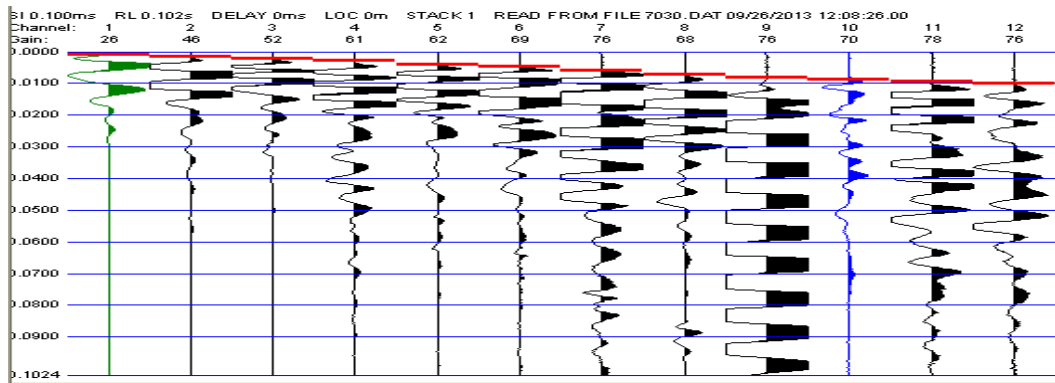
Şekil A.14. S sismik yapı kesiti (serim 2)



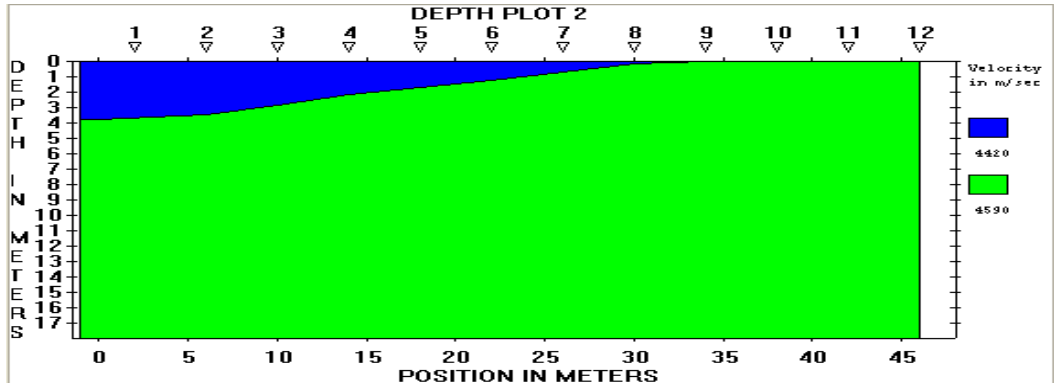
Şekil A.15. S yol – zaman grafiği (serim 2)



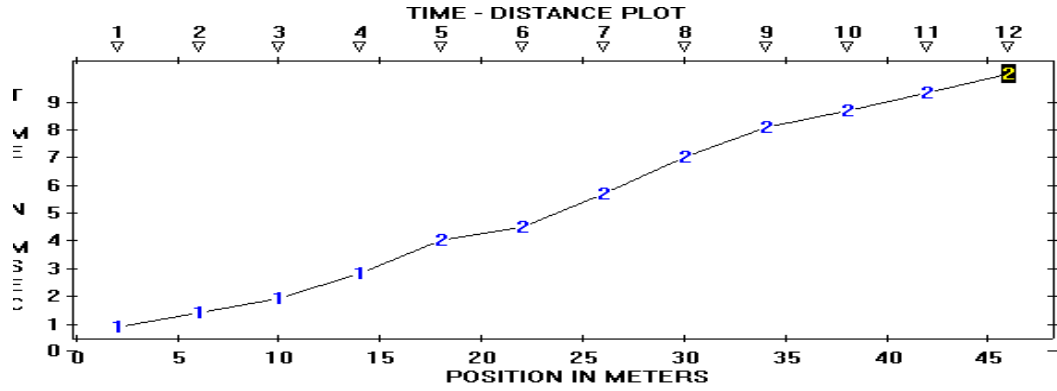
Şekil A.16. P ters atış sinyal görünümü (serim 3)



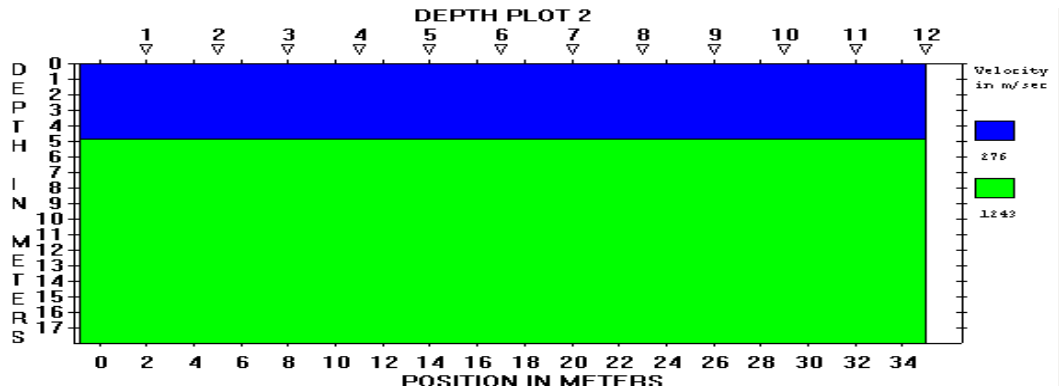
Şekil A.17. P düz atış sinyal görünümü (serim 3)



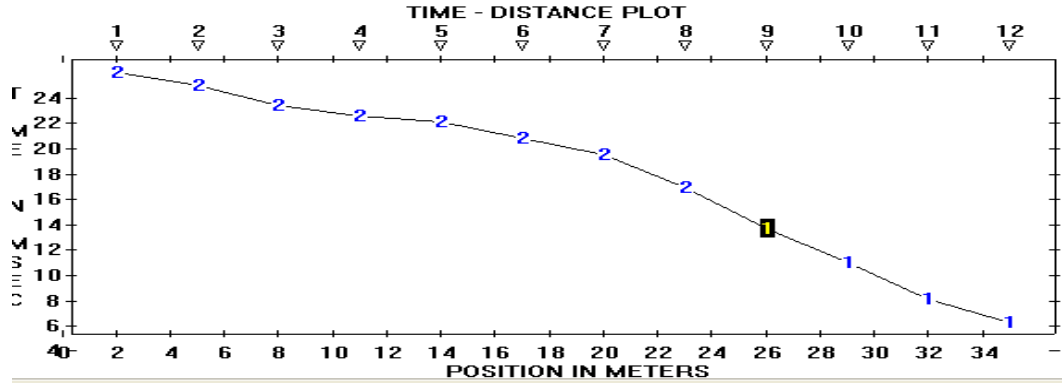
Şekil A.18. P sismik yapı kesiti (serim 3)



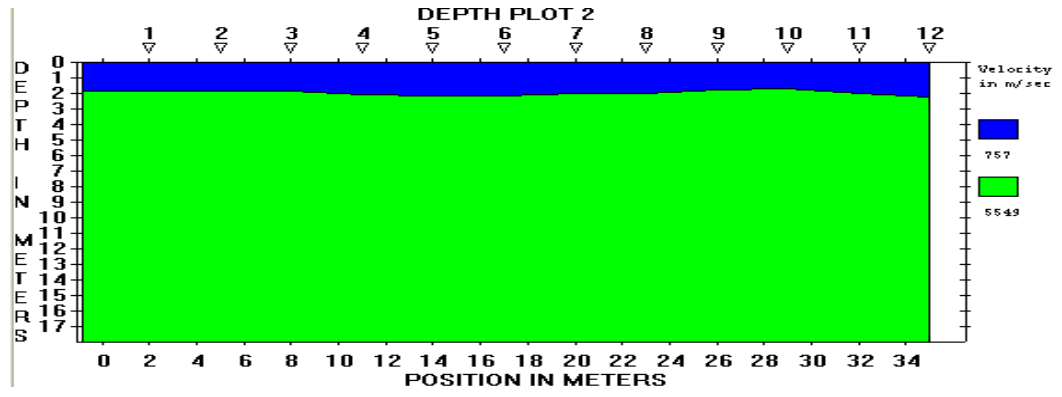
Şekil A.19. P yol – zaman grafiği (serim 3)



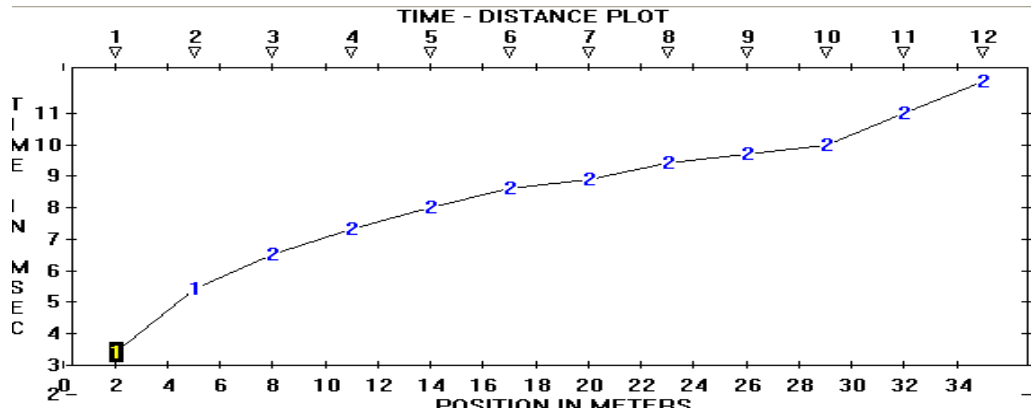
Şekil A.20. S sismik yapı kesiti (serim 3)



Şekil A.21. S yol – zaman grafiği (serim 3)



Şekil A.22. P sismik yapı kesiti (serim 4)



Şekil A.23. P yol- zaman grafiği (serim 4)

Ek-B Deney Sonuçları

Çizelge B.1. Birim hacim ağırlık deney sonuçları

Numune No	En Düşük BHA (g/cm ³)	En Yüksek BHA (g/cm ³)	Ort. BHA (g/cm ³)	Std. Sapma
A1	2,96	3,00	2,98	0,02
B1	2,99	3,07	3,04	0,02
B2	2,98	3,17	3,11	0,07
B3	3,03	3,09	3,06	0,03
C1	2,59	2,71	2,65	0,04
D1	2,96	3,11	3,05	0,05
E1	3,26	3,30	3,29	0,01
E2	3,26	3,29	3,27	0,01
G1	3,07	3,13	3,10	0,02

Çizelge B.2. Ağırlıkça su emme deney sonuçları

Numune No	En Düşük ASE %	En Yüksek ASE %	ORT. ASE %	Std. Sapma
A1	0,33	0,81	0,59	0,19
B1	0,27	0,73	0,43	0,17
B2	0,16	0,48	0,27	0,10
B3	0,26	0,59	0,45	0,12
C1	0,49	0,94	0,73	0,16
D1	0,22	0,40	0,29	0,08
E1	0,08	0,13	0,10	0,02
E2	0,09	0,16	0,12	0,02
G1	0,22	0,28	0,25	0,02

Çizelge B.3. Hacimce su emme deney sonuçları

Numune No	En Düşük HSE %	En Yüksek HSE %	ORT. HSE %	Std. Sapma
A1	0,98	2,41	1,75	0,55
B1	0,83	2,20	1,30	0,51
B2	0,49	1,43	0,83	0,30
B3	0,79	1,79	1,36	0,36
C1	1,34	2,45	1,94	0,40
D1	0,66	1,23	0,88	0,24
E1	0,27	0,42	0,33	0,05
E2	0,29	0,52	0,40	0,08
G1	0,23	0,68	0,31	0,15

Çizelge B.4 Porozite deney sonuçları

Numune No	En Düşük Pt (%)	En Yüksek Pt (%)	Ort. Pt (%)	Std. Sapma
A1	0,04	0,06	0,05	0,01
B1	0,03	0,05	0,04	0,01
B2	0,02	0,08	0,04	0,02
B3	0,03	0,05	0,04	0,01
C1	0,00	0,04	0,01	0,01
D1	0,03	0,07	0,04	0,02
E1	0,02	0,03	0,02	0,00
E2	0,04	0,04	0,04	0,00
G1	0,03	0,04	0,03	0,01

Çizelge B.5 Yoğunluk deney sonuçları

Numune No	γ (g/cm ³)	Ort. γ (g/cm ³)	Std. Sapma
A1	3,15	3,15	0,00
	3,14		
	3,15		
B1	3,15	3,15	0,01
	3,17		
	3,14		
B2	3,27	3,25	0,01
	3,25		
	3,24		
B3	3,16	3,18	0,03
	3,16		
	3,21		
C1	2,67	2,69	0,01
	2,69		
	2,69		
D1	3,18	3,19	0,06
	3,25		
	3,12		
E1	3,34	3,35	0,03
	3,38		
	3,33		
E2	3,40	3,41	0,01
	3,42		
	3,41		
G1	3,21	3,21	0,00
	3,21		
	3,21		

Çizelge B.6. Sismik hız deney sonuçları

Tab. Dik				Tab. Paralel			
Numune No	V _p m/sn	Ort. Vp	Std. Sap	Numune No	V _p m/sn	Ort. Vp	Std. Sap
A1-1	6227	5564	499	A1-2	6559	6063	595
A1-3	5269			A1-4	5525		
A1-6	5104			A1-5	6598		
A1-7	5655			A1-8	5572		
B1-1	5485	5801	352	B1-4	6791	6487	265
B1-2	5809			B1-5	6302		
B1-3	6290			B1-6	6368		
B1-7	5621			B2-2	7814	7853	135
B2-1	6131	5913	459	B2-3	7725		
B2-4	6374			B2-5	7829		
B2-7	5840			B2-6	8044		
B2-8	5308			B3-2	6693	6605	85
B3-1	5940	5683	390	B3-4	6597		
B3-3	6046			B3-6	6523		
B3-5	5558			C1-1	5397	5723	296
B3-7	5189			C1-5	5797		
C1-2	4293	4416	219	C1-7	5975		
C1-3	4311			D1-2	6839	6852	379
C1-4	4744			D1-3	6480		
C1-6	4316			D1-6	7237		
D1-1	6200	5933	232	E1-2	8002	8009	114
D1-4	5803			E1-3	8148		
D1-5	5794			E1-4	8017		
E1-1	7313			E1-5	7869		
E1-6	7546	7429	165	E2-1	7989	7923	175
E2-2	7534			E2-3	8139		
E2-4	7667			E2-6	7750		
E2-5	7301			E2-9	7815		
E2-7	7352	7435	159	G1-2	7039	7024	50
E2-8	7320			G1-3	6989		
G1-1	6481			G1-4	7088		
G1-6	6663			G1-5	6979		
G1-7	6253	6473	168				
G1-8	6494						

Çizelge B.7. Tek eksenli deney sonuçları

Tabakalanmaya Dik		
Numune No	UCS (MPa)	Kırma yönü
A1-1	91,02	a
A1-3	53,73	c
A1-6	81,78	a
A1-7	53,45	c
B1-2	75,53	a
B1-3	72,32	c
B1-7	87,16	a
B2-1	83,10	a
B2-4	65,95	a
B2-7	54,43	a
B2-8	100,63	a
B3-1	62,25	c
B3-3	81,39	c
B3-5	114,00	c
B3-7	87,32	b
C1-2	41,00	a
C1-3	32,62	a
C1-4	76,72	a
C1-6	60,21	a
D1-1	110,16	a
D1-4	119,99	a
D1-5	93,47	b
E1-1	152,64	b
E1-5	96,21	c
E1-6	67,04	c
E2-2	104,62	b
E2-4	142,50	a
E2-5	69,84	b
E2-7	111,53	c
E2-8	149,73	a
G1-1	61,50	a
G1-6	133,07	c
G1-7	152,27	a
G1-8	91,24	a

Tabakalanmaya Paralel		
Numune No	UCS (MPa)	Kırma yönü
A1-2	84,05	a
A1-4	70,75	a
A1-5	59,49	b
A1-8	85,44	a
B1-1	79,85	b
B1-4	94,73	b
B1-5	74,62	b
B1-6	88,45	b
B2-2	60,79	b
B2-3	51,19	b
B2-5	67,83	b
B2-6	45,95	b
B3-2	67,06	b
B3-4	146,17	c
B3-6	73,44	c
C1-1	15,30	a
C1-5	114,70	b
C1-7	80,11	c
D1-2	94,51	a
D1-3	76,60	b
D1-6	64,72	b
E1-2	142,00	a
E1-3	177,66	a
E1-4	115,16	a
E2-1	201,09	b
E2-3	81,94	c
E2-6	88,86	c
E2-9	112,28	c
G1-2	47,11	c
G1-3	118,31	b
G1-4	88,81	b
G1-5	130,50	c

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Pelin ÖZER

Doğum Yeri ve Yılı: Balıkesir, 1989

Medeni Hali: Bekar

E-posta: pehn.ozet@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise: Muharrem Hasbi Koray Lisesi, 2006

Lisans: Süleyman Demirel Üniversitesi, 2011