



**T.C.  
BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BİTLİS MERKEZ İLÇENİN JEOLOJİK VE JEOTEKNİK  
ETKİSİNİN İNCELEMESİ**

**Emrullah KANDEMİR**

**Ağustos-2025  
BATMAN**

**T.C.  
BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BİTLİS MERKEZ İLÇENİN JEOLOJİK VE JEOTEKNİK  
ETKİSİNİN İNCELEMESİ**

**Emrullah KANDEMİR**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Derya KOCA**

**Diğer Jüri Yeleri**

**Prof. Dr. Hakan ÇOBAN**

**Doç. Dr. Nuray ALPASLAN**

**Ağustos-2025  
BATMAN**



## TEZ KABUL VE ONAYI

Emrullah KANDEMİR tarafından hazırlanan “Bitlis Merkez İlçenin Jeolojik ve Jeoteknik Etkisinin İncelemesi” adlı tez çalışması 26/08/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Ana Bilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Hakan ÇOBAN

.....

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Derya KOCA

.....

#### Üye

Doç. Dr. Nuray ALPASLAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYANI

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

## ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

Emrullah KANDEMİR  
Tarih: 26/08/2025

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## BİTLİS MERKEZ İLÇENİN JEOLojİK VE JEOTEKNİK ETKİSİNİN İNCELEMESİ

Emrullah KANDEMİR

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Derya KOCA

2025, 270 Sayfa

Bu çalışmanın amacı, Bitlis Merkez İlçenin jeolojik ve jeoteknik özelliklerinin detaylı bir incelemesini yaparak bölgenin yerleşim alanı olarak uygunluğunu değerlendirmektir. Bununla birlikte, bilimsel verilerden yararlanarak bölgedeki zemin yapısının mühendislik taşıma kapasitesini ve genel inşaat potansiyelini tespit etmektir. Kentsel planlama ve mühendislik projelerinde kullanılmak üzere bölgeye özgü önemli veriler sağlayarak güvenli yapılaşma sürecine katkıda bulunmaktadır.

Hem saha hem de laboratuvar ortamında nicel araştırma yöntemleri kullanılmıştır. Saha çalışmalarında toplam 13 temel sondaj kuyusu açılmış ve her bir sondaj kuyusuna karşılık gelen 13 profilde Sismik Kırılma ve MASW (Multi Channel Analysis of Surface Waves) analiz yöntemi ile birlikte mikrotremor ölçüm çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerle bağlantılı olarak, toprak katmanlarının stratigrafik kesitleri hazırlanmış ve temsili toprak ve kaya örnekleri laboratuvar test edilmiştir. Zeminlerin fiziksel (doğal su içeriği, birim hacim ağırlığı, tane dağılımı, vb.) ve mekanik (konsolidasyon, kesme dayanımı, taşıma kapasitesi, vb.) özellikleri laboratuvar testleri ile belirlenmiştir. Ayrıca, çalışma alanının sismik tehlikesi ve yerel zemin sınıfı belirlenmiş ve oturma için kritik parametreler değerlendirilmiştir.

Çalışmanın bulguları, Bitlis Merkez İlçesi'nin çeşitli jeolojik birimlerin ve mühendislik açısından yetersiz özelliklere sahip zeminlerin varlığıyla karakterize olduğunu ve bu durumun özellikle alüvyal dolgu alanlarında belirgin olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, bazı bölgelerde kaya birimlerinin yüzeye çıkmasıyla inşaat için daha uygun alanlar tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, Bitlis Merkez İlçede zemin özellikleri açısından heterojen bir yapı gözlenmekte olup, inşaat kararlarında mikrobölgeleme, zemin iyileştirme ve yerel zemin davranışına uygun tasarım gibi geoteknik önlemler alınmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Bitlis, jeoteknik özellikler, yerleşim güvenliği, zemin büyütmesi, jeolojik formasyonlar

**ABSTRACT**  
**MASTER THESIS**  
**GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL INVESTIGATION OF THE**  
**CENTRAL PROVINCE OF BİTLİS**

**Emrullah KANDEMİR**

**Batman University Graduate Education Institute**

**Geological Engineering Department of Science**

**Advisor: Assist. Prof. Dr. Derya KOCA**

**2025, 270 Pages**

The purpose of this study is to evaluate the suitability of the region as a settlement area by conducting a detailed examination of the geological and geotechnical characteristics of the Bitlis Central District. In addition, it aims to determine the engineering bearing capacity and overall construction potential of the soil structure in the region by utilizing scientific data. It is to contribute to the safe construction process by providing important region-specific data for use in urban planning and engineering projects.

Both quantitative research methods were used in the field and laboratory environments. In the field studies, a total of 13 main boreholes were drilled, and microtremor measurements were conducted using the Seismic Refraction and MASW (Multi Channel Analysis of Surface Waves) analysis methods in 13 profiles corresponding to each borehole. In connection with these measurements, stratigraphic sections of soil layers were prepared, and representative soil and rock samples were tested in the laboratory. The physical (natural water content, unit weight, particle size distribution, etc.) and mechanical (consolidation, shear strength, bearing capacity, etc.) properties of the soils were determined through laboratory tests. Additionally, the seismic hazard of the study area and the local soil class were determined, and critical parameters for settlement were evaluated.

The findings of the study indicate that the Central District of Bitlis is characterized by the presence of various geological units and soils with inadequate engineering properties, and that this situation is particularly evident in alluvial fill areas. In contrast, more suitable areas for construction have been identified in some regions where rock units are exposed at the surface.

As a result, the ground in Bitlis Central District is observed to have a heterogeneous structure. Therefore, geotechnical measures such as microzoning, ground improvement, and design appropriate to local ground behavior should be taken into account in construction decisions.

**Keywords:** Bitlis, geotechnical properties, settlement safety, soil amplification, geological formations

## ÖN SÖZ

Tez çalışmam sürecinde, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, jeoloji alanında engin bilgilerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen kıymetli hocam ve danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Derya KOCA çok teşekkür ederim.

ARE Jeoteknik Mühendislik Şirketi'ne Bitlis (Merkez) Belediyesinin İmar Planına Esas Jeolojik/Jeoteknik Etüt Raporunu çalışmam esnasında paylaştığı için teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez hazırlama sürecinde bana destek çıkan kıymetli aileme çok teşekkür ederim.

Emrullah KANDEMİR  
BATMAN-2025



## İÇİNDEKİLER

|                                                         |      |
|---------------------------------------------------------|------|
| ÖZET .....                                              | iv   |
| ABSTRACT.....                                           | v    |
| ÖN SÖZ .....                                            | vi   |
| İÇİNDEKİLER .....                                       | vii  |
| ÇİZELGELER LİSTESİ .....                                | x    |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                  | xii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                           | xiii |
| 1. GİRİŞ .....                                          | 1    |
| 1.1. Tez Çalışmasının Amacı .....                       | 2    |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....                             | 4    |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....                              | 15   |
| 3.1. Ön Hazırlık .....                                  | 15   |
| 3.2. Arazi Çalışmaları .....                            | 15   |
| 3.2.1. Sondaj çalışmaları.....                          | 16   |
| 3.2.1.1. Standart penetrasyon deneyi (SPT).....         | 17   |
| 3.2.1.2. Örselenmemiş (UD) örnek alınması .....         | 18   |
| 3.2.2. Sismik kırılma yöntemi.....                      | 18   |
| 3.2.3. Mikrotremor yöntemi.....                         | 19   |
| 3.3. Laboratuvar Çalışmaları .....                      | 21   |
| 3.3.1. Doğal birim hacim ağırlığı deneyi .....          | 21   |
| 3.3.2. Kuru birim hacim ağırlığı deneyi.....            | 21   |
| 3.3.3. Doğal su içeriği deneyi .....                    | 22   |
| 3.3.4. Elek analizi .....                               | 22   |
| 3.3.5. Atterberg limitleri (LL, PL, PI) .....           | 23   |
| 3.3.6. Tane dağılımı (eleme ve hidrometre) deneyi ..... | 23   |
| 3.3.7. Konsolidasyon deneyi.....                        | 24   |
| 3.3.8. Üç eksenli basınç deneyi.....                    | 25   |
| 3.3.9. Zemin şişme özelliği .....                       | 25   |
| 3.3.10. Kıvamlilik indeksi.....                         | 26   |
| 3.3.11. Direk kesme deneyi .....                        | 27   |
| 3.3.12. Nokta yükleme deneyi .....                      | 27   |
| 3.3.13. Kayada tek eksenli basınç deneyi .....          | 28   |
| 3.3.14. Zemin sınıfı belirleme.....                     | 28   |
| 3.4. Zeminin Dinamik–Elastik Parametreleri .....        | 29   |
| 3.4.1. Yoğunluk ( $\rho$ ).....                         | 30   |
| 3.4.2. Sismik hız oranı ( $V_p/V_s$ ) .....             | 31   |
| 3.4.3. Poisson oranı ( $\nu$ ) .....                    | 32   |
| 3.4.4. Maksimum kayma modülü ( $G_{max}$ ) .....        | 33   |

|                                                                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.5. Dinamik elastisite modülü ( $E_d$ ).....                                                                | 34        |
| 3.4.6. Bulk modülü ( $K$ ).....                                                                                | 35        |
| 3.4.7. Vs30 kayma dalgası hızı .....                                                                           | 36        |
| 3.4.8. Sökülebilirlik sınıflandırılması .....                                                                  | 37        |
| 3.4.9. Kalınlık ( $h$ ).....                                                                                   | 38        |
| 3.5. Şişme – Oturma ve Taşıma Gücü Analizleri ve Değerlendirme .....                                           | 38        |
| 3.5.1. Zeminlerin şişme özellikleri .....                                                                      | 39        |
| 3.5.2. Zeminlerin oturma özellikleri .....                                                                     | 39        |
| 3.5.3. Zeminlerin taşıma gücü hesabı .....                                                                     | 40        |
| 3.5.4. Kayada taşıma gücü hesabı.....                                                                          | 41        |
| <b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>                                                                            | <b>43</b> |
| 4.1. Çalışma Alanının Tanıtımı.....                                                                            | 43        |
| 4.2. Bitlis İlinin Topografyası ve Jeomorfolojik Özellikleri .....                                             | 45        |
| 4.3. Çalışma Sahasının Jeolojik Özellikleri .....                                                              | 46        |
| 4.3.1. Stratigrafi .....                                                                                       | 47        |
| 4.3.1.1. Yolcular grubu ( $P\epsilon y$ ) .....                                                                | 50        |
| 4.3.1.2. Kokarsu formasyonu ( $Pzbko$ ) .....                                                                  | 51        |
| 4.3.1.3. Kuştaşı formasyonu ( $Pzbku$ ).....                                                                   | 51        |
| 4.3.1.4. Çadırdağ grubu ( $PzMzç$ ).....                                                                       | 52        |
| 4.3.1.5. İçmeli formasyonu ( $Mzi$ ).....                                                                      | 52        |
| 4.3.1.6. Nemrut volkaniti ( $Qn$ ) .....                                                                       | 53        |
| 4.3.1.7. Traverten ( $Qtr$ ).....                                                                              | 53        |
| 4.4. Bitlis İlinin Tektonik Yapısı .....                                                                       | 54        |
| 4.5. Çalışma Sahasının Hidrojeolojik Özellikleri .....                                                         | 57        |
| 4.6. İnceleme Alanında Yapılan Jeoteknik Araştırmalar .....                                                    | 59        |
| 4.6.1. Sondaj çalışmaları.....                                                                                 | 59        |
| 4.6.1.1. Standart penetrasyon deneyi (SPT).....                                                                | 62        |
| 4.6.1.2. Örselenmemiş (UD) örnek alınması .....                                                                | 64        |
| 4.7. İnceleme Alanında Uygulanan Jeofizik Yöntemler .....                                                      | 64        |
| 4.7.1. İnceleme alanında uygulanan mikrotremör yöntemi çalışmaları.....                                        | 66        |
| 4.7.2. İnceleme alanında uygulanan sismik kırılma yöntemi çalışmaları .....                                    | 72        |
| 4.8. Jeoteknik Amaçlı Laboratuvar Deneyleri .....                                                              | 77        |
| 4.8.1. İnceleme alanındazeminin fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik yapılan laboratuvar deneyleri ..... | 77        |
| 4.8.2. İnceleme alanındazeminin mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik yapılan laboratuvar deneyleri .....  | 79        |
| 4.8.3. İnceleme alanında yapılan kaya mekaniği deneyleri .....                                                 | 80        |
| 4.9. İnceleme Alanının Zemin Birimlerinin Jeoteknik Açıdan Değerlendirilmesi.....                              | 82        |
| 4.10. İnceleme Alanının Kaya Birimlerinin Jeoteknik Açıdan Değerlendirilmesi.....                              | 86        |
| 4.11. İnceleme Alanındaki Zeminlerin Dinamik–Elastik Parametrelerinin Değerlendirilmesi.....                   | 90        |
| 4.11.1. Yoğunluk ( $\rho$ ).....                                                                               | 96        |
| 4.11.2. Sismik hız oranı ( $V_p/V_s$ ) .....                                                                   | 99        |
| 4.11.3. Poisson oranı ( $\nu$ ) .....                                                                          | 103       |
| 4.11.4. Maksimum kayma modülü ( $G_{max}$ ) .....                                                              | 105       |
| 4.11.5. Dinamik elastisite modülü ( $E_d$ ).....                                                               | 107       |
| 4.11.6. Bulk modülü ( $K$ ).....                                                                               | 110       |
| 4.11.7. Vs30 kayma dalgası hızı .....                                                                          | 114       |

|                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.11.8. Sökülebilirlik sınıflandırılması .....                               | 116        |
| 4.11.9. Kalınlık (h).....                                                    | 118        |
| 4.12. İnceleme Sahasının Mühendislik Özelliklerinin Değerlendirilmesi .....  | 119        |
| 4.12.1. Şişme – Oturma ve taşıma gücü analizleri ve değerlendirilmesi.....   | 119        |
| 4.12.2. İnceleme alanındaki zeminlerin şişme özellikleri.....                | 120        |
| 4.12.3. Zeminlerin oturma özellikleri .....                                  | 122        |
| 4.12.4. Zeminlerin taşıma gücü hesabı .....                                  | 123        |
| 4.12.5. Kayada taşıma gücü hesabı.....                                       | 124        |
| 4.13. Çalışma Sahasının Hidrojeolojik Özelliklerinin Değerlendirilmesi ..... | 126        |
| 4.14. İnceleme Alanının Yerleşime Uygunluk Açısından Değerlendirilmesi ..... | 127        |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                             | <b>130</b> |
| 5.1. Sonuçlar .....                                                          | 130        |
| 5.2. Öneriler .....                                                          | 132        |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                       | <b>134</b> |
| <b>EKLER .....</b>                                                           | <b>141</b> |



## ÇİZELGELER LİSTESİ

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3.1. Arazi çalışmalarına ait iş-zaman çizelgesi .....                                                         | 16 |
| Çizelge 3.2. SPT-N değeri ile zemin türü arasındaki bağlantı .....                                                    | 17 |
| Çizelge 3.3. Yapılan deneyler ve standartları .....                                                                   | 21 |
| Çizelge 3.4. Sismik ve MASW yöntem için yoğunluk sınıflaması .....                                                    | 31 |
| Çizelge 3.5. Sismik ve MASW yöntem için hesaplanan $V_p/V_s$ oranına göre zemin durumu .....                          | 32 |
| Çizelge 3.6. Sismik ve MASW yöntemle hesaplanan Poisson oranına göre zemin durumu .....                               | 33 |
| Çizelge 3.7. Sismik ve Masw yöntemle hesaplanan maksimum kayma modülüne göre zemin özelliği tanımlamaları .....       | 34 |
| Çizelge 3.8. Sismik ve MASW yöntemleri hesaplanan Dinamik elastisite modülüne göre zemin özelliği tanımlamaları ..... | 35 |
| Çizelge 3.9. Sismik ve MASW yöntemle hesaplanan Bulk modülüne göre zemin durumu .....                                 | 36 |
| Çizelge 3.10. Sismik ve MASW yöntemleri hesaplanan sökülebilirlik sınıflandırılması .....                             | 37 |
| Çizelge 3.11. Şişen killerde muhtemel hacim değişiklikleri .....                                                      | 39 |
| Çizelge 4.1. Bitlis ve çevresinde 20. YY'den önceki önemli depremler .....                                            | 56 |
| Çizelge 4.2. Bitlis ve çevresinde 20. YY'den sonraki önemli depremler .....                                           | 57 |
| Çizelge 4.3. Sondaj kuyularının koordinatları ve log bilgileri .....                                                  | 62 |
| Çizelge 4.4. Sondaj kuyularında yapılan SPT-(N30) değerleri .....                                                     | 63 |
| Çizelge 4.5. Mikrotremör ölçü noktalarının koordinatları .....                                                        | 67 |
| Çizelge 4.6. Ölçüm analizlerinde kullanılan pencere adedi ve pencere boyu .....                                       | 70 |
| Çizelge 4.7. Mikrotremör ölçümlerinden elde edilen parametreler .....                                                 | 71 |
| Çizelge 4.8. Mikrotremör ölçümlerinden elde edilen parametrelerin ortalamaları .....                                  | 71 |
| Çizelge 4.9. TBDY (2018)'e göre spektrum karakteristik periyotları .....                                              | 72 |
| Çizelge 4.10. Çalışma alanının sismik yöntemle hesaplanan $V_p$ ve $V_s$ hızları .....                                | 74 |
| Çizelge 4.11. Çalışma alanının MASW yöntemle hesaplanan $V_p$ ve $V_s$ hızları .....                                  | 76 |
| Çizelge 4.12. MASW profilleri için hesaplanan $V_{s30}$ değerleri .....                                               | 77 |
| Çizelge 4.13. Birimlerin indeks ve fiziksel özelliklerini gösterir laboratuvar sonuçları .....                        | 78 |
| Çizelge 4.14. Birimlerin mekanik özelliklerini gösterir laboratuvar sonuçları .....                                   | 80 |
| Çizelge 4.15. Karot numunelerin RQD ve SCR değerleri .....                                                            | 80 |
| Çizelge 4.16. Kaya mekaniği özelliklerini gösterir laboratuvar sonuçları .....                                        | 82 |
| Çizelge 4.17. İnceleme alanındaki zeminlerin jeolojik birimlere göre ortalama tane boyu dağılım aralıkları .....      | 83 |
| Çizelge 4.18. İnceleme alanındaki zeminlerin jeolojik birimlere göre indeks özellikleri .....                         | 84 |
| Çizelge 4.19. İnceleme alanındaki zeminlerin limit değerleri .....                                                    | 84 |
| Çizelge 4.20. Ic ve Plasiite arasındaki ilişki .....                                                                  | 84 |
| Çizelge 4.21. Zeminlerin sıkışabilirliği .....                                                                        | 84 |
| Çizelge 4.22. Kohezyonlu zeminlerin plastisite indisine göre sınıflandırılması .....                                  | 85 |
| Çizelge 4.23. İnceleme alanındaki zeminlerin relatif sıkılık ve nisbi yoğunluk tablosu .....                          | 86 |
| Çizelge 4.24. Kayaçların nokta yük direncine göre sınıflandırılması .....                                             | 87 |
| Çizelge 4.25. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması .....                                | 87 |
| Çizelge 4.26. Kaya birimlerin dayanım özellikleri .....                                                               | 87 |
| Çizelge 4.27. Kayaçların kaya kalitesine (RQD) göre sınıflandırılması .....                                           | 88 |

|                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çizelge 4.28.</b> Kayaçların RQD değerine göre ayrışma derecesi tanımlaması.....                                                    | 88  |
| <b>Çizelge 4.29.</b> Kayaçların RQD değerine göre kaya kalitesi ve ayrışma derecesi özellikleri .....                                  | 89  |
| <b>Çizelge 4.30.</b> TBDY (2018)'e göre tanımlanan zemin grupları ve zemin sınıfları .....                                             | 90  |
| <b>Çizelge 4.31.</b> MASW yöntemine göre sismik hız $v_{s30}$ değerleri .....                                                          | 91  |
| <b>Çizelge 4.32.</b> İnceleme alanının sismik kırılma ve MASW yöntemleriyle hesaplanan dinamik- elastik mühendislik parametreleri..... | 94  |
| <b>Çizelge 4.33.</b> İnceleme alanının MASW yöntemiyle hesaplanan dinamik-elastik mühendislik parametreleri.....                       | 95  |
| <b>Çizelge 4.34.</b> Çalışma alanının sismik yöntemle hesaplanan yoğunluk değerleri.....                                               | 97  |
| <b>Çizelge 4.35.</b> Çalışma alanının sismik yöntemle hesaplanan yoğunluk değerleri.....                                               | 98  |
| <b>Çizelge 4.36.</b> Çalışma alanından elde edilen $V_p/V_s$ oranları .....                                                            | 101 |
| <b>Çizelge 4.37.</b> Çalışma alanının MASW yönteminden elde edilen $V_p/V_s$ oranları.....                                             | 102 |
| <b>Çizelge 4.38.</b> Çalışma alanının sismik yöntemle hesaplanan yoğunluk değerleri.....                                               | 103 |
| <b>Çizelge 4.39.</b> Çalışma alanının sismik yöntemle hesaplanan yoğunluk değerleri.....                                               | 104 |
| <b>Çizelge 4.40.</b> Kayma modülüne göre çalışma alanındaki sismik yöntemden elde edilen $G_{max}$ zemin özellikleri .....             | 105 |
| <b>Çizelge 4.41.</b> Kayma modülüne göre çalışma alanındaki MASW yönteminden elde edilen $G_{max}$ zemin özellikleri.....              | 107 |
| <b>Çizelge 4.42.</b> Sismik yöntem için Elastisite modülüne göre çalışma alanındaki zemin özellikleri .....                            | 108 |
| <b>Çizelge 4.43.</b> MASW yöntem için Elastisite modülüne göre çalışma alanındaki zemin özellikleri .....                              | 110 |
| <b>Çizelge 4.44.</b> Sismik serim sonuçlarına göre, çalışma alanındaki Bulk modülü (K) değerleri .....                                 | 111 |
| <b>Çizelge 4.45.</b> MASW serim sonuçlarına göre, çalışma alanındaki Bulk modülü (K) değerleri .....                                   | 113 |
| <b>Çizelge 4.46.</b> Her formasyon için hesaplanan $V_{s30}$ değerleri.....                                                            | 115 |
| <b>Çizelge 4.47.</b> İnceleme alanının $V_p$ hızları ve sökülebilirlik sınıflandırılması.....                                          | 117 |
| <b>Çizelge 4.48.</b> İnceleme alanının MASW yöntemden elde edilen $V_p$ hızları ve sökülebilirlik sınıflandırılması .....              | 118 |
| <b>Çizelge 4.49.</b> Zeminlerin İTO ve LL değerlerine göre şişme derceleri.....                                                        | 121 |
| <b>Çizelge 4.50.</b> Yapı temellerinde izin verilebilir max. oturma miktarları .....                                                   | 122 |
| <b>Çizelge 4.51.</b> Kohezyonlu zeminlerde izin verilebilir taşıma kapasite değerler çizelgesi .....                                   | 124 |
| <b>Çizelge 4.52.</b> Kaya birimlerin taşıma gücü değerleri .....                                                                       | 125 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 3.1. Sismik kırılma yönteminin arazide uygulanışı .....                                    | 19  |
| Şekil 3.2. Konsolidasyon olayının mekanizması .....                                              | 24  |
| Şekil 3.3. Üç eksenli basınç deney düzeneği .....                                                | 25  |
| Şekil 4.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası .....                                          | 45  |
| Şekil 4.2. İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası .....                                   | 47  |
| Şekil 4.3. İnceleme alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti .....               | 49  |
| Şekil 4.4. İnceleme alanının ölçeksiz jeoloji ve lokasyon haritası .....                         | 50  |
| Şekil 4.5. Kokarsu formasyonundan görünüm .....                                                  | 51  |
| Şekil 4.6. Bitlis ve ilçelerinin deprem risk haritası.....                                       | 55  |
| Şekil 4.7. İnceleme alanının drenaj haritası.....                                                | 58  |
| Şekil 4.8. İnceleme alanında yapılan sondaj kuyularının lokasyonları .....                       | 60  |
| Şekil 4.9. İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından görünüm.....                         | 61  |
| Şekil 4.10. İnceleme alanında yapılan jeofizik ölçümlerinin lokasyon haritası .....              | 65  |
| Şekil 4.11. AMBRGEO 3 bileşenli mikrotremör cihazı.....                                          | 66  |
| Şekil 4.12. Mikrotremör ölçümleri sırasında alınan kaydın bilgisayar ekranındaki görüntüsü.....  | 66  |
| Şekil 4.13. İnceleme alanında mikrotremör ölçümlerinden görüntüler.....                          | 68  |
| Şekil 4.14. MT13 noktasına ait üç bileşenli verinin pencerelemesi ve spektrum eğrileri .....     | 68  |
| Şekil 4.15. MT13 noktasına ait üç bileşenli verinin pencerelemesi ve spektrum eğrileri .....     | 69  |
| Şekil 4.16. MT13 noktasına ait period-H/V oranı grafiği .....                                    | 69  |
| Şekil 4.17. Sismografin görüntüsü .....                                                          | 73  |
| Şekil 4.18. İnceleme alanındaki sismik kırılma ölçümüne ait görüntüler .....                     | 74  |
| Şekil 4.19. İnceleme alanındaki MASW ölçümlerine ait görüntüler .....                            | 76  |
| Şekil 4.20. İnceleme alanının MASW yöntemle hesaplanan TS EN değerlerinin dağılımı haritası..... | 93  |
| Şekil 4.21. İnceleme alanında kalan afete maruz bölgeleri gösteren harita .....                  | 129 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

|          |                                    |
|----------|------------------------------------|
| c        | Kohezyon                           |
| CH       | Plastisitesi Yüksek İnorganik Kil  |
| CL       | Plastisitesi Düşük İnorganik Kil   |
| d        | Yoğunluk                           |
| E        | Elastisite Modülü                  |
| GC       | Killi Çakıl Çakıl-Kum-Kil Karışımı |
| Gd       | Kayma Modülü                       |
| qu       | Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı       |
| PL       | Plastisite İndeksi                 |
| LL       | Likit Limit                        |
| Ms       | Deprem Büyüklüğü                   |
| N        | Standart Penetrasyon Darbe Sayısı  |
| PL       | Plastik Limit                      |
| SC       | Siltli Kum Kum-Kil Karışımı        |
| SM       | Siltli Kum Kum-Silt Karışımı       |
| Vp       | Sıkışma Dalgası Hızı               |
| Vs       | Kayma Dalgası Hızı                 |
| Wn       | Doğal Su İçeriği                   |
| $\phi$   | İçsel sürtünme açısı               |
| $\sigma$ | Normal Gerilme                     |
| $\tau$   | Teğetsel Gerilme                   |

### Kısaltmalar

|                   |                                          |
|-------------------|------------------------------------------|
| CBM:              | Kömür Kökenli Metan (Coalbed Methane)    |
| CO <sub>2</sub> : | Karbondioksit                            |
| H <sub>2</sub> S: | Hidrojen Sülfür Gazı                     |
| MASW:             |  ok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi |
| MPa:              | Mikroskopik Polianjiitis                 |
| N <sub>2</sub> :  | Nitrojen                                 |
| SK:               | Sondaj Kuyusu                            |
| TOC:              | Toplam Organik Karbon                    |

## 1. GİRİŞ

Jeoteknik çalışmalar, zemin ve kaya ortamlarının mühendislik yapılarıyla olan etkileşimini anlamaya yönelik olarak geliştirilen, uygulamalı yer bilimleri ile mühendislik disiplinlerini birleştiren bir araştırma alanıdır. Bu çalışmalar, zeminlerin fiziksel, mekanik ve dinamik özelliklerinin belirlenmesini amaçlamakta ve özellikle yapılaşma sürecinde güvenli, ekonomik ve sürdürülebilir projelerin temelini oluşturmaktadır. Zeminlerin taşıma gücü, oturma davranışı, sıvılaşma potansiyeli ve şev stabilitesi gibi kritik parametreler, ancak detaylı jeoteknik analizlerle ortaya konabilmektedir (Das & Sobhan, 2018). Özellikle kentsel alanlarda artan yapılaşma ve nüfus baskısı, mühendislik yapılarının karmaşıklığını artırmakta ve buna bağlı olarak zemin-yapı etkileşimlerinin daha hassas şekilde değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Uygun olmayan zemin koşullarında inşa edilen yapıların, zamanla ciddi oturma, çatlama, stabilite kaybı ve hatta göçme gibi risklere açık hale geldiği çok sayıda örnekle sabittir (Budhu, 2010). Bu nedenle, jeoteknik etütler yalnızca bir ön araştırma değil; tüm mühendislik sürecinin temelidir.

Jeoteknik çalışmalar, yapıların temellerinin güvenli ve ekonomik olarak tasarlanabilmesini sağlamaktadır. Doğru sınıflandırılmamış zeminlerde yapılan yapılar, kullanım ömrü boyunca performans düşüklüğü gösterebilmekte, hatta doğal afetlerde yıkıcı sonuçlara neden olabilmektedir. Zeminlerin su içeriği, plastik özellikleri, boşluk oranı ve mukavemet parametreleri gibi özelliklerinin belirlenmesi, yapı temel tipinin doğru seçilmesinde belirleyici rol oynamaktadır (Holtz vd., 2011). Özellikle deprem bölgelerinde yer alan alanlar için yapılan jeoteknik çalışmalar, yerel zemin davranışının belirlenmesine katkı sağlamakta ve deprem yönetmeliklerine uygun yapı tasarımı yapılmasını mümkün kılmaktadır. Türkiye gibi sismik aktivitesi yüksek bir coğrafyada, yerel zemin sınıfı, karakteristik periyotlar ve sismik büyütme değerleri, yapıların performansını doğrudan etkilemektedir (Özçep ve Gönenç, 2013).

Jeoteknik mühendisliği, barajlar, yollar, köprüler, yüksek yapılar, kazık temeller ve yeraltı yapıları gibi birçok mühendislik projesinin vazgeçilmez bir bileşenidir. Örneğin, tünel projelerinde zeminlerin sıkışabilirliği ve geçirgenliği gibi parametreler kazı yöntemlerini doğrudan belirlerken, baraj inşaatlarında zemin sızıntı riski ve erozyon potansiyeli gibi faktörler projeyi doğrudan etkilemektedir (Lambe & Whitman, 1969).

Ayrıca son yıllarda iklim değişikliğinin etkisiyle zeminlerin davranışlarında da önemli değişiklikler gözlemlenmekte; ani yağışlar, kuraklık ve yeraltı suyu seviye değişimleri, şev stabilitesi ve oturma gibi jeoteknik problemlerin daha sık gözlenmesine neden olmaktadır. Bu bağlamda, modern mühendislik uygulamalarında jeoteknik analizlerin yalnızca başlangıçta değil, yapı ömrü boyunca da periyodik olarak yapılması önerilmektedir (Craig, 2004).

Türkiye'nin aktif fay hatlarıyla çevrili olması, yapılaşma açısından ciddi jeoteknik zorluklar doğurmaktadır. Özellikle Bitlis–Zagros bindirme zonu, jeolojik çeşitlilik ve sismik aktivite açısından dikkat çeken bir bölgedir. Bu bölgede yürütülecek mühendislik projelerinde, sadece standart zemin etütleri değil, aynı zamanda dinamik analizler, mikrotremor ölçümleri, MASW, sismik kırılma ve yerel zemin davranışı gibi ileri düzey jeoteknik çalışmaların yapılması kaçınılmazdır (Aydan, 2012). Aksi takdirde, mühendislik yapıları hem ekonomik zararlar hem de can kaybı açısından yüksek risk altına girmektedir. Bu yüzden Türkiye'de jeoteknik mühendisliği yalnızca mühendislik disiplini değil, aynı zamanda afet risk azaltma stratejilerinin temel bileşeni olarak da ele alınmalıdır (Bozkurt, 2001).

### **1.1. Tez Çalışmasının Amacı**

Bu tez çalışmasının temel amacı, Bitlis Merkez İlçesi'nin jeolojik ve jeoteknik özelliklerini bilimsel yöntemlerle inceleyerek, bölgedeki mevcut ve olası yerleşim alanlarının zemin uygunluğunu ortaya koymaktır. Türkiye'nin önemli tektonik kuşaklarından biri olan Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı'na yakın konumda bulunan Bitlis ili, yüksek deprem riski taşıyan bir bölgede yer almakta ve bu durum yer seçimi, yapı tasarımı ve kent planlamasında jeoteknik verilerin önemini artırmaktadır (Şaroğlu vd., 1992; Bozkurt, 2001). Çalışma kapsamında yapılan sondaj, sismik kırılma ve mikrotremor gibi yerinde ölçümler ile laboratuvar analizleri, zeminin taşıma gücü, yer altı su seviyesi, sıvılaşma potansiyeli ve tabakalaşma özelliklerinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu veriler doğrultusunda, Bitlis Merkez İlçesi'nin zemin yapısı detaylandırılarak, yapılaşma açısından riskli ve güvenli alanlar tanımlanmıştır.

Çalışmanın önemi, bölgenin aktif fay hatlarına yakın konumlanması nedeniyle, jeolojik birimlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesinin yapı güvenliği açısından zorunluluk teşkil etmesinden kaynaklanmaktadır. Literatürde, yapıların depreme dayanıklılığı ile zemin özellikleri arasında doğrudan bir ilişki olduğu çeşitli araştırmalarla

ortaya konmuştur (Kramer, 1996; Bray & Sancio, 2006). Özellikle taşıma kapasitesi düşük, yüksek plastisiteli ve yeraltı suyuna doymuş zeminler, deprem sırasında ciddi yapısal hasarlara neden olabilmektedir. Bu bağlamda, çalışmanın sunduğu veriler, hem mevcut yapıların performansının değerlendirilmesinde hem de yeni yapıların güvenli alanlara inşa edilmesinde temel veri kaynağı olarak işlev görecektir. Bölgenin jeomorfolojik yapısı, topoğrafik eğimleri, litolojik bileşimi ve hidrojeolojik koşulları dikkate alındığında, yapılaşma kararlarının jeoteknik analizlerle desteklenmesi zorunlu hale gelmektedir (Işık, 2010; Ekinci vd., 2020). Bu tez çalışması, yalnızca zemin özelliklerinin belirlenmesine odaklanmakla kalmayıp, aynı zamanda zemin-yapı etkileşimini etkileyen yerel jeolojik koşulların da tanımlanmasını hedeflemektedir. Böylece kentleşme ve kentsel dönüşüm projelerinde kullanılabilecek bölgesel mühendislik parametreleri ortaya konmuş olacaktır.

Bitlis gibi çok katmanlı jeolojik geçmişe sahip bölgelerde, zemin davranışının mühendislik açısından modellenebilmesi, yerleşim alanlarının sürdürülebilirliği açısından kritik önemdedir (Bozkurt, 2001; Göncüoğlu & Turhan, 1983). Bu çalışma, Bitlis Merkez İlçesi özelinde, saha verileri ve laboratuvar analizleri ile desteklenmiş yerel ölçekte bir jeoteknik değerlendirme sunarak, bilimsel literatüre katkı sağlayacak ve benzer morfolojik özellikler taşıyan diğer bölgelerdeki araştırmalara da örnek teşkil edecektir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Boray (1973) çalışmasında, Bitlis bölgesinin yapısal özellikleri ve metamorfizması üzerine odaklanmıştır. Bu çalışmada Boray, Bitlis bölgesinin jeolojik yapısal özelliklerini, kayaçların oluşumunu etkileyen süreçleri ve bölgedeki metamorfik evrimi incelemiştir. Çalışma kapsamında, Bitlis'in güneydoğu Türkiye'deki jeolojik evrimi detaylı bir şekilde değerlendirilmiş ve bölgedeki kayaçların oluşum süreçleri üzerine tezler ileri sürülmüştür. Yapısal jeoloji ve metamorfizma konularında yapılan bu çalışmalar, bölgenin tektonik evrimini anlamak ve böylece doğal kaynakların oluşumunu ve dağılımını anlamak için önemli bir bilimsel temel sağlamıştır. Boray'ın bu çalışması, Bitlis bölgesinin jeolojik yapısının anlaşılmasına ve bölgedeki jeolojik süreçlerin çözümlenmesine önemli katkılar yapmıştır. Bu çalışma, bölgenin maden potansiyeli, doğal kaynak yönetimi ve jeolojik risklerin değerlendirilmesi gibi alanlarda da temel bir referans noktası oluşturmuştur.

Boray (1975) çalışmasında, Güneydoğu Türkiye'de Toros Dağları'nda yaklaşık 84 km<sup>2</sup> genişliğindeki bir alanın yapısal ve metamorfik özelliklerini incelemiştir. Çalışma, Bitlis kenti civarındaki bu alanın 1/10.000 ölçekli jeolojik haritasının hazırlanmasını içermektedir. Araştırmada, fosil içermeyen metamorfik kayaç birimlerinin stratigrafik ilişkilerinin son derece karmaşık olduğu ve henüz tam olarak açıklanamadığı belirtilmiştir.

Aydoğan (1975), metamorfik kayaçların yapısal ve petrografik özelliklerine dayanarak iki farklı birlik ayırt etmiştir. Bu birliklerde, üç deformasyon aşaması ile birlikte progresif (ilerleyici) ve retrogresif (gerileyici) metamorfizma aşamaları belirlenmiştir. İlk deformasyon aşamasında, bölgesel yapraklanma meydana gelmiş ve bu yapraklanma tabakalanmaya hemen hemen paralel bir şekilde oluşmuştur. İkinci aşamada ise hem yapraklanma hem de tabakalanma kıvrılmış, yersel olarak yeni bir yapraklanma gelişmiştir. Üçüncü deformasyon aşamasının sonunda ise açık kıvrımlar ve başlangıç durumunda kalmış yersel bir yapraklanma meydana gelmiştir. Araştırma sahası, yeşilist fasiyesinin biyotit ve granat zonlarında yer almakta olup, bu metamorfizmanın yaşı hala tartışmalıdır. Alpin dönemine ait bindirmeler ve bindirme zonlarındaki dinamik metamorfizma oldukça belirgindir. Çalışmada, Bitlis masifindeki metamorfik olayların yaşı, Bitlis ve çevresindeki diğer sahalardan elde edilen veriler ışığında tartışılmıştır. Bu



araştırma, bölgedeki metamorfik süreçlerin ve yapısal gelişimlerin detaylı bir analizini sunarak, Toros Dağları'nın jeolojik evrimine önemli bir katkı sağlamaktadır.

Boray (1976) çalışmasında, Bitlis Metamorfitleri, yani Bitlis Masifi üzerinde detaylı incelemeler gerçekleştirmiştir. Çalışma, masifin jeolojik yapısını ve metamorfik kayaçların özelliklerini analiz etmeyi amaçlamıştır. Ayrıca, Bitlis Masifi'nin bölgesel jeoloji içindeki yerini ve Arap levhasının deforme olmuş Alpin pasif kıta kenarının bir parçası olarak nasıl konumlandığını değerlendirmişlerdir. Bu araştırma, masifin yapısal özelliklerini ve metamorfik süreçlerini ayrıntılı bir şekilde ortaya koyarak, bölgenin jeolojik gelişimini anlamaya önemli katkılarda bulunmuştur.

Yılmaz (1978) çalışmasında, Gevaş (Van) bölgesinde yer alan Bitlis masifi ile ofiyolitik kayaçlar arasındaki ilişkileri incelemiştir. Çalışma, Bitlis masifinin jeolojik yapısı ve bölgedeki ofiyolitik birimlerle olan etkileşimlerini anlamayı amaçlamıştır. Çalışmada, Bitlis masifinin temel yapısal özellikleri, ofiyolitik kayaçların stratigrafik konumu ve bu iki jeolojik birim arasındaki temas ilişkileri detaylı olarak ele alınmıştır. Elde edilen bulgular, Bitlis masifi ve ofiyolitik birimler arasındaki tektonik ve stratigrafik ilişkilerin aydınlatılmasına katkı sağlamıştır.

Şaroğlu ve Güner (1981) çalışmasında, bölgedeki farklı kayaç türleri, Bitlis'in zemin özelliklerini belirleyici bir rol oynamaktadır. Yüksek basınç ve sıcaklık altında oluşmuş metamorfik kayaçlar, dayanıklılığı yüksek zemin yapılarının oluşmasına katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, bölgedeki fay hatlarının varlığı, yeraltı katmanlarının düzenini etkileyerek farklı kayaçların bir arada bulunmasına yol açmıştır. Bu durum, Bitlis'in jeoteknik özelliklerinde heterojen bir yapı oluşmasına neden olmaktadır.

Göncüoğlu ve Turhan (1983) çalışmasında, TPAO-MTA ortak projesi çerçevesinde, Muş-Sason-Tatvan-Baykan arasında seçilen pilot bölgede Bitlis Metamorfitleri üzerine detaylı incelemeler yapmıştır. Araştırma, hem kaya dizilimleri hem de yaşları konusunda yeni bulgular sağlamıştır. Çalışma, Yılmaz (1978) tarafından yapılan ayrıntılı analizleri içermektedir. Bu çalışmalar, metamorfitlerin iki ana birimden oluştuğunu öne sürmüş, ancak kaya dizilimleri konusunda ayrıntılar farklılık göstermiştir. Araştırma, mevcut ikili ayrımı genel olarak kabul etmiş ve temel jeolojik yapıyı oluşturan kayaç dilimlerini geniş bir alanda incelemiştir. Çalışmanın sonucunda, kılavuz seviyeler yardımıyla bölgeye uygulanabilir genelleştirilmiş bir kaya dizilimi geliştirilmiştir. Bu dizilim, hem mevcut verilerin doğruluğunu artırmayı hem de bölgenin jeolojik yapısının daha iyi anlaşılmasını sağlamayı amaçlamıştır.

Erdoğan ve Dora (1983) çalışmasında, Bitlis Masifi'ndeki metamorfik kayaları inceleyerek, bu masifteki apatitli demir yataklarının jeolojik ve petrografik özelliklerini değerlendirmiştir. Çalışma, Bitlis Masifi'ni iki ana kaya grubuna ayırmıştır: Alt topluluk ve üst topluluk. Alt topluluk Prekambriyen yaşlı metavolkanitler, gnayslar ve granitlerden oluşurken, üst topluluk Siluriyen'den Kretase'ye kadar değişen yaşlarda mikaşist ve mermerlerden oluşmaktadır. Özellikle Avnik (Bingöl) ve Ünaldı (Bitlis) bölgelerinde bulunan apatitli demir yataklarını incelemişlerdir. Çalışma, bu iki bölgedeki apatitli demir yataklarının volkanosedimenter kökenli olduğunu ortaya koymuş, aynı zamanda masifin daha genç granit intrüzyonları tarafından kesilmesi ve özümlemesi gibi süreçlerin yatakların yapısal karmaşıklığını artırdığını göstermiştir. Granitik özümlemeler, deformasyon ve metamorfizma süreçlerinin, bu bölgelerdeki demir yataklarının karmaşık jeolojik yapısını oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

Şengün (1984) doktora tezi çalışmasında, Bitlis Masifi'nin Tatvan güney bölgesinin jeolojik ve petrografik özellikleri detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, bölgenin jeolojik yapısı incelenmiş ve yerel jeolojik birimlerin litolojisi, yapısal özellikleri, stratigrafik ilişkileri ve metamorfik evrimi üzerine detaylı analizler yapılmıştır. Petrografik incelemeler ise, bölgede bulunan kayaların mineralojik bileşimini, doku ve yapısal özelliklerini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Şengün'ün tezi, Bitlis Masifi'nin bu spesifik bölgesinin jeolojik ve petrografik özelliklerinin anlaşılmasına ve bölgenin jeolojik evriminin detaylı bir şekilde ortaya konmasına katkı sağlamıştır. Bu çalışma, bölgedeki doğal kaynakların değerlendirilmesi, jeolojik risklerin anlaşılması ve yerel ekonomik gelişime katkıda bulunması açısından önemli bir bilimsel referans oluşturmıştır.

Şengün (1993) çalışmasında, Bitlis masifinin çekirdek ve örtü kayaları arasındaki ilişkileri ve metamorfik süreçleri incelemiştir. Çalışma, Bitlis masifinin temel yapısını oluşturan çekirdek kayalarının (Yolcular formasyonu) amfibolit, gnays ve şist türü kayalar ile bu kayaları kesen granitlerden oluştuğunu ortaya koymuştur. Örtü kayaları ise metapelitler ve üst Devoniyen-Mesozoyik yaşlı metakarbonatlardan oluşmaktadır. Şengün, örtü ve çekirdek arasındaki ilişkiyi transgressif bir aşma düzlemi olarak yorumlamış ve bu iki birimin Alpin deformasyonları sırasında birlikte kıvrımlandığını belirlemişlerdir. Ayrıca, örtü ve çekirdek arasındaki metamorfizma atlamasının, Prekambriyen ve Alpin evrelere ait farklı parajenezlerden kaynaklandığı ifade edilmiştir. Çalışma, Bitlis masifinin Arap levhasının deforme olmuş Alpin pasif kıta kenarı olduğunu gösteren jeolojik verilerle bu yorumları desteklemektedir.

Yılmaz vd. (1998) çalışmasında, Doğu Anadolu'nun Bitlis Kenet Kuşağı boyunca Arap Platformu ile Avrasya levhası (Laurasia) arasındaki tektonik yakınsamanın bölge jeolojisine etkilerini ve Kuvaterner Dönemi'ne ait volkanik merkezlerin morfolojik ve petrografik özelliklerini incelemiştir. Bu çarpışma sonrası kıtasal kabuk kalınlaşmış, yükselmiş ve böylece Türk-İran yüksek platosu oluşmuştur. Söz konusu yüksek platoda volkanik faaliyetler Neojen döneminde başlamış, Geç Miyosen-Pliyosen sürecinde yoğunluk kazanmış ve Kuvaterner Dönemi boyunca devam etmiştir. Çalışma, bu volkanik merkezlerin bazalttan riyolite kadar geniş bir lav kompozisyonu sunduğunu ortaya koymuştur. Lav türleri açısından; Ararat subalkalin, Süphan hafif subalkalin, Nemrut hafif alkali ve Tendürek kuvvetli alkali karakterde lavlar üretmiştir. İzotop oranları ve element analizleri, bu volkanik sistemlerin heterojen bir manto kaynağından türediğini ve her birinin kendine özgü magmatik evrim geçirdiğini göstermektedir.

Göncüoğlu ve Turhan (1999), Orta Anadolu Masifi içerisinde yer alan bazik ve ultrabazik kayaların tektonik konumunu ve jeolojik gelişimini inceledikleri çalışmalarında, Neotetis Okyanusu'nun kapanma süreciyle ilişkili olarak bu kayaların kıtasal kabuğa bindirme yoluyla yerleştiğini tespit etmişlerdir. Ofiyolitik kayalar, yüksek basınç ve düşük sıcaklık metamorfizmasına uğramış olup, subdüksiyon zonlarına ait kayaç grupları olarak değerlendirilmiştir. Yapılan analizlerde bu birimlerin midocean ridge bazaltı (MORB) benzeri kimyasal karakterler taşıdığı ve yitim zonu tektoniğinin Türkiye'nin iç bölgelerinde güçlü etkiler yarattığı sonucuna ulaşılmıştır. Söz konusu bulgular, Orta Anadolu'daki ofiyolit yerleşimi ile kıtasal tektonik etkileşimlerin daha geniş ölçekli levha hareketleri bağlamında yorumlanmasına olanak sağlamış ve bölgesel tektonostratigrafik modellerin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur.

Okay ve Satır (2000) tarafından Kazdağ Masifi üzerinde yapılan çalışma, masifin yüksek dereceli metamorfik özelliklerini, yaşını ve bölgesel tektonik evrim içindeki yerini ortaya koymayı hedeflemiştir. Çalışma, Batı Anadolu'daki diğer metamorfik masiflerle karşılaştırmalı olarak ele alınarak, Türkiye'nin tektonik mirasının tarihsel sürekliliğini bilimsel açıdan desteklemiş ve Kazdağ Masifi'nin kökenine dair güçlü bir jeodinamik açıklama sunmaktadır.

Bozkurt (2001), Batı Anadolu'daki Menderes Masifi üzerinde gerçekleştirdiği çalışmada, bölgedeki genişleme tektoniği ile ilişkili olarak büyük ölçekli normal faylanmaların metamorfik birimler üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Geç Kretase'den itibaren devam eden bu tektonik süreçlerin, kıtasal çarpışma sonrası kabuğun detachment fayları boyunca genişlemesine yol açtığı ve bu sayede düşük açılı fay zonları boyunca

gnays, fillat ve mermerlerin yüzeylendiği ortaya konmuştur. Yapısal veriler, genişleme rejiminin bölgesel ölçekte homojen olmadığını ve farklı segmentlerde farklı deformasyon yönelimlerinin geliştiğini göstermektedir. Çalışma, Batı Anadolu'daki iç tektonik gelişimi anlamada temel bir kaynak olmanın yanı sıra metamorfik çekirdek komplekslerinin Türkiye'deki karşılıklarının yorumlanmasına da katkı sağlamıştır.

Pektaş (2009) çalışmasında, Bitlis'in jeoteknik özellikleri, bölgenin tektonik yapısı ile doğrudan ilişkilidir ve bu yapı, zemin özelliklerinden yapılaşma koşullarına kadar geniş bir çerçevede önem arz etmektedir. Bölgedeki zedre huseyimin yapısı, tektonik süreçler sonucu oluşmuş çeşitli kayaç türlerinden meydana gelmektedir. Bu kayaçlar, yer altı jeolojisi ve tektonik aktiviteye bağlı olarak farklı dayanıklılık özellikleri sergiler. Bitlis'in zemin yapısının detaylı incelenmesi, özellikle inşaat mühendisliği ve afet yönetimi açısından önemli veriler sunar.

Koçak ve Ceran (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Güneydoğu Türkiye'de yer alan Bitlis Masifi'nin Mutki bölgesindeki Prekambriyen yaşlı metamafik kayaçların jeokimyasal ve petrolojik özellikleri incelenmiştir. Araştırmada amfibolit, granat içeren amfibolit ve amfibol şistlerinden oluşan kayaçlar analiz edilmiştir. Jeokimyasal veriler, kalsalkalin karakterli bazalttan andezite kadar uzanan protolitlerin varlığını ortaya koymuş; örnekler düşük ve yüksek zirkonyum içeriklerine göre gruplandırılmıştır. Çalışma sonucunda, bu kayaçların Gondwana kenarındaki bir yitim zonunda gelişen magmatizmanın ürünü olduğu ve 540–610 °C sıcaklık ile yaklaşık 5 kb basınç altında amfibolit fasiyesi koşullarında metamorfizmaya uğradığı belirlenmiş; bu da Türkiye'nin güneydoğusundaki tektonik-metamorfik evrimin aydınlatılmasına önemli katkı sunmuştur.

Pektaş vd. (2009) çalışmalarında, Bitlis Kalesi ve çevresinde kapsamlı bir arkeolojik ve jeolojik inceleme gerçekleştirmiştir. Çalışmalar, 1997 yılında başlayan yüzey araştırmalarıyla başlamış ve 2004 yılından itibaren kazı faaliyetleriyle devam etmiştir. 2006 yılından itibaren ise TÜBİTAK tarafından üç yıl süreyle desteklenmiştir. Çalışmanın önemli bir bölümü, Bitlis Kalesi'nde yapılan kazılarla kalenin mimari yapısını ortaya çıkarmaya yönelik bulguların elde edilmesidir. Bu kazılar sırasında bulunan küçük buluntular seramik, sikke, lüle, takı gibi sanatsal nitelikleri kadar, kalede yaşamış olan sosyal hayatın farklı yönlerine ışık tutması açısından da önemlidir. Bu buluntular üzerinde temizlik, bakım ve onarım çalışmaları yapılmıştır.

Koçak ve Ceran (2009) çalışmasında, Güneydoğu Türkiye'deki Bitlis Masifi'nin Mutki bölgesinde yer alan Prekambriyen yaşlı metamafik kayaçların jeokimyasal ve

petrolojik özelliklerini incelemişlerdir. Bu kayaçlar, Pan-Afrikan temele ait amfibolit, granat içeren amfibolit ve amfibol içeren şistler olarak tanımlanmıştır. Jeokimyasal analizler, kalsalkalin bazalttan andezite kadar uzanan farklı magmatik protolitlerin varlığını ortaya koymuştur ve örnekler, düşük ve yüksek zirkonyum içeriğine göre iki gruba ayrılmıştır. Çalışma, kayaçların çoğunlukla plajiyoklaz, apatit, titanyum manyetit ve diğer minerallerin fraksiyonel kristalleşmesiyle oluştuğunu ve bu sürecin Gondwana kıtasının aktif kenarındaki subdüksiyon ile ilişkili magmatizma sonucu gerçekleştiğini öne sürmüştür. Çalışmada, bu örneklerin yaklaşık 540–610 °C sıcaklık ve 5 kilobar (kb) civarındaki basınç koşulları altında, amfibolit fasiyesi metamorfizma süreçlerine maruz kaldığı ve bu koşulların Prekambriyen dönemdeki bölgesel metamorfik etkinliklerle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Şahinalp (2009) çalışmasında Tatvan yerleşkesinin jeolojik ve jeoteknik açıdan yerleşime uygunluk durumunu araştırmıştır. Çalışma kapsamında yapılan zemin sondajları, laboratuvar analizleri, arazi çalışmaları ve büro çalışmalarıyla Tatvan'ın jeolojik yapısı ve zemin özellikleri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Tatvan yerleşkesinde yüzeylenen kayaç birimleri olarak Bitlis Masifi, Nemrut Dağı volkanitleri ve alüvyon birimlerinin bulunduğu belirtilmiştir. Zemin sondajlarından alınan örnekler üzerinde yapılan tane boyu analizleri, yerleşim alanının büyük bir kısmının siltli kum (%70 SM) sınıfında olduğunu göstermiştir. Analiz sonuçlarına göre, Van Gölü kıyısında yer alan siltli kum biriminde taşıma problemi ve sıvılaşma potansiyeli bulunduğu tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde, 1655 m kotunun altında kalan alanlarda yapılaşmadan kaçınılması tavsiye edilmiştir.

Koralay vd. (2011) çalışmasında, Bitlis Kalesi ve çevresinde gerçekleştirilen kazı ve yüzey araştırmalarında, özellikle kaledeki jeolojik yapı ve surların fiziksel durumu üzerine odaklanmıştır. Çalışmaları, kale surlarının oturduğu doğal kaya tabakalarında meydana gelen bozulmaları incelemeyi ve bu bozulmaların nedenlerini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu bağlamda, jeolojik araştırmalar yaparak surların yapısal bütünlüğünü korumak için çeşitli çözüm önerileri geliştirmiştir.

Çolakoglu vd. (2011) çalışmasında, Güneydoğu Türkiye'deki Bitlis Masifi'nde, Van Gölü'nün güneyinde yer alan Hasbey Pb-Zn-F mineralizasyonunu incelemiş ve bu mineralizasyonun Alpin orojenik kuşağının Neotetis sütüründe oluştuğunu belirtmişlerdir. Mineralizasyon iki ana tip olarak sınıflandırılmıştır: Tip-I, dolomit kırık ve faylarında damarlar şeklinde bulunurken, Tip-II, siyah mermerler ve kalsşistlerde bir fay zonunu işgal etmektedir. Her iki tipte de başlıca cevher mineralleri sfalerit ve gümüş

içeren galenittir. Sıvı kapanım analizleri, yüksek sıcaklıktaki ( $>500^{\circ}\text{C}$ ) mineralizasyonun düşük tuzlulukla başlayıp, sıcaklık azaldıkça tuzluluğun arttığını ve  $\text{CO}_2$ 'nin sıvıya dahil olduğunu göstermiştir. Mineralizasyon 5-2 kb basınç koşullarında oluşmuştur ve kükürt izotop analizi, mineralizasyonun magmatik kökenli olduğunu desteklemektedir. Florit ve sıvı kapanım analizleri de yüksek sıcaklık ve tuzlulukta magmatik bir kökenle tutarlıdır. Eosen sonrası-Oligosen döneminde gelişen itme faylarının üzerindeki oluşumlar, cevherleşmenin zamanlamasını erken Oligosen sonrası olarak sınırlandırmaktadır.

Koralay vd. (2011) çalışmasında, Bitlis'teki farklı kayaç türlerinin varlığı, bölgedeki yapıların dayanıklılığı açısından dikkate alınması gereken temel faktörler arasında yer alır. Metamorfik kayaçların dayanıklılığı yüksek olsa da, sedimenter kayaçlar depremlere karşı daha savunmasızdır. Özellikle yapı temellerinin kayaç türüne uygun olarak inşa edilmesi, depremler sırasında meydana gelebilecek yapısal hasarları minimize etmenin önemli bir yoludur. Bölgedeki jeoteknik özelliklerin doğru analiz edilmesi, yapıların dayanıklılığı açısından önemli veriler sunmaktadır.

Işık vd. (2012) çalışmasında, Bitlis'in jeoteknik özelliklerinin bir diğer önemli yönü, bölgede gözlenen zemin sıvılaşması riskidir. Tektonik hareketler sonucu oluşan yoğun basınç, yer altı su seviyesini etkileyerek, özellikle yumuşak zeminlerde sıvılaşma riskini artırmaktadır. Zemin sıvılaşması, deprem anında yapısal stabiliteyi doğrudan etkileyen bir faktördür ve Bitlis gibi sismik açıdan aktif bölgelerde detaylı incelenmesi gereklidir. Bu durum, yapıların temel sistemlerinin dayanıklılığını etkileyerek olası yıkımlara karşı savunmasız hale getirebilir.

Coşkun (2012) çalışmasında, Polatlı'nın jeolojik yapısı incelenerek, bölgenin litolojik bileşimi, yapısal özellikleri ve stratigrafik özellikleri belirlenmiştir. Jeoteknik açıdan ise, yerleşim alanlarının zemin mekaniği özellikleri, taşıma kapasitesi, kaya dayanımı gibi parametreler değerlendirilmiştir. Bu analizler, bölgede yapılacak inşaat projelerinin planlanması ve altyapı çalışmalarının sürdürülebilirliği açısından önem arz etmektedir. Coşkun'un tezi, Polatlı ilçesinin jeolojik ve jeoteknik özelliklerinin doğru bir şekilde anlaşılmasını ve bu bilgilerin yerel yönetimler, mühendislik uygulamaları ve çevresel planlama süreçlerinde kullanılmasını hedeflemiştir. Bu şekilde, bölgedeki yapılaşmanın çevresel etkilerinin minimize edilmesi ve sürdürülebilir kalkınma ilkelerinin gözetilmesi amaçlanmıştır.

Elmastaş ve Özcanlı (2014) çalışmasında, Bitlis'in zemin özelliklerini belirleyen bir diğer etken ise bölgenin sıkışma tektoniğine maruz kalmasıdır. Sıkışma tektoniği, yer altı katmanlarının yoğun basınç altında deformasyona uğramasına ve bunun sonucunda

zemin yapısının katmanlaşmasına yol açmaktadır. Bitlis'te, özellikle Prekambriyen dönemden kalma metamorfik kayaçların varlığı, zemin yapısının dirençli bir özellik kazanmasını sağlasa da, farklı katmanlar arasında uyumsuzluklar oluşabilmektedir.

Sunbul ve Sunbul (2018) çalışmasında, bölgedeki jeoteknik yapı, aynı zamanda fay hatlarının varlığı ile de şekillenmiştir. Doğu Anadolu Fay Hattı boyunca uzanan Bitlis, yüksek sismik aktiviteye sahip olması nedeniyle zemin-yapı etkileşiminin kritik olduğu bir bölgedir. Bu fay hatları, bölgedeki kayaç türlerinin mekanik özelliklerini etkileyerek, zemin katmanlarında kırılmalara ve farklı yoğunluklarda deformasyonlara neden olmaktadır. Fay hatları boyunca gözlemlenen zemin hareketleri, yapıların dayanıklılığı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir.

Namlı (2018) tez çalışmasında, Hizan ilçe merkezi (Bitlis) ve çevresinin jeolojik ve jeoteknik açıdan yerleşime uygunluk durumunu incelemiştir. Bu kapsamda, zemin sondajları, laboratuvar çalışmaları, arazi ve büro çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında, farklı yaşlara ait jeolojik birimler gözlenmiş; Prekambriyen yaşlı Yolcular Grubu, Orta Devoniyen yaşlı Gökçimen Formasyonu, Permien-Mesozoyik yaşlı Çadırdağ Grubu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar gibi birimlerin varlığı tespit edilmiştir. Araştırma sırasında, 20 adet jeoteknik sondaj kuyusu açılmış, 8 noktada sismik kırılma ölçümleri yapılmış, 10 adet Çok Kanallı Yüzey Dalgası (MASW) ölçümü gerçekleştirilmiş, 10 profilde elektrik özdirenç (DES) ölçümü yapılmış ve 15 noktada mikrotremor ölçümleri alınmıştır. Ayrıca, 5 noktada gözlem istasyonları oluşturulmuştur. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen zemin parametreleri ve bölgenin morfolojik yapısı değerlendirilmiş, özellikle deprem, heyelan, su baskını ve çığ gibi afet riskleri dikkate alınarak bölgenin yerleşime uygunluk durumu belirlenmiştir. Ayrıca, bölgenin jeoteknik özelliklerini detaylı bir şekilde ortaya koyarak, yerleşim alanlarının güvenliğini sağlamak amacıyla önemli veriler sunmuştur. Bu tez çalışması, Hizan ilçe merkezinin jeoteknik açıdan değerlendirilmesi ve risk faktörlerinin belirlenmesi açısından literatüre değerli bir katkı yapmıştır.

Yılmaz (2019) çalışmasında, Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı'nın jeolojik yapısını ve evrimini inceleyerek, bu bölgenin Arap Platformu, imbrikasyon zonu ve nap zonundan oluştuğunu belirtmiştir. Arap Platformu denizel ardışıklıklarla, imbrikasyon zonu ise platform ve naplar arasında sıkışmış dar bir alan olarak tanımlanmıştır. Naplar, okyanus ortamlarını temsil eden ofiyolitik birliklerle ayrılmış iki kıtasal parçadan oluşmakta ve orojenik süreçlerde önemli rol oynamaktadır. Yılmaz'a göre, bu okyanus ortamı Orta Eosen'in sonuna kadar devam etmiş, kuzeye doğru bir dalma sonucu

Elbistan-Yüksekova yayını oluşturmıştır. Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı'nın gelişimi, kuzeyde Binboğa-Malatya masifinin Erken Eosen döneminde Elbistan volkanik yayıyla çarpışmasıyla başlamıştır. Güneye doğru büyüyen nap yığımına yeni tektonik birimler eklenmiştir. Güneydeki kıtasal şerit, yüksek basınçlı metamorfizma ve ardından yüksek sıcaklık metamorfizması geçirerek batmıştır. Bu süreçler Bitlis Masifi ve Berit metaofiyolitinin oluşumuna katkıda bulunmuştur. Son olarak, Geç Eosen'de güneyde oluşan volkanik yay ve Geç Miyosen'de napların Arap levhasıyla çarpışması, orojenik kuşağın oluşumunu tamamlamıştır.

Ekinci vd. (2020) çalışmalarında, Doğu Türkiye'deki Nemrut Dağı stratovolkanının jeofizik özelliklerini aeromanyetik anomali analizleri ile incelemişlerdir. Kuaterner döneme ait Nemrut stratovolkanının jeolojisi ve morfolojisi detaylandırılmasına rağmen, bu alanda ayrıntılı bir jeofizik araştırma eksikliğini gidermeyi amaçlamışlardır. Çalışmada toplam alan aeromanyetik anomali verileri kullanılarak stratovolkan ve çevresi karakterize edilmiştir. Manyetik imzaların kaynaklarını analiz etmek için potansiyel alan veri işleme tekniklerinden faydalanılmıştır. Bu süreçte elde edilen görüntü haritaları, çalışma alanının yüzeye yakın jeolojik özellikleri ile aeromanyetik anomaliler arasında uyum olduğunu göstermiştir. Yüksek genlikli manyetik anomaliler özellikle Nemrut kalderası kenarının kuzeyinde son volkanik aktiviteye işaret eden komenditik-bazaltik akışlarla ilişkilendirilmiştir. Ters çevirme analizleri, yer yüzeyinden yaklaşık 3 km derinlikte yerleşmiş kaynakların varlığını ortaya koymuştur. Bu jeofizik çalışma, Nemrut stratovolkanının manyetize yapılarına dair yeni içgörüler sunarak önemli bir katkı sağlamıştır.

Çiftçi ve Güngör (2021) çalışmasında, Bitlis-Türkiye'deki Nemrut-Süphan bölgesinde önerilen jeopark alanını inceleyerek, doğal ve kültürel mirasın korunması ve entegrasyonu için kapsamlı bir jeokoruma önerisi sunmuşlardır. Doğu Anadolu'da Bitlis ile Tatvan, Ahlat ve Adilcevaz arasında yer alan bu 5.300 km<sup>2</sup>'lik alan, Nemrut ve Süphan stratovolkanlarını kapsamakta ve Van Gölü gibi önemli doğal unsurlara ev sahipliği yapmaktadır. Jeopark alanında, metamorfik kayalar ve Neo-Tetis okyanus kalıntılarını temsil eden ofiyolitik kayalar gibi jeolojik değerler öne çıkmaktadır. Çalışmada, 44 jeosit belirlenmiş ve bunlar beş ana jeo-rotaya göre sınıflandırılmıştır. Jeositlerin korunması için öneriler geliştirilmiş ve bölgenin UNESCO'nun uluslararası jeopark ilanı kriterlerine uygun hale geldiği ifade edilmiştir.

Matpay ve Doğu (2021) çalışmasında, Hizan ilçesinin güneybatısında bulunan Pürtük Deresi Havzası'nın jeomorfik ve hidrografik özelliklerini incelemiştir. Çalışmanın



temel amacı, havza gelişimini denetleyen faktörleri ortaya koymaktır. Bu kapsamda, bölgenin topografik, jeolojik ve hidrografik özellikleri, 1/25.000 ölçekli haritalar üzerinden elde edilen verilerle incelenmiş ve bu veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) yazılımı ArcGIS Desktop, ArcMap programı kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırmacı, havzanın hipsometrik eğrisini incelemiş ve vadilerin şekil özelliklerini belirlemek için Vadi taban genişliği–Vadi yüksekliği oranı (Vf) gibi jeomorfik indisler kullanmıştır. Bu analizler sonucunda, havzanın iç bükey bir hipsometrik eğriye sahip olduğu, V- biçimli vadilerin bulunduğu ve havzanın henüz olgunluğa ulaşmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, Gayda Göleti'nin distrofik özellikte olduğu ve havzanın dendritik drenaj ağına sahip olduğu tespit edilmiştir. Araştırmanın bulgularına göre, havza Vf indis sınıflamasına göre değerlendirilmiş ve havzanın yüksek ve orta seviyede tektonizma gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, havzada eğimi yüksek yamaçların çok fazla olmadığı, akım toplanma süresinin uzun olduğu ve bu nedenle taşkın riskinin düşük olduğu belirtilmiştir. Kısaca çalışma, Hizan ilçesindeki Pürtük Deresi Havzası'nın jeomorfik yapısını detaylı bir şekilde ortaya koyarak, bölgenin tektonik aktivite ve hidrografik özellikleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Bölgedeki jeomorfik ve hidrografik süreçlerin daha iyi anlaşılmasını sağlamış ve bu konuda literatüre önemli bir katkı yapmıştır.

Demirtaşlı ve Pisoni (2023) çalışmasında, Ahlat-Adilcevaz bölgesindeki en eski kayaların Üst Kretase dönemine ait olduğunu belirlemiştir. Bu kayalar, ophiolitler, konglomeralar, kumtaşları, marnlar, kilaşlı kalkerler, kalkerler, piroklastikler ve resiflerden oluşan Ahlat-Adilcevaz kompleksini meydana getirmektedir. Bu kompleksin üzerinde, muhtemelen Eosen-Oligosen yaşlı olan karasal Ahlat konglomerası uyumsuz olarak yer almaktadır. Alt Miyosen sedimanları ise, ağırlıklı olarak Burdigaliyen yaşlı olan transgresif Adilcevaz kalkerleri ile temsil edilmektedir. Adilcevaz kalkerleri, uyumsuz olarak Aktaş konglomerası ve kumlu, marnlı ve kilaşlı sedimanlardan oluşan Develik formasyonu tarafından örtülmüştür. Develik formasyonu, uyumlu olarak Çukurtarla kalkerleri tarafından örtülmektedir ve bu formasyonlar Orta Miyosen'den Alt Pliyosen'e kadar uzanan bir yaş aralığına sahiptir. Kuvaterner birimleri ise traverten, teras çökelleri ve yeni alüvyonlarla temsil edilmektedir. Bölgenin geniş kısımları, geç Senozoyik dönemine ait çeşitli lavlar ve piroklastik kayalarla kaplıdır. Bölgenin yapısı, NE-SW doğrultusunda uzanan Ahlat-Adilcevaz yükselimi ile karakterize edilmektedir. Üst Kretase döneminde, bölge jeosenkinal koşullar altında iken, Eosen-Oligosen dönemlerinde karasal koşulların hakim olduğu belirtilmiştir. Miyosen döneminin başında bölgesel bir deniz transgresyonu gerçekleşmiş ve bu dönem sonunda deniz bölgeden

çekilmiştir. Bu çalışma, bölgenin jeolojik geçmişini ve kayaçların stratigrafik ilişkilerini ortaya koyarak, bölgenin jeolojik yapısını detaylı bir şekilde incelemekte ve bu alanda önemli bir katkı sunmaktadır.

Erdoğan vd. (2023) çalışmalarında, Güneydoğu Anadolu'daki Bitlis Masifi'nde Kiruna tipi manyetit-apatit cevherlerinin jeolojik özelliklerini ve tektonik ortamını incelemiştir. Bitlis Masifi'nin Avnik ve Ünalı bölgelerinde yüzeyleyen bölümünde, Prekambriyen-Erken Kambriyen yaşlı gnayslar, Kiruna tipi manyetit-apatit cevher yatakları ve metagranit gövdeleri içeren mafik metavolkanik kayaçlar bulunmaktadır. Kiruna tipi cevher yatakları, santimetre kalınlığından 20 metreye kadar değişen katmanlar halinde olup metavolkanoklastik kayaçlar ve metaçört yatakları ile uyumludur. Çalışma, manyetit-apatit cevherlerinin sığ deniz ortamında volkanik ekshalatif ve tortul süreçlerle oluştuğunu ortaya koymaktadır. U-Pb zirkon yaşları 578-542 milyon yıl aralığında olup, cevher oluşumunun maksimum yaşını işaret etmektedir. Bitlis Masifi'nde bulunan bazaltik birliktelikler, Gondwana'nın kuzey kenarı boyunca bir yay önü ortamında oluşmuştur. Güney eğimli Prototetis okyanus kabuğu üzerinde gelişen bu ortamda, Gondwana ile çarpışma sonucu yüksek dereceli bölgesel metamorfizma ve sintektonik Avnik ve Yayla metagranitlerinin sokulumu gerçekleşmiştir. Avnik ve Yayla metagranitleri için U-Pb zirkon yaşları 521-506 ve 521-503 milyon yıl olarak belirlenmiş ve bu çarpışmanın Bitlis Masifi'ndeki cevherleşmeyi sonlandırdığı tespit edilmiştir.

Akar vd. (2024) çalışmalarında, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin Adıyaman'ın Gölbaşı ilçesindeki jeoteknik ve yapısal hasarları üzerine bir inceleme yapmıştır. Çalışma, 7.7 ve 7.6 büyüklüğündeki bağımsız deprem çiftlerinin Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde yarattığı büyük yıkımı ele almış ve Gölbaşı'ndaki hasarın özellikle farklı taşıyıcı sistemlere sahip binalarda belirgin olduğunu vurgulamıştır. İlçe merkezinde gözlemlenen hasarların çoğunun zemin-yapı etkileşiminden kaynaklandığı, kırsal bölgelerde mühendislik hizmeti almayan yığma yapıların ise hasar düzeyini artırdığı belirtilmiştir. Betonarme yapılardaki hasarların, yapıların tasarım ve inşaa kalitesindeki yetersizliklerden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu vaka çalışması, deprem dayanıklı yapı tasarımının önemini vurgulayarak, deprem-zemin-yapı etkileşimlerinin göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymuştur. Tarihini anlamada hem de afet yönetimi ve güvenli yapılaşma stratejilerinin geliştirilmesinde temel bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Gelecekte yapılacak jeolojik ve jeoteknik araştırmalar, Bitlis'in tektonik yapısına dair daha derin bilgi sunarak, afet yönetimi ve bölgesel kalkınma planlarında etkili çözümler üretmeye katkı sağlayacaktır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde; zeminlerin jeoteknik özellikleri, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik saha uygulamaları, laboratuvar deneyleri ve büro çalışmaları bütünlük biçimde yürütülmüş; detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

#### 3.1. Ön Hazırlık

Saha uygulamalarına geçmeden önce, Bitlis Merkez İlçesi'ne ilişkin daha önce yayımlanmış jeolojik ve jeoteknik raporlar detaylı bir şekilde incelenmiş ve karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Bu kapsamda, Bitlis Belediyesi İmar Planlama Dairesi Başkanlığı tarafından yayımlanan İmar Planına Esas Jeolojik ve Jeoteknik Etüt Raporları, Toplu Konut Alanı Etüt Belgeleri ve bölgeye ait altyapı projeleri kapsamında hazırlanmış zemin etüt raporları tarafımızca analiz edilmiştir. Bu ön değerlendirme çalışmaları, sahada yapılacak sondaj noktalarının belirlenmesi, ölçüm tekniklerinin seçimi ve örnekleme stratejisinin geliştirilmesi açısından kritik rol oynamıştır. Sahada ölçümlere başlamadan önce saha gözlemleri yapılmış ve ona göre ölçüm yöntemleri ve lokasyonları belirlenmiştir.

#### 3.2. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmalarında, Bitlis Merkez İlçesi'nde yer alan önemli jeolojik birimlerin detaylı haritalaması yapılmış, stratigrafik kesitler çıkarılmış ve jeoteknik özellikleri belirlenmiştir. Özellikle, çalışma alanında bulunan ana kaya birimleri, toprak profilleri ve zemin yapıları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Saha çalışmaları sırasında, yüzeyden alınan örnekler laboratuvar analizleri için uygun koşullarda muhafaza edilmiştir. Aynı zamanda, sahada yapılan gözlemler, bölgenin topoğrafik ve morfolojik yapısını daha iyi anlamak için GPS cihazları ve toplam istasyon kullanılarak haritalandırılmıştır.

Arazi çalışmaları kapsamında; derinliği 6.00-8.00 m olan 13 adet temel sondaj kuyusu, 95 m açılımlı 13 adet sismik kırılma, 13 adet çok kanallı yüzey dalgası (MASW) ve 13 adet mikrotremor ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Arazi çalışmalarına ait iş-zaman çizelgesi Çizelge 3.1'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Arazi çalışmalarına ait iş-zaman çizelgesi

| Arazi çalışması - tanımı | Adet | Derinliği (m) | Serim boyu (m) |
|--------------------------|------|---------------|----------------|
| SK                       | 13   | 6.00-8,00     | -              |
| MT                       | 13   | -             | -              |
| SİS                      | 13   | 30            | 95             |
| MASW                     | 13   | 30            | 72             |

### 3.2.1. Sondaj çalışmaları

Zemin ve temel mühendisliği alanında en yaygın ve güvenilir yerinde inceleme yöntemlerinden biri sondaj çalışmalarıdır. Sondaj çalışmaları, yeraltı zemin ve kayaç birimlerinin fiziksel, mekanik ve stratigrafik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılır. Bu çalışmalar, yapı tasarımı ve güvenliği açısından son derece önemlidir. Sondajlar sayesinde yer altındaki tabakaların kalınlığı, dağılımı, yeraltı suyu seviyesi ve jeoteknik parametreler hakkında doğrudan bilgi elde edilir. Sondajdan elde edilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri ise zeminlerin sınıflandırılması, taşıma gücü ve oturma analizleri gibi mühendislik hesaplamaları için temel verileri sağlar (Craig, 2012; Coduto vd., 2016).

Modern sondaj teknikleri, zemin koşullarına ve mühendislik ihtiyaçlarına göre çeşitlilik göstermektedir. Kamyon üzerine monte edilmiş D-500 tipi hidrolik sondaj makineleri, ulaşım kolaylığı ve sahada mobilite açısından avantaj sağladığı için yaygın olarak tercih edilmektedir. Sondaj sırasında kullanılan 4 inç çapındaki burgu sistemi, yumuşak ve orta sertlikteki zeminlerde hızlı veri toplamak için uygundur. Karotiyer sistemi ile zemin profili boyunca bozulmamış numuneler elde edilebilirken, wireline sistemi derinlik arttıkça daha güvenli ve hızlı karot alımına imkân tanır. Bu tekniklerin birlikte kullanılması, sondaj etkinliğini artırmakta ve zemine dair daha doğru veriler elde edilmesini sağlamaktadır (Das & Sobhan, 2018; Uyanık, 2010).

Sondaj çalışmalarının planlanması ve uygulanması, yürürlükteki ulusal ve uluslararası standartlara uygun şekilde yapılmalıdır. Türkiye’de bu çalışmalar genellikle TS EN ISO 22475-1 standardına göre gerçekleştirilmekte ve yerel jeolojik-jeoteknik özellikler göz önüne alınarak derinlik ve numune alma aralıkları belirlenmektedir. Ayrıca, zemin sınıflandırması ve yeraltı suyu tayinleri gibi işlemler için gerekli olan numunelerin bozulmamış şekilde elde edilmesi, sondaj tekniğinin seçiminde belirleyici bir faktördür.

Sondaj sonuçlarının güvenilirliği, elde edilen verilerin laboratuvar analizlerinde doğrulanması ile artmakta, bu da mühendislik yapılarının uzun ömürlü ve güvenli inşa edilmesine doğrudan katkı sağlamaktadır (Bowles, 1996; Atkinson, 2007).

### 3.2.1.1. Standart penetrasyon deneyi (SPT)

Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), zemin mühendisliği uygulamalarında en yaygın kullanılan arazi deneylerinden biridir. Bu deney, özellikle sondaj çalışmaları esnasında belirli derinliklerde gerçekleştirilerek, zeminin yerinde mukavemetini ve sıklık derecesini belirlemek amacıyla uygulanır. Elde edilen SPT-N değerleri sayesinde zeminin mühendislik davranışları hakkında nitelikli bilgiler elde edilirken, aynı zamanda bozulmuş örnekler alınarak laboratuvar ortamında tanımlama deneylerine de olanak sağlanır. Çizelge 3.2’de SPT-N değeri ile zemin türü arasındaki bağlantı gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2.** SPT-N değeri ile zemin türü arasındaki bağlantı

| N-Değeri (vuruş) | Zemin Sertliği / Yoğunluğu | Açıklama                      |
|------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 0 – 4            | Çok Gevşek / Çok Yumuşak   | Yer altı suyu etkili olabilir |
| 5 – 10           | Gevşek / Yumuşak           | Tarım arazisi tipi zeminler   |
| 11 – 30          | Orta Sıkı / Orta Sert      | İnşaat için uygun olabilir    |
| 31 – 50          | Sıkı / Sert                | Taşıma kapasitesi yüksek      |
| >50              | Çok Sıkı / Çok Sert        | Kaya yakın zemin              |

SPT, birçok farklı zemin türüne uygulanabilmesine rağmen, özellikle iri taneli çakılların bulunmadığı, homojen ve kumlu zeminlerde daha güvenilir ve tekrarlanabilir sonuçlar verir (Kulhawy & Mayne, 1990). Bununla birlikte, deney sırasında elde edilen direnç değerleri, bozulmamış örnek alımına ihtiyaç duyulan derinliklerin belirlenmesine de katkı sunar. Deneysel uygulamada, hedeflenen seviyeye ulaşıldığında kuyu tabanına 6,8 kg ağırlığındaki örnek alma tüpü indirilir ve bu tüp, zemine 45 cm ilerlemesi sağlanacak şekilde çakılır. Çakma işlemi, 63,5 kg ağırlığındaki "şahmerdan" olarak adlandırılan çekiç ile gerçekleştirilir. Şahmerdan, 76 cm yüksekten serbest bırakılarak zemine darbe uygulanır. Halatla kaldırmalı sistemlerde, şahmerdan bir halat vasıtasıyla sondaj kulesi üzerindeki makaradan geçirilerek yukarı çekilir ve serbest bırakılır (Kulhawy & Mayne, 1990).

### 3.2.1.2. Örselenmemiş (UD) örnek alınması

Zeminlerin mühendislik özelliklerinin doğru belirlenebilmesi için en güvenilir yöntemlerden biri, yerinde alınan örselenmemiş UD (Undisturbed) numunelerin laboratuvar ortamında test edilmesidir. Bu tür örnekler, zemin dokusunun ve doğal yapısının bozulmadan elde edilmesiyle sağlanır. Özellikle kohezyonlu zeminlerde, boşluk oranı, doğal su muhtevası ve mukavemet özellikleri gibi parametrelerin gerçeğe en yakın değerlerle elde edilmesini sağlar. Örselenmemiş örneklerin alınmasında genellikle Shelby tüpleri, pistonlu örnekleyiciler ya da çift tüplü karotiyer sistemleri kullanılır (Das, 2015).

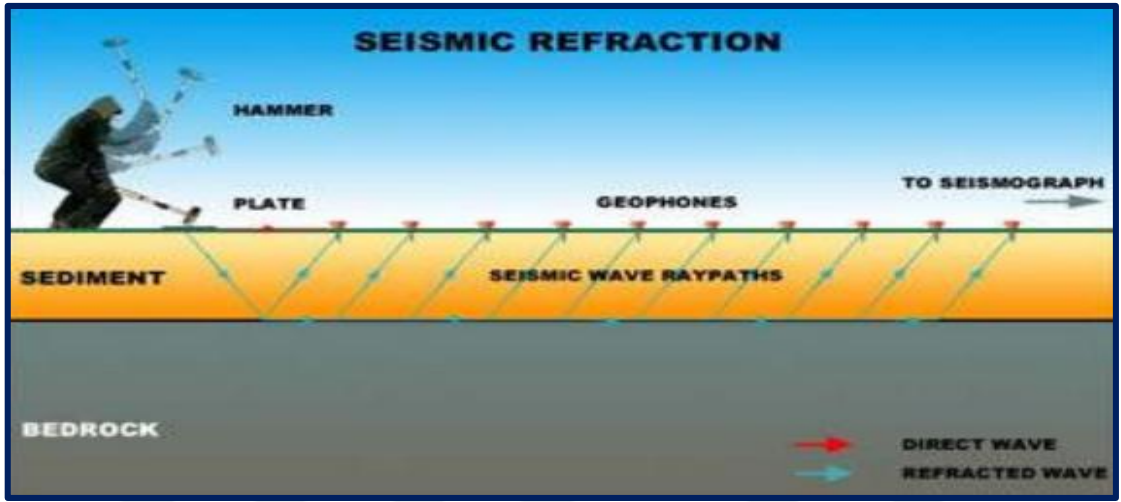
Örselenmemiş numune alımı, özellikle konsolidasyon, üç eksenli (triaxial) sıkışma ve kesme kutusu testleri gibi hassas deneylerin güvenilirliği açısından büyük önem taşır. Numune alınması sırasında dikkat edilmesi gereken temel hususlar; numunenin yerinden çıkartılırken deformasyona uğramaması, taşıma ve muhafaza sürecinde nem kaybının önlenmesi ve numunenin özgün yapısının korunmasıdır. Bu nedenle örnekler, alınır alınmaz sızdırmaz kaplara yerleştirilerek etiketlenmeli ve mümkünse hemen laboratuvara ulaştırılmalıdır (Bowles, 1997).

Zemin mekaniği alanında yapılan birçok araştırma, örselenmiş ve örselenmemiş numuneler arasında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. Örselenmiş numuneler, özellikle kohezyonlu zeminlerde mukavemet değerlerini önemli ölçüde düşük göstermektedir. Bu durum, mühendislik projelerinde güvenli olmayan zemin sınıflamalarına ve hatalı tasarımlara yol açabilir. Dolayısıyla, yapıların oturma analizleri, stabilite hesapları ve zemin iyileştirme yöntemlerinin planlanması süreçlerinde UD numunelerle elde edilen parametreler daha güvenilir sonuçlar vermektedir (Craig, 2004).

### 3.2.2. Sismik kırılma yöntemi

Sismik kırılma yöntemi, yeraltı tabakalarının elastik özelliklerini ve özellikle boyuna (P) ve enine (S) dalga hızlarını belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan jeofizik bir yöntemdir. Boyuna dalga ( $V_p$ ) ölçümleri 20 Hz frekanslı düşey jeofonlar ile yapılırken, enine dalga ( $V_s$ ) ölçümleri ise 14 Hz frekanslı yatay jeofonlar yardımıyla alınmıştır. Kullanılan "Sensor" marka jeofonlar, yüksek hassasiyetli algılayıcıları sayesinde veri kalitesini artırmış ve analizlerin doğruluğunu sağlamıştır. Saha ölçümlerinde alınan veriler, sismik kırılma profili oluşturularak analiz edilmiş ve elde

edilen hız dağılımları ile zemin türü ve tabakalanma hakkında önemli bilgiler elde edilmiştir (Kearey vd., 2002). Sismik yöntem sayesinde yeraltı tabakalarının geometrisi ve elastik özellikleri daha detaylı bir şekilde belirlenir. Özellikle deprem mühendisliği açısından zemin büyütmesi ve dalga yayılımı gibi parametreler hakkında bilgi edinilir. Bu bağlamda sismik kırılma yöntemi, yapı-zemin etkileşiminin modellenmesinde temel jeofiziksel veri sağlayıcı yöntemlerden biri olmuştur (Şahin & Kayabalı, 2010). Şekil 3.1’de, sismik kırılma yönteminin arazide uygulandığı gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Sismik kırılma yönteminin arazide uygulandığı (USGS, 2025)

### 3.2.3. Mikrotremor yöntemi

Zemin davranışının belirlenmesinde kullanılan bir diğer önemli jeofizik yöntem de mikrotremor ölçüm yöntemidir. Bu yöntem, çevresel titreşim kaynaklarının (trafik, rüzgar, mikrodprem vb.) neden olduğu doğal zemin titreşimlerinin analizine dayanmaktadır. Sismometre ile yapılan ölçümlerde yer hareketinin hızı zamana bağlı olarak kaydedilmiş ve bu kayıtlar üzerinden fourier dönüşümü ile frekans analizi yapılır (Nakamura, 1989).

Elde edilen verilerden, zemin hakim frekansı ve H/V spektral oran yöntemi ile zemin büyütme katsayıları belirlenir. Bu yöntem, özellikle yapı-zemin rezonans tehlikesinin değerlendirilmesinde kritik rol oynamaktadır. Ayrıca, mikrotremor yöntemi sayesinde yeraltı jeoteknik özelliklerinin belirlenmesinde ilave sondaj veya sismik kırılma çalışmalarına ihtiyaç duyulmadan ekonomik ve hızlı bir ön değerlendirme yapılabilir (Lermo & Chávez-García, 1993).

Yapılan analizlerde, elde edilen H/V spektral oran eğrileri kullanılarak zemin sınıflandırmaları gerçekleştirilir ve bölgedeki yerel zemin etkilerine yönelik önemli veriler sağlanır. Bu sayede, yapılaşma öncesi mühendislik kararlarının daha sağlıklı verilmesi mümkün hale gelmiştir (SESAME Project, 2004).

Mikrotremor kayıtlarının çözümlemesinde, ağırlıklı olarak spektral çözümleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bilindiği üzere spektral çözümleme sonucunda, yer içinde ilerleyen bir dalganın çözümlemesi yapılarak bileşenleri üzerinde bilgi almak olanaklıdır. Buna bağlı olarak, gelen dalganın yer içinde geçtiği ortamların etkisi belirlenir ve zemin koşulları hakkında bilgi edinilir.

Mikrotremor verilerinin analizinde yaygın olarak üç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

- Fourier genliklerinin ya da güç spektrumlarının yorumlanması
- Referans noktasına göre spektral oran hesaplanması
- Yatay bileşenin düşey bileşene spektral oranı (Nakamura Yöntemi) yöntemleridir.

Bu üç yöntemin geçerliliğinde üç varsayım bulunmaktadır. Yer etkisi yarı sonsuz ortam üzerindeki tek tabakalı bir gevşek zemin tabakasından kaynaklanmaktadır. Zeminin rezonans frekansı ve büyütme seviyesi gevşek zemin tabakası ve yarı sonsuz ortam arasındaki direşim farkından (impedance contrast) kaynaklanmaktadır. Tüm 2 boyutlu ve 3 boyutlu yer etkileri ihmal edilmektedir. Bahsedilen spektral analiz yöntemleri dışındaki bir yöntem de Kanai (1961) tarafından geliştirilen mikrotremorların çözümlemesi ve zemin sınıflamasını içeren Sıfır Kesme Yöntemi olarak da bilinen bir yöntemdir. Bu yöntemde mikrotremorların içerdiği periyotlara ait periyot dağılım eğrileri oluşturularak, buradan belirlenen frekanslara göre zemin sınıflaması yapılmaktadır. Frekanstan yola çıkarak baskın periyot Denklem (3.1) ile ifade edilir (Aytun, 2001).

$$T_0 = 1/F \quad (3.1)$$

Zemin hakim titreşim periyodundan  $T_a$  ve  $T_b$  zeminin alt ve üst titreşim periyotları Denklem (3.2) ve Denklem (3.3) ile ifade edilir.

$$T_a = 0.67 \times T_0 \quad (3.2)$$

$$T_b = 1.50 \times T_0 \quad (3.3)$$



### 3.3. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmalarında, sondaj çalışmalarından alınan örselenmemiş (UD) ve karot (CR) numuneleri, deneylerde TS-1900 standardı uygulanıp, örnekler birleştirilmiş zemin sınıflamasına (TS 1900) göre sınıflandırılır. Çizelge 3.3’de, çeşitli zemin ve kayaç özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler ile bu deneylerin uygulandığı standartları göstermektedir. Her deneyin amacı, zemin veya kayaç özelliklerini incelemek ve inşaat mühendisliği uygulamaları için gerekli verileri sağlamaktır.

**Çizelge 3.3.** Yapılan deneyler ve standartları

| Deney Adı                         | Adet | Standart |
|-----------------------------------|------|----------|
| Doğal Su İçeriği Deneyi           | 4    | TS-1900  |
| Doğal Birim Hacim Ağırlığı Deneyi | 2    | TS-1900  |
| Elek Analizi                      | 4    | TS-1900  |
| Atterberg Limitlerinin Deneyi     | 4    | TS-1900  |
| Zemin Sınıfı                      | 4    | TS-1500  |
| Direk Kesme Deneyi                | 1    | TS-1900  |
| Üç Eksenli Basınç Deneyi          | 1    | TS-1900  |
| Konsolidasyon                     | 1    | TS-1900  |
| Nokta Yükleme Deneyi              | 8    | TS-1900  |
| Kayada Tek Eksenli Basınç Deneyi  | 5    | TS-1900  |

#### 3.3.1. Doğal birim hacim ağırlığı deneyi

Doğal birim hacim ağırlığı, zemin veya kaya örneğinin içindeki su ve hava boşluklarıyla birlikte doğal halde birim hacminin ağırlığını ifade eder. Bu parametre, zeminlerin mühendislik yapılarına karşı göstereceği davranışları öngörmede kritik bir rol oynar. Yapı temelleri, zemin oturmaları ve taşıma gücü hesaplamaları gibi pek çok alanda bu değerin doğru şekilde belirlenmesi, güvenli tasarımlar açısından büyük önem arz eder (Das, 2015).

#### 3.3.2. Kuru birim hacim ağırlığı deneyi

Kuru birim hacim ağırlığı, zeminin içinde bulunan suyun tamamen uzaklaştırılmasından sonra birim hacminin ağırlığını ifade eder. Bu deney, özellikle kompaksiyon kontrolü, sıkılaştırma işlemleri ve dolgu tasarımı gibi uygulamalarda

vazgeçilmezdir. İnşaat mühendisliği uygulamalarında zeminlerin optimum sıkılaştırılma seviyesinin belirlenmesinde temel bir parametredir (Craig, 2004).

TS 1900 standardına uygun olarak yapılan bu deneyde, örneklerin doğal nem içeriği kurutularak tamamen giderilmiş ve kurutulmuş örneklerin hacmi ve ağırlığı üzerinden kuru birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır. Kuru yoğunluk, zeminlerin kompaksiyon kabiliyeti ile doğrudan ilişkilidir ve yapı dolgularının homojenliğini kontrol etmek için de kullanılır (Bowles, 1996).

### **3.3.3. Doğal su içeriği deneyi**

Zeminlerde doğal su içeriği, zeminin mühendislik davranışlarını belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Su içeriği, zeminin kohezyonunu, kesme dayanımını, sıkışabilirliğini ve taşıma gücünü doğrudan etkileyen bir unsurdur. Zeminlerin mühendislik projeleri öncesinde değerlendirilmesinde ve sınıflandırılmasında bu değer belirlenmesi hayati öneme sahiptir (Terzaghi vd., 1996).

### **3.3.4. Elek analizi**

Elek analizi, zeminlerin tane çapı dağılımını belirlemek amacıyla uygulanan en temel ve yaygın yöntemlerden biridir. Bu analiz ile zeminin hangi tane boyutlarından oluştuğu belirlenerek mühendislik sınıflandırmasına yönelik önemli bilgiler elde edilir. Analiz sırasında standart çaplara sahip bir dizi elek kullanılır; genellikle 75 mm'den 0,075 mm'ye kadar değişen elekler tercih edilir. Elekler, büyükten küçüğe doğru sıralanarak elekten geçirilen numunenin her elek üzerinde kalan miktarı tartılır ve yüzdelik dağılımı belirlenir (Das & Sobhan, 2018). Elek analizi, özellikle iri taneli zeminler (çakıl ve kum) için uygundur. Ancak ince taneli zeminlerin (silt ve kil) sınıflandırılmasında yetersiz kaldığı için bu tür zeminler için hidrometre analizi ile desteklenmesi gerekmektedir. Analiz sonucunda elde edilen kum, çakıl ve ince malzeme oranları zeminlerin mühendislik özelliklerini doğrudan etkiler. Özellikle geçirgenlik, dayanım ve sıkışabilirlik gibi davranışların belirlenmesinde tane dağılımının önemi büyüktür (Craig, 2004).

### 3.3.5. Atterberg limitleri (LL, PL, PI)

Atterberg limitleri; sıvı limit (LL), plastik limit (PL) ve plastiklik indeksi (PI) olmak üzere üç temel parametreyi içerir ve zeminlerin kıvam özelliklerini belirler. Bu deney TS EN ISO 17892-12 standardına göre gerçekleştirilir ve özellikle ince taneli zeminlerin sınıflandırılmasında kullanılır (TS EN ISO 17892-12, 2018).

Sıvı ve plastik limit, zeminin su içeriğine bağlı kıvam değişimlerini tanımlar. Plastiklik indeksi (PI), zeminlerin mühendislik davranışı üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Örneğin, PI değeri yüksek olan zeminler genellikle düşük taşıma gücüne, yüksek oturma ve şişme potansiyeline sahiptir (Terzaghi vd., 1996). Bu nedenle Atterberg limitleri, temel tasarım ve iyileştirme çalışmalarında doğrudan referans alınmaktadır.

Ayrıca PI değeri, zeminin aktiflik düzeyinin ve kil mineralleri oranının belirlenmesinde de kullanılabilir. Yüksek plastisiteli zeminlerde sıvılaşma riski, yapı stabilitesi ve şev emniyeti gibi mühendislik kararlarında bu veriler son derece önemlidir (Das, 2015).

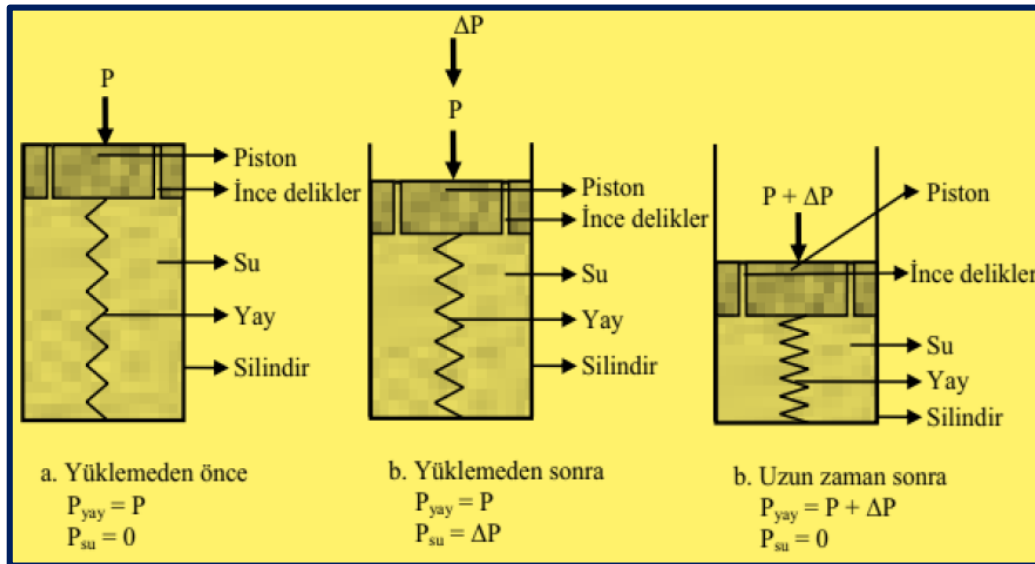
### 3.3.6. Tane dağılımı (eleme ve hidrometre) deneyi

Tane boyu dağılımı, zeminin sınıflandırılması ve mühendislik davranışlarının belirlenmesinde kullanılan en temel parametrelerden biridir. Eleme yöntemiyle iri taneli zeminlerin, hidrometre yöntemiyle ise ince taneli zeminlerin dağılımı belirlenir. TS EN ISO 17892-4 standardına göre yapılan bu deney, USCS ve AASHTO sınıflamalarının temelini oluşturur (TS EN ISO 17892-4, 2016).

Tane dağılım eğrisi, zeminlerin geçirgenlik, sıkışabilirlik ve dayanım özelliklerinin değerlendirilmesinde referans alınır. İyi derecelenmiş (well-graded) zeminler, yüksek taşıma gücüne ve düşük boşluk oranına sahiptir; zayıf derecelenmiş (uniform) zeminlerde ise oturma ve zemin sıvılaşması riski artmaktadır (Das & Sobhan, 2014). Bu parametre aynı zamanda kompaksiyon karakteristiklerinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Özellikle baraj dolgu malzemesi, yol alt temeli ve bina temel dolgularında tane dağılımının homojenliği ve mühendislik sınıflaması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, deneylerin hem arazi örneklerine hem de karışım malzemelere uygulanması tavsiye edilir (Lambe & Whitman, 1969).

### 3.3.7. Konsolidasyon deneyi

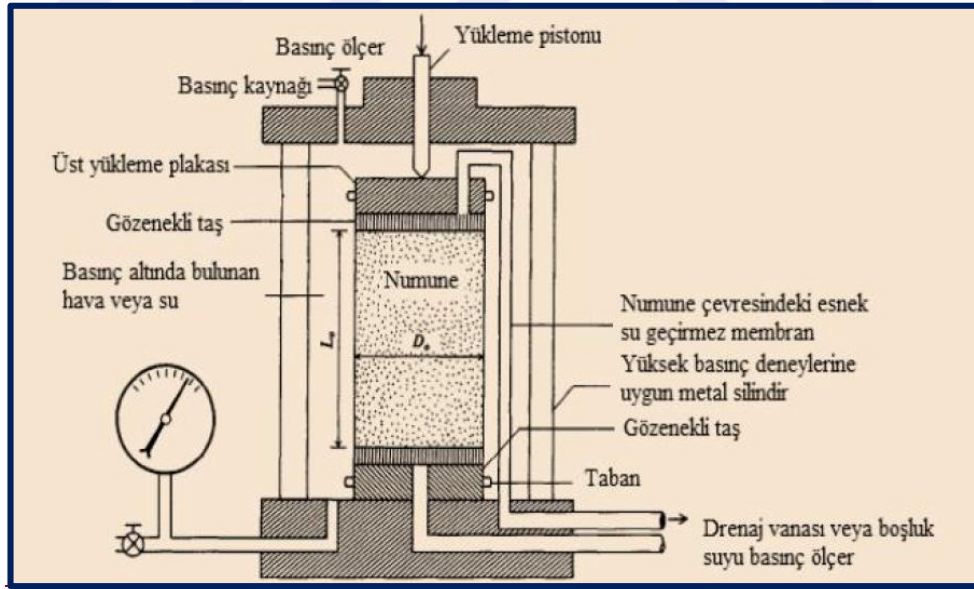
Konsolidasyon deneyi, ince taneli zeminlerin zamana bağılı oturma davranışlarının belirlenmesi açısından temel bir laboratuvar deneyidir. Bu deneyle, zemin numunesinin sabit bir yük altında zamanla nasıl hacim azalttığı ve suyun boşluklardan dışarı atılması süreci gözlemlenir. Konsolidasyon süreci, zemindeki boşluk suyunun boşluklardan dışarı çıkmasıyla birlikte efektif gerilmenin artması ve buna bağlı olarak zeminin sıkışması olarak tanımlanır. Bu deney, özellikle kil gibi düşük geçirgenliğe sahip zeminlerde oldukça yavaş ilerleyen bir süreç olduğundan, uzun vadeli oturma analizleri açısından kritik öneme sahiptir (Craig, 2004; Das & Sobhan, 2018). Deneyde genellikle halka şeklinde alınan örselenmemiş kil numunesi, konsolidasyon hücresine yerleştirilir ve üzerine artan yük kademeleri uygulanır. Her bir yük kademesi altında zamanla meydana gelen oturmalar, belirli aralıklarla kaydedilir Şekil 3.2’de, konsolidasyon olayının mekanizması gösterilmiştir. Bu veriler yardımıyla birim deformasyon-zaman grafiği oluşturularak birincil ve ikincil konsolidasyon parametreleri hesaplanabilir. Ayrıca, bu veriler sayesinde konsolidasyon katsayısı ( $C_v$ ), sıkışabilirlik katsayısı ( $m_v$ ) ve yeniden yükleme oranı gibi mühendislik parametreleri de elde edilir. Bu parametreler zeminlerin oturma analizleri, temel tasarımları ve zemin iyileştirme yöntemlerinin belirlenmesinde kullanılır (Holtz vd., 2011).



Şekil 3.2. Konsolidasyon olayının mekanizması (Kahafaji & Andersland, 1993)

### 3.3.8. Üç eksenli basınç deneyi

Üç eksenli basınç deneyi (triaxial test), zeminlerin drenajlı ve drenajsız koşullar altındaki dayanım özelliklerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen en önemli deneylerden biridir. Bu deney, özellikle kohezyonlu zeminlerin mühendislik davranışlarının analizinde kullanılır. Deney kapsamında, silindirik bir zemin numunesi su geçirmez bir zar içine yerleştirilir ve daha sonra belirli bir konfining basınca maruz bırakılarak eksenel yükleme uygulanır. Numune üzerinde farklı gerilme durumları yaratılarak zemin dayanımı belirlenir (Budhu, 2015). Şekil 3.3’de, üç eksenli basınç deney düzeneği gösterilmiştir. Deneyin amacı, zeminin efektif gerilme, boşluk suyu basıncı ve deformasyon davranışını ölçerek kayma dayanım parametrelerinin (içsel sürtünme açısı  $\phi$  ve kohezyon  $c$ ) elde edilmesidir. Üç eksenli deney farklı koşullarda gerçekleştirilebilir: UU (drenajsız-drenajsız), CU (konsolide-drenajsız) ve CD (konsolide-drenajlı). Bu sayede, yerinde farklı yükleme ve drenaj şartları altında zeminin nasıl davranacağı öngörülebilir. Deneyden elde edilen verilerle Mohr daireleri çizilir, kayma dayanımı zarfı belirlenir (Das & Sobhan, 2018).



Şekil 3.3. Üç eksenli basınç deney düzeneği (Bowles, 1996)

### 3.3.9. Zemin şişme özelliği

Zeminlerin şişme potansiyeli, özellikle kil oranı yüksek zeminlerde su ile temas ettiğinde hacim artışı nedeniyle mühendislik yapıları üzerinde ciddi etkilere yol

açabilmektedir. Bu durum, genellikle montmorillonit gibi kil minerallerinin varlığıyla ilişkilidir ve hacimsel genleşme olarak tanımlanır. Şişme nedeniyle temellerde düzensiz oturmalar, kaplama çatlakları ve yapı deformasyonları gibi mühendislik sorunları meydana gelebilir (Chen, 1988).

Şişme potansiyelinin belirlenmesi için laboratuvar ortamında serbest şişme ve konsolidasyon testleri gibi yöntemler uygulanmaktadır. ASTM D4546 standardı çerçevesinde yapılan bu deneylerde zemin numuneleri, doygunluk sağlanarak hacimsel değişimleri ölçülür. Elde edilen şişme yüzdesi, zemin sınıflaması ve mühendislik uygulamaları açısından kritik öneme sahiptir (ASTM, 1978).

Şişme davranışını etkileyen başlıca parametreler; su içerik seviyesi, birim hacim ağırlık, kilin mineralojik yapısı ve başlangıç kuru yoğunluktur. Örneğin, düşük yoğunluklu ve yüksek plastisiteli killer daha fazla şişme potansiyeline sahiptir (Holtz vd., 2011). Bu bağlamda, mühendislik yapılarının tasarımı aşamasında şişme potansiyelinin dikkate alınması büyük önem taşır.

### 3.3.10. Kıvamlılık indeksi

Kıvamlılık indeksi (Liquidity Index - LI), doğal su içeriğine göre bir zeminin kıvam durumunu ifade eden önemli bir parametredir. Bu indeks, sıvı limit, plastik limit ve doğal su içeriği arasındaki ilişkiyle hesaplanır. Zeminlerin kıvam durumu, mühendislik davranışlarını doğrudan etkileyen özelliklerden biridir (Terzaghi, vd., 1996).

Kıvamlılık indeksi Denklem (3.4) ile ifade edilir (Das, 2015).

$$LI = (w - PL) / (LL - PL) \quad (3.4)$$

Burada;

w: doğal su içeriği

PL: plastik limit

LL. sıvı limitidir.

LI değeri 0'dan küçükse zemin katı kıvamda, 0 ile 1 arasında ise plastik, 1'in üzerinde ise sıvı kıvamda kabul edilir (Das, 2015).

Bu değer, zemin davranışının tahmin edilmesi ve yapı güvenliğinin sağlanması açısından önem taşır. Yapılacak mühendislik projelerinde, kıvamlılık indeksinin değerlendirilmesi, özellikle temel kazılarında, sıkıştırma işlemlerinde ve yeraltı suyu etkisinin hesaplamalarında kritik rol oynar. Zeminlerin suya duyarlılığı ve taşıma gücü gibi davranışları, LI değerine bağlı olarak değişebilir (Craig, 2004).

### **3.3.11. Direk kesme deneyi**

Direk kesme deneyi (Direct Shear Test), kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerin kayma direncini belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan bir laboratuvar testidir. Bu test, zemin örneğinin belirli bir normal gerilme altında yatay düzlemde kaydırılmasıyla gerçekleştirilir. Elde edilen verilerle Mohr-Coulomb kayma direnci parametreleri (kohezyon  $c$  ve içsel sürtünme açısı  $\phi$ ) belirlenir (Das, 2015). ASTM D3080 standardına uygun şekilde yapılan bu deneyde, numune sabit bir kesme kutusuna yerleştirilir ve üst kısmına belirli bir normal yük uygulanarak alt ve üst parçalardan biri sabit, diğeri ise yatay doğrultuda kaydırılır. Kayma kuvveti ile yer değiştirme ölçülerek kayma gerilmesi – yer değiştirme ilişkisi elde edilir. Bu yöntem, özellikle granüler zeminlerde güvenilir sonuçlar vermektedir (ASTM, 1978).

Direk kesme deneyi, zeminlerin kayma direncinin belirlenmesinde pratik, hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Ancak, drenaj koşullarının kontrol edilememesi ve gerilme dağılımının homojen olmaması gibi sınırlamaları bulunmaktadır (Holtz, vd., 2011). Bu nedenle deney sonuçlarının yorumlanmasında dikkatli olunmalı, gerekirse triaxial testlerle desteklenmelidir.

### **3.3.12. Nokta yükleme deneyi**

Nokta yükleme deneyi (Point Load Test - PLT), özellikle kaya mekaniğinde hızlı ve ekonomik dayanım tayini yapılabilmesi açısından yaygın olarak kullanılan bir laboratuvar testidir. Bu yöntemle kaya numunesinin tek eksenli basınç dayanımı (UCS) dolaylı olarak tahmin edilir. Test, genellikle düzensiz ve şekil açısından ideal olmayan numuneler üzerinde uygulanabilmesi yönüyle pratik avantajlar sağlar (Ulusay & Hudson, 2007).

Nokta yükleme testinde, silindirik, küresel ya da düzensiz şekilli kaya örneklerine konik uçlu presler yardımıyla yük uygulanır ve kırılma yükü belirlenir. Bu yük değeri

kullanılarak nokta yükleme indeksi  $Is_{(50)}$  hesaplanır ve ampirik bağıntılarla tek eksenli basınç dayanımı tahmin edilir. Özellikle sahadan alınan düzensiz blok örneklerin dayanım değerlendirmesinde bu yöntem tercih edilmektedir (ISRM, 1985).

Yapılan araştırmalarda, nokta yükleme deneyinin tekrarlanabilir sonuçlar verdiği, ancak elde edilen indekslerin kaya türüne göre değişiklik gösterebildiği ifade edilmektedir. Bu nedenle indeks sonuçlarının yorumlanmasında deneyimin yanı sıra kayaç türü, nem oranı ve örnek boyutu gibi parametreler de dikkate alınmalıdır (Brook & Dharmaratne, 1985). Ayrıca standartlarca önerilen boyutsal düzeltmelerin uygulanması, sonuçların güvenilirliğini artırmaktadır.

### **3.3.13. Kayada tek eksenli basınç deneyi**

Kayada tek eksenli basınç deneyi (Uniaxial Compressive Strength Test - UCS), kaya mekaniği laboratuvarlarında sıklıkla uygulanan temel dayanım testlerinden biridir. Bu test, silindirik biçimde hazırlanmış kaya örneklerine eksenel yük uygulanarak kırılma anındaki dayanım değerinin belirlenmesini sağlar. Bu değer, mühendislik tasarımlarında zemin/kaya davranışının güvenli tahmininde kritik öneme sahiptir (Hoek, 2007).

Deneyin uygulanması sırasında, örneğe herhangi bir yanal basınç uygulanmaz, yalnızca düşey yönde basınç uygulanır. Numune, standartlara göre 2:1 oranında boy/çap ölçüsünde hazırlanır. Kayada dayanım sınıflandırması ve deformasyon parametrelerinin belirlenmesinde UCS sonuçları temel alınır (ASTM, 1978). Numunenin kırılma şekli, dayanım davranışını yansıtan önemli bir göstergedir.

Çeşitli literatürlerde, UCS değerinin litolojiye, mineralojik bileşime, poroziteye ve numunedeki çatlak yoğunluğuna bağlı olarak önemli ölçüde değiştiği ifade edilmektedir. Özellikle mühendislik projelerinde, bu test ile elde edilen veriler jeoteknik tasarım, tünel açma ve kazı çalışmaları gibi birçok alanda temel veri olarak kullanılmaktadır (Bieniawski, 1989). Bu yönüyle test, kaya kütlelerinin sınıflandırılması ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde vazgeçilmezdir.

### **3.3.14. Zemin sınıfı belirleme**

Zemin sınıfı belirleme işlemi, bir sahadaki zemin davranışının yapı tasarımına olan etkilerini değerlendirmek açısından son derece önemlidir. Zeminlerin sınıflandırılması, mühendislik uygulamaları açısından zeminlerin tanımlanması, benzer



özellikteki zeminlerin aynı gruba dahil edilmesi ve davranışlarının öngörülebilmesi amacıyla yapılmaktadır. Bu sınıflandırmada genellikle tane boyu dağılımı, plastik özellikler, sıkışabilirlik ve taşıma gücü gibi özellikler temel alınmaktadır. Bu kapsamda en yaygın kullanılan sınıflandırma sistemlerinden biri Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma sistemde zeminler, tane boyu ve plastisite özelliklerine göre gruplara ayrılmaktadır (Das & Sobhan, 2017).

Kohezyonsuz (kum ve çakıllar) ve kohezyonlu (silt ve killer) zeminler olarak ayrılır. Tane boyu analizi (elek ve hidrometre deneyleri) ve Atterberg limitleri (likit limit, plastik limit) bu sınıflandırma için temel parametreleri sağlar. Tane boyu yüzde dağılımına göre çakıl, kum, silt ve kil oranları belirlenir; Atterberg limitleri ile plastisite indeksi hesaplanarak zeminlerin plastisite özellikleri değerlendirilir (Terzaghi vd., 1996).

Zemin sınıfı belirleme aynı zamanda deprem mühendisliği açısından da büyük öneme sahiptir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)'e göre zeminler, dinamik davranışlarına göre ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF gibi sınıflara ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma, özellikle sismik yüklerin etkisi altındaki yapıların tasarımı için gereklidir. TBDY, (2018) de, zemin sınıfı belirleme; ortalama kayma dalgası hızı ( $V_{s30}$ ), SPT-N ortalaması ve doğal zemin periyodu gibi parametrelere dayanmaktadır. Bu bağlamda hem statik hem dinamik zemin sınıflandırmalarının birlikte değerlendirilmesi, hem yapı güvenliği hem de zemin-yapı etkileşiminin doğru modellenmesi açısından vazgeçilmezdir (Kramer, 1996; TBDY, 2018).

Bu deneyler, zemin ve kayaç özelliklerini belirlemek için temel veri sağlar ve yapı güvenliği, dayanıklılık ve uygunluk açısından önemli sonuçlar sunmaktadır.

### **3.4. Zeminin Dinamik–Elastik Parametreleri**

Dinamik-elastik parametreler, cisimlerin gerilmeler altında hacim ve birim değiştirmelerini kontrol eden parametrelerdir. Kayaçların ve zeminlerin deformasyonları birinci derecede bu parametrelere bağlıdır. Cisimlerin elastik özelliklerini kontrol eden bu parametreler; yoğunluk ( $\rho$ ), maksimum kayma modülü ( $G_{max}$ ), poisson oranı ( $\nu$ ), dinamik elastisite modülü ( $E_d$ ), bulk modülü ( $K$ )'dür. Yine sismik hızlardan elde edilen sismik hız oranı ( $V_p/V_s$ ) ve  $V_{s30}$  (m/sn) değerleri hesaplanmış ve sönümlenirlik sınıflaması yapılmıştır.

### 3.4.1. Yoğunluk ( $\rho$ )

Sismik dalga hızlarının zeminlerin fiziksel özellikleriyle olan ilişkisi kapsamında, yoğunluk ( $\rho$ ), özellikle P-dalgası ( $V_p$ ) hızına bağlı olarak tahmin edilen önemli bir parametredir. Zeminlerin yoğunluğu doğrudan ölçülebildiği gibi, çoğu jeofizik mühendislik uygulamasında deneysel bağıntılar aracılığıyla da hesaplanmaktadır. Bu tür tahmini hesaplamalar, mühendislik jeolojisi ve jeoteknik etütlerde zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

Keçeli (1990) tarafından önerilen ampirik bağıntı ile zemin yoğunluğu, P-dalgası hızına ( $V_p$ ) bağlı olarak Denklem (3.5) ile ifade edilir.

$$\rho = 0.2 \times V_p + 1.6 \quad (3.5)$$

Burada,

$\rho$ , yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ ),

$V_p$  ise P-dalgasının hızıdır ( $\text{km/sn}$ )

Bu bağıntı, yoğunlukla zeminlerin elastik özelliklerinin tanımlanması ve jeoteknik parametrelerin tahmini amacıyla kullanılmaktadır. Özellikle zeminlerin sismik karakterizasyonunda, bu tür bağıntılarla elde edilen yoğunluk değerleri, zemin birim hacim ağırlığının belirlenmesi ve deprem mühendisliği uygulamalarında parametrelerin modellenmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Keçeli, 1990; Telford vd., 1990).

Keçeli (1990), sismik yöntemlerle elde edilen P-dalgası hızına göre yoğunluk değerleri için bir sınıflandırma tablosu sunmuştur. Bu sınıflandırma, zeminlerin mühendislik davranışını öngörmek ve litolojik birimlerin karşılaştırmalı analizini yapmak amacıyla Çizelge 3.4'de sismik yöntem için yoğunluk sınıflaması yer almaktadır. Çizelge 3.4'e göre,  $V_p$  değeri yüksek olan zeminler daha yoğun ve rijit yapılara sahipken, düşük  $V_p$  değerlerine sahip zeminler daha gevşek ve az konsolide edilmiş yapılar olarak tanımlanabilir. Bu yaklaşım, özellikle zemin sınıfı belirleme, sıvılaşma potansiyeli değerlendirmeleri ve yapı tasarımında zemin-yapı etkileşiminin modellenmesi için kritik öneme sahiptir (Yılmaz, 2006; Özaydın ve Tönük, 2011). Zeminlerin mühendislik özelliklerine göre değerlendirilmesi açısından önemli bir rehber niteliğindedir. Örneğin;  $\rho < 1.20 \text{ g/cm}^3$  olan çok düşük yoğunluklu zeminler genellikle organik içerikli, yüksek boşluk oranına sahip ve sıkışabilirliği fazla olan zeminleri ifade ederken,  $\rho > 2.20 \text{ g/cm}^3$

olan çok yüksek yoğunluklu zeminler ise genellikle kompakt, düşük boşluklu ve yüksek taşıma kapasitesine sahip zeminleri ya da kayaçları temsil etmektedir. Bu bağlamda, MASW yönteminden elde edilen yoğunluk verileri, zemin sınıflandırması, taşıma gücü tahmini ve temel tasarımı gibi mühendislik uygulamalarında karar vericilere yol göstermektedir.

**Çizelge 3.4.** Sismik ve MASW yöntem için yoğunluk sınıflaması (Keçeli, 1990)

| $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Tanımlama  |
|-----------------------------|------------|
| <1.20                       | Çok Düşük  |
| 1.20-1.40                   | Düşük      |
| 1.40-1.90                   | Orta       |
| 1.90-2.20                   | Yüksek     |
| >2.20                       | Çok Yüksek |

### 3.4.2. Sismik hız oranı ( $V_p/V_s$ )

Zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan en önemli parametrelerden biri sismik hız oranı, yani  $V_p/V_s$  oranıdır. Bu oran, boyuna dalga hızı ( $V_p$ ) ile kesme dalgası hızı ( $V_s$ ) arasındaki ilişkiyi ortaya koymakta olup, zeminin fiziksel ve mekanik özellikleri hakkında önemli bilgiler sunar.  $V_p$  dalgaları, hem sıvı hem de katı ortamlarda yayılabilirken;  $V_s$  dalgaları yalnızca katı ortamlarda ilerleyebildiğinden, bu oran özellikle zeminin doygunluk durumu, gevşeklik-sıkılık seviyesi ve zemin-kaya ayrımının yapılmasında oldukça etkilidir.

Genel olarak,  $V_p/V_s$  oranı büyüdükçe zeminin suya doygunluğu ve gevşekliği artarken; oran azaldıkça zemin daha sıkı, kompakt ve mühendislik açısından daha dayanıklı hale gelmektedir. Bu bağlamda, zemin sınıflandırmasında  $V_p/V_s$  oranına dayalı bir değerlendirme yapılması, özellikle jeoteknik ve deprem mühendisliği uygulamaları için kritik öneme sahiptir. Zira gevşek ve suya doygun zeminlerde sismik dalga yayılımı yavaşlamakta ve bu durum yer hareketinin büyüklüğünü artırabilmektedir. Dolayısıyla, yer seçimi, temel tasarımı, yapı yüksekliği ve deprem risk analizleri gibi birçok mühendislik parametresinin belirlenmesinde bu oran referans alınmaktadır. Çizelge 3.5’de göre Sismik ve MASW yöntem için hesaplanan  $V_p/V_s$  oranına göre zemin durumu verilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Sismik ve MASW yöntem için hesaplanan  $V_p/V_s$  oranına göre zemin durumu (Ercan, 2001)

| Zemin/Kaya Sıklığı | $V_p/V_s$ Oranı |
|--------------------|-----------------|
| Çok Gevşek         | Sonsuz – 2.49   |
| Gevşek             | 2.49-1.87       |
| Sıkı - Katı        | 1.87-1.71       |
| Katı               | 1.71-1.50       |
| Sağlam             | 1.50-1.41       |

### 3.4.3. Poisson oranı ( $\nu$ )

Zeminlerin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde önemli parametrelerden biri olan Poisson oranı ( $\nu$ ), bir malzemenin yük altında boyuna yöndeki deformasyonuna karşılık, enine yönde meydana gelen deformasyonun oranını ifade eder. Boyutsuz bir büyüklük olan Poisson oranı, özellikle elastik davranış gösteren zemin ve kayaçların karakterizasyonunda önemli bir yer tutar. Bu oran, zeminlerin gözenekliliğini ve gözenekler arası boşlukların basınç dağılımını değerlendirmek için de dolaylı bir ölçüt sağlar (Kramer, 1996; Çetin, 2000).

Dinamik zemin özelliklerinin belirlenmesinde sıkça kullanılan  $V_p$  (boyuna dalga hızı) ve  $V_s$  (kesme dalgası hızı) verileri kullanılarak hesaplanan Poisson oranı, Denklem (3.6) ile ifade edilir.

$$\nu = [(V_p/V_s)^2 - 2] / [2 \times ((V_p/V_s)^2 - 1)] \quad (3.6)$$

Bu oran, zeminlerin elastik davranışlarını anlamada ve mühendislik tasarımlarında kullanılacak dinamik parametrelerin elde edilmesinde kritik bir role sahiptir. Poisson oranının yüksek değerleri, malzemenin daha fazla hacimsel deformasyona uğrayabileceğini; düşük değerleri ise daha rijit bir yapıya sahip olduğunu gösterir (Richart, vd., 1970). Çizelge 3.6'ya göre, sismik ve MASW yöntemleriyle elde edilen Poisson oranı değerleri, zeminlerin sıklık durumunu belirlemede önemli bir parametre olarak kullanılmaktadır. Ercan (2001) tarafından sınıflandırılan bu oranlara göre, 0.5 değeri cıvık-sıvı zeminleri temsil ederken; 0.4–0.5 arası çok gevşek, 0.3–0.39 arası gevşek, 0.2–0.29 arası sıkı-katı, 0.1–0.19 arası katı ve 0.0–0.09 arası ise sağlam zemin ya da kaya birimlerini tanımlamaktadır. Poisson oranının yüksek olması, zeminin daha fazla deformasyona uğrayabileceğini ve gözenekliliğin yüksek olduğunu

gösterirken, düşük Poisson oranları daha sağlam, rijit ve sıkı yapılı zeminleri işaret etmektedir.

**Çizelge 3.6.** Sismik ve MASW yöntemle hesaplanan Poisson oranına göre zemin durumu (Ercan, 2001)

| Poisson Oranı | Zemin/Kaya Sıklığı |
|---------------|--------------------|
| 0.5           | Cıvık – Sıvı       |
| 0.4-0.5       | Çok Gevşek         |
| 0.3-0.39      | Gevşek             |
| 0.2-0.29      | Sıkı - Katı        |
| 0.1-0.19      | Katı               |
| 0.0-0.09      | Sağlam             |

#### 3.4.4. Maksimum kayma modülü ( $G_{max}$ )

Maksimum kayma modülü ( $G_{max}$ ), zeminlerin deprem yükleri altındaki davranışını anlamada temel parametrelerden biridir. Bu modül, zeminin makaslama (shear) kuvvetlerine karşı gösterdiği rijitliğin bir ölçüsüdür ve özellikle küçük gerilme seviyelerinde, elastik davranış aralığında değerlendirilir.  $G_{max}$  değeri, yeraltı yoğunluğu ( $\rho$ ) ve kayma dalgası hızı ( $V_s$ ) yardımıyla; Denklem (3.7) ile hesaplanır (Kramer, 1996).

$$G_{max} = \rho \times V_s^2 \times \frac{10^5}{9.81} \quad (3.7)$$

Denklem (3.7), zeminin elastik rijitliğini doğrudan yansıtarak, özellikle zemin sıvılaşması, oturma ve sismik deformasyon analizlerinde önemli bir yere sahiptir.  $G_{max}$  değeri aynı zamanda zeminin yanal kuvvetlere karşı direncinin ve deformasyon kabiliyetinin bir göstergesi olarak, zemin sınıflandırma ve yapı tasarımında dikkate alınması gereken kritik parametrelerdendir (Hardin & Drnevich, 1972; Das, 2015). Çizelge 3.7’de Sismik ve Masw yöntemle hesaplanan maksimum kayma modülüne göre zemin özelliği tanımlamaları verilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Sismik ve Masw yöntemle hesaplanan maksimum kayma modülüne göre zemin özelliği tanımlamaları (Bowles, 1988)

| Gmax (kg/cm <sup>2</sup> ) | Zemin Özelliği   |
|----------------------------|------------------|
| 0-600                      | Gevşek Zeminler  |
| 600-3000                   | Orta Sağlam Zem. |
| 3000 – 10000               | Sağlam Zeminler  |
| > 10000                    | Çok Sağlam Zem.  |

#### 3.4.5. Dinamik elastisite modülü (E<sub>d</sub>)

Dinamik elastisite modülü (E<sub>d</sub>), zeminin deformasyona karşı direnç kapasitesini ifade eden önemli bir jeofizik parametredir. Bu parametre, zeminlerin elastik özelliklerini değerlendirmek ve özellikle zemin-yer etkileşimlerinin modellenmesinde kullanmak açısından büyük önem taşır. E<sub>d</sub>, V<sub>s</sub> (kayma dalgası hızı), V<sub>p</sub> (boyuna dalga hızı) ve zemin yoğunluğu (ρ) kullanılarak hesaplanabilir. Bu modül, zeminin sertlik düzeyi, çimentolaşma derecesi ve elastik davranış sınırındaki dayanım kapasitesi hakkında doğrudan bilgi verir. Dinamik elastisite modülü, Denklem (3.8) ile hesaplanır.

$$E_d = \rho \times V_s^2 \times \frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2} \quad (3.8)$$

Burada;

V<sub>s</sub> : kayma dalgası hızı (m/sn),

V<sub>p</sub>: boyuna dalga hızı (m/sn),

ρ : zemin yoğunluğudur (kg/m<sup>3</sup>)

Bu parametre, özellikle zeminlerin mühendislik özelliklerini belirleme, dinamik analizlerde kullanılacak modellerin kalibrasyonu ve deprem mühendisliği uygulamaları açısından kritik bir role sahiptir. Ayrıca, gevşek ve zayıf çimentolu zeminlerin tespiti ile sert, sıkı zemin ve kaya ortamlarının ayrımında da yol gösterici olmaktadır (Senfaute vd., 2000; Çetin vd., 2004; Kramer, 1996). Çizelge 3.8’de Sismik ve MASW yöntemle hesaplanan Dinamik elastisite modülüne göre zemin özelliği tanımlamaları verilmiştir.

**Çizelge 3.8.** Sismik ve MASW yöntemleri hesaplanan Dinamik elastisite modülüne göre zemin özelliği tanımlamaları (Bowles, 1988)

| <b>Ed(kg/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Zemin Özelliği</b> |
|------------------------------|-----------------------|
| 0-2000                       | Gevşek Zeminler       |
| 2000 – 10000                 | Orta Sağlam Zeminler  |
| 10000 – 30000                | Sağlam Zeminler       |
| > 30000                      | Çok Sağlam Zeminler   |

#### 3.4.6. Bulk modülü (K)

Bulk modülü (K), bir zeminin hacimsel olarak sıkışmaya karşı gösterdiği direnci ifade eden elastik bir parametredir. Başka bir ifadeyle, belirli bir dış basınç altında zeminin hacimsel deformasyona ne derece karşı koyduğunu gösterir. Bu modül, özellikle sismik dalga hızları ( $V_p$  ve  $V_s$ ) ve kuru birim hacim ağırlığı ( $\rho$ ) gibi parametrelerden yararlanılarak hesaplanabilir ve zeminlerin mühendislik davranışlarının değerlendirilmesinde önemli bir ölçüt sunar (Çetin, vd., 2018; Özçep, 2010).

Bulk modülü, sismik dalgaların yayılma hızlarına bağlı olarak Denklem (3.9) ile hesaplanır.

$$K = \rho \times (V_p^2 - (4/3 \times V_s^2))/100 \quad (3.9)$$

Burada:

$K$  : Bulk modülü (kg/cm<sup>2</sup>)

$\rho$  : Kuru birim hacim ağırlığı (g/cm<sup>3</sup>)

$V_p$  : Boyuna dalga hızı (cm/sn)

$V_s$  : Kesme dalgası hızıdır (cm/sn)

Bulk modülünün yüksek olması, zeminin dış yükler altında daha az hacimsel değişim göstereceği ve daha rijit bir yapıya sahip olduğu anlamına gelir. Bu bağlamda, farklı zeminlerin bulk modülü değerleri kullanılarak sıkışmazlık sınıflandırması yapılabilmektedir. Çizelge 3.9’da Sismik ve MASW yöntemle hesaplanan Bulk modülüne göre zemin durumu gösterilmiştir (ASTM, 1978).

**Çizelge 3.9.** Sismik ve MASW yöntemle hesaplanan Bulk modülüne göre zemin durumu (ASTM, 1978)

| K (kg/cm <sup>2</sup> ) | Sıkışma Direnci (Sıkışmazlık) |
|-------------------------|-------------------------------|
| <400                    | Çok Az                        |
| 400-10000               | Az                            |
| 10000-40000             | Orta                          |
| 40000-100000            | Yüksek                        |
| >100000                 | Çok Yüksek                    |

Bu değerler doğrultusunda, bulk modülü düşük olan zeminler daha kolay sıkışan ve genellikle yumuşak yapılı zeminlerdir. Buna karşın, bulk modülü yüksek olan zeminler daha rijit, sert ve mühendislik yapıları için daha elverişli özelliklere sahip olabilir (Özçep & Gönenç, 2012). Bu nedenle bulk modülü, yerel zemin sınıfının belirlenmesi ve mühendislik projelerinde temel tasarımı açısından kritik bir parametre olarak kabul edilir.

#### 3.4.7. Vs30 kayma dalgası hızı

Zeminlerin deprem mühendisliği açısından sınıflandırılmasında en yaygın kullanılan parametrelerden biri, 30 metrelik derinliğe kadar olan ortalama kayma dalgası hızı olan Vs30 değeridir. Bu parametre, yüzeyden itibaren 30 metre derinliğe kadar zemin tabakalarının kalınlıkları ve her bir tabakadaki kayma dalgası hızları kullanılarak Denklem (3.10) ile hesaplanır.

$$V_{30} = 30 / [(h_1/V_{s1}) + (h_2/V_{s2}) + \dots + (h_n/V_{sn})] \quad (3.10)$$

Burada,

$h_1, h_2, \dots, h_n$  ilgili zemin tabakalarının kalınlıklarını,

$V_{s1}, V_{s2}, \dots, V_{sn}$  ise her bir tabakadaki kayma dalgası hızlarıdır.

Denklem (3.10), farklı zemin türlerinin elastik özelliklerini bir arada değerlendirmeye olanak tanır ve özellikle zemin sınıfı belirlemede (NEHRP ve AFAD yönetmeliklerine göre) önemli bir kriter olarak kullanılmaktadır (Boore vd., 1993; Aydın, 2015).



### 3.4.8. Sökülebilirlik sınıflandırılması

Sökülebilirlik, zemini oluşturan jeolojik tabakaların kazı çalışmaları sırasında sökülüp atılabilirliğini ifade eder. Bu özellik, özellikle mühendislik ve inşaat projelerinde zemin hazırlığı aşamasında büyük önem taşır. Tabakaların fiziksel (yoğunluk, sertlik vb.) ve yapısal (çatlaklılık, ayrışma durumu, masiflik vb.) özellikleri, sökülebilirliği doğrudan etkiler. Genel olarak, sağlam ve masif yapıya sahip kayaçlar, ayrışmış, çatlaklı veya zayıf yapıli kayaçlara göre çok daha zor sökülebilir niteliktedir (Ercan, 2001; Keçeli, 1990; ASTM, 1978). Çizelge 3.10'da Sismik ve MASW yöntemle hesaplanan araç ile sökülebilirlik sınıflandırılması verilmiştir.

**Çizelge 3.10.** Sismik ve MASW yöntemleri hesaplanan sökülebilirlik sınıflandırılması (Bailey, 1975)

| P Dalga Hızı (m/sn) | Sökülebilirlik |
|---------------------|----------------|
| 305-610             | Çok Kolay      |
| 610-915             | Kolay          |
| 915-1525            | Orta           |
| 1525-2135           | Zor            |
| 2135-2440           | Çok Zor        |
| 2440-2743           | Son Derece Zor |

Zeminin sökülebilirliği, yer altındaki jeolojik birimlerin fiziksel ve yapısal özelliklerine bağlı olarak, makineyle veya patlayıcı kullanılarak kazılabilirliğini ifade eder. Sökülebilirlik değerlendirmelerinde, tabakaların ayrışma düzeyi, boşluklu yapıları, çatlak yoğunluğu ve sertlik dereceleri gibi birçok faktör etkili olur. Özellikle masif ve sağlam kayaçlar, ayrışmış veya kırıklı yapıya sahip birimlere göre daha zor sökülür. Bu bağlamda, sismik P dalga hızı ölçümleri, zeminin sökülebilirlik sınıflandırmasında yaygın olarak kullanılan jeofiziksel bir yöntemdir. Bailey (1975) tarafından geliştirilen sınıflandırmaya göre; 305–610 m/sn aralığında ölçülen P dalga hızları "çok kolay", 610–915 m/sn "kolay", 915–1525 m/sn "orta", 1525–2135 m/sn "zor", 2135–2440 m/sn "çok zor" ve 2440–2743 m/sn arası ise "son derece zor" sökülebilirlik kategorisine karşılık gelmektedir. Bu sınıflama, zeminlerin mühendislik kazı çalışmaları öncesinde uygun ekipman ve yöntem seçimi açısından önemli bir karar destek aracı işlevi görmektedir (Bailey, 1975).

### 3.4.9. Kalınlık (h)

Sismik tabaka kalınlığı, zemin içerisindeki farklı jeolojik birimlerin yatay ve düşey yönde dağılımını belirlemek amacıyla kullanılan önemli bir parametredir. Bu kalınlık, sahada her serim (atış) için bilgisayar destekli olarak çizilen zaman-uzaklık (T-X) diyagramlarında gözlemlenen kırılma eğrilerinin eğim değişim noktalarından yola çıkılarak hesaplanır. Özellikle, jeofonların atış noktasına olan uzaklıkları ile elde edilen zaman verileri doğrultusunda kırılma dalgalarının geçiş süreleri analiz edilerek, her tabakanın sismik hızına bağlı olarak derinlik hesaplamaları yapılır. Eğim değişiminin meydana geldiği noktalar, farklı tabakalar arasında sınır geçişini işaret eder ve bu geçişlere karşılık gelen derinlikler sismik tabaka kalınlığı olarak tanımlanır. Birimi metre olan bu ölçüm, mühendislik jeolojisi, zemin etüdü ve jeoteknik tasarım çalışmalarında temel bir veri olarak kullanılmaktadır (Erhan vd., 2015).

### 3.5. Şişme – Oturma ve Taşıma Gücü Analizleri ve Değerlendirme

Zeminlerin mühendislik özelliklerini belirlemede şişme, oturma ve taşıma gücü analizleri, geoteknik çalışmaların temel bileşenlerindendir. Şişme potansiyeli, özellikle killi zeminlerde su alımıyla birlikte hacimsel değişim gösteren zeminlerin mühendislik yapıları üzerindeki etkisini anlamada kullanılır. Bu özellik, zeminin mineralojik yapısı, nem oranı ve plastiklik özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Yüksek şişme potansiyeli gösteren zeminlerde yapısal hasar riski artmakta olup bu durum, temel tasarımı ve drenaj sistemlerinin planlanmasında dikkate alınmalıdır (Coduto, 2001).

Oturma analizleri ise, yapının inşası sonrasında zeminde meydana gelen düşey deformasyonları ifade eder. Konsolidasyon, kohezyonlu zeminlerde zamanla meydana gelen oturmaların başlıca nedenidir. Oturma miktarı, yapıya uygulanan yük, zemin tabakalarının sıkışabilirliği ve drenaj koşulları gibi parametrelere bağlı olarak değişkenlik gösterir (Das, 2015). Bu analizler, uzun vadeli performansın tahmin edilmesinde kritik rol oynamaktadır.

Taşıma gücü analizleri ise bir zeminin üzerine gelen yükleri taşıyabilme kapasitesini belirlemeye yönelik çalışmalardır. Zeminin taşıma gücünün altında yapılan yüklemeler güvenli kabul edilirken, sınır değerlerin aşılması durumunda zemin çökmesi ve yapısal stabilite kayıpları gözlemlenebilir. Terzaghi'nin taşıma gücü teorisi bu alanda en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir ve zemin özelliklerinin yanı sıra temel

geometrisi ve yer altı su seviyesi gibi faktörleri de içeren kapsamlı hesaplamalara dayanmaktadır (Terzaghi & Peck, 1967).

### 3.5.1. Zeminlerin şişme özellikleri

Şişme potansiyeli, zeminlerin içerdikleri kil minerallerinin türüne ve miktarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Özellikle montmorillonit gibi yüksek su tutma kapasitesine sahip kil minerallerinin varlığı, zeminin şişme davranışını önemli ölçüde artırmaktadır. Bu bağlamda, şişme derecesi genellikle zeminin likit limit değeri ile ilişkilendirilmekte olup, bu değer zeminin su alabilirliği ve plastik davranışları hakkında bilgi vermektedir. Çizelge 3.11’de, Chen (1975) ve Şekercioğlu (2002) tarafından geliştirilen ve zeminlerin muhtemel hacim değişikliklerini sınıflandıran bir sistem gösterilmiştir.

**Çizelge 3.11.** Şişen killerde muhtemel hacim değişiklikleri (Chen, 1975; Şekercioğlu, 2002)

| Laboratuvar ve arazi verileri |               |                  | Şişme yüzdesi | Şişme basıncı (KN/m <sup>2</sup> ) | Şişme derecesi |
|-------------------------------|---------------|------------------|---------------|------------------------------------|----------------|
| 200 no’lu elekten geçen       | Likit limit % | SPT darbe sayısı |               |                                    |                |
| >95                           | >60           | >30              | >10           | >1000                              | Çok yüksek     |
| 60-95                         | 40-60         | 20-30            | 5-10          | 250-1000                           | Yüksek         |
| 30-60                         | 30-40         | 10-20            | 1-5           | 150-250                            | Orta           |
| <30                           | <30           | <10              | <1            | <150                               | Düşük          |

### 3.5.2. Zeminlerin oturma özellikleri

Zeminde meydana gelen oturmalar, özellikle farklı oturma durumları, inşa edilen yapıların taşıyıcı sistemleri üzerinde ciddi deformasyonlara ve yapısal hasarlara neden olabilmektedir. Bu durum, inşaat faaliyetlerinin gerçekleştirileceği sahalarda, zemin oturma mekanizmalarının ayrıntılı biçimde analiz edilmesini zorunlu kılmaktadır. Suyu doygun killi zeminler, üzerine uygulanan dış yükler karşısında bünyelerinde barındırdıkları suyun bir kısmını zamanla boşaltarak hacim kaybına uğrar ve bu durum konsolidasyon oturması olarak tanımlanır (Bowles, 1988).

Bitlis Merkez İlçesi sınırları içerisinde yer alan Nemrut Volkaniti (Qn) formasyonu içerisinde yapılan iki adet konsolidasyon deneyi neticesinde, şişmeye eğilimli killi zeminlerde önemli seviyede oturma potansiyeli belirlenmiştir. Deneylerden

elde edilen parametreler kullanılarak, zeminin toplam oturma miktarı Bowles (1988) tarafından önerilen Denklem (3.11) ile hesaplanır.

$$\Delta H = m_v \times \Delta \rho \times H \quad (3.11)$$

Burada;

$\Delta H$ : Toplam oturma miktarı (m),

$m_v$ : Hacimsel sıkışma katsayısı ( $m^2/kN$ ),

$\Delta \rho$ : Zemin tabakasındaki ortalama gerilme artışı ( $kN/m^2$ ),

$H$ : Sıkışabilir tabaka kalınlığıdır (m)

### 3.5.3. Zeminlerin taşıma gücü hesabı

Zeminlerin taşıma gücü, bir temelin altındaki zemin tarafından taşınabilecek maksimum yük kapasitesini ifade eder ve temel-zemin etkileşiminin en kritik mühendislik parametrelerinden biridir. Taşıma gücü, zemin kayması veya göçmesi gibi yapı güvenliğini etkileyebilecek durumların önlenmesi açısından son derece önemlidir. Bu kavram, temelin oturduğu zeminin dayanım özelliklerine bağlı olarak, temelin genişliğinin yaklaşık iki katı derinliğe kadar olan bölgedeki zemin davranışını temsil eder (Das, 2015).

Zemin taşıma gücü hesaplamaları, çoğunlukla laboratuvar deney sonuçlarına dayalı olarak yapılmaktadır. Özellikle kohezyonlu zeminler için bu hesaplamalarda, Terzaghi tarafından geliştirilen klasik taşıma gücü formülü sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında da taşıma gücü analizleri Terzaghi'nin (1943) teorik yaklaşımı esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan temel parametreler şunlardır: temel tipi şerit temel, temel derinliği yerinde belirlenen UD (Uygulama Derinliği) değerlerine eşit, temel genişliği ise 1,0 m olarak alınmıştır. Terzaghi (1943) teorik yaklaşımında taşıma gücü Denklem (3.12) ile hesaplanır.

$$q_u = k_1 \times c \times N_c + \gamma \times L \times N_q + k_2 \times \gamma \times B \times N_\gamma \quad (3.12)$$

Burada;

$q_u$ : Nihai taşıma gücü (kPa)

$c$ : Zemin kohezyonu (kPa)

$\gamma$ : Zeminin doğal birim hacim ağırlığı (kN/m<sup>3</sup>)

$L$ : Temel derinliği (m)

$B$ : Temel genişliği (m)

$N_c, N_q, N_\gamma$ : Terzaghi taşıma kapasitesi katsayıları

$k_1$  ve  $k_2$ : Temel tipine göre değişen katsayılar olup şerit temel için sırasıyla 1,0 ve 0,5 olarak alınmıştır.

Bu hesaplama yöntemi, geoteknik mühendisliğinde zemin taşıma gücünün tahmininde halen yaygın biçimde kullanılmakta olup, hem güvenli hem de mühendislik açısından pratik bir yaklaşım sunmaktadır.

#### 3.5.4. Kayada taşıma gücü hesabı

İnceleme alanında gerçekleştirilen sondaj çalışmaları sırasında ulaşılan kaya birimlerinden alınan karot örnekleri üzerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, özellikle nokta yük deneyi (Point Load Test) ve tek eksenli basınç deneyi (Uniaxial Compressive Strength Test) uygulanarak kaya birimlerinin mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, kayaçların taşıma gücü hesaplamalarında kullanılan ampirik bağıntılar esas alınmıştır (Bowles, 1988).

Bu çalışmada, Bowles (1988) tarafından önerilen aşağıdaki bağıntı kullanılarak kaya birimlerinin nihai taşıma gücü ( $q_{ult}$ ) Denklem (3.13) ile ifade edilir.

$$q_{ult} = C \times I_s \quad (3.13)$$

Burada:

$q_{ult}$ : Nihai taşıma gücü (kg/cm<sup>2</sup>),

$I_s$ : Nokta yük dayanımı indeksi,

$C$ : Deneysel katsayıdır.

Tasarım aşamasında güvenlik faktörünün de dikkate alınması gereklidir. Bu kapsamda, taşıma gücünün güvenli hale getirilmesi için nihai taşıma gücü, genellikle güvenlik katsayısı olarak kabul edilen 10 sayısına bölünerek, taşıma gücüne esas alınacak tasarım taşıma gücü ( $q_{dizany}$ ) değeri Denklem (3.14) ile ifade edilir.

$$q_{dizany} = \frac{q_{ult}}{10} \quad (3.14)$$

Kayaya oturan temellerin tasarımında, kaya kalitesinin heterojenliği, ayrışma derecesi ve süreksizlik yüzeylerinin yönelimi gibi faktörler de dikkate alınmalı; gerektiğinde detaylı jeoteknik değerlendirmeler ve ileri düzey laboratuvar analizleri ile değerlendirme desteklenmelidir.



#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, Bitlis Merkez İlçesi'nin jeolojik ve jeoteknik özelliklerini incelemek amacıyla, sahada yerinde (in-situ) uygulanan arazi testleri laboratuvar deneyleri ile birlikte değerlendirilerek sunulmuştur. Arazi çalışmaları kapsamında; jeoteknik amaçlı 13 lokasyonda toplam derinliği 93 metre temel sondaj kuyuları açılmış, 13 profilde Sismik Kırılma ve MASW (Multi Channel Analysis of Surface Waves) analiz yöntemi, 13 noktada mikrotremor ölçüm çalışmaları yapılmıştır.

Saha ve laboratuvar uygulamaları, bölgenin yerleşime uygunluk analizlerini yapmak ve zemin özelliklerini bilimsel temelde değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanında yapılan uygulamalar; arazi gözlemleri, sondaj çalışmaları, sismik kırılma ölçümleri ve mikrotremor analizlerini kapsamaktadır. Bu teknik çalışmalar ile elde edilen veriler, bölgenin yapılaşma potansiyelini jeoteknik açıdan değerlendirmek amacıyla yorumlanmıştır.

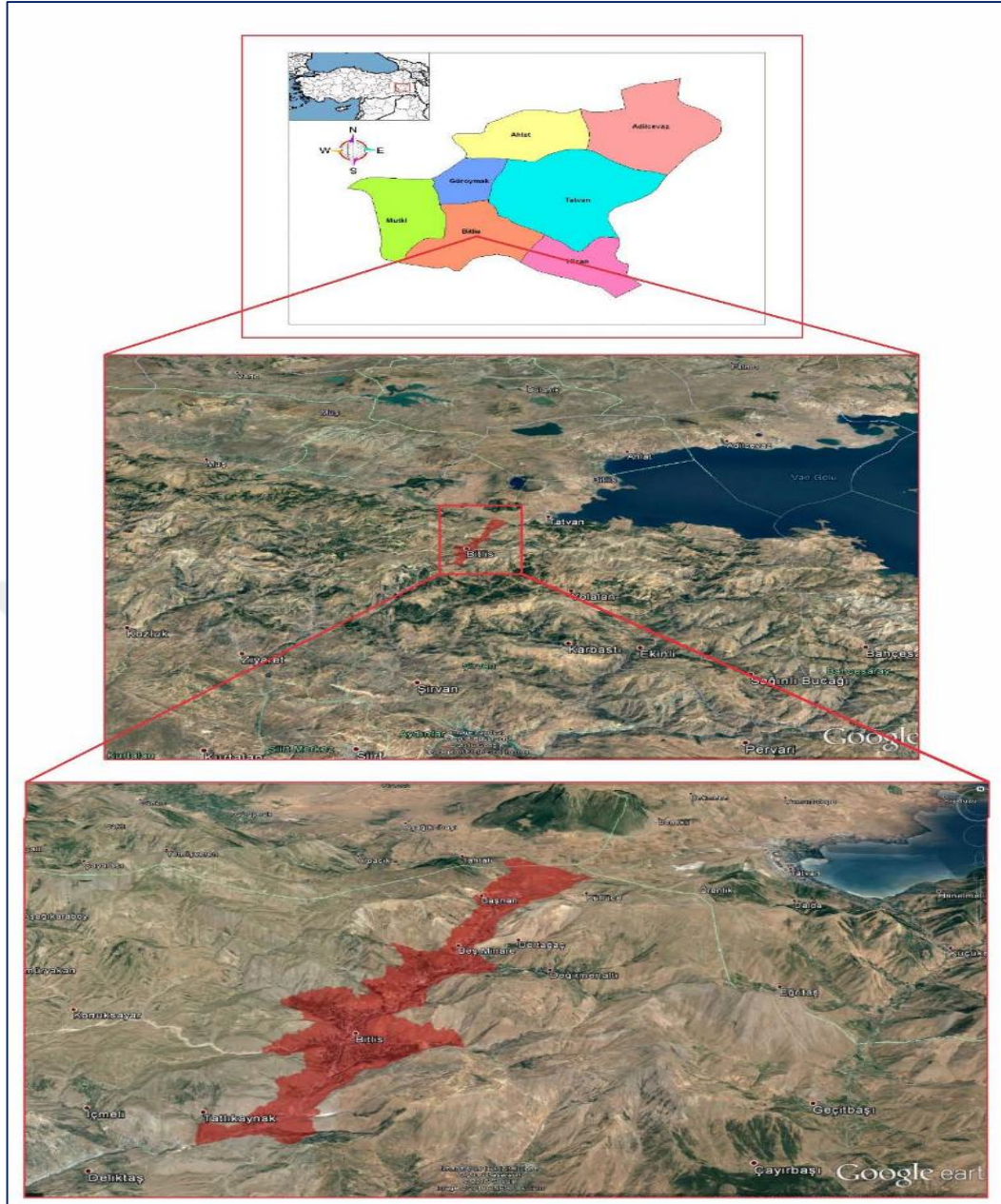
Bu kapsamda; zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik saha uygulamaları, laboratuvar deneyleri ve büro çalışmaları bütünleşik biçimde yürütülmüş; elde edilen veriler üzerinden yerleşime uygunluk sınıflandırması yapılmıştır. Özellikle aktif fay hatlarının varlığı, zemin taşıma kapasitesi, yeraltı su seviyesi ve tabakalaşma bilgileri, bu süreçte detaylı şekilde analiz edilmiştir.

##### 4.1. Çalışma Alanının Tanıtımı

Bitlis Merkez İlçesi, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Bitlis ilinin idari ve coğrafi merkezinde yer almaktadır. İlçe, 38°08'–38°31' kuzey enlemleri ile 41°33' – 43°11' doğu boylamları arasında konumlanmakta olup, doğusunda Güroymak ve Mutki, batısında Tatvan, kuzeyinde Ahlat ve güneyinde Hizan ilçeleri ile çevrilidir (Gür ve ark., 2012, TÜİK, 2023). Bölge, Güneydoğu Toros Dağları'nın uzantıları üzerine kurulmuş dağlık bir alanda yer almakta olup, bu topoğrafya hem ulaşım hem de yerleşim üzerinde belirleyici bir etkidir. İlçenin kuzeyinde yer alan Nemrut Dağı ve doğusundaki Ziyaret Tepesi, bölgenin morfolojik karakterini şekillendiren başlıca yükseltiler arasındadır. Bitlis'in jeopolitik konumu, ilin kentsel gelişimi ve çevresel risklerin yönetimi açısından

da büyük bir sorumluluk yüklemektedir. Şehrin dağlık bir coğrafyada konumlanmış olması, hem doğal afet riski hem de ulaşım zorluklarını beraberinde getirmektedir. Bu durum, bölgenin jeoteknik özelliklerinin detaylı bir şekilde anlaşılmasını ve yerleşim alanlarının güvenli bir biçimde planlanmasını gerektirir. Tarih boyunca ticaret yollarının kesişim noktasında yer alan Bitlis, coğrafi yapısının getirdiği zorluklara rağmen sahip olduğu stratejik önemi korumayı başarmıştır (Işık ve ark., 2012). İpek Yolu'nun üzerinde bulunması, Bitlis'in jeoteknik incelemeler açısından önemini artırmaktadır. Bu çalışma, Bitlis Merkez İlçesi'nin jeolojik ve jeoteknik özelliklerini inceleyerek, bu özelliklerin yerleşim alanları üzerindeki etkilerini ortaya koymayı amaçlamakta; aynı zamanda ilin sahip olduğu stratejik önemin-gelecek nesiller için sürdürülebilir kentsel gelişim ile korunmasını hedeflemektedir. Şekil 4.1'de inceleme alanına ait yer bulduru haritası verilmiştir.





Şekil 4.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

#### 4.2. Bitlis İlinin Topografyası ve Jeomorfolojik Özellikleri

Güneydoğu Anadolu'nun düzlükleri, Doğu Anadolu'nun yüksek yaylalarından ayrılarak bir yay şeklini alır ve bu alan, Doğu Toros Dağları'nın bir bölümünü oluşturur. Bu dağlık alan, bölgenin jeolojik yapısından kaynaklanan coğrafi özelliklere sahiptir. Orta Miyosen döneminde meydana gelen tektonik hareketler, bu coğrafi dizilimleri belirgin hale getirmiştir. Doğu Anadolu'nun yüksek arazileri ve Güneydoğu'nun düzlükleri arasındaki bu farklılaşma, bölgenin jeomorfolojik yapısının oluşumunda

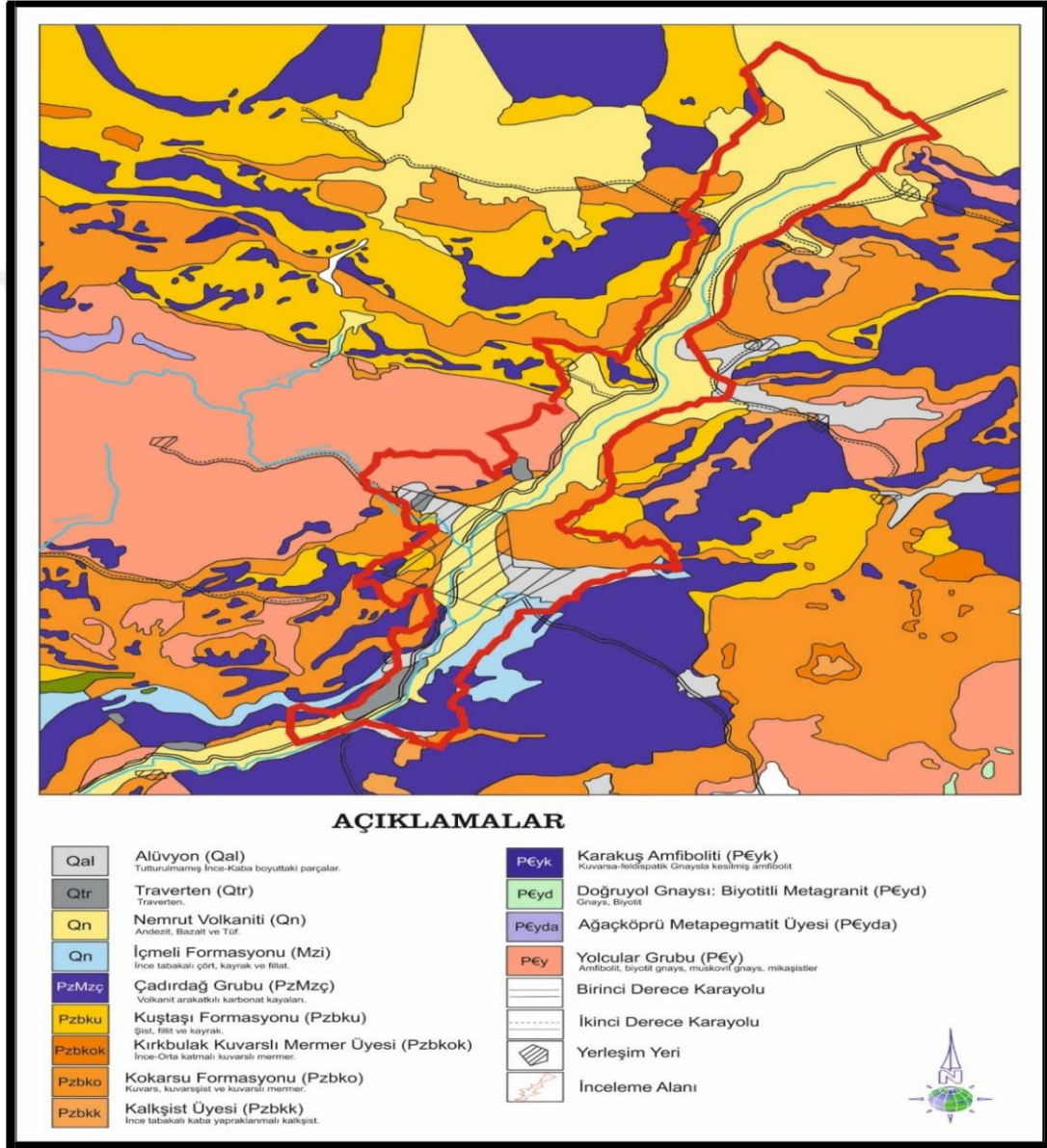
önemli bir rol oynamıştır (Gür vd., 2012). Bitlis-Hakkari Torosları olarak adlandırılan bu bölge, Güneydoğu Anadolu düzlüklerinin yavaşça yükselerek Toros Dağları'nın kenar kuşağına geçiş yaptığı bir alandır. Bu geçiş kuşağı, ani bir yükselme ile "cephe bindirimi" olarak bilinen bölgeyi oluşturur. Bu alanda, Bitlis Metamorfik kuşağı yer alır. Metamorfik kuşağın hemen kuzeyinde ise geniş bir açılım ile Muş havzası yer almaktadır. Bu alan, bölgenin jeolojik tarihini yansıtan önemli topografik unsurlara sahiptir (Gür vd., 2012). Bu kuşaklar, bölgenin tektonik yapısına uygun olarak Doğu-Batı yönünde uzanan ana topografya unsurlarını oluşturur. Bölgede bulunan akarsuların akaçlama sistemi genellikle iki ana yön gösterir: bunlardan biri baskın olarak kuzey-güney doğrultusunda, diğeri ise daha az yaygın olarak doğu-batı yönündedir. Bu farklı yönelimler, bölgenin su kaynaklarının dağılımını ve topoğrafyasını şekillendirir. Akaçlama sisteminin bu yapısı, bölgedeki yeraltı ve yüzey sularının kontrol altına alınmasını sağlayarak, zemin suyu seviyesinin dengelenmesi, su baskınlarının önlenmesi ve yapı temellerinin su kaynaklı zarar görmesinin engellenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir (Gür vd., 2012).

Bitlis Metamorfik kuşağının 2000 metreyi aşan kuzey kesimlerinde, oldukça bozuk ve yayvan bir morfolojik yapı gözlemlenir. Bu kuşağın güneyinde ise, kristalize kireç taşlarından oluşan ve aşınmaya karşı dirençli yüksek tepeler yer alır. Bu tepeler, dolinlerle kaplı olup, hafifçe güneye doğru eğimlidir. Bu alan, bölgenin morfolojik çeşitliliğini yansıtan önemli bir bölgedir ve topoğrafik olarak diğer alanlardan farklılık gösterir (Gür vd., 2012). Bitlis Metamorfik kuşağında ana akaçlama sistemi, kuzey-güney doğrultusunda yer alır ve su ayırımı çizgisi Muş havzasına yakın bir yerden geçmektedir. Bu metamorfik kuşağın kuzeyinde, batı-kuzeybatı ve doğu-güneydoğu yönlü bir basamak ile Muş havzasına doğru alçalma gözlenir. Bu yapı, bölgedeki su akışının yönünü ve topografik özellikleri belirleyen önemli bir faktördür. Bu bölge, hem jeolojik hem de jeomorfolojik açıdan dikkate değer bir yapıya sahiptir (Gür vd., 2012).

#### **4.3. Çalışma Sahasının Jeolojik Özellikleri**

Bitlis Merkez İlçesi, Türkiye'nin güneydoğusunda yer alan ve jeolojik olarak son derece karmaşık bir yapı sergileyen bir bölgedir. Bu bölge, Bitlis Metamorfik Kuşağı'nın bir parçası olarak kabul edilmektedir. Bitlis Metamorfik Kuşağı, geniş bir alana yayılmış metamorfik, magmatik ve sedimanter kayaçların bir araya geldiği bir kuşaktır. Metamorfik kayaçlar, bölgenin temel yapı taşlarını oluştururken, magmatik ve sedimanter kayaçlar ise bölgenin jeolojik çeşitliliğini artırmaktadır. Metamorfizma sonucu oluşmuş

bu kayaçlar, bölgenin geçmiş jeolojik süreçlerinin izlerini taşır ve yer yüzeyinin şekillenmesinde önemli bir rol oynar. Bölgenin jeolojik yapısı, bu kayaçların farklı yaş ve özelliklere sahip olmasından kaynaklanan bir çeşitlilik gösterir, bu da bölgedeki jeoteknik analizlerin kapsamlı bir şekilde yapılmasını gerektirir (Boray, 1976). Bitlis ili ve yakın çevresinin jeoloji haritası Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası (MTA, 2002)

#### 4.3.1. Stratigrafi

Bitlis Merkez İlçesi'ndeki stratigrafik katmanlar, bölgenin jeoteknik özelliklerini anlamak için kritik bir öneme sahiptir. Her bir katman, farklı jeolojik dönemlerde oluşmuş

olup, bu katmanların analizi bölgedeki jeoteknik sorunların belirlenmesi ve çözülmesi için önemlidir. Stratigrafik katmanların detaylı analizi, bölgenin inşaat projelerinde ve altyapı çalışmalarında dikkate alınması gereken temel faktörlerden biridir. Bu katmanların özellikleri, zemin stabilitesini etkileyen çeşitli parametreleri belirlemede yardımcı olur ve potansiyel jeoteknik sorunların önceden tespit edilmesini sağlar. Bu nedenle, stratigrafik katmanların kapsamlı bir şekilde incelenmesi, güvenli ve sürdürülebilir inşaat uygulamaları için gerekmektedir (Namlı, 2018).

İnceleme alanının jeolojik yapısı ve Stratigrafisi, literatür taramaları ve saha çalışmaları sonucunda belirlenen yedi formasyondan oluşmaktadır. Bu formasyonlar sırasıyla;

- Traverten (Qtr)
- Nemrut Volkaniti (Qn)
- İçmeli Formasyonu (Mzi)
- Çadırdag Grubu (Pzmzç)
- Kuştaşı Formasyonu (Pzbku)
- Kokarsu Formasyonu (Pzbko)
- Yolcular Grubu (Pey)

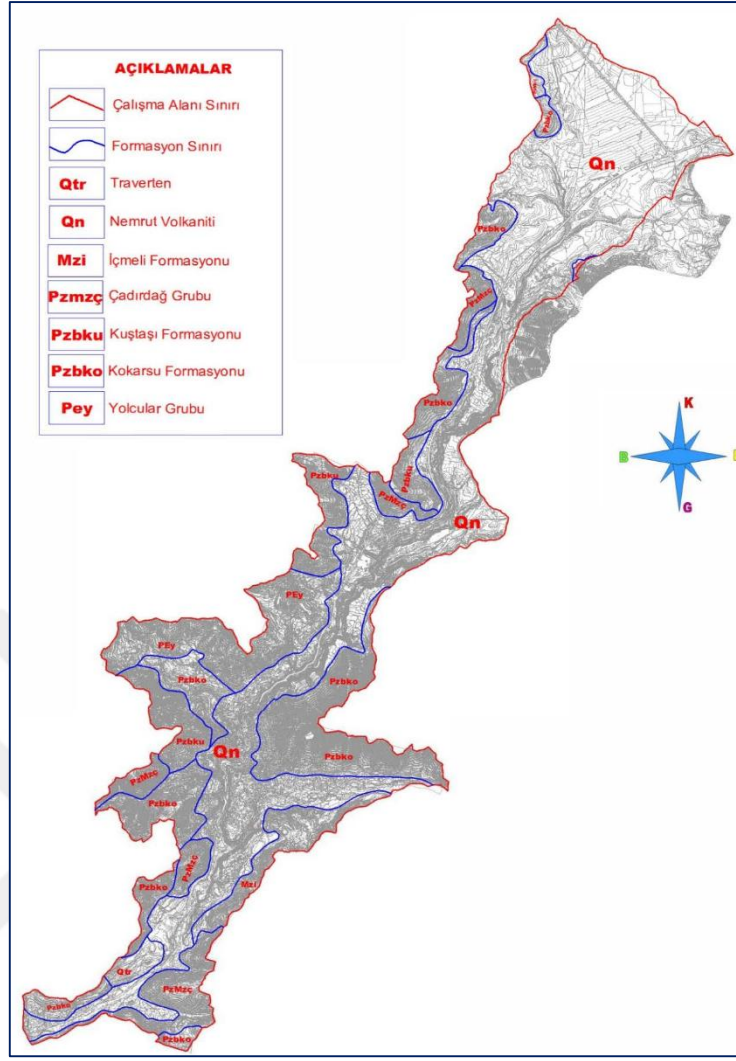
İnceleme alanı, çok çeşitli jeolojik birimlerin bir araya geldiği bir yapıya sahiptir ve bu durum alanın jeolojik evrimi hakkında önemli ipuçları sunmaktadır. Alanın jeolojik yapısı, geçmiş dönemlerdeki aktif tektonik süreçler ve volkanik faaliyetlerin etkisiyle şekillenmiştir. Her bir formasyonun kendine özgü litolojik özellikleri, bölgenin jeolojik geçmişinin farklı evrelerine işaret etmektedir. İnceleme alanı ve yakın civarındaki formasyonlar yaşlıdan gence doğru Şekil 4.3’de verilmiştir.



| SİSTEM       | SERİ        | KAT      | AS KAT | FORMASYON | SİMGE                                                                                          | LİTOLOJİ                                                                           | AÇIKLAMALAR                                                                     |
|--------------|-------------|----------|--------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| SENOZOYİK    | KUVATERNER  |          |        |           |                                                                                                | Qal                                                                                | <b>Qal</b> ; Alüvyon<br>Tutturulmamış İnce-Kaba boyutundaki parçalar<br>GEÇİŞLİ |
|              |             |          |        |           |                                                                                                | Qtr                                                                                | <b>Qtr</b> ; Traverten<br>UYUMSUZLUK                                            |
|              |             |          |        |           |                                                                                                | Qn                                                                                 | <b>Qn</b> ; Nemrut Volkaniti<br>Andezit, Bazalt ve Tüf.<br>UYUMSUZLUK           |
| MESOZOYİK    | KRATESE     | Üst      |        | Mzi       | <b>Mzi</b> ; İçmeli Formasyonu<br>İnce tabakalı çört, kayrak ve fillat.<br>UYUMSUZLUK          |                                                                                    |                                                                                 |
|              |             | JURA     |        | PzMzç     | <b>PzMzç</b> ; Çadırdag Grubu<br>Volkanit arakatlı karbonat kayaları<br>UYUMSUZLUK             |                                                                                    |                                                                                 |
|              |             | TRİYAS   |        |           |                                                                                                |                                                                                    |                                                                                 |
|              |             | PERMİYEN |        | Üst       | Pzbku                                                                                          | <b>Pzbku</b> ; Kuştaşı Formasyonu<br>Şist, fillit ve kayrak<br>UYUMSUZLUK          |                                                                                 |
| PALEOZOYİK   | PREPERMİYEN |          |        | Pzbko     | <b>Pzbko</b> ; Kokarsu Formasyonu<br>Kuvars, kuvarsışist ve kuvarslı mermer<br>GEÇİŞLİ         |                                                                                    |                                                                                 |
|              |             |          |        | Pzbbk     | <b>Pzbbk</b> ; Kalkışist Üyesi<br>İnce tabakalı, kaba yapraklanmalı kalkışist<br>UYUMSUZLUK    |                                                                                    |                                                                                 |
|              | DEVONİYEN   |          |        | Pzbyk     | <b>Pzbyk</b> ; Karakuş Amfiboliti<br>Kuvarsa-feldispatik Gnaysla kesilmiş amfibolit<br>GEÇİŞLİ |                                                                                    |                                                                                 |
|              |             |          |        | Pzbyd     | <b>Pzbyd</b> ; Doğruyol Gnaysı<br>Gnays, Biyolit<br>GEÇİŞLİ                                    |                                                                                    |                                                                                 |
| PREKAMBRIYEN |             |          |        |           | Pzby                                                                                           | <b>Pzby</b> ; Yolcular Grubu<br>Amfibol, biyolit gnays, muskovit gnays, micasitler |                                                                                 |
|              |             |          |        |           | Pzbyda                                                                                         | <b>Pzbyda</b> ; Ağaçköprü Metapegmatit Üyesi                                       |                                                                                 |

**Şekil 4.3.** İnceleme alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Demirtaşlı ve Pisoni 1965)

Bu formasyonların dağılımı ve yapısal ilişkileri, inceleme alanının jeolojik haritasında net bir şekilde görülebilir. Traverten oluşumları, eski fay hatları ve sıcak su kaynaklarına bağlı olarak oluşurken; Nemrut Volkaniti, Pliyo-Kuvaterner dönemde meydana gelen volkanik aktivitelerin bir ürünüdür. Diğer formasyonlar ise, metamorfik ve tortul kayalar olarak bölgedeki uzun jeolojik süreçlerin ve tektonik olayların izlerini taşır. Şekil 4.4'de sunulan ölçeşiz jeoloji ve lokasyon haritası, bu formasyonların inceleme alanındaki dağılımını görselleştirmektedir.



Şekil 4.4. İnceleme alanının ölçeksiz jeoloji ve lokasyon haritası (MTA, 2024)

#### 4.3.1.1. Yolcular grubu (Pey)

İnceleme alanında, Bitlis merkez yerleşim alanının kuzeybatı yamaçlarında görülen Yolcular Grubu, jeolojik yapısında amfibol bakımından zengin mikaşistleri barındırır. Bu kayalar, kirli beyazdan kırmızı kahverengiye ve yeşilimsi siyaha kadar geniş bir renk yelpazesine sahiptir ve mikaşistlerin mineral bileşimi bu renk değişikliklerine yol açar. İnceleme alanında açılan sondaj kuyularında, yüzeye yakın kesimlerde kalınlığı 1-2 metreyi bulan ayrılmış katmanlar bulunurken, daha alt seviyelerde ise kırıklı ve ince tabakalı mikaşist birimler gözlenmiştir. Bu birimlerin ayrılmış kesimlerinin kalınlığı, yüzeydeki çevresel etkenlerin kayalara etkisini göstermektedir. Daha derinlerde ise kayaların kırık ve çatlaklarla dolu yapısı, tektonik hareketlerin ve jeolojik süreçlerin bu kayalarda yarattığı deformasyonları işaret eder. Yolcular Grubu'nun bu özellikleri, Bitlis

bölgesinin jeoteknik ve jeolojik yapısının anlaşılmasında önemli veriler sunar ve bölgenin genel jeolojik gelişiminin izlerini taşır.

#### **4.3.1.2. Kokarsu formasyonu (Pzbko)**

İnceleme alanındaki en yaygın birim olan Kokarsu Formasyonu, temel olarak kuvars, kuvarşist, şistli kuvarsit ve kuvarslı mermer gibi kayalardan oluşmaktadır. Bu formasyon, kalın tabakalar halinde sıralanmakta olup, alanda geniş bir dağılım göstermektedir. Kokarsu Formasyonu içinde özellikle geçiş birimlerinde şist, fillit ve kayrak kayalar öne çıkarken, kuzeydoğu ve daha doğudaki alanlarda bu geçişler kalkışist veya kalkışist-klorit şistlerin metakarbonatlarla ardalanmasıyla kendini göstermektedir. Şekil 4.5’de Kokarsu formasyonundan bir görünüm gösterilmiştir.



**Şekil 4.5.** Kokarsu formasyonundan görünüm

Alanın büyük bir bölümünde hâkim kayaç türü kuvarsit olarak gözlenmiştir. Kuvarşistin yoğunlukla görüldüğü üst seviyelerde yaklaşık 1 metre kalınlığında altere tabakalar geçilmektedir. Bu altere seviyeler, yüzey etkileriyle zayıflamış ve mineral yapısında değişikliklere uğramış bölümleri işaret eder. Kokarsu Formasyonu’nun bu bileşenleri, inceleme alanının jeolojik yapısının ve bölgenin geçmiş tektonik süreçlerinin anlaşılmasında değerli bilgiler sunmaktadır.

#### **4.3.1.3. Kuştaşı formasyonu (Pzbku)**

İnceleme alanı ve çevresinde, Kuştaşı Formasyonu, Kokarsu Formasyonu ile hem yatay hem de dikey yönde karmaşık geçişler yaparak bulunmaktadır. Bu formasyon, şist, fillit ve kayraklardan oluşmakta olup, yapısında bol miktarda klorit ve demir oksit

içermektedir. Bu minerallerin varlığı, birimin çoğunlukla yeşil, kahverengi ve gri renklere bürünmesine neden olurken, taze yüzeylerde yeşil renk baskındır.

Kuştaşı Formasyonu'nda görülen yapraklanma, kuvars içeriğine bağlı olarak değişken olup çok ince yapıda olma eğilimindedir. Özellikle inceleme alanının orta kesimlerinde yer yer izlenen bu birimin hakim kaya türünün şist olduğu gözlenmiştir. Üst seviyelerinde ise yaklaşık 1-2 metre kalınlığa ulaşan ve yer yer değişiklik gösteren altere tabakalar dikkat çekmektedir. Bu altere seviyeler, yüzey koşulları ve çevresel etmenlerin etkisiyle zayıflamış olan bölgelerdir ve bölgenin jeolojik yapısının detaylandırılmasında önemli ipuçları sunmaktadır.

#### **4.3.1.4. Çadırdag grubu (PzMzç)**

İnceleme alanında, özellikle Tatvan yolu çevresindeki yamaçlarda yer alan Çadırdag Grubu, tepe noktalarda gözlenen kırıklı ve çatlaklı kireçtaşı birimleriyle dikkat çeker. Bu kireçtaşı birimlerinin kırık yapıları, formasyonun tektonik süreçlerden etkilenmiş olduğunu göstermekte ve bölgenin jeoteknik özelliklerine ışık tutmaktadır. Kireçtaşının bu yapısı, suyun ve diğer dış etkilerin iç kısımlara sızmasına olanak tanıyarak yer yer ayrışmaya yol açar. Bu birimin üst kesimlerinde, alterasyonun yoğun olduğu alanlar gözlemlenmiş olup, ayrışmanın etkisiyle zayıflamış kayalar dikkat çekmektedir. Özellikle, bu kesimlerde çakıllı kumdan oluşan yaklaşık 2 metre kalınlığındaki rezidüel tabakalar bulunur. Bu tabakalar, yüzeydeki erozyon ve ayrışma süreçleri sonucunda ortaya çıkan kalıntı birikimler olarak bölgenin jeolojik yapısının gelişiminde önemli bir role sahiptir.

#### **4.3.1.5. İçmeli formasyonu (Mzi)**

İnceleme alanının güneydoğu kesimlerinde yer alan İçmeli Formasyonu, yapraklanmış spilit, ince tabakalı çört, kayrak ve fillitlerden meydana gelmektedir. Bu birim, özellikle yeşil ve koyu boz renkteki çört ve kayrak katmanlarıyla dikkat çekmekte olup, formasyonun bu renk özellikleri mineral bileşenlerinden kaynaklanmaktadır. Alanın genel yapısına uyumlu olarak, çört ve kayraklar ince tabakalar halinde, sağlam ve masif bir görünüm sergilemektedir.

İçmeli Formasyonu'nun yer aldığı güneydoğu bölgesi, jeoteknik açıdan önemli bir özellik taşır; yapısındaki dayanıklı kayraklar ve çört tabakaları, bölgenin yerel



dayanımını artırmakta ve yüzey erozyonuna karşı daha dirençli kılmaktadır. Tabakalı yapısı, kayaların üst üste birikmesi ve zamanla dayanıklılık kazanması sonucu meydana gelmiş olup, stratigrafik olarak sağlam bir görünüm sunmaktadır.

#### **4.3.1.6. Nemrut volkaniti (Qn)**

İnceleme alanında yaygın olarak karşılaşılan ve vadi boyunca devam eden Nemrut Volkaniti, genellikle andezit-bazalt bileşimindeki lav, kaynamış tüf ve pomza bileşenlerinden oluşan Pliyo-Kuvaterner yaşlı kayalardan meydana gelmektedir. Çalışma alanının kuzeyindeki çukur alanları dolduran bu volkanik birim, kalın tabakalı bir yapıya sahip olup, belirgin akma yapıları sergilemektedir. Şevlerde ve yarma kesitlerinde görülen sütun bazalt oluşumları, birimin yapısal özelliklerini ortaya koymaktadır. Tatvan yolu ve Bitlis merkezi boyunca yapılan sondaj çalışmalarında, birim genellikle ignimbirit türü kayalarla temsil edilirken, bazı kesimlerde bazalt oluşumları da gözlenmiştir. Nemrut Volkaniti'nin üst seviyelerinde kalınlığı 1-4 metre arasında değişen altere, rezidüel seviyeler görülmektedir. Bu üst seviyelerdeki altere zonları, kayaların yüzey etkilerine maruz kalarak geçirdiği değişim süreçlerini göstermektedir.

Bazalt tabakaları kırık ve çatlaklı yapılarıyla dikkat çekerken, özellikle sütun bazalt oluşumlarıyla karakterize edilir. Bu sütun yapıları, hem birimin dayanıklılığını artırmakta hem de bölgenin jeolojik çeşitliliğine katkıda bulunmaktadır.

#### **4.3.1.7. Traverten (Qtr)**

İnceleme alanında yer yer gözlemlenen traverten oluşumları, genellikle yüzeyde sıg kalınlıklarda bulunmaktadır. Bu traverten birimi, düşük dayanımı ile dikkat çeker ve kirli beyaz ile kahverengi tonları arasında değişen bir renge sahiptir. Bulunduğu alanlarda kırık ve çatlaklı yapısı nedeniyle bütünlükten uzaktır ve dayanıklılığı sınırlıdır.

Birim, yüzey etkilerine maruz kaldığından dolayı zamanla kırılgan hale gelmiştir. Bu kırık ve çatlaklı yapı, travertenin uzun süreli mekanik dayanımını düşürmekte ve yerel yapılarda güçlendirme gerekliliğini gündeme getirmektedir. İnceleme alanının sınırlı bölgelerinde görülen bu travertenler, yeraltı su hareketlerinin yüzeye çıkması sonucu oluşmuş mineral birikimlerini temsil eder.

Travertenin mevcut durumu, yüzey süreçlerine ve bölgedeki jeoteknik özelliklere işaret ederek, özellikle yüzey sularının etkisiyle şekillenen doğal bir süreci ortaya koymaktadır.

#### **4.4. Bitlis İlinin Tektonik Yapısı**

Bitlis ili, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Arap ve Anadolu levhalarının çarpışma kuşağında yer alan, yüksek sismik aktiviteye sahip bir bölgedir. Bu çarpışma, Bitlis Bindirme Zonu boyunca yoğun deformasyonlara yol açmakta, kıtasal kabuğun kalınlaşması ve kısalması ile bölgenin jeolojik yapısını doğrudan etkilemektedir (Şentürk, 2018). Bölgedeki tektonik yapı, sadece tarihsel depremlerle değil, güncel sismik aktivite ile de dikkat çekmektedir. Depremler genellikle kabuğun üst katmanlarında meydana gelmekte ve yüzeyde ciddi hasara neden olabilmektedir (Gümbür ve Küçükönder, 2023). Özellikle Van Gölü çevresi ve Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca yapılaşma, detaylı jeoteknik etütler ve (TBDY, 2018) dikkate alınarak yapılmalıdır (Koçyiğit, 1983).

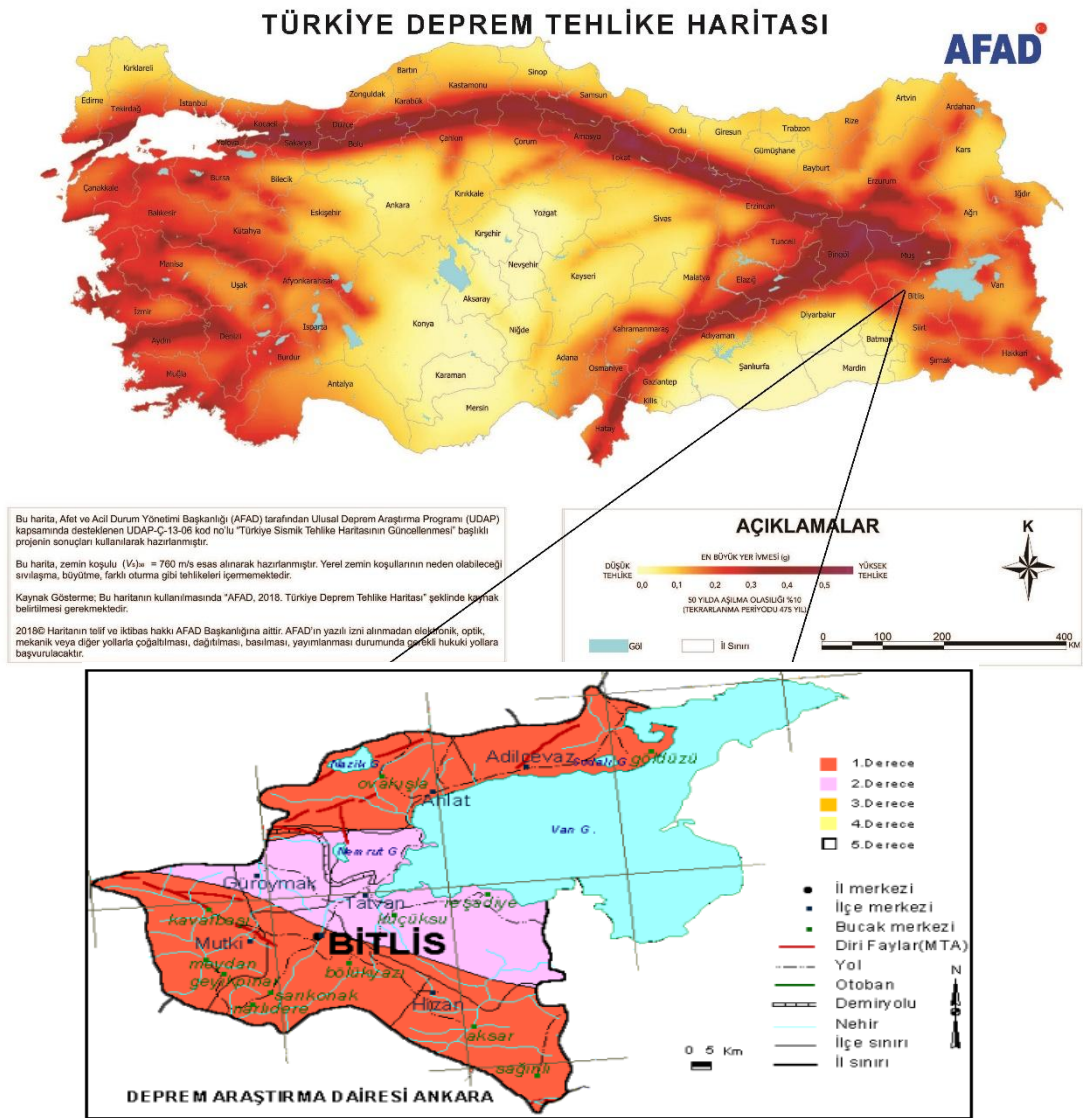
Bitlis, Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF) ile ilişkili olarak Karlıova Üçlü Birleşim Noktası'nın doğusunda yer almakta ve bu yapıların oluşturduğu karmaşık fay ağının etkisi altındadır. Özellikle Van Gölü çevresi, Arap levhasının Avrasya levhası ile çarpışması sonucu yüksek tektonik stres altında kalmakta ve bu da bölgeyi deprem riski açısından kritik hâle getirmektedir. 23 Ekim 2011 Van depremi de bu stres birikiminin bir sonucu olarak değerlendirilmiştir (Işık vd., 2012).

Bitlis Bindirme Zonu, yalnızca Türkiye ile sınırlı kalmayıp, Zağros Dağları'na kadar uzanan kıtasal çarpışma zonunun bir parçasıdır ve doğusunda kuzey-güney yönlü sıkışma tektoniği ile karakterizedir (Işık vd., 2012). Bu yapı, bölgedeki aktif tektonik deformasyonların ana nedenidir. Bitlis Masifi ise bölgenin jeolojik evriminde özel bir konuma sahiptir. Prekambriyen kökenli bu masif, Arap levhasının kuzeye hareketiyle Avrasya levhasına çarpması sonucunda oluşan yüksek basınç ve sıcaklık koşullarıyla şekillenmiş olup, gnays, amfibolit ve mermer gibi yüksek derecede metamorfik kayalardan oluşur (Erdoğan ve Dora, 1983; Göncüoğlu ve Turhan, 1983; Şengün, 1993). Bu kayalar, masifin hem bilimsel hem de mühendislik açısından stratejik önemini göstermektedir.

Levha tektoniği bağlamında Neo-Tetis Okyanusu'nun kapanışı, bölgenin yapısal karmaşıklığını artırmış; Arap levhasının kuzeye hareketiyle oluşan çarpışmalar,

deformasyonlara ve yüksek dağ sıralarına neden olmuştur (Görür ve Önder, 2022; Hocaoglu, 2015).

Sonuç olarak, Bitlis'in tektonik yapısı, yüksek sismik tehlike, karmaşık fay ağları ve jeolojik çeşitlilik nedeniyle, yapılaşma ve planlama açısından çok dikkatli ele alınması gereken bir alan sunmaktadır. Fayların özelliklerinin iyi incelenmesi, deprem güvenliği ve afet yönetimi stratejileri için kritik öneme sahiptir (Özmen, 2012; Bozkurt, 2001). Şekil 4.6'da, Bitlis ve ilçelerinin deprem risk haritasına yer verilmiştir.



**Şekil 4.6.** Bitlis ve ilçelerinin deprem risk haritası (AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı, 2023; Işık vd., 2012)

Bitlis ili ve çevresi, Türkiye'nin en aktif tektonik bölgelerinden biri olup, çok sayıda önemli fay hattına ev sahipliği yapmaktadır. Bölgedeki faylar, Bitlis ve çevresinde önemli sismik hareketlere yol açmakta ve sık sık depremlere kaynaklık etmektedir (Işık vd., 2012). Bu faylardan bazıları Kavakbaşı Fayı, Nemrut Açılma Çatlağı, Tatvan Fayı, Van Gölü Güney Sınır Fayı, Van Gölü Kuzey Sınır Fayı, Süphan Fayı ve Ahlat Segmenti gibi yaygın bilinen fay hatlarıdır. Bu hatlar, genel olarak doğrultu atımlı veya yanal atımlı faylar olarak bölgedeki tektonik aktivitelerin temel unsurlarını oluşturmaktadır. Bölgedeki diğer önemli fay hatları arasında ise Kuzeydoğu Bitlis Bindirme Fayı, Güneydoğu Bitlis Bindirme Fayı, Malazgirt Fayı, Muş Bindirmesi ve Çaldıran Fayı yer alır. Başkale Fay Kuşağı, Erciş Fayı ve Van Segmenti gibi hatlar ise hem lokal hem de çevre bölgeler için önemli sismik riskler barındırır. Özellikle Varto Fay Zonu gibi belirli segmentlere ayrılan daha geniş fay sistemleri, bölgenin jeolojik yapısına etki ederek deprem riskini artırmaktadır. Bu fay hatları, Bitlis ve çevresinde sık sık sismik aktiviteler meydana getirmekte, bölgedeki yapılaşmayı ve yerleşim güvenliğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, afet yönetimi ve yapı güvenliği açısından bölgedeki yapıların bu fay hatlarına uygun şekilde inşa edilmesi, yerel sismik izleme sistemlerinin güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bitlis ve çevresinin depremsellik ve poisson olasılık dağılımı ile deprem tehlike analizine göre, Bitlis (38.40N-42.10E) merkez olmak üzere 100 km yarıçaplı daire içinde, meydana gelmiş magnitüdü 4.5 ve daha büyük deprem verileri Bitlis ve civarında oluşmuş yıkıcı ve önemli hasarlara sebep olmuş tarihsel depremler 20. Yüzyıldan önce ve sonrası olarak Çizelge 4.1 ve 4.2'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Bitlis ve çevresinde 20. YY'den önceki önemli depremler (Işık vd., 2012)

| No | Tarih | Enlem | Boylam | Bölge                      | M   | I    |
|----|-------|-------|--------|----------------------------|-----|------|
| 1  | 461   | 39.10 | 42.50  | Malazgirt                  |     | X    |
| 2  | 1012  | 39.10 | 42.50  | Malazgirt                  |     | VII  |
| 3  | 1097  | 38.50 | 43.40  | Van - Bitlis               |     | VII  |
| 4  | 1101  | 38.50 | 43.50  | Ahlat - Van                |     | VI   |
| 5  | 1110  | 38.50 | 43.50  | Ahlat - Van                |     | VIII |
| 6  | 1111  | 38.50 | 42.70  | Ahlat - Van                |     | IX   |
| 7  | 1208  | 38.70 | 42.50  | Ahlat - Van - Bitlis - Muş | 6,5 |      |
| 8  | 1245  | 38.74 | 42.50  | Ahlat - Bitlis- Van - Muş  |     | VIII |
| 9  | 1246  | 38.90 | 42.90  | Ahlat - Erciş -Van         |     | VIII |
| 10 | 1275  | 38.40 | 42.10  | Bitlis- Ahlat -Erciş – Van |     | VII  |
| 11 | 1276  | 38.90 | 42.50  | Bitlis- Ahlat -Erciş – Van |     | VIII |
| 12 | 1282  | 38.90 | 42.90  | Ahlat – Erciş              |     | VII  |
| 13 | 1345  | 39.10 | 42.50  | Malazgirt                  |     | VIII |
| 14 | 1363  | 38.70 | 41.50  | Muş ve çevresi             |     | IX   |
| 15 | 1415  | 38.50 | 43.00  | Van Gölü                   |     | V    |

|    |            |       |       |                       |     |      |
|----|------------|-------|-------|-----------------------|-----|------|
| 16 | 1416       | 38.50 | 43.00 | Van Gölü              |     | VII  |
| 17 | 1439       | 38.50 | 42.10 | Nemrut                |     | VI   |
| 18 | 1441       | 38.35 | 42.10 | Nemrut                |     | VIII |
| 19 | 1444       | 38.50 | 43.40 | Nemrut - Van          |     | VI   |
| 20 | 1546       | 38.50 | 43.40 | Van - Bitlis          |     | V    |
| 21 | 1582       | 38.35 | 42.10 | Bitlis ve civarı      |     | VIII |
| 22 | 1646       | 38.50 | 43.40 | Van ve civarı         |     | VII  |
| 23 | 1647       | 39.15 | 44.00 | Van - Muş -Bitlis     |     | IX   |
| 24 | 1648       | 38.30 | 43.70 | Van ve civarı         | 6,7 | VIII |
| 25 | 1670       | 38.00 | 42.00 | Hizan - Siirt         | 6,6 |      |
| 26 | 1682       | 38.40 | 42.10 | Bitlis                |     |      |
| 27 | 1696       | 39.10 | 43.70 | Çaldıran - Bitlis     | 6,8 | X    |
| 28 | 1701       | 38.50 | 43.40 | Van ve çevresi        |     | VIII |
| 29 | 1704       | 38.50 | 43.40 | Van                   |     | VII  |
| 30 | 1705       | 38.40 | 42.10 | Bitlis                | 6,7 | IX-X |
| 31 | 1715       | 38.70 | 43.50 | Van - Erçiş           | 6,6 | VIII |
| 32 | 1869       | 38.40 | 42.10 | Bitlis ve çevresi     |     | VII  |
| 33 | 1871       | 38.50 | 43.40 | Van -Nemrut           | 5,5 | VII  |
| 34 | 18.05.1881 | 38.35 | 42.10 | Nemrut                | 6,7 |      |
| 35 | 30.05.1881 | 38.50 | 43.40 | Van - Nemrut          | 7,3 | IX   |
| 36 | 1884       | 37.50 | 42.50 | Bitlis - Pervari      | 6,9 |      |
| 37 | 1891       | 38.80 | 42.50 | Malazgirt- Adilcevaz  | 5,5 | VIII |
| 38 | 1892       | 39.10 | 42.50 | Malazgirt - Muş       |     | VII  |
| 39 | 1895       | 39.10 | 42.50 | Malazgirt - Adilcevaz |     | VIII |

**Çizelge 4.2.** Bitlis ve çevresinde 20. YY'den sonraki önemli depremler

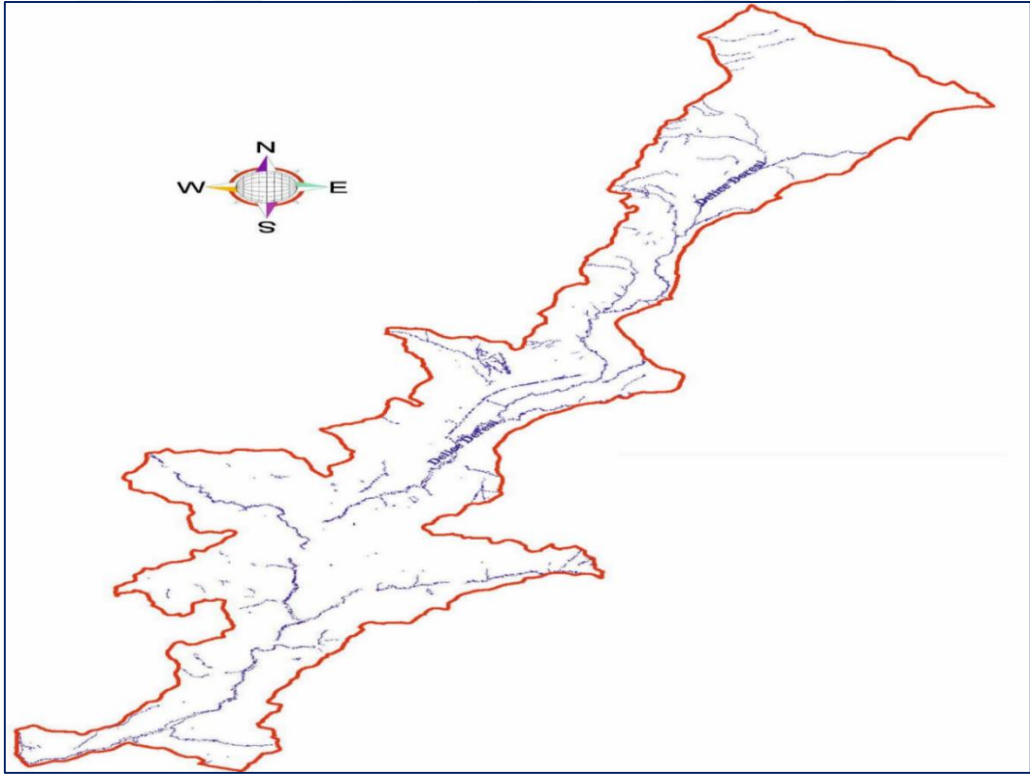
| No | Tarih      | Enlem | Boylam | Bölge                   | M   | I    |
|----|------------|-------|--------|-------------------------|-----|------|
| 1  | 1966-08-19 | 38.4  | 42.1   | Varto - Muş             | 6.9 | VIII |
| 2  | 1976-11-24 | 39.1  | 43.5   | Çaldıran - Van          | 7.3 | IX   |
| 3  | 1983-10-30 | 38.5  | 43.1   | Bitlis                  | 6.6 | VII  |
| 4  | 2000-06-06 | 38.35 | 42.9   | Hizan - Bitlis          | 5.8 | VI   |
| 5  | 2004-03-20 | 38.7  | 43.2   | Tatvan - Bitlis         | 5.4 | VI   |
| 6  | 2011-10-23 | 38.75 | 43.3   | Van                     | 7.1 | VIII |
| 7  | 2018-08-06 | 38.35 | 42.5   | Tatvan - Bitlis         | 5.3 | VI   |
| 8  | 2019-11-14 | 38.6  | 42.7   | Bitlis                  | 5.5 | VII  |
| 9  | 2020-06-25 | 38.25 | 43.1   | Tatvan - Bitlis         | 5.4 | VI   |
| 10 | 2023-02-06 | 38.64 | 43.5   | Malatya - Kahramanmaraş | 7.7 | IX   |
| 11 | 25.09.2024 | 38.66 | 42.1   | Yumrukaya - Tatvan      | 4.7 |      |
| 12 | 27.11.2024 | 38.80 | 42.5   | Bitlis Merkez           | 4.3 |      |

#### 4.5. Çalışma Sahasının Hidrojeolojik Özellikleri

Bitlis Merkez İlçesi'nde yürütülen hidrojeolojik incelemeler, bölgenin yer altı ve yüzey su potansiyelini, akifer karakteristiklerini ve su kalitesine yönelik çevresel riskleri ortaya koymuştur. Araştırma bulgularına göre, genel olarak yeraltı sularının alüvyon dolgu alanlarında sık akiferler hâlinde yer aldığı ve taban suyu seviyelerinin 3–6 m

arasında değiştiği belirlenmiştir (Namlı, 2018). Bu suların doğu-batı yönünde aktığı, geçirimsiz kil ve tf tabakaları arasında sıkışmış su rezervuarları oluşturduğu saptanmıştır. Ancak su iletim katsayısının düşük olması nedeniyle yer altı sularının verimli fakat sınırlı debiye sahip olduğu grlmştir (şahinalp, 2009). Yüzey suları açısından bakıldığında, Bitlis Deresi ve kolları, bölgenin en önemli yüzey su kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu sistem, özellikle ilkbaharda kar erimelerine bağlı olarak ciddi akım artışları göstermekte ve hem sulama hem de içme suyu açısından önem arz etmektedir. Ancak son yıllarda artan yerleşim baskısı ve kontrolsüz atık deşarjları, yüzey sularının kalitesini tehdit etmektedir. Özellikle azot ve fosfor birikimlerinin yükselmesi, bölgesel ekosistem dengesini bozan faktörler arasında yer almaktadır (Demirtaşlı ve Pısoni, 2023).

İnceleme alanında açılan sondajlarda ise yeraltı suyu gözlenmemiştir. Bu durum, geçirimsiz jeolojik yapılar veya su taşıyan tabakaların derin seviyelerde bulunması ile ilişkilendirilmiştir (Gr vd., 2012). Bununla birlikte, alandan geçen Delice Deresi, kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda akış göstermekte ve bölgenin temel yüzey suyu unsurlarından biri olarak değerlendirilmektedir (şekil 4.7). Ancak mevsimsel kuraklıklar, derenin su seviyelerinde önemli dalgalanmalara neden olabilmektedir (Gr vd., 2012).



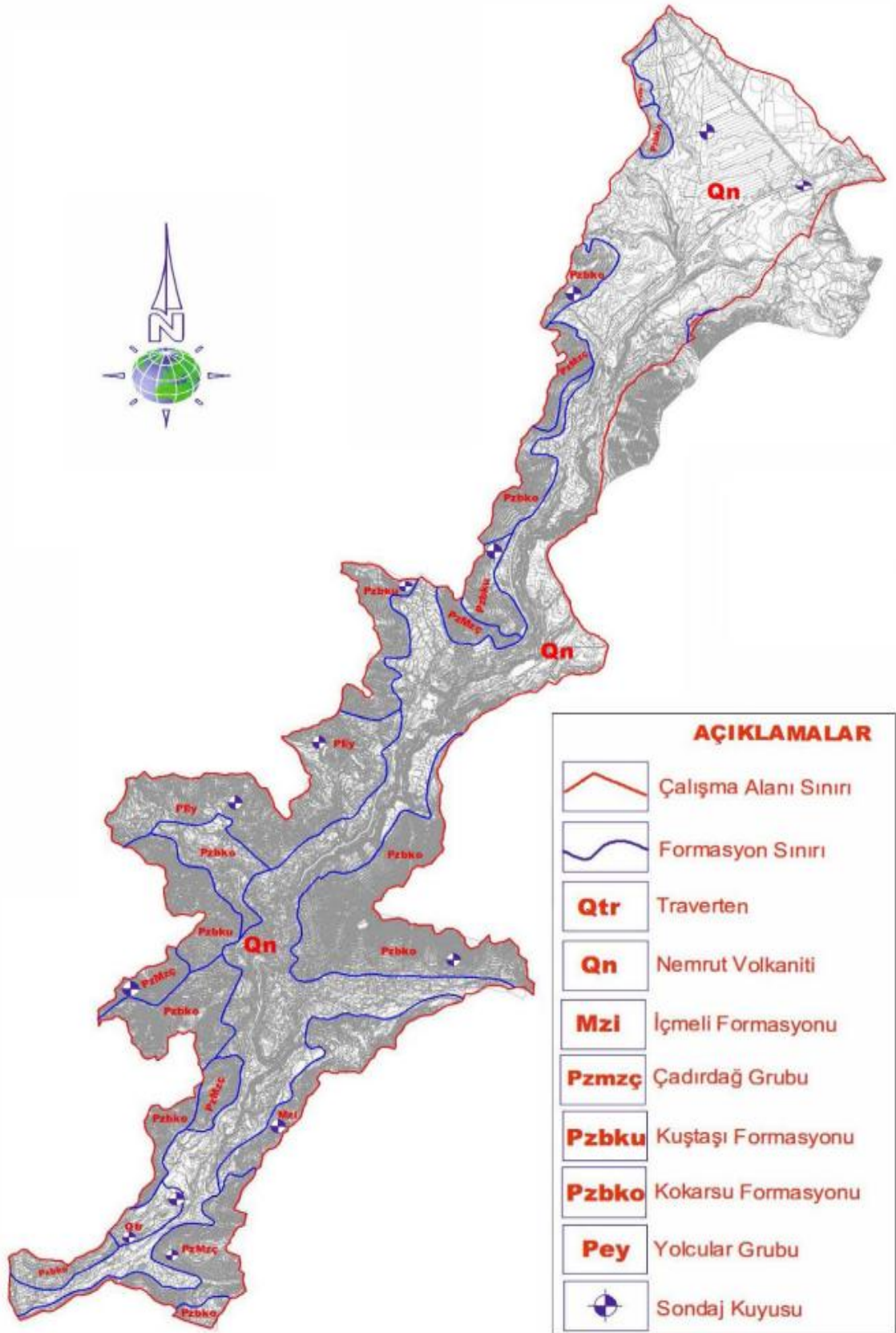
**şekil 4.7.** İnceleme alanının drenaj haritası (CBS, Coğrafi Bilgi Sistemi, 2024)

#### **4.6. İnceleme Alanında Yapılan Jeoteknik Araştırmalar**

Arazi çalışmaları kapsamında; jeoteknik amaçlı 13 lokasyonda toplam derinliği 93 metre temel sondaj kuyuları açılmış, 13 profilde Sismik Kırılma ve MASW (Multi Channel Analysis of Surface Waves) analiz yöntemi, 13 noktada mikrotremor ölçüm çalışmaları yapılmıştır.

##### **4.6.1. Sondaj çalışmaları**

İnceleme alanındaki birimlerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile davranış karakteristiklerini ortaya çıkarmak, yanal ve düşey yöndeki litolojik değişimlerini belirlemek amacıyla 13 lokasyonda toplam derinliği 93 metre temel sondaj kuyusu açılmıştır. Sondajlar kamyonu monteli, DS-2001 model hidrolik makina ile yapılmıştır. Sondajlar sırasında 4 inç çapında burgu sistemi (Flight Auger) ve karotiyer sistem kullanılmıştır. Açılan sondaj kuyularından örselenmiş (SPT), örselenmemiş (UD) ve karot numuneleri alınmıştır. Çizelge 4.3’de sondaj kuyularına ait koordinatlar ve log bilgileri, Şekil 4.8’de sondaj lokasyon haritası, çalışmalara ait görüntüler ise Şekil 4.9’de verilmiştir.



Şekil 4.8. İnceleme alanında yapılan sondaj kuyularının lokasyonları (CBS, Coğrafi Bilgi Sistemi, 2024)





Şekil 4.9. İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından görünüm

**Çizelge 4.3.** Sondaj kuyularının koordinatları ve log bilgileri

| SK    | Derinlik |                        | Y      | X       | YASS | Litoloji                                          | Form      |
|-------|----------|------------------------|--------|---------|------|---------------------------------------------------|-----------|
| SK-1  | 6.00     | 0.00-3.00              | 514959 | 4260816 | -    | Az Çakıllı Kumlu Siltli Kil                       | Qn        |
|       |          | 3.00-6.00              |        |         |      | Kahverengi Renkli Kırıklı-<br>Çatlaklı İgnimbirit |           |
| SK-2  | 8.00     | 0.00-3.50              | 514077 | 4261820 | -    | Çakıllı Kumlu Siltli Kil                          | Qn        |
|       |          | 3.50-8.00              |        |         |      | Kahverengi Renkli Kırıklı-<br>Çatlaklı İgnimbirit |           |
|       |          |                        |        |         |      | Altere Killi Kireçtaşı                            |           |
|       |          |                        |        |         |      | Killi Kireçtaşı                                   |           |
| SK-3  | 8.00     | 0.00-0.50              | 513050 | 4260142 | -    | Altere Zon                                        | Pzbko     |
|       |          | 0.50-8.00              |        |         |      | Kuvarsit                                          |           |
| SK-4  | 7.00     | 0.00-0.50              | 513165 | 4259071 | -    | Altere Zon                                        | Pzbko     |
|       |          | 0.50-7.00              |        |         |      | Kuvarsit                                          |           |
|       |          |                        |        |         |      | Altere Killi Kireçtaşı                            |           |
|       |          |                        |        |         |      | Killi Kireçtaşı                                   |           |
| SK-5  | 6.0      | 0.00-6.00              | 512095 | 4256710 | -    | Şist                                              | Pzbku     |
| SK-6  | 7.0      | 0.00-7.0               | 512323 | 4255955 | -    | Şist                                              | Pzbku     |
| SK-7  | 8.00     | 0.00-1.00              | 509893 | 4254461 | -    | Rezidüel Zon                                      | Pey       |
|       |          | 1.00-8.00              |        |         |      | Mikaşist                                          |           |
| SK-8  | 7.00     | 0.00-0.50              | 508446 | 4253717 | -    | Altere Zon                                        | Pey       |
|       |          | 0.50-7.0               |        |         |      | Mikaşist                                          |           |
| SK-9  | 7.00     | 0.00-1.50<br>1.50-7.00 | 507556 | 4251264 | -    | Altere Kireçtaşı Kireçtaşı                        | PzMz<br>ç |
| SK-10 | 8.00     | 0.00-1.50<br>1.50-8.00 | 508836 | 4248309 | -    | Çakıllı Kum Kireçtaşı                             | PzMz<br>c |
| SK-11 | 8.00     | 0.00-1.50<br>1.50-8.00 | 509475 | 4249667 | -    | Kumlu Çakıl Çört-Kayrak                           | Mzi       |
| SK-12 | 7.00     | 0.00-7.00              | 508167 | 4248514 | -    | Traverten                                         | Qtr       |
| SK-13 | 7.00     | 0.00-1.00<br>1.00-7.00 | 507544 | 4248117 | -    | Altere Traverten Traverten                        | Qtr       |

#### 4.6.1.1. Standart penetrasyon deneyi (SPT)

İnceleme alanında arazi deneyi olarak açılan sondaj kuyularının açılması sırasında geçilen zemin tabakalarının izafi sıklıkları ve mukavemet parametrelerini belirlemek amacıyla Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmıştır (Çizelge 4.4). Çizelge 4.4’de yer alan veriler doğrultusunda, SK-1 ve SK-2 numaralı sondaj kuyularında 1.50 m derinlikte alınan örneklerde 1.5 metrede ve 3 metrede sırasıyla 53 ve 63 SPT-(N30) değerleri elde edilmiştir. Bu yüksek değerler, zeminlerin oldukça sıkı bir yapıda olduğunu ve iyi derecede konsolide olmuş olduklarını göstermektedir. SPT-(N30) değerlerinin yüksek çıkması, zemin biriminin taşıma kapasitesinin yüksek, oturma riskinin ise düşük olduğunu işaret etmektedir. Özellikle SK-2’de 3 metrede 63 olarak ölçülen SPT-(N30) değeri, çok sıkı bir zemine işaret etmekte olup mühendislik açısından oldukça güvenli bir temel zemini olduğunu ortaya koymaktadır. Bu değer, Amerikan Standartları (Terzaghi & Peck, 1967) doğrultusunda değerlendirildiğinde, zeminin "çok sıkı" sınıfında yer aldığı

ve taşıma gücünün oldukça yüksek olduğu sonucuna varılabilir. Bu tür zeminler, özellikle ağır yük taşıyan yapıların oturmalarını minimize etmesi açısından tercih edilen zemin türleridir. Ayrıca SPT-N30 değerlerinin 50'nin üzerinde olması, zemin biriminde kohezyonun arttığını ve granül yapının oldukça iyi bağlandığını göstermektedir. İlgili sondajlarda tanımlanan litolojik yapı "Çakıllı Kumlu Kil" olarak sınıflandırılmıştır. Bu tür bir litoloji, kohezyonlu ve kohezyonsuz zemin bileşenlerini birlikte barındırması bakımından mühendislik jeolojisi açısından önemlidir.

**Çizelge 4.4.** Sondaj kuyularında yapılan SPT-(N30) değerleri

| SK NO | DER. (m) |      | ÖR. | 15 (cm) | 30 (cm) | 45 (cm) | SPT-(N30) | Litoloji          | FORM.   |
|-------|----------|------|-----|---------|---------|---------|-----------|-------------------|---------|
| SK-1  | 6.00     | 1.50 | SPT | 17      | 23      | 30      | 53        | Çakıllı Kumlu Kil | Qn Rez. |
| SK-2  | 8.00     | 1.50 | SPT | 15      | 27      | 36      | 63        | Çakıllı Kumlu Kil | Qn Rez. |
|       |          | 4.50 | SPT | R       | -       | -       | -         | Çakıllı Kumlu Kil |         |

Zemin içerisinde hem ince taneli (kil) hem de iri taneli (çakıl ve kum) bileşenlerin yer alması, drenaj özelliğinin orta düzeyde olabileceğini ve zemin sıkılığının lokal olarak farklılaşabileceğini düşündürmektedir. Ancak bu bileşenlerin homojen bir dağılım gösterdiği varsayılırsa, zemin iyi derecede taşıma gücüne sahiptir. Bu da, üzerinde kurulacak yapıların temel tasarımında daha az iyileştirme gerektireceği anlamına gelmektedir. Sondaj kuyularında farklı derinliklerde yapılan SPT ölçümlerinde herhangi bir örselenme (örneğin "R" ile işaretlenen, ölçüm yapılmayan ya da örnek alınamayan alanlar) gözlemlenmiştir. SK-2'de 4.50 m derinlikte yapılan sondajda örnek alınamadığı için SPT değeri ölçülememiştir. Bu durum, zemin türünde çakıllı birimlerin daha baskın hale gelmesiyle ilişkili olabilir. Nitekim iri taneli ve bloklu zemin birimlerinde, SPT uygulamasında numune almak zorlaşmakta; buda veri eksikliklerine neden olabilmektedir. Zemin birimi Qn (Nemrut volkanitleri) rezidüel (rez.) olarak tanımlanmıştır. Bu durum, volkanik kayaçların ayrışması sonucunda ortaya çıkan sekonder bir zemin yapısına işaret eder. Rezidüel zeminler genellikle ana kayaç üzerinde gelişen ve belirli bir kalınlık oluşturan ayrışmış birimlerdir. Qn birimi, Nemrut Volkanı'nın tüf, ignimbrit ve lav gibi birimlerinin ayrışması sonucu oluşmuş olabilir. Bu tür ayrışık yapılar, mühendislik özellikleri bakımından heterojenlik gösterebilmekte olup, yapılan SPT değerleri bu heterojenliğin belirlenmesinde yol gösterici olmuştur.

Bitlis Merkez ilçesinde yapılan SPT uygulamaları, zeminin taşıma gücü açısından oldukça elverişli bir karaktere sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen SPT-(N30) değerlerinin yüksekliği, yapı temelleri açısından güvenli bir ortam sunduğunu ve ek zemin iyileştirme çalışmalarına gerek kalmadan yapılaşmaya uygun olduğunu ortaya koymaktadır.

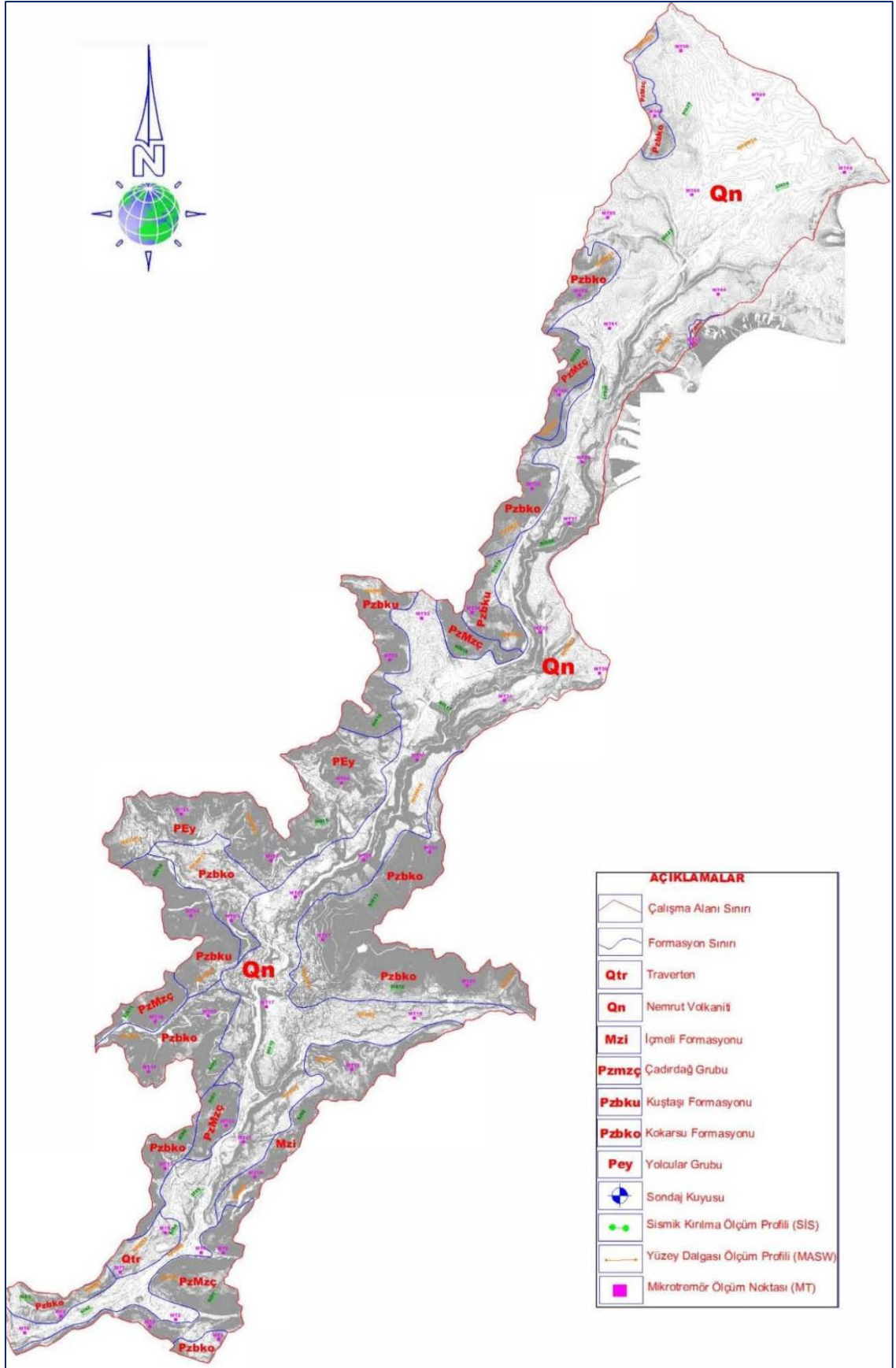
#### **4.6.1.2. Örselenmemiş (UD) örnek alınması**

İnceleme alanında sondajlar sırasında zemin de her 1.5 m de bir örselenmiş numuneler (SPT) ve belirli derinliklerden karot (CR) ve örselenmemiş numuneler (UD) alınmıştır.

### **4.7. İnceleme Alanında Uygulanan Jeofizik Yöntemler**

İnceleme alanının zeminlerin dinamik-elastik mühendislik parametrelerini, tabaka kalınlıklarını, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY, 2018)'e göre zemin sınıflarını belirlemek amacıyla Mikrotremör, Sismik Kırılma, Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) çalışmaları yapılmıştır. Jeofizik çalışmalar kapsamında, 13 profilde Sismik Kırılma ve MASW (Multi Channel Analysis of Surface Waves) analiz yöntemi, 13 noktada mikrotremör ölçüm çalışmaları yapılmıştır (Şekil 4.10). Bu ölçümlere bağlı olarak tabakalanma, yeraltı hız yapısı, zeminlerin dinamik-elastik mühendislik parametreleri, zemin sınıfları, zemin hakim titreşim periyotları, zemin büyütmeleri ve zemin içerisindeki yanal ve düşey süreksizlikler belirlenmiştir. Jeofizik ölçümler, alanı en iyi şekilde temsil edecek yerlerde alınmıştır.





Şekil 4.10. İnceleme alanında yapılan jeofizik ölçümlerinin lokasyon haritası (CBS, Coğrafi Bilgi Sistemi, 2024)

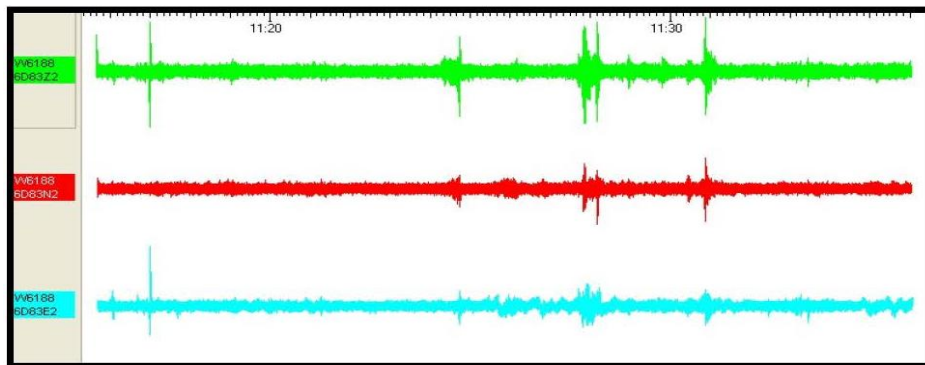
#### 4.7.1. İnceleme alanında uygulanan mikrotremör yöntemi çalışmaları

Çalışma kapsamında yapılan 13 noktada Mikrotremor ölçümü, arazi koşullarını en iyi şekilde yansıtacağı düşünülen çok yakın noktalarda alınmıştır. Ölçümler sırasında AMBRGEO 3 bileşenli mikrotremör cihazı (Şekil 4.11), 12 voltluk 7.2 amperlik akü ve taşınabilir bilgisayar sistemi kullanılmıştır.



Şekil 4.11. AMBRGEO 3 bileşenli mikrotremör cihazı

Her bir ölçüm noktasında yaklaşık 20 dakikalık üç bileşenli kayıtlar alınmış, (Düşey (Z), K-G ve D-B) ve kayıtlar GEOPSY adlı program ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda baskın frekans, baskın periyot ve H/V oranları elde edilmiş ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre bir zemin sınıflaması yapılmıştır. Şekil 4.12’de Mikrotremor ölçümleri sırasında alınan kaydın bilgisayar ekranındaki görüntüsü verilmiştir. Arazide alınan ölçüm noktalarının koordinatları Çizelge 4.5’de verilmiştir. Şekil 4.13. İnceleme alanında mikrotremör ölçümlerinden görüntüler gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Mikrotremor ölçümleri sırasında alınan kaydın bilgisayar ekranındaki görüntüsü

**Çizelge 4.5.** Mikrotremör ölçü noktalarının koordinatları

| Ölçü No | Y-Koordinat | X-Koordinat | Formasyon |
|---------|-------------|-------------|-----------|
| MT-1    | 514650      | 4261590     | Qn        |
| MT-2    | 514972      | 4260345     | Qn        |
| MT-3    | 513231      | 4260335     | Pzbko     |
| MT-4    | 514175      | 4262569     | Pzbko     |
| MT-5    | 510841      | 4255762     | Pzbku     |
| MT-6    | 511882      | 4256361     | Pzbku     |
| MT-7    | 508220      | 4253841     | Pey       |
| MT-8    | 509359      | 4253263     | Pey       |
| MT-9    | 507901      | 4251244     | Pzmzç     |
| MT-10   | 507837      | 4247433     | Pzmzç     |
| MT-11   | 509145      | 4249305     | Mzi       |
| MT-12   | 507449      | 4248116     | Qtr       |
| MT-13   | 508027      | 4248601     | Qtr       |

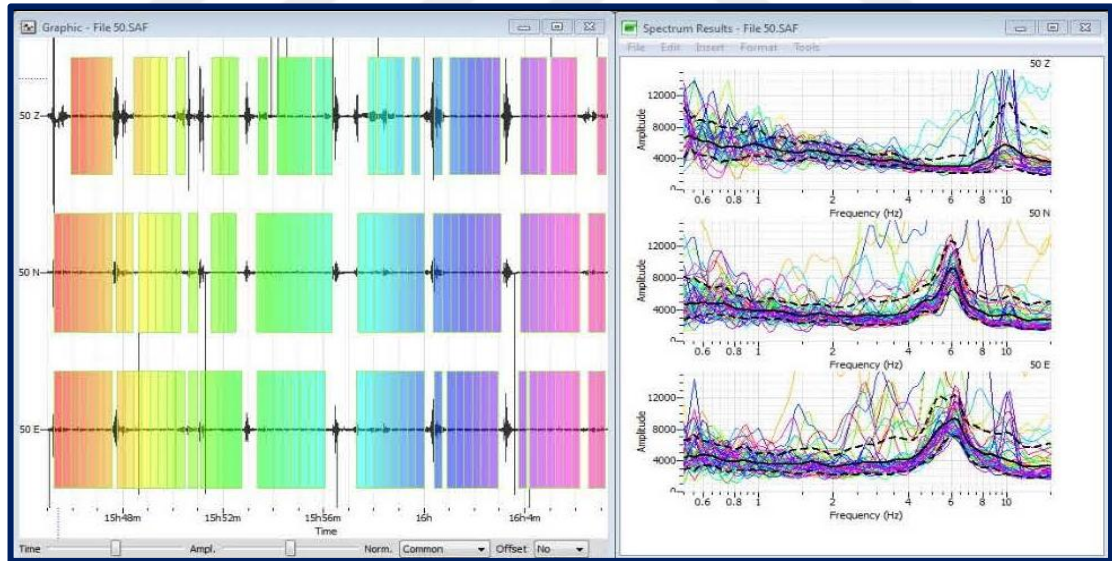






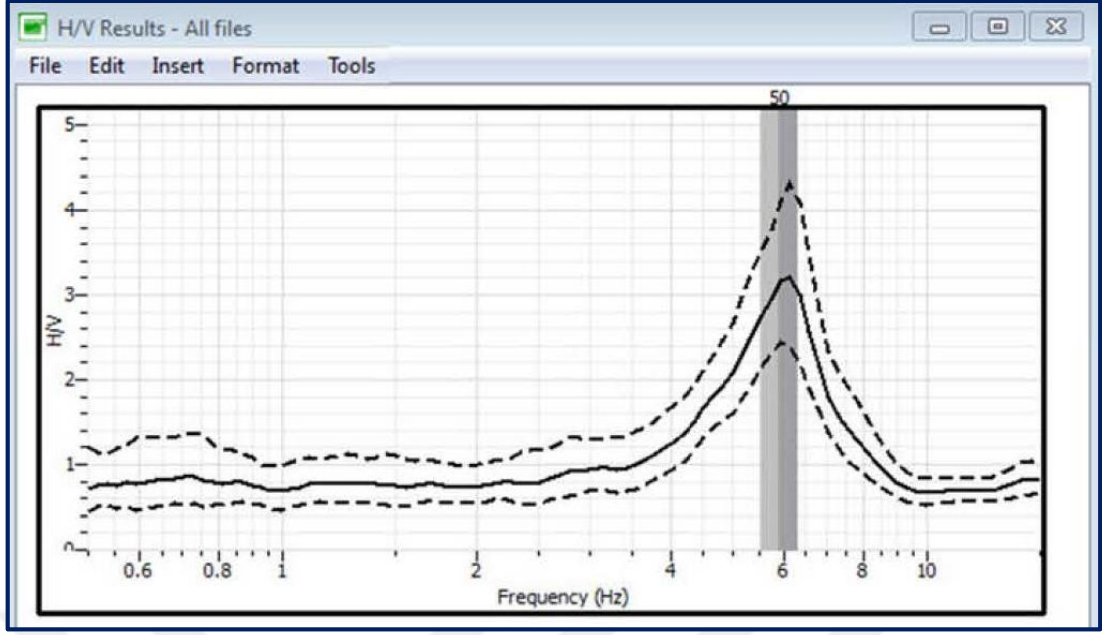
**Şekil 4.13.** İnceleme alanında mikrotremör ölçümlerinden görüntüler

Şekil 4.14’de MT13 noktasına ait üç bileşenli verinin pencerenlenmesi ve spektrum eğrileri, Şekil 4.15’de MT13 noktasına ait üç bileşenli verinin pencerenlenmesi ve spektrum eğrileri, Şekil 4.16’da MT13 noktasına ait period-H/V oranı grafiği gösterilmiştir. Değerlendirme sonucunda bu noktada; baskın frekans 5.89 Hz, baskın periyot 3.06 sn ve H/V oranı 0.17 olarak elde edilmiştir.

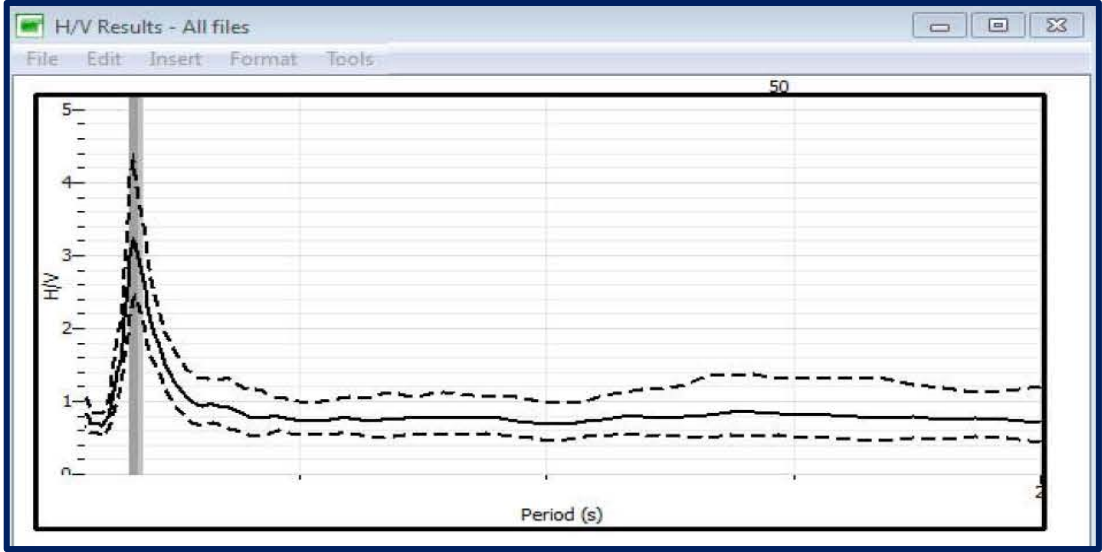


**Şekil 4.14.** MT13 noktasına ait üç bileşenli verinin pencerenlenmesi ve spektrum eğrileri





**Şekil 4.15.** MT13 noktasına ait üç bileşenli verinin pencerelemesi ve spektrum eğrileri



**Şekil 4.16.** MT13 noktasına ait period-H/V oranı grafiği

Sonuçlar incelendiğinde 13 noktadan elde edilen spektrumların her biri ile uyum içinde olduğu görülmektedir. Ölçümlerin analizi sırasında ham verilere uygulanan pencereleme işleminde, her bir mikrotremor ölçümü için kullanılan pencere adedi ve pencere boyu Çizelge 4.6'da, mikrotremör ölçümlerinden elde edilen parametreler Çizelge 4.7'de verilmiştir. Çizelge 4.7'de görüldüğü üzere, farklı formasyonlardaki baskın frekans, baskın periyot,  $T_A$ ,  $T_B$  ve H/V oranı gibi sismik parametreleri ortaya koymaktadır. Baskın frekans ve periyot değerleri sonuçlarına göre; frekans değerleri

Traverten (Qtr) formasyonunda düşük (3.32-3.42 Hz) iken, Kokarsu (Pzbko) ve Yolcular (Pey) formasyonlarında yüksek değerlere (9.53-9.89 Hz) ulaşmaktadır. Bu farklılık, Traverten'in daha yumuşak ve esnek bir yapıya, Kokarsu ve Yolcular formasyonlarının ise daha sert ve sıkı bir yapıya sahip olduğunu gösterir. Benzer şekilde, baskın periyot değerlerinin Traverten için yüksek (0.29 sn) ve diğer formasyonlar için düşük olması, bu zemin özelliklerini destekler.  $T_A$  ve  $T_B$  Değerleri değerleri sonuçlarına göre;  $T_A$  ve  $T_B$  değerleri, zeminin deprem sırasındaki davranışını belirlemeye yardımcı olur. Traverten (Qtr) formasyonu için  $T_A$  ve  $T_B$  değerlerinin yüksek (0.19 sn ve 0.44 sn) olması, daha yüksek deformasyon kapasitesine sahip olduğunu gösterir. Buna karşın, Kokarsu ve Yolcular gibi sert formasyonlarda  $T_A$  ve  $T_B$  değerlerinin daha düşük olması, bu yapıların depreme daha dayanıklı ve rijit olduğunu işaret eder. H/V oranı değerleri sonuçlarına göre; H/V oranı, zeminin yerel rezonans özelliğini gösterir. Traverten formasyonunda H/V oranının 2.00-2.50 gibi yüksek bir aralıkta olması, bu tabakanın daha belirgin bir titreşim özelliğine sahip olduğunu ortaya koyar. Buna karşılık, Kokarsu (Pzbko) ve Yolcular (Pey) gibi daha sert zeminlerde H/V oranının düşük olması, rezonans riskinin daha düşük olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 4.6.** Ölçüm analizlerinde kullanılan pencere adedi ve pencere boyu

| Ölçü No | Pencere Adedi | Pencere Boyu (sn) | Kayıt Süresi (dk) | Formasyon |
|---------|---------------|-------------------|-------------------|-----------|
| MT-1    | 37            | 20                | 20                | Qn        |
| MT-2    | 60            | 20                | 20                | Qn        |
| MT-3    | 59            | 20                | 20                | Pzbko     |
| MT-4    | 60            | 20                | 20                | Pzbko     |
| MT-5    | 36            | 20                | 20                | Pzbku     |
| MT-6    | 40            | 20                | 20                | Pzbku     |
| MT-7    | 46            | 20                | 20                | Pey       |
| MT-8    | 56            | 20                | 20                | Pey       |
| MT-9    | 45            | 20                | 20                | Pzmzç     |
| MT-10   | 41            | 20                | 20                | Pzmzç     |
| MT-11   | 38            | 20                | 20                | Mzi       |
| MT-12   | 20            | 20                | 20                | Qtr       |
| MT-13   | 14            | 20                | 20                | Qtr       |

**Çizelge 4.7.** Mikrotremör ölçümlerinden elde edilen parametreler

| Ölçü No | Baskın Frekans (Hz) | Baskın Periyot (T <sub>0</sub> )(sn) | T <sub>A</sub> (sn) (0.67*T <sub>0</sub> ) | T <sub>B</sub> (sn) (1.5*T <sub>0</sub> ) | H/V Oranı | Kayıt Süresi (dk) | Formasyon |
|---------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------|-------------------|-----------|
| MT-1    | 5.97                | 0.17                                 | 0.11                                       | 0.26                                      | 1.50      | 20                | Qn        |
| MT-2    | 6.80                | 0.15                                 | 0.10                                       | 0.23                                      | 1.74      | 20                | Qn        |
| MT-3    | 9.82                | 0.10                                 | 0.07                                       | 0.15                                      | 1.11      | 20                | Pzbko     |
| MT-4    | 9.89                | 0.10                                 | 0.07                                       | 0.15                                      | 1.13      | 20                | Pzbko     |
| MT-5    | 8.28                | 0.12                                 | 0.08                                       | 0.18                                      | 1.22      | 20                | Pzbku     |
| MT-6    | 8.18                | 0.12                                 | 0.08                                       | 0.18                                      | 1.25      | 20                | Pzbku     |
| MT-7    | 9.82                | 0.10                                 | 0.07                                       | 0.15                                      | 1.10      | 20                | Pey       |
| MT-8    | 9.53                | 0.10                                 | 0.07                                       | 0.15                                      | 1.13      | 20                | Pey       |
| MT-9    | 6.93                | 0.14                                 | 0.09                                       | 0.21                                      | 1.20      | 20                | Pzmzç     |
| MT-10   | 7.07                | 0.14                                 | 0.09                                       | 0.21                                      | 1.20      | 20                | Pzmzç     |
| MT-11   | 7.35                | 0.14                                 | 0.09                                       | 0.21                                      | 1.55      | 20                | Mzi       |
| MT-12   | 3.42                | 0.29                                 | 0.19                                       | 0.44                                      | 2.50      | 20                | Qtr       |
| MT-13   | 3.32                | 0.29                                 | 0.19                                       | 0.44                                      | 2.00      | 20                | Qtr       |

Çizelge 4.8’de parametrelerin formasyonlara göre ortalamaları görülmektedir. Ortalama Frekans ve Periyot değerleri sonuçlarına göre; ortalama frekans değerleri incelendiğinde, Traverten (Qtr) formasyonunun frekansı düşük (3.37 Hz) iken Kokarsu (Pzbko) ve Yolcular (Pey) gibi formasyonlarda yüksek frekans değerleri (9.67 Hz ve 9.85 Hz) görülmektedir. Bu durum, Traverten’in daha esnek yapısını ve Kokarsu ile Yolcular formasyonlarının ise daha sıkı yapısını bir kez daha doğrular. Ortalama periyot değerleri de bu yapıyı destekler niteliktedir. Ortalama T<sub>A</sub> ve T<sub>B</sub> değerleri sonuçlarına göre; Traverten (Qtr) formasyonunun deformasyon kapasitesinin daha yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Bu formasyonun T<sub>A</sub> değeri 0.19 sn ve T<sub>B</sub> değeri 0.44 sn iken, sert zemin özellikleri taşıyan Kokarsu ve Yolcular formasyonlarında bu değerler 0.07-0.15 sn aralığındadır. Ortalama H/V oranı değerleri sonuçlarına göre; H/V oranı Traverten’de 2.25 gibi yüksek bir değere sahip olup, diğer sert zeminlerde bu oran daha düşüktür. Dolayısıyla bu durum, Traverten gibi yumuşak zeminlerin daha belirgin bir yerel rezonans etkisine sahip olduğunu gösterir, bu da özellikle bu formasyonlarda yapısal tasarım ve zemin iyileştirme gerekliliklerini gündeme getirebilir.

**Çizelge 4.8.** Mikrotremör ölçümlerinden elde edilen parametrelerin ortalamaları

| MT Ölçülerinin Bulunduğu Formasyon | MT Ölçü Adedi | Ortalama Frekans (Hz) | Ortalama Periyot (T <sub>0</sub> )(sn) | Ortalama T <sub>A</sub> (sn) | Ortalama T <sub>B</sub> (sn) | Ortalama H/V Oranı | Ortalama Kayıt Süresi (dk) |
|------------------------------------|---------------|-----------------------|----------------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|----------------------------|
| Qtr                                | 2             | 3.37                  | 0.29                                   | 0.19                         | 0.44                         | 2.25               | 20                         |

|              |   |      |      |      |      |      |    |
|--------------|---|------|------|------|------|------|----|
| <b>Qn</b>    | 2 | 6.38 | 0.16 | 0.11 | 0.24 | 1.62 | 20 |
| <b>Mzi</b>   | 1 | 7.35 | 0.14 | 0.09 | 0.21 | 1.55 | 20 |
| <b>Pzmzç</b> | 2 | 7.32 | 0.14 | 0.09 | 0.21 | 1.20 | 20 |
| <b>Pzbku</b> | 2 | 8.23 | 0.12 | 0.08 | 0.18 | 1.23 | 20 |
| <b>Pzbko</b> | 2 | 9.85 | 0.10 | 0.07 | 0.15 | 1.12 | 20 |
| <b>PEy</b>   | 2 | 9.67 | 0.10 | 0.07 | 0.15 | 1.11 | 20 |

Çizelge 4.9'a göre yapılan değerlendirmede, TBDY (2018) yönetmeliği kapsamında, Bitlis Merkez İlçesi'nde yer alan birimlerin ZB zemin sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir. Bu zemin sınıfı, genellikle orta sertlikteki kaya birimlerini temsil etmekte olup mühendislik açısından yeterli taşıma gücüne ve düşük deformasyon özelliklerine sahiptir. Ancak, Bitlis Merkez İlçesi genelinde ZB zemin sınıfı baskın olmakla birlikte, kentin farklı bölgelerinde ZC ve ZD zemin sınıflarının hakim olması yapılaşma süreçlerinde yerel zemin koşullarının ayrıntılı biçimde incelenmesini zorunlu kılmaktadır (TBDY, 2018).

**Çizelge 4.9.** TBDY (2018)'e göre spektrum karakteristik periyotları

| <b>ZEMİN SINIFI</b> |                                                                                                                                                          | <b>TA (sn)</b> | <b>TB (sn)</b> |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| <b>ZA</b>           | Kaya (masif volkanik, sert kayalar, sağlam ve ayrışmamış)                                                                                                | 0.10           | 0.30           |
| <b>ZB</b>           | Orta sert kayalar, çok sıkı kum, çakıl, sert kil                                                                                                         | 0.15           | 0.40           |
| <b>ZC</b>           | Orta sıkı kum, çakıl, katı kil, ayrışmış volkanik/metamorfik kayalar                                                                                     | 0.20           | 0.60           |
| <b>ZD</b>           | Yumuşak kil, gevşek kum, yeraltı suyu yüksek alüvyon, dolgular                                                                                           | 0.30           | 0.90           |
| <b>ZE</b>           | Çok yumuşak kil, turba gibi organik zeminler                                                                                                             | 0.40           | 1.50           |
| <b>ZF</b>           | Yerinde yapılacak özel zemin araştırmalarıyla belirlenmesi gereken, mühendislik açısından sorunlu zeminler (ör. sıvılaşabilir, çökebilir, şişebilir vb.) | -              | -              |

#### 4.7.2. İnceleme alanında uygulanan sismik kırılma yöntemi çalışmaları

Çalışma alanında, yeraltı hız yapısı, zeminin dinamik-elastik mühendislik özellikleri, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) esas zemin sınıfları, hakim titreşim periyotları, zemin büyütme ve zemin içerisindeki yanal ve düşey süreksizlikleri saptamak amacıyla, 13 profilde P ve S dalga hızları ölçümleri yapılmıştır. Sismik kırılma ölçümleri 95 m'lik profil boyunca yapılmış olup, böylece yerin yaklaşık 30 m.

derinliğe kadar inilmiştir. Sahada ölçümler Seismodule Controller Software Ver. 9.28 yazılımıyla alınmış ve kayıt edilmiştir. Sahada kayıt edilen sismik kırılma ölçümleri Seisimager Ver. 2.8.0.1 yazılımıyla değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu elde edilen veriler ışığında; tabaka kalınlıkları, yeraltı hız yapısı ve topoğrafyası ortaya çıkarılmıştır. Ölçüler karşılıklı iki atış yapılarak alınmış olup arazi koşullarına göre jeofon aralıkları 3 m, serim boyları 95 m'dir. Offset uzaklığı 3 m'dir. Sismik kırılma çalışmalarında 13 kanallı "Geometrics" marka "GEOD" model, sinyal biriktirmeli sismograf kullanılmıştır (Şekil 4.17). Bu cihaz; alçak, yüksek ve bant geçişli süzgece, otomatik kazanç devresine, sismik izlerin genliklerini küçültüp- büyütülebilme ve istenilen izleri dondurabilme özelliklerine sahiptir. Sismik dalga kaynağı olarak (P) boyuna dalgalar için 10 kg. ağırlığındaki balyoz ile çelik plaka üzerine yaptırılan vuruşlardan, (S) enine dalga kaynağı olarak çelik plaka üzerine balyozla yapılan yanıl vuruşlardan yararlanılmıştır. Bu çalışmada boyuna dalga hızı 20 Hz'lik düşey jeofonlarla, enine dalga 14 Hz'lik yatay jeofonlarla ölçümler alınmıştır. Çalışmalarda "Sensor" marka jeofonlar kullanılmıştır.



**Şekil 4.17.** Sismografin görüntüsü

İnceleme alanında yapılan sismik kırılma çalışmalarına ait görüntüler Şekil 4.18'de verilmiştir.



**Şekil 4.18.** İnceleme alanındaki sismik kırılma ölçümüne ait görüntüler

İnceleme alanı kapsamında yapılan sismik kırılma çalışmalarında; hesaplanan  $V_p$  ve  $V_s$  hızları Çizelge 4.10’da verilmiştir.

**Çizelge 4.10.** Çalışma alanının sismik yöntemle hesaplanan  $V_p$  ve  $V_s$  hızları

| SERİM NO | Tabaka No | $V_p$ (m/s) | $V_s$ (m/s) | Tabaka kalınlığı (m) | Formasyon |
|----------|-----------|-------------|-------------|----------------------|-----------|
| SİS1     | 1         | 405         | 264         | 6                    | Qn        |
|          | 2         | 2064        | 832         |                      |           |
| SİS2     | 1         | 449         | 320         | 6                    | Qn        |
|          | 2         | 1774        | 868         |                      |           |
| SİS3     | 1         | 471         | 302         | 5                    | Pzbko     |
|          | 2         | 1584        | 1104        |                      |           |
| SİS4     | 1         | 432         | 326         | 4                    | Pzbko     |
|          | 2         | 1768        | 1125        |                      |           |
| SİS5     | 1         | 590         | 356         | 6                    | Pzbku     |
|          | 2         | 2098        | 991         |                      |           |



|              |        |              |             |   |       |
|--------------|--------|--------------|-------------|---|-------|
| <b>sis6</b>  | 1<br>2 | 580<br>1851  | 318<br>996  | 5 | Pzbku |
| <b>sis7</b>  | 1<br>2 | 1024<br>2660 | 514<br>1646 | 4 | Pey   |
| <b>sis8</b>  | 1<br>2 | 480<br>1952  | 218<br>1206 | 8 | Pey   |
| <b>sis9</b>  | 1<br>2 | 483<br>1962  | 347<br>1137 | 8 | Pzmzç |
| <b>sis10</b> | 1<br>2 | 551<br>1622  | 292<br>1072 | 6 | Pzmzç |
| <b>sis11</b> | 1<br>2 | 682<br>1631  | 260<br>1092 | 6 | Mzi   |
| <b>sis12</b> | 1<br>2 | 486<br>1534  | 249<br>772  | 6 | Qtr   |
| <b>sis13</b> | 1<br>2 | 557<br>1401  | 322<br>881  | 6 | Qtr   |

İnceleme alanında, 81 metre açılımlı 13 profilde MASW (Multi Channel Analysis of Surface Waves) analiz yöntemi uygulanmıştır. Ölçü alımında GEOMETRIC marka GEOD model 13 kanallı sinyal biriktirmeli cihaz kullanılmıştır. Sistem otomatik örnekleme ve gösterim yapabilen, sinyal artırıcı çok kanallı olarak sinyal grafiği verebilen optik ünite, kablolar, P jeofonları ve güç ünitesinden ibarettir. Güç ünitesi olarak 12 voltluk aküden yararlanılmış, P sinyalleri için 13 adet 14 Hz'lik düşey jeofon kullanılmıştır. Alınan kayıt, Seisimager Ver. 2.8.0.1 programından yararlanılarak veri işleme tabi tutulmuştur. Bu ölçümler sonucunda inceleme alanının yaklaşık 10-20 metre derinlikten bilgi alınmıştır. Toplam 13 profil 13 kanallı olarak uygulanan MASW yöntemlerinde; 81 m.lik serimlerde jeofon aralıkları 3 m. ve ofset 12 m. seçilerek 4.5 Hz lik S jeofonları kullanılmıştır. MASW ölçümlerinde örnekleme aralığı 0.5 msn ve kayıt uzunluğu 1 msn olarak seçilmiştir. Şekil 4.19'da inceleme alanındaki MASW ölçümlerine ait görüntüler gösterilmiştir.





**Şekil 4.19.** İnceleme alanındaki MASW ölçümlerine ait görüntüler

Çizelge 4.11’de değerlendirme sonucu elde edilen veriler ışığında, 30 m derinlik için ortalama kayma dalga hızı değerleri ( $V_{s30}$ ) hesaplanmıştır. MASW yöntemle hesaplanan 30 m derinlik için ortalama kayma dalga hızı değerleri ( $V_{s30}$ ) Çizelge 4.12’de verilmiştir.

**Çizelge 4.11.** Çalışma alanının MASW yöntemle hesaplanan  $V_p$  ve  $V_s$  hızları

| SERİM NO | Tabaka No | $V_p$ (m/s) | $V_s$ (m/s) | Tabaka kalınlığı (m) | Formasyon |
|----------|-----------|-------------|-------------|----------------------|-----------|
| MASW-1   | 1         | 454         | 257         | 4.5                  | Qn        |
|          | 2         | 1076        | 413         |                      |           |
| MASW-2   | 1         | 538         | 222         | 4                    | Qn        |
|          | 2         | 1054        | 375         |                      |           |
| MASW-3   | 1         | 797         | 362         | 5                    | Pzbko     |
|          | 2         | 2339        | 691         |                      |           |
| MASW-4   | 1         | 839         | 508         | 5.5                  | Pzbko     |
|          | 2         | 1308        | 780         |                      |           |
| MASW-5   | 1         | 1242        | 312         | 7                    | Pzbku     |
|          | 2         | 2916        | 652         |                      |           |
| MASW-6   | 1         | 1181        | 314         | 5                    | Pzbku     |
|          | 2         | 2782        | 591         |                      |           |
| MASW-7   | 1         | 766         | 552         | 8                    | Pey       |
|          | 2         | 1728        | 941         |                      |           |
| MASW-8   | 1         | 770         | 593         | 6                    | Pey       |
|          | 2         | 1446        | 853         |                      |           |
| MASW-9   | 1         | 491         | 325         | 5                    | Pzmzç     |
|          | 2         | 1257        | 517         |                      |           |
| MASW-10  | 1         | 476         | 207         | 4                    | Pzmzç     |
|          | 2         | 1027        | 553         |                      |           |
| MASW-11  | 1         | 607         | 258         | 4.5                  | Mzi       |
|          | 2         | 811         | 439         |                      |           |
| MASW-12  | 1         | 378         | 221         | 4                    | Qtr       |
|          | 2         | 1282        | 343         |                      |           |
| MASW-13  | 1         | 589         | 258         | 5                    | Qtr       |
|          | 2         | 994         | 407         |                      |           |



**Çizelge 4.12.** MASW profilleri için hesaplanan Vs30 değerleri

| MASW NO | Vs30 (m/sn) | FORMASYON |
|---------|-------------|-----------|
| MASW-1  | 379         | Qn        |
| MASW-2  | 343         | Qn        |
| MASW-3  | 600         | Pzbko     |
| MASW-4  | 710         | Pzbko     |
| MASW-5  | 520         | Pzbku     |
| MASW-6  | 515         | Pzbku     |
| MASW-7  | 792         | Pey       |
| MASW-8  | 784         | Pey       |
| MASW-9  | 471         | Pzmzç     |
| MASW-10 | 452         | Pzmzç     |
| MASW-11 | 397         | Mzi       |
| MASW-12 | 319         | Qtr       |
| MASW-13 | 371         | Qtr       |

MASW çalışmaları sonucu zeminlerin (Vs30) hızı değerleri ve dolayısıyla  $V_p$  ve  $V_s$  hız değerleri de hesaplanmış olup bu değerler kullanılarak zeminlerin yeraltı hız yapısı, zeminin dinamik-elastik mühendislik özellikleri, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliklerine (TBDY, 2018) esas zemin sınıfları ve zemin içerisindeki yanal ve düşey süreksizlikleri belirlenmiştir.

#### **4.8. Jeoteknik Amaçlı Laboratuvar Deneyleri**

Açılan sondaj kuyularından ve gözlem noktalarından alınan numuneler üzerinde, Su İçeriği, Doğal Yoğunluk, Elek Analizi, Atterberg Limitleri Deneyleri ve Üç Eksenli Basınç Deneyi, Konsolidasyon, Nokta Yükleme ve Tek Eksenli Basınç deneyleri Zemin ve Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Tüm deneylerde TS-1900 standardı uygulanıp, örnekler birleştirilmiş zemin sınıflamasına (TS-1900) göre sınıflandırılmıştır.

##### **4.8.1. İnceleme alanında zeminin fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik yapılan laboratuvar deneyleri**

İnceleme alanında gözlenen zeminlerin indeks ve fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik olarak 4 adet Atterberg Limitleri, 4 adet elek analiz, 4 adet su muhtevası deneyleri ile 4 adet zemin sınıfı tanımlaması yapılmıştır. Çizelge 4.11,

inceleme alanındaki zemin örneklerinin indeks ve fiziksel özelliklerini gösteren laboratuvar sonuçlarını içermektedir. Sondaj kuyularından alınan örnekler üzerinde doğal su muhtevası, elek analizi ve Atterberg limitleri gibi deneyler yapılmıştır. Bu analizlerin sonucunda zeminin birleşimi, sınıflandırması ve fiziksel dayanımı hakkında bilgi elde edilmiştir.

Çizelge 4.13’de görüldüğü üzere, numunelerin doğal su muhtevası %10.20 ile %37.20 arasında değişmektedir. Daha yüksek su muhtevası, zeminin plastik özelliklerini artırabilir ve bu durum zeminin taşıma kapasitesini etkilemektedir. Elek analizinde, SK-1 sondaj kuyusunda alınan 1.50-1.95 m derinlikteki örnekte %63.10’un #200 elekten geçtiği gözlenmiştir. Bu oran, zeminin ince taneli (killi) bir yapıya sahip olduğunu gösterir. Atterberg limitleri olan Likit limit (LL) ve plastik limit (PL) değerleri ile hesaplanan plastik indeks (PI) zeminlerin plastik özelliklerini belirler. PI değeri yüksek olan numunelerde daha fazla deformasyon kapasitesi vardır. SK-1 kuyusundan alınan 1.50-1.95 m derinlikteki numunenin PI değeri 12.70’tir, bu da belirli bir plastisitede gösterdiğini belirtir. Çizelge 4.13’de sunulan laboratuvar sonuçlarına göre, likit limitin (LL) %30’un üzerinde ve plastisite indeksinin (PI) 12-15 arasında olduğu, ayrıca % 200 eleğinden geçen ince malzeme oranının yüksek olduğu birimlerde, yerel zemin davranışı açısından düşük rijitlik ve zayıf taşıma kapasitesi gözlemlenmektedir. Bu veriler, deprem yüklerine karşı zemin deformasyonunun daha yüksek olabileceğine işaret eder. Bu nedenle, bu tür zeminlerin TBDY (2018)’e göre ZC ve ZD zemin sınıfında olması, yapı tasarımı sırasında ilave mühendislik önlemlerinin alınmasını gerekli kılmaktadır.

**Çizelge 4.13.** Birimlerin indeks ve fiziksel özelliklerini gösterir laboratuvar sonuçları

| Numune            |                    |               | Doğal Su Muhtevası (%) | Elek Analizi  |                | Atterberg Limitleri |        |        | TBDY – 2018 | Formasyon |
|-------------------|--------------------|---------------|------------------------|---------------|----------------|---------------------|--------|--------|-------------|-----------|
| Sondaj Kuyusu Adı | Numune Tipi ve Adı | Derinlik (m.) |                        | #10 Kalan (%) | #200 Geçen (%) | LL (%)              | PL (%) | PI (%) |             |           |
| SK-1              | SPT                | 1.50-1.95     | 17.90                  | 2.10          | 63.10          | 31.70               | 19.10  | 12.70  | ZD          | Qn Rez.   |
| SK-1              | UD                 | 2.50-3.00     | 37.20                  | 7.10          | 33.00          | 33.40               | 18.10  | 15.30  | ZC–ZD       | Qn Rez.   |
| SK-2              | SPT                | 1.50-1.95     | 25.00                  | 1.10          | 57.40          | 31.60               | 18.80  | 12.80  | ZD          | Qn Rez.   |
| SK-2              | UD                 | 3.00-3.50     | 10.20                  | 1.30          | 71.20          | 33.40               | 18.10  | 15.30  | ZD          | Qn Rez.   |

#### 4.8.2. İnceleme alanında zeminin mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik yapılan laboratuvar deneyleri

İnceleme alanında gözlenen zeminlerin mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik 1 adet üç eksenli basınç deneyi, 1 adet direk kesme deneyi, 2 adet birim hacim ağırlık deneyi ve 1 adet konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Çizelge 4.14’de, zeminlerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan üç eksenli basınç, doğrudan kesme ve konsolidasyon deneylerinin sonuçları verilmiştir. Bu deneyler zeminlerin mukavemet ve sıkışabilirlik özelliklerini ortaya koymaktadır. SK-1 sondaj noktasında, 2.50–3.00 m derinlikte alınan numunenin doğal birim hacim ağırlığı  $17.50 \text{ kN/m}^3$ , SK-2 sondaj noktasında ise 3.00–3.50 m derinlikte alınan numunenin değeri  $19.00 \text{ kN/m}^3$  olarak belirlenmiştir. Bu değerler, Qn Rez. (Nemrut volkaniti) formasyonunun yer yer daha yoğun (kompakt) yapıya sahip olabileceğini ve zeminlerin mühendislik açısından orta-iyi derecede taşıma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. SK-2’deki daha yüksek değer, daha düşük boşluk oranı ve daha fazla tane içi bağ olduğunu düşündürülebilir. Bu durum zemin mukavemeti ve oturma davranışı açısından olumlu bir gösterge olabilir.

SK-1 sondajından elde edilen verilere göre kohezyon  $0.21 \text{ kgf/cm}^2$ , içsel sürtünme açısı ise  $19^\circ$  olarak ölçülmüştür. Bu değerler, formasyonun düşük kohezyonlu ve orta derecede sürtünme açısına sahip olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla zemin, drenajsız koşullarda kaymaya karşı nispeten zayıf bir direnç sunmaktadır. SK-2’de bu deney gerçekleştirilmediğinden, o bölgedeki zemin dayanımı hakkında doğrudan bir kıyas yapılamamaktadır. Ancak SK-1’deki  $c$  ve  $\phi$  değerleri, mühendislik yapıları için düşük-orta dayanımlı zemin sınıfına işaret eder. SK-2 sondajında, drenajsız kohezyon değeri ( $c_{up}$ )  $0.55 \text{ kN/m}^2$  olarak ölçülmüş ve içsel sürtünme açısı  $5^\circ$  bulunmuştur. Bu sonuçlar oldukça düşük değerlere işaret etmektedir. Düşük drenajsız kohezyon ve sürtünme açısı, zeminlerin ani yüklemelerde kayma yüzeylerinin hızlı bir şekilde oluşabileceğini gösterir. Bu durum özellikle deprem gibi dinamik yükler altında stabilite problemleri doğurabilir. Bu bağlamda SK-2’nin bulunduğu konumda, zemin iyileştirme veya temel türü seçimi konularında dikkatli olunmalıdır. SK-1 noktasında üç eksenli deney yapılmamıştır, bu da o bölge için bu parametrelerin yorumlanmasını kısıtlamaktadır. SK-2 sondajında ölçülen şişme yüzdesi % 1.25 ve şişme basıncı  $1.25 \text{ kgf/cm}^2$  olarak belirlenmiştir. Bu değerler, zemin biriminin şişme potansiyeline sahip olduğunu, özellikle su ile temasta hacim değişimine uğrayabileceğini göstermektedir. Bu tür şişme davranışı, yapılar için diferansiyel oturma riski ve uzun vadeli deformasyonlar anlamına gelebilir. Bu nedenle

şişme potansiyeli olan zeminlerde temellerin oturma analizlerinin detaylı şekilde yapılması, gerektiğinde zemin iyileştirme yöntemleri (örneğin ön yükleme, drenaj vb.) uygulanması gerekebilir.

**Çizelge 4.14.** Birimlerin mekanik özelliklerini gösterir laboratuvar sonuçları

| Numue             |                    |               | Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> ) | TBDY – 2018 | Direk Kesme (UU)         |            | Üç Eksenli Basınç (UU)                 |                   | Konsolidasyon     |                                      | Formasyon |
|-------------------|--------------------|---------------|------------------------------------------------|-------------|--------------------------|------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|-----------|
| Sondaj Kuyusu Adı | Numune Tipi ve Adı | Derinlik (m.) |                                                |             | c (kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\phi$ (°) | * c <sub>up</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) | * $\phi_{up}$ (°) | Şişme Yüzdesi (%) | Şişme Basıncı (kgf/cm <sup>2</sup> ) |           |
| SK-1              | UD                 | 2.50-3.00     | 17.50                                          | ZC-ZD       | 0.21                     | 19         |                                        |                   |                   |                                      | Qn Rez.   |
| SK-2              | UD                 | 3.00-3.50     | 19.00                                          | ZD          |                          |            | 0.55                                   | 5                 | 1.25              |                                      | Qn Rez.   |

#### 4.8.3. İnceleme alanında yapılan kaya mekaniği deneyleri

İnceleme sahasında, her 1.5 m'de bir SPT ile örselenmiş zemin örnekleri alınırken, aynı zamanda bazı seviyelerde örselenmemiş ve karot numuneler de temin edilmiştir. Bu örnekler üzerinde yapılan gözlemler ve ölçümler doğrultusunda, kaya birimlerinin dayanım ve bütünlük özellikleri Sağlam Karot Verimi (SCR) ve RQD (Rock Quality Designation) parametreleriyle ortaya konmuştur. Çizelge 4.15’de görüldüğü üzere, SCR değerleri % 5 ile % 50 arasında, RQD değerleri ise %5 ile %45 arasında değişmektedir. Bu aralıklar, genel olarak kayaların orta derecede ayrılmış, zayıf sürekliliğe sahip ve parçalanmış bir yapıda olduğunu göstermektedir. RQD değerleri açısından sınıflama yapıldığında (Deere & Deere, 1989; ISRM, 2007), % 25-50 aralığı "Zayıf kaya", %0-25 aralığı ise "Çok zayıf kaya" olarak tanımlanmaktadır. Bu değerlere göre, incelenen karot örneklerinin çoğu oldukça zayıf ya da düşük nitelikli kayaç özellikleri göstermektedir. Aynı zamanda SCR değerlerinin düşük olması, karotların sondaj sırasında bütün halde alınamadığını, kayacın süreksizliklerle ayrıldığını ve mekanik dayanımının zayıf olduğunu göstermektedir (ISRM, 1981).

**Çizelge 4.15.** Karot numunelerin RQD ve SCR değerleri

| Numune        |                    |               | SCR (%) | RQD (%) | LİTOLOJİ   | FORM. |
|---------------|--------------------|---------------|---------|---------|------------|-------|
| Sondaj Kuyusu | Numune Tipi ve Adı | Derinlik (m.) |         |         |            |       |
| SK-1          | CR                 | 10.00         | 15-30   | 10-25   | İgnimbirit | Qn    |
| SK-2          | CR                 | 8.00          | 30-40   | 25-35   | İgnimbirit | Qn    |
| SK-3          | CR                 | 8.00          | 20-45   | 10-40   | Kuvarsit   | Pzbko |

|       |    |      |       |       |             |       |
|-------|----|------|-------|-------|-------------|-------|
| SK-4  | CR | 7.00 | 20-45 | 10-35 | Kuvarsit    | Pzbko |
| SK-5  | CR | 6.00 | 10-15 | 5-10  | Şist        | Pzbku |
| SK-6  | CR | 7.00 | 10-20 | 5-15  | Şist        | Pzbku |
| SK-7  | CR | 8.00 | 15-30 | 10-20 | Mikaşist    | Pey   |
| SK-8  | CR | 7.00 | 15-40 | 10-30 | Mikaşist    | Pey   |
| SK-9  | CR | 7.00 | 20-50 | 10-40 | Kireçtaşı   | PzMzç |
| SK-10 | CR | 7.00 | 20-50 | 15-40 | Kireçtaşı   | PzMzç |
| SK-11 | CR | 8.00 | 20-50 | 10-40 | Çört-Kayrak | Mzi   |
| SK-12 | CR | 7.00 | 5-30  | 5-15  | Traverten   | Qtr   |
| SK-13 | CR | 7.00 | 10-20 | 5-15  | Traverten   | Qtr   |

İncelenen sondaj kuyularında Qn (Nemrut volkanitleri), Pzbko (Kuvarsit), Pzbku (Şist), Pey (Mikaşist), PzMzç (Kireçtaşı), Mzi (Çört-Kayrak) ve Qtr (Traverten) gibi farklı formasyonlara ait litolojik birimler gözlenmiştir. Kuvarsit ve şist birimlerinde %45'e kadar çıkan RQD ve SCR değerleri, bu kayaların yer yer daha sağlam zonlara sahip olduğunu göstermektedir. Ancak özellikle Qtr (Traverten) ve Pzbku (Şist) formasyonlarında, RQD ve SCR değerleri oldukça düşüktür (%5–15). Bu, bu birimlerin daha ayrılmış, çatlaklı ve düşük dayanımlı olduğunu ifade eder. Traverten gibi sekonder oluşumlu kayalarda bu durum beklenen bir sonuç olup, mühendislik uygulamalarında dikkatli değerlendirme yapılmasını gerektirir. Elde edilen karot numunelerinden hesaplanan RQD ve SCR değerleri, Bitlis merkezindeki kaya ortamının heterojen ve zayıf dayanımlı olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, yapılacak temel tasarımı ve yapı güvenliği açısından bu kaya birimlerinin zayıf karakterleri dikkate alınmalı, gerekli durumlarda zemin iyileştirme teknikleri (enjeksiyon, ankraj, tahkimat vb.) uygulanmalıdır. Özellikle düşük RQD ve SCR değerleri gösteren bölgelerde doğrudan temellendirme önerilmemekte, kazı stabilitesi açısından ek jeoteknik önlemler alınması tavsiye edilmektedir.

İnceleme alanında açılan sondaj kuyularından alınan karot numuneleri üzerinde toplam 5 adet tek eksenli basınç deneyi ile 8 adet nokta yükleme deneyi yapılmıştır. Çizelge 4.16'da, sondaj kuyularından alınan karot numuneleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç ve nokta yükleme deneylerinin sonuçları verilmiştir.

SK-1'den SK-13'e kadar olan numuneler üzerinde yapılan nokta yükleme deneyleri sonucunda, özellikle kuvarsit ve kireçtaşı gibi kayaların yüksek nokta yükleme değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. SK-4 kuyusundaki kuvarsit örneğinde nokta yükleme değeri oldukça yüksek ( $278.50 \text{ kgf/cm}^2$ ) çıkmıştır, bu da dayanıklı bir kaya türü olduğunu göstermektedir. SK-10 kuyusundaki kireçtaşı örneğinin tek eksenli basınç dayanımı  $345.60 \text{ kgf/cm}^2$  olarak ölçülmüştür, bu da oldukça yüksek bir dayanım değeridir. Dolayısıyla bu sonuç bu kayaların yük taşıma kapasitesinin iyi olduğunu

göstermektedir. Çeşitli litolojilere ait numuneler (ignimbirit, kuvarsit, şist, mikaşist, kireçtaşı, traverten gibi) alınmış olup, her bir kaya türü dayanım açısından farklılık göstermektedir. Örneğin, mikaşist numuneler (SK-7 ve SK-8) yüksek basınç dayanımına sahiptir (sırasıyla 165.20 ve 163.50 kgf/cm<sup>2</sup>), bu da mikaşistin belirli bir mukavemet sunduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, inceleme alanındaki zemin ve kaya birimlerinin taşıma kapasiteleri, sıkışabilirlik özellikleri ve mukavemetleri hakkında kapsamlı bilgi sunmaktadır.

**Çizelge 4.16.** Kaya mekaniği özelliklerini gösterir laboratuvar sonuçları

| Sondaj Kuyusu Adı | Numune             |               | Nokta Yükleme<br>*Is = P / De2<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | Kayada Tek Eksenli Basınç Deneyi qu (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Litoloji   | Formasyon |
|-------------------|--------------------|---------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------|-----------|
|                   | Numune Tipi ve Adı | Derinlik (m.) |                                                          |                                                            |            |           |
| SK-1              | CR                 | 5.00-6.00     | 6.40                                                     |                                                            | İgnimbirit | Qn        |
| SK-2              | CR                 | 7.00-8.00     | 4.80                                                     |                                                            | İgnimbirit | Qn        |
| SK-3              | CR                 | 6.00-8.00     | 20.30                                                    |                                                            | Kuvarsit   | Pzbko     |
| SK-4              | CR                 | 6.00-7.00     |                                                          | 278.50                                                     | Kuvarsit   | Pzbko     |
| SK-5              | CR                 | 4.50-6.00     | 8.20                                                     |                                                            | Şist       | Pzbku     |
| SK-6              | CR                 | 6.00-7.00     | 9.60                                                     |                                                            | Şist       | Pzbku     |
| SK-7              | CR                 | 6.00-8.00     |                                                          | 165.20                                                     | Mikaşist   | Pey       |
| SK-8              | CR                 | 6.00-7.00     |                                                          | 163.50                                                     | Mikaşist   | Pey       |
| SK-9              | CR                 | 6.00-7.00     |                                                          | 255.60                                                     | Kireçtaşı  | PzMzç     |
| SK-10             | CR                 | 4.50-6.00     |                                                          | 345.60                                                     | Kireçtaşı  | PzMzç     |
| SK-11             | CR                 | 4.00-5.00     | 10.50                                                    |                                                            | Çört-      | Mzi       |
| SK-12             | CR                 | 6.00-7.00     | 5.10                                                     |                                                            | Traverte   | Qtr       |
| SK-13             | CR                 | 5.00-6.00     | 6.00                                                     |                                                            | Traverte   | Qtr       |

#### 4.9. İnceleme Alanının Zemin Birimlerinin Jeoteknik Açından Değerlendirilmesi

İnceleme alanının temel jeolojisini Nemrut Volkanitleri ve Kokarsu Formasyonları oluşturmaktadır.

- ◆ Yolcular Formasyonuna ait mikaşistler, kaya birimler
- ◆ Kokarsu Formasyonuna ait kuvarsitler kaya birimler
- ◆ Kuştaşı Formasyonuna ait şistler kaya birimler
- ◆ Çadırdağ Formasyonuna ait kireçtaşları kaya birimler
- ◆ İçmeli Formasyonuna ait çört, kayraklar kaya birimler
- ◆ Nemrut Volkanitine ait ignimbiritler kaya birimler+zemin
- ◆ Kuvaterner yaşlı Travertenler kaya birimler olarak değerlendirilmiştir.

Nemrut volkanitlerinin üst kesimlerinde yapılan çalışmalarda kalınlığı yer yer değişmekle birlikte 1-5 m kalınlığında çakıllı kumlu siltli kil-killi kumdan oluşan bozuşma zonu gözlenmiştir. Dolayısıyla Nemrut volkanitlerinin ayrışma ürünleri zemin olarak değerlendirilmiştir. İnceleme alanında gözlenen Nemrut Volkanitlerinin kalınlığı yer yer kalınlığı değişen bozunmuş kesiminden alınan numune üzerinde yapılan elek analiz sonuçlarına göre, bu seviye ortalama % 2.33 oranında çakıl, % 40.55 oranında kum ve % 57.12 oranında ise ince tane (silt-kil) içermektedir (Çizelge 4.17). Bu değerlere göre inceleme alanında gözlenen ayrışma zonunun zemin sınıfı ZD (çakıllı kumlu siltli kil-killi kum) olarak değerlendirilmiştir.

**Çizelge 4.17.** İnceleme alanındaki zeminlerin jeolojik birimlere göre ortalama tane boyu dağılım aralıkları

| BİRİM                                        | TANE BOYU      |              |                   |             |
|----------------------------------------------|----------------|--------------|-------------------|-------------|
|                                              | Ort. Çakıl (%) | Ort. Kum (%) | Ort. Kil-Silt (%) | Zemin Grubu |
| <i>NemrutVolkanitleri<br/>(Ayrışma zonu)</i> | 2.33           | 40.55        | 57.12             | ZD          |

İnceleme alanında yer alan Nemrut Volkanitleri'nin ayrışma zonuna ait zeminlerde (Çizelge 4.18); ortalama % 2.33 çakıl, % 40.55 kum ve % 57.12 oranında kil-silt bileşeni tespit edilmiştir. Bu dağılım, zeminin ince daneli karakterde olduğunu ve plastik özellikler taşıyan bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Kum oranının %35'in üzerinde olması, zeminin kısmen geçirimli olduğunu gösterirken; kil-silt oranının baskınlığı, özellikle yüksek plastisiteli bir zemin yapısına işaret etmektedir. Bu tür bir tane dağılımı, zemin davranışı açısından orta ile düşük mukavemet, yüksek oturma potansiyeli ve konsolidasyon süresinin uzunluğu gibi mühendislik problemlerine neden olabilir.

TBDY, 2018'e göre zemin sınıfı bakımından değerlendirildiğinde, Nemrut volkanitlerindeki ayrışma zonu ZD sınıfına girmektedir. ZD sınıfı; kil, silt, kumlu kil, siltli kum gibi düşük dayanımlı, oturmaya hassas ve zayıf mühendislik özellikleri taşıyan zeminleri kapsamaktadır. Bu kapsamda, yapılaşma açısından zemin iyileştirme gerektirebilecek, özellikle taşıma gücü ve oturma davranışı açısından özel mühendislik önlemleri gerektiren birimler arasında yer alır. Nemrut Volkanitleri'nin ayrışma zonundaki zeminlerin mühendislik projelerinde dikkatli şekilde değerlendirilmesi, gerekirse zemin iyileştirme teknikleri (örneğin konsolidasyon süresinin kısaltılması,

drenaj artırımı veya donatı kullanımı) uygulanması ve özellikle temel tipi seçiminde zemin özelliklerinin dikkate alınması gerekmektedir.

**Çizelge 4.18.** İnceleme alanındaki zeminlerin jeolojik birimlere göre indeks özellikleri

| BİRİM                                     | Likit Limit (LL) % |       | Plastik Limit (PL) % |       | Plastisite İndisi (PI) % |       | D.B.H.A. ( $\gamma_n$ ) gr/cm <sup>3</sup> |       | Su İçeriği (W) % |       |
|-------------------------------------------|--------------------|-------|----------------------|-------|--------------------------|-------|--------------------------------------------|-------|------------------|-------|
|                                           | Min.               | Max.  | Min.                 | Max.  | Min.                     | Max.  | Min.                                       | Max.  | Min.             | Max.  |
| <b>Nemrut Volkanitleri (Ayrışma zonu)</b> | 25.00              | 33.40 | 18.10                | 19.20 | 6.80                     | 15.30 | 17.50                                      | 19.00 | 6.70             | 37.20 |

Bu değerlere göre rezidüel zonun, kıvamlilik indeksi ( $I_c$ ) 0.80-1.56 olarak bulunmuş olup “sert-çok sert” (Çizelge 4.19), Likit Limit değeri %25.0-33.40 olduğundan “düşük-orta sıkışabilir” (Çizelge 4.20) ve plastisite indisi değerinin % 6.80-15.30 olduğundan “düşük-orta plastisiteli” (Çizelge 4.21) özelliğindedir.

**Çizelge 4.19.** İnceleme alanındaki zeminlerin limit değerleri

| Sondaj Kuyusu | Numue              |               | Doğal Su Muhtevası (%) | Atterberg Limitleri |        |        | Plastisite Derecesi | Kıvamlilik İndisi | TANIM | Sıkışma İndisi | TANIM | Formasyon |
|---------------|--------------------|---------------|------------------------|---------------------|--------|--------|---------------------|-------------------|-------|----------------|-------|-----------|
|               | Numune Tipi ve Adı | Derinlik (m.) |                        | LL (%)              | PL (%) | PI (%) |                     |                   |       |                |       |           |
| SK-1          | SP                 | 1.50-1.95     | 17.90                  | 31.7                | 19.10  | 12.70  | Orta                | 1.09              | Çok   | 0.20           | Orta  | Qn        |
| SK-1          | U                  | 2.50-3.00     | 19.50                  | 33.4                | 18.10  | 15.30  | Orta                | 0.91              | Sert  | 0.21           | Orta  | Qn        |
| SK-2          | SP                 | 1.50-1.95     | 21.40                  | 31.6                | 18.80  | 12.80  | Orta                | 0.80              | Sert  | 0.19           | Düşük | Qn        |
| SK-2          | U                  | 3.00-3.50     | 10.20                  | 31.2                | 16.50  | 14.70  | Orta                | 1.43              | Çok   | 0.19           | Düşük | Qn        |

**Çizelge 4.20.**  $I_c$  ve Plasitite arasındaki ilişki (Leonards, 1962)

| KIVAMLILIK İNDEKSİ ( $I_c$ ) | TANIM                |
|------------------------------|----------------------|
| < 0                          | Akışkan (Çamur)      |
| 0-0,25                       | Çok yumuşak          |
| 0,25-0,50                    | Yumuşak              |
| 0,50-0,75                    | Yarı sert (sıkı)     |
| 0,75-1,0                     | Sert                 |
| >1,0                         | Yarı katı (Çok sert) |

**Çizelge 4.21.** Zeminlerin sıkışabilirliği (Sowers, 1979)

| TANIM                 | SIKIŞMA İNDİSİ ( $C_c$ ) | LİKİT LİMİT (%) |
|-----------------------|--------------------------|-----------------|
| Düşük sıkışabilirlik  | 0-0,19                   | 0-30            |
| Orta sıkışabilirlik   | 0,20-0,39                | 31-50           |
| Yüksek sıkışabilirlik | >0,40                    | >50             |



Çizelge 4.22'ye göre, inceleme alanında yer alan Nemrut Volkanitleri'ne ait ayrışma zonunda yapılan tane boyu dağılım analizleri sonucunda, zeminin ortalama % 2.33 çakıl, % 40.55 kum ve % 57.12 kil-silt fraksiyonuna sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda zemin, ince daneli malzeme ağırlıklı bir yapıya sahiptir ve TBDY (2018)'e göre, zemin grubu “ZD” olarak tanımlanmıştır. Bu sınıflandırma, zeminlerin düşük taşıma gücüne ve yüksek deformasyon potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle ayrıışmış volkanik kayalardan oluşan bu birimde yüksek kil-silt oranı, suya duyarlılığı artırmakta ve mühendislik yapıları açısından dikkatli temel tasarımını gerekli kılmaktadır. Sonuç olarak, zeminin taşıma gücünün sınırlı olduğu ve yapılaşma öncesinde iyileştirme veya uygun temel sistemlerinin tercih edilmesi gerektiği değerlendirilmiştir.

**Çizelge 4.22.** Kohezyonlu zeminlerin plastisite indisine göre sınıflandırılması (Burmister, 1951)

| PLASTİSİTE<br>İNDİSİ, PI (%) |                |                      |             |
|------------------------------|----------------|----------------------|-------------|
|                              | Küçük çap (mm) | Plastisite derecesi  | Tanımlama   |
| 0                            | -              | Plastik değil        | Silt        |
| 1-5                          | 6              | Çok düşük plasiteli  | Killi silt  |
| 5-10                         | 3              | Düşük Plasiteli      | Silt ve kil |
| 10-20                        | 1,5            | Orta plasiteli       | Kil ve silt |
| 20-40                        | 0,8            | Yüksek plasiteli     | Siltli kil  |
| >40                          | 0,4            | Çok yüksek plasiteli | Kil         |

Çizelge 4.23'de verilen sondaj kuyularına ait Standart Penetrasyon Testi (SPT) sonuçlarına göre, inceleme alanındaki zeminlerin sıkılık ve yoğunluk özelliklerini ortaya koymaktadır. SK-1 ve SK-2 numaralı sondajlarda, sırasıyla 6.00 m ve 8.00 m derinliklerde gerçekleştirilen deneylerde SPT-(N30) değerleri sırasıyla 53 ve 63 olarak belirlenmiş, her iki noktada da relatif sıkılık değeri  $>0.85$  olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, zeminin “çok sıkı” sınıfında yer aldığını ve yüksek dayanım gösterdiğini ortaya koymaktadır. Nisbi yoğunluğun da yüksek olması, zeminin kompaksiyon düzeyinin oldukça iyi olduğunu göstermektedir. Bu zeminlerin “ZD” grubunda sınıflandırılması ve formasyon olarak Nemrut Volkaniti (Qn Rezidüel) içinde yer alması, volkanik kökenli ayrıışmış malzemenin yüksek sıkılık ve dayanım özelliklerini koruduğunu ifade etmektedir. Söz konusu parametreler, taşıma gücü yüksek ve oturma potansiyeli düşük zemin özelliklerine işaret etmekte olup, bu özellikler mühendislik yapıları açısından

avantaj sağlamaktadır. Ancak volkanik kökenli zeminlerde heterojenlik göz önünde bulundurulmalı ve yerel farklılıklar detaylıca incelenmelidir.

**Çizelge 4.23.** İnceleme alanındaki zeminlerin relatif sıklık ve nisbi yoğunluk tablosu

| SK NO | DER. (m) |      | ÖR. | SPT-(N30) | Relatif Sıklık | Nisbi Yoğunluk | Zemin Grubu | FORM.   |
|-------|----------|------|-----|-----------|----------------|----------------|-------------|---------|
| SK-1  | 6.00     | 1.50 | SPT | 53        | 0,85 <         | Çok sıkı       | ZD          | Qn Rez. |
| SK-2  | 8.00     | 1.50 | SPT | 63        | 0,85 <         | Çok sıkı       | ZD          | Qn Rez. |

#### 4.10. İnceleme Alanının Kaya Birimlerinin Jeoteknik Açısından Değerlendirilmesi

Yapılan arazi çalışmaları ve gözlemlere göre inceleme alanının temel jeolojisini oluşturan;

- ◆ Yolcular Formasyonuna ait mikashiştlar,
- ◆ Kokarsu Formasyonuna ait kuvarsitler,
- ◆ Kuştaşı Formasyonuna ait şiştlar,
- ◆ Çadırdağ Formasyonuna ait kireçtaşları,
- ◆ İçmeli Formasyonuna ait çört, kayraklar,
- ◆ Nemrut Volkanitine ait ignimbiritler,
- ◆ Kuaterner yaşlı Travertenler kaya birimler olarak değerlendirilmiştir.

Alınan karotlar örnekleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç deney sonuçlarına göre kaya birimlerin qu değeri 141.5-371.50 kg/cm<sup>2</sup> aralığında, nokta yükleme indeksi değerleri ise 3.10-24.00 kg/cm<sup>2</sup> aralığında hesaplanmıştır. Bu değerlere göre inceleme alanındaki kaya birimler “çok düşük-düşük-orta dayanımlı” kayaç (Bieniawski, 1975) (Çizelge 4.24) olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.24’de, kayaçların nokta yük dayanımı değerlerine göre sınıflandırılması verilmiştir (Bieniawski, 1975).

Bu sınıflandırma, kayaçların yük dayanımı açısından mühendislikte ne kadar güçlü olduklarını belirlemekte ve yapısal projelendirme için önemli bilgiler sağlamaktadır.

**Çizelge 4.24.** Kayaçların nokta yük direncine göre sınıflandırılması (Bieniawski, 1975)

| Tanım                | Nokta Yük Dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------------------------------|
| Çok yüksek dayanımlı | > 80                                     |
| Yüksek dayanımlı     | 80-40                                    |
| Orta dayanımlı       | 40-20                                    |
| Düşük dayanımlı      | 20-10                                    |
| Çok düşük dayanımlı  | <10                                      |

Çizelge 4.25’de, kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarına göre sınıflandırılmasını verilmiştir.

**Çizelge 4.25.** Kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması

| Tanım                | Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------------|---------------------------------------------------|
| Çok yüksek dayanımlı | > 2000                                            |
| Yüksek dayanımlı     | 1000-2000                                         |
| Orta dayanımlı       | 500-100                                           |
| Düşük dayanımlı      | 250-500                                           |
| Çok düşük dayanımlı  | <250                                              |

Çizelge 4.26’da, çeşitli sondaj kuyularından alınan kayaçların nokta yükleme ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri verilmiştir. İgnimbirit, Şist, Kuvarsit ve Mikaşist gibi kayaçların dayanım özellikleri düşük veya çok düşük dayanım gösterir. Örneğin, SK-1 ve SK-2 numunelerinde ignimbirit kayaçları nokta yükleme dayanımına göre; 5.00-6.00 m derinlikte 6.40 kg/cm<sup>2</sup> çok düşük dayanımlı olarak sınıflandırılmıştır Kuvarsit numunesinde (SK-3) ise dayanım orta seviyede, ancak bazı kireçtaşı örnekleri (SK-9 ve SK-10) daha yüksek dayanım göstererek düşük dayanımlı sınıfta yer almaktadır.

**Çizelge 4.26.** Kaya birimlerin dayanım özellikleri

| Sondaj Kuyusu | Numue              |               | Nokta Yükleme                             | Kayada Tek Eksenli Basınç Deneyi $q_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Dayanım Özellikleri | Litoloji   | Formasyon |
|---------------|--------------------|---------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------|------------|-----------|
|               | Numune Tipi ve Adı | Derinlik (m.) | * $I_s = P / De^2$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) |                                                               |                     |            |           |
| SK-1          | CR                 | 5.00-6.00     | 6.40                                      |                                                               | Çok Düşük           | İgnimbirit | Qn        |
| SK-2          | CR                 | 7.00-8.00     | 4.80                                      |                                                               | Çok Düşük           | İgnimbirit | Qn        |
| SK-3          | CR                 | 6.00-8.00     | 20.30                                     |                                                               | Orta                | Kuvarsit   | Pzbko     |
| SK-4          | CR                 | 6.00-7.00     |                                           | 278.50                                                        | Düşük               | Kuvarsit   | Pzbko     |
| SK-5          | CR                 | 4.50-6.00     | 8.20                                      |                                                               | Çok Düşük           | Şist       | Pzbku     |
| SK-6          | CR                 | 6.00-7.00     | 9.60                                      |                                                               | Çok Düşük           | Şist       | Pzbku     |
| SK-7          | CR                 | 6.00-8.00     |                                           | 165.20                                                        | Çok Düşük           | Mikaşist   | Pey       |
| SK-8          | CR                 | 6.00-7.00     |                                           | 163.50                                                        | Çok Düşük           | Mikaşist   | Pey       |
| SK-9          | CR                 | 6.00-7.00     |                                           | 255.60                                                        | Düşük               | Kireçtaşı  | PzMzç     |

|       |    |           |       |        |           |             |       |
|-------|----|-----------|-------|--------|-----------|-------------|-------|
| SK-10 | CR | 4.50-6.00 |       | 345.60 | Düşük     | Kireçtaşı   | PzMzç |
| SK-11 | CR | 4.00-5.00 | 10.50 |        | Düşük     | Çört-Kayrak | Mzi   |
| SK-12 | CR | 6.00-7.00 | 5.10  |        | Çok Düşük | Traverten   | Qtr   |
| SK-13 | CR | 5.00-6.00 | 6.00  |        | Çok Düşük | Traverten   | Qtr   |

Her bir kayanın yapısal sağlamlık açısından değerlendirilebilmesine ve proje planlamasında uygun kaya türlerinin seçilmesine olanak tanımaktadır. İnceleme alanında açılan sondajlarda kaya seviyelerden karot numuneler alınmış kaya birimlerin RQD değeri %5-50 aralığında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.27). RQD değerlerine göre ise kaya birimler “çok kötü-kötü-orta” kaliteli kayaç aralığında ve kayaçların RQD değerine göre ayrışma derecesi tanımlaması yapılmış ve kaya birimlerin üstten alta doğru “tamamen ayrılmış-çok fazla ayrılmış-orta derecede ayrılmış” olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.28). Çizelge 4.27’de yer alan sınıflandırma, kayaçların inşaat mühendisliği uygulamaları için uygunluk derecesini belirlemekte önemlidir. Düşük RQD değerine sahip kayaçlar daha ayrılmış, düşük dayanımlı ve düşük mühendislik özelliklerine sahiptir.

**Çizelge 4.27.** Kayaçların kaya kalitesine (RQD) göre sınıflandırılması (Şekercioğlu, 2002)

| <b>RQD</b>   | <b>Kaya Tanımı</b>   |
|--------------|----------------------|
| 100-90       | Çok iyi kaliteli     |
| 90-75        | İyi kaliteli         |
| 75-50        | Orta kaliteli        |
| <b>50-25</b> | <b>Kötü kaliteli</b> |
| 25>          | Çok kötü kaliteli    |

**Çizelge 4.28.** Kayaçların RQD değerine göre ayrışma derecesi tanımlaması (Bieniawski, 1973)

| <b>RQD (%)</b> | <b>AYRIŞMA DERECESİ</b>       | <b>SİMGE</b> |
|----------------|-------------------------------|--------------|
| 90-100         | Ayrılmamış                    | W1           |
| 75-90          | Az Ayrılmış                   | W2           |
| <b>50-75</b>   | <b>Orta Derecede Ayrılmış</b> | <b>W3</b>    |
| 25-50          | Çok Fazla Ayrılmış            | W4           |
| <25            | Tamamen Ayrılmış              | W5           |

Bu ayrışma derecesi, kayaçların fiziksel olarak ne kadar sağlam olduğunu gösterir. W1 sınıfındaki kayaçlar daha bütünlüklü, dayanıklı olup mühendislik uygulamaları için elverişli kabul edilirken, W5 sınıfı tamamen ayrılmış kayaçlar daha düşük dayanım gösterir ve zayıf taşıma kapasitesine sahiptir. Çizelge 4.29’da, kayaçların RQD yüzdesine

göre kaya kalitesi ve ayrışma dereceleri verilmiştir. İgnimbirit (SK-1 ve SK-2), %25-35 aralığındaki RQD değeriyle “Çok Kötü-Kötü” kaya kalitesi ve tamamen-çok ayrılmış (W5-W4) olarak sınıflandırılmıştır. Bu, ignimbiritin düşük mukavemetli olduğunu gösterir. Kuvarsit (SK-3 ve SK-4), %10-40 aralığındaki RQD değeriyle “Çok Kötü-Kötü” kaya kalitesi ile tamamen veya çok ayrılmış olarak sınıflandırılmıştır. Kireçtaşı (SK-9 ve SK-10), %10-40 arası RQD değerleriyle “Çok Kötü-Kötü” kalitesinde sınıflandırılmıştır, tamamen veya çok ayrılmış olup mühendislik uygulamaları için uygun değildir. -Yüksek ayrışma derecesine sahip kayalar düşük taşıma kapasitesine sahiptir, bu da yapılaşma için elverişli olmadıklarını gösterir.

**Çizelge 4.29.** Kayaçların RQD değerine göre kaya kalitesi ve ayrışma derecesi özellikleri

| Numune        |                    |               | RQD (%) | Kaya Kalitesi | Ayrışma Derecesi | TANIM                | LİTOLOJİ    | FORM  |
|---------------|--------------------|---------------|---------|---------------|------------------|----------------------|-------------|-------|
| Sondaj Kuyusu | Numune Tipi ve Adı | Derinlik (m.) |         |               |                  |                      |             |       |
| SK-1          | CR                 | 6.00          | 25-30   | Çok Kötü-Kötü | W5-W4            | Tamamen-Çok Ayrılmış | İgnimbirit  | Qn    |
| SK-2          | CR                 | 8.00          | 25-35   | Çok Kötü-Kötü | W5-W4            | Tamamen-Çok Ayrılmış | İgnimbirit  | Qn    |
| SK-3          | CR                 | 8.00          | 10-40   | Çok Kötü-Kötü | W5-W4            | Tamamen-Çok Ayrılmış | Kuvarsit    | Pzbko |
| SK-4          | CR                 | 7.00          | 10-35   | Çok Kötü-Kötü | W5-W4            | Tamamen-Çok Ayrılmış | Kuvarsit    | Pzbko |
| SK-5          | CR                 | 6.00          | 5-10    | Çok Kötü      | W5               | Tamamen Ayrılmış     | Şist        | Pzbku |
| SK-6          | CR                 | 7.00          | 5-15    | Çok Kötü      | W5               | Tamamen Ayrılmış     | Şist        | Pzbku |
| SK-7          | CR                 | 8.00          | 10-20   | Çok Kötü      | W5               | Tamamen Ayrılmış     | Mikaşist    | Pey   |
| SK-8          | CR                 | 7.00          | 10-30   | Çok Kötü-Kötü | W5-W4            | Tamamen-Çok Ayrılmış | Mikaşist    | Pey   |
| SK-9          | CR                 | 7.00          | 10-40   | Çok Kötü      | W5               | Tamamen Ayrılmış     | Kireçtaşı   | PzMzç |
| SK-10         | CR                 | 7.00          | 15-40   | Çok Kötü-Kötü | W5-W4            | Tamamen-Çok Ayrılmış | Kireçtaşı   | PzMzç |
| SK-11         | CR                 | 8.00          | 10-40   | Çok Kötü-Kötü | W5-W4            | Tamamen-Çok Ayrılmış | Çört-Kayrak | Mzi   |
| SK-12         | CR                 | 7.00          | 5-15    | Çok Kötü      | W5               | Tamamen Ayrılmış     | Traverten   | Qtr   |
| SK-13         | CR                 | 7.00          | 5-15    | Çok Kötü      | W5               | Tamamen Ayrılmış     | Traverten   | Qtr   |

#### 4.11. İnceleme Alanındaki Zeminlerin Dinamik–Elastik Parametrelerinin Değerlendirilmesi

İnceleme alanındaki zeminlerin yerel zemin sınıflaması, MASW (Multi-Channel Analysis of Surface Waves) analiz yöntemiyle hesaplanan 30 m derinliğe ait ortalama kayma dalgası hızları ( $V_{s30}$ ) ve sahada açılan sondaj verilerinden elde edilen SPT (N) ve drenajsız kayma dayanımı ( $c_u$ ) parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.30’da TBDY (2018)’e göre yerel zemin sınıfları verilmiştir. Bu bağlamda, kaya birimleri genel olarak "gevşek volkanik kayalar" ve "ayrışmış çimentolu tortul kayalar" olarak tanımlanmış olup, her iki birimin mühendislik özellikleri ve 30 metrelik ortalama kayma dalgası hızı ( $V_{s30}$ ) değerleri dikkate alınarak zemin sınıflandırmaları yapılmıştır. TBDY (2018)’e göre temel alınarak yapılan değerlendirmeler sonucunda; sağlam ve orta derecede ayrışmış kayalardan oluşan birimlerin  $V_{s30}$  değerleri  $\geq 700$  m/s olarak belirlenmiştir. Bu sınıfa karşılık gelen yerel zemin sınıfı ise 'ZB' olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.20). Dolayısıyla, Nemrut volkanitleri gibi ayrışma sonucu oluşmuş rezidüel birimlerin daha düşük kayma dalgası hızlarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu tür ayrışmış volkanik kayalar, daha yüksek deformasyon potansiyeli ve düşük mukavemet özellikleri sergilemekte olup, yapılan ölçümlerde  $V_{s30}$  değerlerinin 360 m/s ile 700 m/s aralığında değiştiği belirlenmiştir. İnceleme alanında zemin birimlerindeki  $V_{s30}$  değerleri dikkate alındığında, çoğu noktanın yerel zemin sınıfı açısından ZC ve ZD sınıfları arasında yer aldığı görülmekte, bu da yerleşim ve yapılaşma açısından alanın genel olarak orta derecede sağlam zemin özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 4.20).

Çizelge 4.30. TBDY (2018)’e göre tanımlanan zemin grupları ve zemin sınıfları

| Yerel Zemin Sınıfı | Zemin Cinsi                                                                                                                                                                               | Üst 30 Metrede Ortalama |                          |                      |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|
|                    |                                                                                                                                                                                           | ( $V_s$ )30<br>m/sn     | (N60)30<br>[darbe/30 cm] | ( $C_u$ )30<br>[kPa] |
| ZA                 | Sağlam, sert kayalar                                                                                                                                                                      | >1500                   | -                        | -                    |
| ZB                 | Az ayrışmış, orta sağlam kayalar                                                                                                                                                          | 760 – 1500              | -                        | -                    |
| ZC                 | Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar                                                                                                      | 360 – 760               | > 50                     | > 250                |
| ZD                 | Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları                                                                                                                                  | 180 – 360               | 15 – 50                  | 70 – 250             |
| ZE                 | Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \%40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak tabakası ( $c_u < 25$ kPa) içeren profiller | < 180                   | < 15                     | < 70                 |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ZF | <p>Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler:</p> <p>1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killler, çökebilir zayıf çimentolu zeminler vb.)</p> <p>2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla olan organik içerikli yüksek killler</p> <p>3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (<math>PI &gt; 50</math>) killler</p> |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

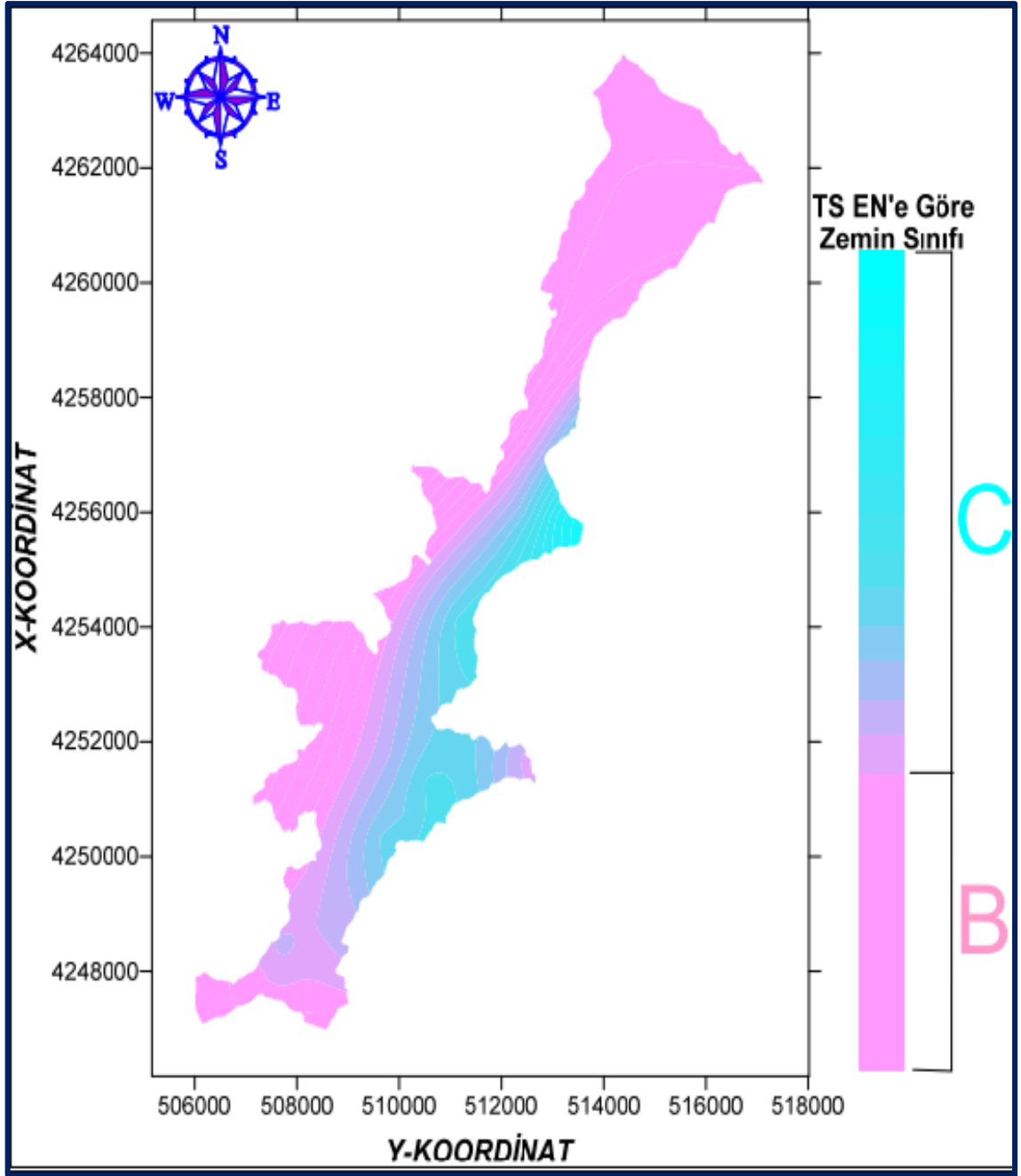
Çizelge 4.31’de görüldüğü üzere, yeni alüvyon olarak tanımlanan Qn (Nemrut volkanitleri) formasyonu üzerinde yer almaktadır. Vs30 değeri 379 m/sn’dir. Qn (Nemrut volkanitleri), genel olarak yumuşak zemin karakteri gösteren, gevşek yapıli bir birimdir. Ancak, buradaki Vs30 değeri, zemin sıkılaşmasının belirli bir seviyeye ulaştığını ve zemin koşullarının orta-yumuşak sınıra yakın olduğunu göstermektedir. Qn (Nemrut volkanitleri) formasyonu üzerinde yer alan bu birimin Vs30 değeri 343 m/sn olarak hesaplanmıştır. Orta Miyosen yaşlı, pekişmiş çökellerden oluşan Pzbko (Kuvarsit) formasyonu Vs30 değeri 600 m/sn olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla bu formasyondaki birimlerin rijitliğinin yüksek olduğunu ve orta sert kaya zemin karakteri gösterdiğini ifade eder. Bu tür zeminler, mühendislik yapıları için güvenli taban koşulları sağlar. Pzbko (Kuvarsit) formasyonu, Vs30 değeri 710 m/sn’dir. Bu yüksek değer, birimin oldukça iyi pekişmiş olduğunu ve sert kaya zemin karakteri sergilediğini gösterir. Zemin rijitliği yüksektir, deprem etkilerini azaltır. Pzbku (Şist) konglomera ve kumtaşı gibi daha iri taneli birimlerdir. Vs30 değeri 520 m/sn olarak hesaplanmıştır. Pey (Mikaşist) formasyonu sıkılaşmış, çok sert kireçtaşı ve tuf içerir. 792 m/sn’lik Vs30 değeri, bu formasyondaki birimin oldukça sert olduğunu gösterir. Sert kaya zemin özelliğı gösterir ve deprem dalgalarını en az büyüten zeminlerdendir. Pzmzç (Kireçtaşı), genellikle tuf ve ignimbrit içeren, nispeten rijit ancak yer yer kırıklı olabilen birimlerden oluşur. Vs30 değeri, 471 m/sn olarak hesaplanmıştır. Mzi (Çört-Kayrak), Miyosen yaşlı zayıf ignimbrit birimi ve Vs30 değeri 397 m/sn’dir. Qtr (traverten) formasyonu çoğunlukla yüzeysel ve gözenekli yapıdadır. Vs30 değeri 319 m/sn olarak hesaplanmıştır. Özellikle yüzeysel gevşek yapılar nedeniyle taşıma kapasitesi düşüktür ve sıvılaşma riski değerlendirilmeli, yapılar için önlemler alınmalıdır.

**Çizelge 4.31.** MASW yöntemine göre sismik hız  $V_{s30}$  değerleri

| MASW NO | Vs30 (m/sn) | FORMASYON |
|---------|-------------|-----------|
| MASW-1  | 379         | Qn        |
| MASW-2  | 343         | Qn        |

|                |     |       |
|----------------|-----|-------|
| <b>MASW-3</b>  | 600 | Pzbko |
| <b>MASW-4</b>  | 710 | Pzbko |
| <b>MASW-5</b>  | 520 | Pzbku |
| <b>MASW-6</b>  | 515 | Pzbku |
| <b>MASW-7</b>  | 792 | Pey   |
| <b>MASW-8</b>  | 784 | Pey   |
| <b>MASW-9</b>  | 471 | Pzmzç |
| <b>MASW-10</b> | 452 | Pzmzç |
| <b>MASW-11</b> | 397 | Mzi   |
| <b>MASW-12</b> | 319 | Qtr   |
| <b>MASW-13</b> | 371 | Qtr   |





**Şekil 4.20.** İnceleme alanının MASW yöntemiyle hesaplanan TS EN değerlerinin dağılımı haritası (CBS, Coğrafi Bilgi Sistemi, 2024)

İnceleme alanında gerçekleştirilen sismik kırılma ve Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) sonucunda elde edilen dinamik zemin parametreleri, zeminin mühendislik davranışını anlamak açısından kritik veriler sunmuştur. Bu kapsamda hesaplanan elastik parametreler arasında kayma dalgası hızı ( $V_s$ ), birim hacim ağırlık ( $\gamma$ ), dinamik kayma modülü ( $G$ ), elastisite modülü ( $E$ ), Poisson oranı ( $\nu$ ) ve sıkışabilirlik

modülü (K) yer almaktadır. Sismik kırılma ve MASW ölçümleri sonucu hesaplanan mühendislik parametreleri Çizelge 4.32’de verilmiştir.

**Çizelge 4.32.** İnceleme alanının sismik kırılma ve MASW yöntemleriyle hesaplanan dinamik-elastik mühendislik parametreleri

| SERİM NO | Tabaka No | Vp (m/sn) | Vs (m/sn) | h (m) | $\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> ) | Vp/Vs | $\nu$ | Gmax (kg/cm <sup>2</sup> ) | Ed (kg/cm <sup>2</sup> ) | K (kg/cm <sup>2</sup> ) | Formasyon |
|----------|-----------|-----------|-----------|-------|------------------------------|-------|-------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------|
| SİS1     | 1         | 575       | 277       | 4     | 1.52                         | 2.08  | 0.35  | 1163                       | 3137                     | 3461                    | Qn        |
|          | 2         | 1518      | 801       |       | 1.93                         | 1.90  | 0.31  | 12396                      | 32405                    | 27992                   |           |
| SİS2     | 1         | 453       | 233       | 7     | 1.43                         | 1.94  | 0.32  | 775                        | 2047                     | 1897                    | Qn        |
|          | 2         | 1678      | 1130      |       | 1.98                         | 1.48  | 0.09  | 25296                      | 54897                    | 22052                   |           |
| SİS3     | 1         | 873       | 450       | 6     | 1.68                         | 1.94  | 0.32  | 3407                       | 8988                     | 8280                    | Pzbko     |
|          | 2         | 3105      | 1547      |       | 2.31                         | 2.01  | 0.33  | 55296                      | 147629                   | 149031                  |           |
| SİS4     | 1         | 939       | 407       | 6     | 1.71                         | 2.31  | 0.38  | 2838                       | 7858                     | 11323                   | Pzbko     |
|          | 2         | 2901      | 1351      |       | 2.27                         | 2.15  | 0.36  | 41461                      | 112902                   | 135892                  |           |
| SİS5     | 1         | 590       | 356       | 6     | 1.53                         | 1.66  | 0.21  | 1933                       | 4693                     | 2732                    | Pzbku     |
|          | 2         | 2098      | 991       |       | 2.09                         | 2.12  | 0.36  | 20573                      | 55810                    | 64775                   |           |
| SİS6     | 1         | 821       | 323       | 8     | 1.66                         | 2.54  | 0.41  | 1729                       | 4869                     | 8863                    | Pzbku     |
|          | 2         | 2708      | 1440      |       | 2.23                         | 1.88  | 0.30  | 46300                      | 120647                   | 102007                  |           |
| SİS7     | 1         | 526       | 253       | 6     | 1.48                         | 2.08  | 0.35  | 949                        | 2561                     | 2836                    | Pey       |
|          | 2         | 1765      | 980       |       | 2.01                         | 1.80  | 0.28  | 19268                      | 49216                    | 36808                   |           |
| SİS8     | 1         | 1024      | 514       | 4     | 1.75                         | 1.99  | 0.33  | 4626                       | 12320                    | 12192                   | Pey       |
|          | 2         | 2660      | 1646      |       | 2.22                         | 1.62  | 0.19  | 60225                      | 143305                   | 76982                   |           |
| SİS9     | 1         | 551       | 292       | 6     | 1.50                         | 1.89  | 0.30  | 1279                       | 3337                     | 2848                    | Pzmzç     |
|          | 2         | 1622      | 1072      |       | 1.96                         | 1.51  | 0.11  | 22573                      | 50213                    | 21581                   |           |
| SİS10    | 1         | 526       | 253       | 6     | 1.48                         | 2.08  | 0.35  | 949                        | 2561                     | 2836                    | Pzmzç     |
|          | 2         | 1765      | 980       |       | 2.01                         | 1.80  | 0.28  | 19268                      | 49216                    | 36808                   |           |
| SİS11    | 1         | 682       | 260       | 6     | 1.58                         | 2.62  | 0.41  | 1069                       | 3026                     | 5931                    | Mzi       |
|          | 2         | 1631      | 1092      |       | 1.97                         | 1.49  | 0.09  | 23456                      | 51311                    | 21051                   |           |
| SİS12    | 1         | 471       | 302       | 5     | 1.44                         | 1.56  | 0.15  | 1315                       | 3027                     | 1445                    | Qtr       |
|          | 2         | 1584      | 1104      |       | 1.95                         | 1.43  | 0.03  | 23800                      | 48917                    | 17261                   |           |
| SİS13    | 1         | 486       | 249       | 6     | 1.45                         | 1.95  | 0.32  | 901                        | 2382                     | 2231                    | Qtr       |
|          | 2         | 1534      | 772       |       | 1.94                         | 1.99  | 0.33  | 11545                      | 30719                    | 30190                   |           |

Çizelge 4.33’de yer alan veriler doğrultusunda inceleme alanında gerçekleştirilen sismik kırılma ve Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) ölçümleri sonucunda elde edilen mühendislik parametreleri, zeminin dinamik ve elastik özellikleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Elde edilen verilere göre P-dalga ve S-dalga hızları, yerel zemin koşullarının değişkenliğini ortaya koymakta; düşük dalga hızları yumuşak ve gevşek zeminleri, yüksek hızlar ise daha sıkı ve rijit zemin birimlerini işaret etmektedir. Çizelge 4.33’de sunulan Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) yöntemiyle elde edilen dinamik-elastik mühendislik parametreleri, Bitlis Merkez İlçesi’ndeki zeminlerin sismik dalga yayılımına karşı gösterdiği davranışın ve

mühendislik açısından uygunluğunun değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Kayma dalgası hızı ( $V_s$ ) değerleri genellikle 250 m/s ile 750 m/s arasında değişmekte olup, bu durum zeminlerin gevşek-sıkı yapıda ve yer yer orta-iyi derecede taşıma gücüne sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen kayma modülü ( $G$ ), elastisite modülü ( $E$ ) ve Poisson oranı gibi parametreler, yerel zeminlerin rijitliğinin ve elastik özelliklerinin inşaat mühendisliği uygulamaları açısından kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca,  $V_{s30}$  değerleri dikkate alındığında, çoğu noktanın yerel zemin sınıfı açısından ZC ve ZD sınıfları arasında yer aldığı görülmekte, bu da yerleşim ve yapılaşma açısından alanın genel olarak orta derecede sağlam zemin özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu veriler, bölgede gerçekleştirilecek mühendislik yapılarının tasarımında dikkate alınması gereken önemli dinamik özellikleri yansıtmaktadır.

**Çizelge 4.33.** İnceleme alanının MASW yöntemiyle hesaplanan dinamik-elastik mühendislik parametreleri

| SERİM NO | Tabaka No | $V_p$ (m/sn) | $V_s$ (m/sn) | $h$ (m) | $\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> ) | $V_p/V_s$ | $\nu$ | $G_{max}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | $E_d$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | $K$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | Formasyon |
|----------|-----------|--------------|--------------|---------|------------------------------|-----------|-------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------|
| MASW-1   | 1         | 347          | 208          | 5       | 1.34                         | 1.67      | 0.22  | 578                             | 1410                        | 838                       | Qn        |
|          | 2         | 2009         | 403          |         | 2.07                         | 4.99      | 0.48  | 3366                            | 9955                        | 79150                     |           |
| MASW-2   | 1         | 483          | 231          | 6       | 1.45                         | 2.09      | 0.35  | 774                             | 2093                        | 2353                      | Qn        |
|          | 2         | 1193         | 402          |         | 1.82                         | 2.97      | 0.44  | 2940                            | 8443                        | 21971                     |           |
| MASW-3   | 1         | 1057         | 725          | 7       | 1.76                         | 1.46      | 0.06  | 9277                            | 19588                       | 7349                      | Pzbko     |
|          | 2         | 1473         | 801          |         | 1.92                         | 1.84      | 0.29  | 12303                           | 31744                       | 25202                     |           |
| MASW-4   | 1         | 839          | 508          | 5.5     | 1.67                         | 1.65      | 0.21  | 4299                            | 10409                       | 5994                      | Pzbko     |
|          | 2         | 1308         | 780          |         | 1.86                         | 1.68      | 0.22  | 11325                           | 27725                       | 16747                     |           |
| MASW-5   | 1         | 766          | 552          | 8       | 1.63                         | 1.39      | 0.04  | 4962                            | 9525                        | 2939                      | Pey       |
|          | 2         | 1728         | 941          |         | 2.00                         | 1.84      | 0.29  | 17671                           | 45564                       | 36028                     |           |
| MASW-6   | 1         | 770          | 593          | 6       | 1.63                         | 1.30      | 0.23  | 5734                            | 8843                        | 2022                      | Pey       |
|          | 2         | 1446         | 853          |         | 1.91                         | 1.70      | 0.23  | 13888                           | 34252                       | 21392                     |           |
| MASW-7   | 1         | 1242         | 312          | 7       | 1.84                         | 3.98      | 0.47  | 1789                            | 5246                        | 25960                     | Pzbku     |
|          | 2         | 2916         | 652          |         | 2.27                         | 4.47      | 0.47  | 9669                            | 28499                       | 180513                    |           |
| MASW-8   | 1         | 1181         | 314          | 5       | 1.81                         | 3.76      | 0.46  | 1789                            | 5231                        | 22923                     | Pzbku     |
|          | 2         | 2782         | 591          |         | 2.25                         | 4.71      | 0.48  | 7852                            | 23184                       | 163511                    |           |
| MASW-9   | 1         | 476          | 207          | 4       | 1.45                         | 2.30      | 0.38  | 619                             | 1714                        | 2450                      | Pzmzç     |
|          | 2         | 1027         | 553          |         | 1.75                         | 1.86      | 0.30  | 5358                            | 13887                       | 11337                     |           |
| MASW-10  | 1         | 491          | 325          | 5       | 1.46                         | 1.51      | 0.11  | 1539                            | 3417                        | 1461                      | Pzmzç     |
|          | 2         | 1257         | 517          |         | 1.84                         | 2.43      | 0.40  | 4926                            | 13776                       | 22552                     |           |
| MASW-11  | 1         | 607          | 258          | 4.5     | 1.54                         | 2.35      | 0.39  | 1023                            | 2842                        | 4297                      | Mzi       |
|          | 2         | 811          | 439          |         | 1.65                         | 1.85      | 0.29  | 3183                            | 8231                        | 6620                      |           |
| MASW-12  | 1         | 454          | 257          | 4.5     | 1.43                         | 1.77      | 0.26  | 944                             | 2386                        | 1687                      | Qtr       |
|          | 2         | 1076         | 413          |         | 1.77                         | 2.61      | 0.41  | 3024                            | 8549                        | 16493                     |           |
| MASW-13  | 1         | 378          | 221          | 4       | 1.36                         | 1.71      | 0.24  | 667                             | 1654                        | 1061                      | Qtr       |
|          | 2         | 1282         | 343          |         | 1.85                         | 3.74      | 0.46  | 2179                            | 6369                        | 27535                     |           |

#### 4.11.1. Yoğunluk ( $\rho$ )

Çizelge 4.34’de sunulan verilere göre, her bir serim noktasında (SİS1-SİS13) iki tabaka tespit edilmiş ve bu tabakalara ait yoğunluk değerleri ( $\rho$ , gr/cm<sup>3</sup>) hesaplanarak, zeminler yoğunluğa göre sınıflandırılmıştır. Genel olarak, elde edilen yoğunluk değerleri 1.41 gr/cm<sup>3</sup> ile 2.31 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Bu değer aralığı, zeminlerin orta ile çok yüksek arasında değişen yoğunluk özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. İlk tabakalarda genellikle daha düşük yoğunluk değerleri 1.41–1.71 gr/cm<sup>3</sup> aralığında gözlemlenirken, ikinci tabakalarda yoğunluk değerleri 1.93–2.31 gr/cm<sup>3</sup> aralığında olmakla birlikte artış göstermiştir. Bu durum, yüzeye yakın zeminlerin daha gevşek ve düşük yoğunlukta, derin seviyelerde ise daha sıkı ve daha yoğun yapıda olduğunu göstermektedir.

Zemin tanımlaması açısından tüm serim noktalarında “Orta–Yüksek” ve bazı yerlerde “Orta–Çok Yüksek” şeklinde değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme, zeminlerin mühendislik jeolojisi açısından orta ila iyi derecede taşıma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle SİS3 ve SİS6 noktalarında yer alan 2. tabaka yoğunluk değerleri sırasıyla 2.31 ve 2.27 gr/cm<sup>3</sup>, "çok yüksek yoğunluklu" zemin sınıfına işaret etmektedir. Bu durum, bu noktaların daha sağlam, oturmaya daha az eğilimli ve taşıma kapasitesi yüksek zemin birimlerine ait olduğunu göstermektedir.

Formasyon bazında değerlendirildiğinde; Qn (Nemrut Volkanitleri), Pzbko ve Pzbku (Bozdoğan Formasyonu’nun farklı üyeleri), Pey (Yolcular Grubu), Pzmzç (Mastır Zonu), Mzi (Zonel Metamorfik Birim), ve Qtr (Traverten Birimi) gibi farklı birimlerin yoğunluklarına dair önemli bilgiler elde edilmiştir: Qn (Nemrut Volkanitleri): SİS1 ve SİS2 noktalarında orta-yüksek yoğunluk sınıfında yer almakta olup, bu birimin genel olarak kompakt ve lav akıntısı özelliği nedeniyle görece yüksek yoğunluklar sergilediği gözlemlenmiştir. Pzbko ve Pzbku (Bozdoğan Formasyonu): SİS3–SİS6 noktalarında temsil edilmekte olup, özellikle SİS3 ve SİS6’da görülen çok yüksek yoğunluk değerleri, bu formasyonun kayaç bileşimi ve litolojik kompaktlığı açısından zengin olduğunu göstermektedir.

Pey (Yolcular Grubu): SİS7 ve SİS8’de gözlemlenen yoğunluk değerleri yaklaşık 1.5–1.97 gr/cm<sup>3</sup> aralığında orta-yüksek sınıfındadır ve bu grubun görece geçirimsiz, sağlam zemin yapısına işaret etmektedir. Pzmzç: SİS9 ve SİS10 noktalarında izlenmiş ve yine orta-yüksek yoğunluk değerleriyle temsil edilmiştir. Mzi: SİS11’de yer almakta olup 2. tabakada 2.06 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk değeriyle yüksek sınıfa dahil edilmiştir. Bu da

metamorfik zeminlerin beklenen yüksek yoğunluğuyla örtüşmektedir. Qtr (Traverten): SİS12 ve SİS13 noktalarında bulunan bu birim, traverten yapısı gereği gözeneklilik gösterebilmekle birlikte, özellikle 2. tabaka değerleri 1.95–2.01 gr/cm<sup>3</sup> aralığında olduğundan, yoğunluk bakımından beklenenin üzerinde sağlamlık sergilemektedir.

Tüm serim noktalarında gözlemlenen yoğunluk verileri, zeminlerin genel olarak mühendislik yapıları için uygun özellikler sergilediğini göstermektedir. Zeminlerin alt tabakalarında yoğunluğun artması, geoteknik açıdan olumlu bir durumdur.

**Çizelge 4.34.** Çalışma alanının sismik yöntemle hesaplanan yoğunluk değerleri

| SERİM NO | Tabaka No | $\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> ) | Yoğunluğa Göre Zemin Tanımlaması | Formasyon |
|----------|-----------|------------------------------|----------------------------------|-----------|
| SİS1     | 1         | 1.43                         | Orta                             | Qn        |
|          | 2         | 2.03                         | Yüksek                           |           |
| SİS2     | 1         | 1.43                         | Orta                             | Qn        |
|          | 2         | 1.98                         | Yüksek                           |           |
| SİS3     | 1         | 1.68                         | Orta                             | Pzbko     |
|          | 2         | 2.31                         | Çok Yüksek                       |           |
| SİS4     | 1         | 1.45                         | Orta                             | Pzbko     |
|          | 2         | 1.94                         | Yüksek                           |           |
| SİS5     | 1         | 1.52                         | Orta                             | Pzbku     |
|          | 2         | 1.93                         | Yüksek                           |           |
| SİS6     | 1         | 1.71                         | Orta                             | Pzbku     |
|          | 2         | 2.27                         | Çok Yüksek                       |           |
| SİS7     | 1         | 1.50                         | Orta                             | Pey       |
|          | 2         | 1.96                         | Yüksek                           |           |
| SİS8     | 1         | 1.58                         | Orta                             | Pey       |
|          | 2         | 1.97                         | Yüksek                           |           |
| SİS9     | 1         | 1.53                         | Orta                             | Pzmzç     |
|          | 2         | 1.93                         | Yüksek                           |           |
| SİS10    | 1         | 1.48                         | Orta                             | Pzmzç     |
|          | 2         | 2.01                         | Yüksek                           |           |
| SİS11    | 1         | 1.45                         | Orta                             | Mzi       |
|          | 2         | 2.06                         | Yüksek                           |           |
| SİS12    | 1         | 1.44                         | Orta                             | Qtr       |
|          | 2         | 1.95                         | Yüksek                           |           |
| SİS13    | 1         | 1.41                         | Orta                             | Qtr       |
|          | 2         | 2.01                         | Yüksek                           |           |

Çizelge 4.35'e göre, çalışma alanında Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) ile elde edilen sismik verilerden hesaplanan yoğunluk değerleri incelendiğinde, zeminlerin mühendislik özellikleri bakımından farklı formasyonlara göre çeşitlilik

gösterdiği tespit edilmiştir. Yoğunluk değerleri, zeminlerin sıklık derecesi, taneler arası boşluk oranı ve mineral bileşimi hakkında önemli ipuçları sunmaktadır. Genel olarak 1.30 gr/cm<sup>3</sup> ile 2.18 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişen değerler, zeminlerin farklı mekanik özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. İlk tabakalar (1. tabaka) çoğunlukla 1.30–1.76 gr/cm<sup>3</sup> aralığında, ikinci tabakalar (2. tabaka) ise 1.66–2.18 gr/cm<sup>3</sup> arasında yoğunluk değerlerine sahiptir. Özellikle MASW-6, MASW-10 ve MASW-11 serim noktalarında ikinci tabaka yoğunluklarının sırasıyla 2.07, 2.18 ve 2.15 gr/cm<sup>3</sup> gibi yüksek değerlere ulaşması, bu bölgelerde daha sıkı, muhtemelen daha az boşluklu ve iyi pekişmiş bir zemin yapısının bulunduğunu göstermektedir. Buna karşın MASW-3 ve MASW-4 gibi kesitlerde 1.36 gr/cm<sup>3</sup> gibi düşük yoğunluk değerleri, gevşek yapılı, yüksek boşluk oranına sahip ve taşıma gücü düşük zemin özelliklerini işaret etmektedir. Yoğunluğa göre yapılan zemin tanımlamaları da bu verilerle örtüşmektedir. Örneğin, MASW-3 ve MASW-4 noktalarının her iki tabakası da düşük ve orta yoğunluk sınıfında değerlendirilmiş olup, bu alanlarda Pzbko formasyonu gözlemlenmiştir. Bu durum, Pzbko formasyonunun gevşek yapılı sedimanter karakter taşıdığına işaret etmektedir. Buna karşılık Pzbku, Qtr ve Mzi formasyonlarının yer aldığı MASW-5, MASW-6, MASW-11, MASW-12 ve MASW-13 noktalarında ise yüksek yoğunluk değerleri ön plana çıkmaktadır. Bu durum, bu formasyonların daha kompakt, taşıma kapasitesi yüksek ve mühendislik açısından daha stabil zemin özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen yoğunluk verileri, çalışmanın yürütüldüğü alandaki formasyonların mühendislik jeolojisi açısından önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Zemin yoğunluğunun yüksek olduğu alanlarda, yapılaşma açısından daha güvenli ortamlar sağlanabilecekken; düşük yoğunluklu zeminlerde ise iyileştirme yöntemlerine ve detaylı zemin etüdüne ihtiyaç duyulabileceği anlaşılmaktadır. Bu bulgular, yapılacak mühendislik uygulamalarında zemin davranışının güvenilir şekilde öngörülebilmesi açısından yol gösterici niteliktedir.

**Çizelge 4.35.** Çalışma alanının sismik yöntemle hesaplanan yoğunluk değerleri

| SERİM NO | Tabaka No | $\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> ) | Yoğunluğa Göre Zemin Tanımlaması | Formasyon |
|----------|-----------|------------------------------|----------------------------------|-----------|
| MASW-1   | 1         | 1.46                         | Orta                             | Qn        |
|          | 2         | 1.84                         | Orta                             |           |
| MASW-2   | 1         | 1.39                         | Düşük                            | Qn        |
|          | 2         | 1.70                         | Orta                             |           |

|                |        |              |                 |       |
|----------------|--------|--------------|-----------------|-------|
| <b>MASW-3</b>  | 1<br>2 | 1.36<br>1.85 | Düşük<br>Orta   | Pzbko |
| <b>MASW-4</b>  | 1<br>2 | 1.36<br>1.66 | Düşük<br>Orta   | Pzbko |
| <b>MASW-5</b>  | 1<br>2 | 1.42<br>1.91 | Orta<br>Yüksek  | Pzbku |
| <b>MASW-6</b>  | 1<br>2 | 1.34<br>2.07 | Düşük<br>Yüksek | Pzbku |
| <b>MASW-7</b>  | 1<br>2 | 1.54<br>1.65 | Orta<br>Orta    | Pey   |
| <b>MASW-8</b>  | 1<br>2 | 1.45<br>1.82 | Orta<br>Orta    | Pey   |
| <b>MASW-9</b>  | 1<br>2 | 1.52<br>1.73 | Orta<br>Orta    | Pzmzç |
| <b>MASW-10</b> | 1<br>2 | 1.51<br>2.18 | Orta<br>Yüksek  | Pzmzç |
| <b>MASW-11</b> | 1<br>2 | 1.64<br>2.15 | Orta<br>Yüksek  | Mzi   |
| <b>MASW-12</b> | 1<br>2 | 1.76<br>1.92 | Orta<br>Yüksek  | Qtr   |
| <b>MASW-13</b> | 1<br>2 | 1.67<br>1.86 | Orta<br>Yüksek  | Qtr   |

#### 4.11.2. Sismik hız oranı ( $V_p/V_s$ )

İnceleme alanının  $V_p/V_s$  oranları incelendiğinde, zeminin sıkılık durumu ve suya doygunluk seviyesi hakkında önemli ipuçları elde edildiği görülmektedir. Genel olarak  $V_p/V_s$  oranının yüksek olması, zeminin daha az sıkı olduğu ve yeraltı suyu açısından doygunluk derecesinin yüksek olabileceği şeklinde yorumlanmaktadır. İnceleme alanında elde edilen oranlar bu bağlamda değerlendirildiğinde, belirli bölgelerde doygun alüvyon birimlerin varlığına işaret etmekte; bazı profillerde ise daha sıkı ve az doygun zemin özellikleri öne çıkmaktadır. Bu durum, yeraltı su seviyesinin alan genelinde değişkenlik gösterdiğini ve zemin türlerinin yerel olarak farklılaştığını ortaya koymaktadır. Çizelge 4.36'da, Bitlis Merkez ilçesinde yürütülen saha çalışmaları kapsamında elde edilen  $V_p/V_s$  oranları, tabaka bazlı olarak 13 farklı serim noktasında değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler zemin sıkılığı ve formasyon türleri açısından karşılaştırıldığında, yeraltı jeoteknik özelliklerinin sahada belirgin bir heterojenlik sergilediği gözlemlenmektedir. Bu durum, hem yüzeysel hem de derin yerleşim birimleri açısından zemin davranışının farklılık gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak  $V_p/V_s$  oranı, zeminin elastik özelliklerini ve dolaylı olarak sıklık derecesini yansıtan önemli bir parametredir. Oran 1.5'e yaklaştıkça zeminlerin daha sıkı, 2.0 ve üzeri değerlere yaklaştıkça ise daha gevşek yapıda olduğu kabul edilmektedir. Çalışmada 2.51 gibi çok yüksek oranlara sahip zeminler bulunduğu gibi, 1.36 gibi düşük oranlara sahip, daha sağlam nitelikte zeminler de tespit edilmiştir. Örneğin, SİS12 ve SİS11 noktalarının ikinci tabakalarında tespit edilen 2.51 ve 2.48'lik  $V_p/V_s$  oranları, oldukça gevşek ve zayıf zemin koşullarını göstermektedir. Bu yüksek oranlar aynı zamanda sismik dalga hızlarının düşüklüğüne ve yer hareketleri sırasında genliklerin büyümesine neden olabilecek zayıf bir zemin profilini işaret eder. Öte yandan, SİS5-1 ( $V_p/V_s=1.36$ ) ve SİS13-1 ( $V_p/V_s=1.40$ ) gibi noktalar, oldukça düşük  $V_p/V_s$  oranları ile sağlam ve kompakt zemin özellikleri göstermektedir. Bu zeminler genellikle mühendislik yapıları açısından daha uygun koşullara sahip olup taşıma gücü açısından daha avantajlıdır. Ayrıca, Pzbku ve Qtr formasyonları içinde yer alan bu serimlerde sağlam ve gevşek zeminlerin bir arada bulunması, formasyon içi heterojen yapının bir göstergesidir.

Formasyon bazında incelendiğinde, özellikle Qn (Nemrut Volkaniti) ve Qtr (Traverten) birimlerinde hem gevşek hem katı zemin karakterlerinin gözlenmesi dikkat çekicidir. Bu durum, formasyonların tek tip litolojik özellikler göstermediğini ve yerel litolojik değişimlerin sık olduğunu göstermektedir. Özellikle Qtr formasyonundaki SİS12 ve SİS13 noktaları, birinci tabakada sıkı-zemin/sapasız sağlam yapı sergilerken, ikinci tabakada 2.04–2.51 gibi çok yüksek oranlarla oldukça gevşek bir davranış ortaya koymuştur. Bu da formasyonun alt ve üst birimleri arasında önemli mühendislik farklarının oluşabileceğini göstermektedir. SİS4 ve SİS6 gibi serim noktalarında ise, iki tabakanın da oldukça yüksek  $V_p/V_s$  oranları gösterdiği ve gevşek zemin sınıfına girdiği görülmektedir. Bu tür zeminler, yapılaşma açısından dikkatle değerlendirilmelidir; çünkü deprem yükleri karşısında zayıf performans gösterebilirler. Özellikle SİS6-2 (2.16) ve SİS8-1 (2.20) değerleri en yüksek  $V_p/V_s$  oranları arasında yer almakta olup, bu tabakaların yumuşak ve sıkışabilir özellikte zeminler olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışma alanındaki zeminlerin tabaka bazlı farklılıklar gösterdiği, birçok noktada zemin profilinin geoteknik açıdan karmaşık bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Sismik dalga yayılım hızları ile elde edilen  $V_p/V_s$  oranları, saha genelinde zemin sıklığının "gevşek-sağlam" aralığında değişkenlik gösterdiğini, bunun da yerel zemin sınıfı tayinlerinde dikkatli bir analiz gerektirdiğini göstermektedir. Bu tür alanlarda yapılacak her tür mühendislik yapısı öncesinde ayrıntılı zemin etütleri, yerel zemin sınıfı belirleme çalışmaları ve taşıma gücü analizleri büyük önem taşımaktadır.



**Çizelge 4.36.** Çalışma alanından elde edilen  $V_p/V_s$  oranları

| SERİM NO | Tabaka No | $V_p/V_s$ | Zemin Sıklığı Tanımlaması | Formasyon |
|----------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|
| sis1     | 1         | 1.41      | Katı                      | Qn        |
|          | 2         | 1.78      | Sıkı-Katı                 |           |
| sis2     | 1         | 1.94      | Gevşek                    | Qn        |
|          | 2         | 1.48      | Katı                      |           |
| sis3     | 1         | 1.99      | Gevşek                    | Pzbko     |
|          | 2         | 1.62      | Katı                      |           |
| sis4     | 1         | 1.66      | Katı                      | Pzbko     |
|          | 2         | 2.12      | Gevşek                    |           |
| sis5     | 1         | 1.36      | Sağlam                    | Pzbku     |
|          | 2         | 1.63      | Katı                      |           |
| sis6     | 1         | 1.97      | Gevşek                    | Pzbku     |
|          | 2         | 2.16      | Gevşek                    |           |
| sis7     | 1         | 1.82      | Sıkı-Katı                 | Pey       |
|          | 2         | 1.86      | Sıkı-Katı                 |           |
| sis8     | 1         | 2.20      | Gevşek                    | Pey       |
|          | 2         | 1.62      | Katı                      |           |
| sis9     | 1         | 1.73      | Sıkı-Katı                 | Pzmzç     |
|          | 2         | 1.59      | Katı                      |           |
| sis10    | 1         | 1.46      | Katı                      | Pzmzç     |
|          | 2         | 1.56      | Katı                      |           |
| sis11    | 1         | 1.53      | Katı                      | Mzi       |
|          | 2         | 2.48      | Gevşek                    |           |
| sis12    | 1         | 1.72      | Sıkı-Katı                 | Qtr       |
|          | 2         | 2.51      | Çok Gevşek                |           |
| sis13    | 1         | 1.40      | Sağlam                    | Qtr       |
|          | 2         | 2.04      | Gevşek                    |           |

Çizelge 4.37’de Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) yöntemiyle elde edilen  $V_p/V_s$  oranları incelendiğinde, araştırma alanında yer alan zeminlerin dinamik özellikleri açısından oldukça değişken bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Genel olarak 1.40–4.99 aralığında değişen  $V_p/V_s$  oranları, zeminlerin farklı sıklık düzeylerinde olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, MASW-2’nin birinci tabakası ( $V_p/V_s = 1.40$ ) ve MASW-13’ün ikinci tabakası ( $V_p/V_s = 1.68$ ) gibi değerler “katı” ve “sıkı-katı” zemin sınıfını işaret ederken, MASW-6’nın ikinci tabakasında tespit edilen 4.99’luk oran zemin yapısının oldukça “çok gevşek” ve yüksek deformasyon potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, MASW-8 ve MASW-11 gibi noktaların ikinci tabakaları da 3.0’ın üzerindeki oranlarıyla çok gevşek zemin karakterine sahiptir. Özellikle Pzbku, Pey ve Mzi formasyonlarında ikinci tabakaların

gevşek yapıda olduğu görülmekte, bu durum zeminlerin derinlikle birlikte mühendislik açısından zayıf nitelikler sergileyebileceğini göstermektedir. Buna karşın,  $Q_n$  ve  $Q_{tr}$  formasyonlarına ait bazı tabakalar, daha düşük  $V_p/V_s$  oranlarıyla katı ve sıkı zemin özellikleri sunmakta, bu durum formasyonlar arası heterojenliği vurgulamaktadır. Sonuç olarak, çalışma alanındaki zeminlerin mühendislik tasarımlarında yerel zemin koşullarının dikkatle değerlendirilmesi, özellikle yüksek  $V_p/V_s$  oranına sahip bölgelerde zemin iyileştirme yöntemlerinin uygulanması gerektiği anlaşılmaktadır.

**Çizelge 4.37.** Çalışma alanının MASW yönteminden elde edilen  $V_p/V_s$  oranları

| SERİM NO | Tabaka No | $V_p/V_s$ | Zemin Sıklığı Tanımlaması | Formasyon |
|----------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|
| MASW-1   | 1         | 1.51      | Katı                      | $Q_n$     |
|          | 2         | 2.43      | Gevşek                    |           |
| MASW-2   | 1         | 1.40      | Sağlam                    | $Q_n$     |
|          | 2         | 1.48      | Katı                      |           |
| MASW-3   | 1         | 1.71      | Sıkı-Katı                 | Pzbko     |
|          | 2         | 3.74      | Çok Gevşek                |           |
| MASW-4   | 1         | 1.70      | Katı                      | Pzbko     |
|          | 2         | 1.79      | Sıkı-Katı                 |           |
| MASW-5   | 1         | 1.66      | Katı                      | Pzbku     |
|          | 2         | 3.27      | Çok Gevşek                |           |
| MASW-6   | 1         | 1.67      | Katı                      | Pzbku     |
|          | 2         | 4.99      | Çok Gevşek                |           |
| MASW-7   | 1         | 2.35      | Gevşek                    | Pey       |
|          | 2         | 1.85      | Sıkı-Katı                 |           |
| MASW-8   | 1         | 2.09      | Gevşek                    | Pey       |
|          | 2         | 2.97      | Çok Gevşek                |           |
| MASW-9   | 1         | 1.74      | Sıkı-Katı                 | Pzmzç     |
|          | 2         | 1.48      | Katı                      |           |
| MASW-10  | 1         | 1.62      | Katı                      | Pzmzç     |
|          | 2         | 4.26      | Çok Gevşek                |           |
| MASW-11  | 1         | 2.20      | Gevşek                    | Mzi       |
|          | 2         | 3.38      | Çok Gevşek                |           |
| MASW-12  | 1         | 1.46      | Katı                      | $Q_{tr}$  |
|          | 2         | 1.84      | Sıkı-Katı                 |           |
| MASW-13  | 1         | 1.65      | Katı                      | $Q_{tr}$  |
|          | 2         | 1.68      | Katı                      |           |

#### 4.11.3. Poisson oranı ( $\nu$ )

Çalışma alanında zeminlerin elastik özelliklerini değerlendirmede kullanılan önemli parametrelerden biri de Poisson oranıdır ( $\nu$ ). Bu oran, bir malzemenin eksenel yönde gerilime maruz kaldığında boyuna meydana gelen birim değişimin, enine yöndeki birim değişime oranı olarak tanımlanır ve birimsiz bir büyüklüktür. Zeminlerin gözenekliliği ve suya doygunluk derecesi hakkında da dolaylı bilgi sağlayan bu parametre, sismik dalga hızları olan  $V_p$  (boyuna dalga hızı) ve  $V_s$  (kayma dalgası hızı) ile hesaplanmaktadır. Bu kapsamda, her profil için belirlenen  $V_p/V_s$  oranları üzerinden Poisson oranları hesaplanmış ve zeminlerin mühendislik sınıflandırmasına katkı sağlayacak şekilde yorumlanmıştır. Çizelge 4.38’de, çalışma alanında sismik yöntemlerle hesaplanan Poisson oranı ( $\nu$ ) değerleri, zeminlerin elastik davranışlarını ve sıkılık parametreleri verilmiştir. Bu oranlar, özellikle gözeneklilik ve suya doygunluk düzeylerini dolaylı olarak yansıtmaktadır. İncelenen serimlerde, üst tabakaların çoğunda  $\nu$  değerlerinin 0.01–0.41 aralığında değiştiği görülmektedir. Bu dağılım, bazı tabakalarda zeminlerin oldukça sıkı ve sağlam (örneğin SİS1-1, SİS9-1 ve SİS11-1 gibi  $\nu \approx 0.01$ –0.03), diğerlerinde ise daha gevşek ve suya doygun (örneğin SİS6-2 ve SİS8-1 gibi  $\nu \approx 0.36$ –0.41) karakterde olduğunu göstermektedir. Üst tabakalar genellikle daha düşük  $\nu$  ile sağlam veya katı olarak değerlendirilirken, alt tabakalarda  $\nu$  oranlarındaki artış, gevşek ve sıkışabilir yapının göstergesi olarak yorumlanmaktadır.

**Çizelge 4.38.** Çalışma alanının sismik yöntemle hesaplanan yoğunluk değerleri

| SERİM NO | Tabaka No | $\nu$ | Zemin Sıklığı Tanımlaması | Formasyon |
|----------|-----------|-------|---------------------------|-----------|
| SİS1     | 1         | 0.01  | Sağlam Sıkı Katı          | Qn        |
|          | 2         | 0.27  |                           |           |
| SİS2     | 1         | 0.32  | Gevşek Sağlam             | Qn        |
|          | 2         | 0.09  |                           |           |
| SİS3     | 1         | 0.32  | Gevşek Gevşek             | Pzbko     |
|          | 2         | 0.33  |                           |           |
| SİS4     | 1         | 0.32  | Gevşek Gevşek             | Pzbko     |
|          | 2         | 0.33  |                           |           |
| SİS5     | 1         | 0.35  | Gevşek Gevşek             | Pzbku     |
|          | 2         | 0.31  |                           |           |
| SİS6     | 1         | 0.38  | Gevşek Gevşek             | Pzbku     |
|          | 2         | 0.36  |                           |           |
| SİS7     | 1         | 0.30  | Gevşek Katı               | Pey       |
|          | 2         | 0.11  |                           |           |

|              |        |              |                     |       |
|--------------|--------|--------------|---------------------|-------|
| <b>SİS8</b>  | 1<br>2 | 0.41<br>0.09 | Çok Gevşek<br>Katı  | Pey   |
| <b>SİS9</b>  | 1<br>2 | 0.03<br>0.05 | Sağlam<br>Sağlam    | Pzmzç |
| <b>SİS10</b> | 1<br>2 | 0.35<br>0.28 | Gevşek<br>Sıkı Katı | Pzmzç |
| <b>SİS11</b> | 1<br>2 | 0.03<br>0.25 | Sağlam<br>Sıkı Katı | Mzi   |
| <b>SİS12</b> | 1<br>2 | 0.15<br>0.03 | Katı<br>Sağlam      | Qtr   |
| <b>SİS13</b> | 1<br>2 | 0.16<br>0.16 | Katı<br>Katı        | Qtr   |

Çizelge 4.39'a göre, çalışma alanında Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) yöntemiyle hesaplanan Poisson oranı ( $\nu$ ) değerleri 0.03 ile 0.48 arasında değişmekte olup, bu geniş aralık zeminlerin elastik davranışları, gözeneklilik durumu ve suya doygunluk seviyeleri hakkında önemli ipuçları vermektedir. İlk tabakalarda genellikle daha düşük Poisson oranları MASW-2/1:  $\nu=0.03$  ve MASW-12/1:  $\nu=0.06$  tespit edilmiştir ve bu, bu zeminlerin daha sağlam, sıkı yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, ikinci tabakalarda (örneğin MASW-6/2:  $\nu=0.48$ , MASW-1/2:  $\nu=0.40$ ) çok gevşek ve yüksek boşluk oranına sahip birimlerin varlığı söz konusudur. Bu durum, sismik enerji dalgalarının alt tabakalarda daha yavaş yayılmasına ve dolayısıyla deformasyon kapasitesinin yüksek olmasına işaret eder. Özellikle Pzbku, Pzbko ve Pey formasyonlarında alt tabakalar genellikle "çok gevşek" olarak değerlendirilmiş olup, inşaat mühendisliği açısından bu alanlarda zemin iyileştirme veya özel temel çözümleri düşünülmesi gerektiği sonucuna ulaşılabilir. Genel olarak, üst tabakalarda daha sıkı ve sağlam yapılar gözlemlenirken, alt tabakalar giderek gevşek ve deformasyona açık hale gelmektedir.

**Çizelge 4.39.** Çalışma alanının sismik yöntemle hesaplanan yoğunluk değerleri

| SERİM NO      | Tabaka No | $\nu$        | Zemin Sıklığı Tanımlaması | Formasyon |
|---------------|-----------|--------------|---------------------------|-----------|
| <b>MASW-1</b> | 1<br>2    | 0.11<br>0.40 | Katı<br>Çok Gevşek        | Qn        |
| <b>MASW-2</b> | 1<br>2    | 0.03<br>0.08 | Sağlam<br>Sağlam          | Qn        |
| <b>MASW-3</b> | 1<br>2    | 0.24<br>0.46 | Sıkı Katı<br>Çok Gevşek   | Pzbko     |
| <b>MASW-4</b> | 1<br>2    | 0.24<br>0.27 | Sıkı Katı<br>Sıkı Katı    | Pzbko     |

|                |        |              |                         |       |
|----------------|--------|--------------|-------------------------|-------|
| <b>MASW-5</b>  | 1<br>2 | 0.22<br>0.45 | Sıkı Katı<br>Çok Gevşek | Pzbku |
| <b>MASW-6</b>  | 1<br>2 | 0.22<br>0.48 | Sıkı Katı<br>Çok Gevşek | Pzbku |
| <b>MASW-7</b>  | 1<br>2 | 0.39<br>0.29 | Gevşek<br>Gevşek        | Pey   |
| <b>MASW-8</b>  | 1<br>2 | 0.35<br>0.44 | Gevşek<br>Çok Gevşek    | Pey   |
| <b>MASW-9</b>  | 1<br>2 | 0.25<br>0.08 | Sıkı Katı<br>Sağlam     | Pzmzç |
| <b>MASW-10</b> | 1<br>2 | 0.19<br>0.47 | Sıkı Katı<br>Çok Gevşek | Pzmzç |
| <b>MASW-11</b> | 1<br>2 | 0.37<br>0.45 | Gevşek<br>Çok Gevşek    | Mzi   |
| <b>MASW-12</b> | 1<br>2 | 0.06<br>0.29 | Sağlam<br>Gevşek        | Qtr   |
| <b>MASW-13</b> | 1<br>2 | 0.21<br>0.22 | Sıkı Katı<br>Sıkı Katı  | Qtr   |

#### 4.11.4. Maksimum kayma modülü ( $G_{max}$ )

Çalışma alanının zemininin kayma deformasyonuna karşı direncini belirten maksimum kayma modülü ( $G_{max}$ ),  $V_s$  hızı ve yoğunluk verilerinden hesaplanarak, zemin davranışının deprem yükleri altındaki performansını yansıtan önemli bir mekanik parametre olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 4.40'a göre, çalışma alanında elde edilen  $G_{max}$  değerleri, genellikle iki tabaka halinde değerlendirilmiş olup, 775 kg/cm<sup>2</sup> ile 55296 kg/cm<sup>2</sup> aralığında değişmektedir. Özellikle SİS3, SİS6, SİS11 ve SİS13 gibi serim noktalarında ikinci tabakalarda 20.000 kg/cm<sup>2</sup> üzerindeki değerler, "çok sağlam zemin" sınıfına girmektedir. Bu durum, bu derinliklerde yer alan formasyonların yüksek rijitlik gösterdiğini ve yatay yüklere karşı yüksek mukavemet sergilediğini ortaya koymaktadır. İlk tabakalarda ise genellikle 1.000–3.000 kg/cm<sup>2</sup> aralığında  $G_{max}$  değerleri görülmektedir; bu da yüzeydeki zeminlerin daha orta sağlamlıkta olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 4.40.** Kayma modülüne göre çalışma alanındaki sismik yöntemden elde edilen  $G_{max}$  zemin özellikleri

| SERİM NO | Tabaka No | $G_{max}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | $G_{max}$ (kg/cm <sup>2</sup> )'e göre Zemin Özelliği | Formasyon |
|----------|-----------|---------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------|
| SİS1     | 1<br>2    | 1492<br>22104                   | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler           | Qn        |

|              |        |               |                                             |       |
|--------------|--------|---------------|---------------------------------------------|-------|
| <b>sİS2</b>  | 1<br>2 | 775<br>25296  | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Qn    |
| <b>sİS3</b>  | 1<br>2 | 3407<br>55296 | Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler      | Pzbko |
| <b>sİS4</b>  | 1<br>2 | 901<br>11545  | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Pzbko |
| <b>sİS5</b>  | 1<br>2 | 1163<br>12396 | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Pzbku |
| <b>sİS6</b>  | 1<br>2 | 2838<br>41461 | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Pzbku |
| <b>sİS7</b>  | 1<br>2 | 1279<br>22573 | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Pey   |
| <b>sİS8</b>  | 1<br>2 | 1069<br>23456 | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Pey   |
| <b>sİS9</b>  | 1<br>2 | 2705<br>20883 | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Pzmzç |
| <b>sİS10</b> | 1<br>2 | 949<br>19268  | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Pzmzç |
| <b>sİS11</b> | 1<br>2 | 1747<br>26631 | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Mzi   |
| <b>sİS12</b> | 1<br>2 | 1315<br>23800 | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Qtr   |
| <b>sİS13</b> | 1<br>2 | 1500<br>25402 | Orta Sağlam Zeminler                        | Qtr   |

Çizelge 4.41’de görüldüğü üzere, Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) yöntemiyle elde edilen maksimum kayma modülü ( $G_{max}$ ) değerleri incelendiğinde, çalışma alanındaki zeminlerin mühendislik açısından genel katılık düzeyi belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.  $G_{max}$  değerleri tabakalar bazında  $578 \text{ kg/cm}^2$  ile  $12.303 \text{ kg/cm}^2$  arasında değişmektedir. İlk tabakalarda genellikle orta sağlam zemin özellikleri görülürken, ikinci tabakalarda  $G_{max}$  değerleri sıklıkla sağlam ya da çok sağlam zemin sınıfına ulaşmaktadır. Özellikle MASW-11, MASW-12 ve MASW-13 gibi serim noktalarında ikinci tabakaların  $G_{max}$  değerleri  $10.000 \text{ kg/cm}^2$ ’yi aşmakta, bu da bu bölgelerin yüksek rijitlik ve düşük deformasyon riski taşıdığını göstermektedir. Ayrıca, Qtr formasyonu (travertenler) üzerinde yapılan MASW ölçümlerinde ikinci tabakalarda gözlemlenen yüksek  $G_{max}$  değerleri, bu zeminlerin dinamik yükler karşısında yüksek performans sergileyebileceğini ortaya koymaktadır.

Çalışma alanındaki derin zemin profillerinin mühendislik yapıları için güvenli ve dayanıklı bir temel ortamı sunduğunu göstermektedir. Yüzeydeki tabakalar her ne kadar orta sağlamlıkta olsa da, derin zemin katmanlarının yüksek kayma modülü değerleri, deprem yükleri altında dayanıklı davranış sergileyeceklerini işaret etmektedir. Bu

kapsamda, yapı temellerinin ikinci tabakalara oturtulması, rijitlik açısından avantaj sağlayacaktır. MASW verileri, sismik tehlike değerlendirmesi ve zemin sınıfı tayininde güvenilir bir zemin karakterizasyonu sunmaktadır.

**Çizelge 4.41.** Kayma modülüne göre çalışma alanındaki MASW yönteminden elde edilen  $G_{max}$  zemin özellikleri

| SERİM NO | Tabaka No | $G_{max}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | $G_{max}$ (kg/cm <sup>2</sup> )'e göre Zemin Özelliği | Formasyon |
|----------|-----------|---------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------|
| MASW-1   | 1<br>2    | 1539<br>4926                    | Orta Sağlam Zeminler<br>Sağlam Zeminler               | Qn        |
| MASW-2   | 1<br>2    | 1186<br>6526                    | Orta Sağlam Zeminler<br>Sağlam Zeminler               | Qn        |
| MASW-3   | 1<br>2    | 667<br>2179                     | Orta Sağlam Zeminler<br>Orta Sağlam Zeminler          | Pzbko     |
| MASW-4   | 1<br>2    | 652<br>3526                     | Orta Sağlam Zeminler<br>Sağlam Zeminler               | Pzbko     |
| MASW-5   | 1<br>2    | 1013<br>3765                    | Orta Sağlam Zeminler<br>Sağlam Zeminler               | Pzbku     |
| MASW-6   | 1<br>2    | 578<br>3366                     | Gevşek Zeminler<br>Sağlam Zeminler                    | Pzbku     |
| MASW-7   | 1<br>2    | 1023<br>3183                    | Orta Sağlam Zeminler<br>Sağlam Zeminler               | Pey       |
| MASW-8   | 1<br>2    | 774<br>2940                     | Orta Sağlam Zeminler<br>Orta Sağlam Zeminler          | Pey       |
| MASW-9   | 1<br>2    | 1742<br>7492                    | Orta Sağlam Zeminler<br>Sağlam Zeminler               | Pzmzç     |
| MASW-10  | 1<br>2    | 1898<br>7396                    | Orta Sağlam Zeminler<br>Sağlam Zeminler               | Pzmzç     |
| MASW-11  | 1<br>2    | 2155<br>10278                   | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler           | Mzi       |
| MASW-12  | 1<br>2    | 9277<br>12303                   | Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler                | Qtr       |
| MASW-13  | 1<br>2    | 4299<br>11325                   | Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler                | Qtr       |

#### 4.11.5. Dinamik elastisite modülü ( $E_d$ )

Dinamik elastisite modülü ( $E_d$ ), zeminlerin dinamik yükler altındaki deformasyon davranışını tanımlayan önemli bir mühendislik parametresidir. Bu modül, zeminin elastik deformasyona karşı gösterdiği direnci ifade eder ve özellikle sismik etkilere maruz kalan yapıların tasarımında temel bir girdi olarak kabul edilir.  $E_d$ , kayma dalgası hızı ( $V_s$ ), birim hacim ağırlığı ( $\rho$ ) ve Poisson oranı ( $\nu$ ) gibi parametreler yardımıyla hesaplanır ve zeminin

rijitliği ile deformasyon kapasitesine dair doğrudan bilgi verir. Yüksek  $E_d$  değerleri, zeminin daha rijit ve elastik davranış gösterdiğini, dolayısıyla daha az deformasyona uğrayacağını ifade ederken; düşük  $E_d$  değerleri, daha yumuşak ve sismik enerjiyi daha fazla soğurabilecek bir zemin karakterini işaret eder. Bu nedenle dinamik elastisite modülü, özellikle yapı-zemin etkileşiminde ve deprem mühendisliği çalışmalarında zemin davranışının modellenmesi açısından büyük öneme sahiptir. Çizelge 4.42'ye göre, sismik kırılma yöntemiyle elde edilen elastisite modülü ( $E_d$ ) değerleri, zeminin elastik rijitliği ile ilgili olup, dış yüklemeler altındaki deformasyon kapasitesini gösteren kritik bir mühendislik parametresidir. Çalışma alanında elde edilen  $E_d$  değerleri, 2047 kg/cm<sup>2</sup> ile 147629 kg/cm<sup>2</sup> arasında değişmekte olup, bu geniş aralık farklı litolojilere sahip formasyonların mühendislik davranışları bakımından çeşitliliğini ortaya koymaktadır.

Özellikle ikinci tabakalarda elde edilen yüksek  $E_d$  değerleri (örneğin SİS3-2 için 147629 kg/cm<sup>2</sup>, SİS6-2 için 112902 kg/cm<sup>2</sup>) bu zeminlerin çimentolaşmış, az ayrışmış ve nispeten masif yapıdaki kayaçlar olduğunu göstermektedir. Bu tür zeminler, yüksek elastisite modülleri sayesinde yapı yüklerini geniş alana yayarak taşıma kapasitesine olumlu katkı sağlar. Nitekim, bu değer aralıkları genellikle "Çok Sağlam Zeminler" olarak tanımlanan sınıfla örtüşmektedir. Buna karşılık, ilk tabakaların daha düşük  $E_d$  değerleri (örneğin SİS2-1 için 2047 kg/cm<sup>2</sup>, SİS1-1 için 2974 kg/cm<sup>2</sup>) daha ayrışmış, kırıklı veya daha az çimentolu yapıları yansıtmaktadır. Bu seviyeler genel olarak "Orta Sağlam Zeminler" kategorisine girmekte olup, yapı yüklerine karşı daha dikkatli mühendislik çözümleri gerektirebilir. Özellikle bu zeminlerde temel derinliği, oturma potansiyeli ve taşıma kapasitesi yönünden detaylı mühendislik analizleri yapılmalıdır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, çalışma alanının elastik özellikleri bakımından heterojen bir yapıya sahip olduğu, bu nedenle proje sahasında zemin iyileştirme, temel sistemlerinin rijitlik-taban alanı oranı optimizasyonu ve deprem davranışı analizlerinin detaylı bir şekilde ele alınması gerektiği sonucuna ulaşılabilir.

**Çizelge 4.42.** Sismik yöntem için Elastisite modülüne göre çalışma alanındaki zemin özellikleri

| SERİM NO | Tabaka No | $E_d$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | $E_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )'e göre Zemin Özelliği | Formasyon |
|----------|-----------|-----------------------------|---------------------------------------------------|-----------|
| SİS1     | 1         | 2974                        | Orta Sağlam Zeminler                              | Qn        |
|          | 2         | 56125                       | Çok Sağlam Zeminler                               |           |
| SİS2     | 1         | 2047                        | Orta Sağlam Zeminler                              | Qn        |
|          | 2         | 54897                       | Çok Sağlam Zeminler                               |           |



|              |        |                |                                             |       |
|--------------|--------|----------------|---------------------------------------------|-------|
| <b>sİS3</b>  | 1<br>2 | 8988<br>147629 | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Pzbko |
| <b>sİS4</b>  | 1<br>2 | 2382<br>30719  | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Pzbko |
| <b>sİS5</b>  | 1<br>2 | 3137<br>32405  | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Pzbku |
| <b>sİS6</b>  | 1<br>2 | 7858<br>112902 | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Pzbku |
| <b>sİS7</b>  | 1<br>2 | 3337<br>50213  | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Pey   |
| <b>sİS8</b>  | 1<br>2 | 3026<br>51311  | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Pey   |
| <b>sİS9</b>  | 1<br>2 | 5549<br>43991  | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Pzmzç |
| <b>sİS10</b> | 1<br>2 | 2561<br>49216  | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Pzmzç |
| <b>sİS11</b> | 1<br>2 | 3378<br>66428  | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Mzi   |
| <b>sİS12</b> | 1<br>2 | 3027<br>48917  | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Qtr   |
| <b>sİS13</b> | 1<br>2 | 2515<br>58924  | Orta Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler | Qtr   |

Çizelge 4.43'e göre MASW yöntemiyle hesaplanan dinamik elastisite modülü ( $E_d$ ) değerleri, inceleme alanındaki zeminlerin rijitlik ve deformasyona karşı gösterdiği direnç hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.  $E_d$  değerlerinin 6369–31744 kg/cm<sup>2</sup> arasında değiştiği görülmektedir. Bu dağılım, zeminlerin genel olarak “Orta Sağlam”dan “Çok Sağlam” zemin özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle MASW-12 ve MASW-13 profillerinde gözlenen yüksek  $E_d$  değerleri (sırasıyla 31744 ve 27725 kg/cm<sup>2</sup>), Qtr formasyonuna ait travertenlerin oldukça rijit ve deformasyona dirençli yapısını yansıtmaktadır. Buna karşılık, MASW-3 ve MASW-4 profillerinde gözlenen düşük elastisite değerleri (<9000 kg/cm<sup>2</sup>), Pzbko formasyonuna ait ayrılmış birimlerin daha zayıf mühendislik özelliklerine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak, MASW verileri zeminin mühendislik sınıfının zonal olarak değiştiğini ve özellikle çimentolaşmış, masif birimlerin daha rijit davranış sergilediğini göstermektedir. Bu durum, yapı temel tasarımlarında farklı zemin iyileştirme tekniklerinin gerekliliğine işaret etmektedir.

**Çizelge 4.43.** MASW yöntem için Elastisite modülüne göre çalışma alanındaki zemin özellikleri

| SERİM NO | Tabaka No | $E_d$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | $E_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )'e göre Zemin Özelliği | Formasyon |
|----------|-----------|-----------------------------|---------------------------------------------------|-----------|
| MASW-1   | 1<br>2    | 3417<br>13776               | Orta Sağlam Zeminler<br>Sağlam Zeminler           | Qn        |
| MASW-2   | 1<br>2    | 2313<br>14116               | Orta Sağlam Zeminler<br>Sağlam Zeminler           | Qn        |
| MASW-3   | 1<br>2    | 1654<br>6369                | Gevşek Zeminler<br>Orta Sağlam Zeminler           | Pzbko     |
| MASW-4   | 1<br>2    | 1614<br>8984                | Gevşek Zeminler<br>Orta Sağlam Zeminler           | Pzbko     |
| MASW-5   | 1<br>2    | 2465<br>10906               | Orta Sağlam Zeminler<br>Sağlam Zeminler           | Pzbku     |
| MASW-6   | 1<br>2    | 1410<br>9955                | Gevşek Zeminler<br>Orta Sağlam Zeminler           | Pzbku     |
| MASW-7   | 1<br>2    | 2842<br>8231                | Orta Sağlam Zeminler<br>Orta Sağlam Zeminler      | Pey       |
| MASW-8   | 1<br>2    | 2093<br>8443                | Orta Sağlam Zeminler<br>Orta Sağlam Zeminler      | Pey       |
| MASW-9   | 1<br>2    | 4371<br>16258               | Orta Sağlam Zeminler<br>Sağlam Zeminler           | Pzmoz     |
| MASW-10  | 1<br>2    | 4522<br>21757               | Orta Sağlam Zeminler<br>Sağlam Zeminler           | Pzmoz     |
| MASW-11  | 1<br>2    | 5905<br>29851               | Orta Sağlam Zeminler<br>Sağlam Zeminler           | Mzi       |
| MASW-12  | 1<br>2    | 19588<br>31744              | Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler            | Qtr       |
| MASW-13  | 1<br>2    | 10409<br>27725              | Sağlam Zeminler<br>Çok Sağlam Zeminler            | Qtr       |

#### 4.11.6. Bulk modülü (K)

Bulk modülü (K), bir zeminin hacimsel deformasyona karşı gösterdiği direnç olup zeminin sıkışabilirlik özelliklerini değerlendirmede temel bir parametredir. MASW yöntemi ile elde edilen sismik dalga hızlarına dayalı olarak hesaplanan bulk modülü değerleri incelendiğinde, zeminin sıkışmaya karşı olan direncini gösterir. Yoğunluk ve sismik hızlar yardımı ile hesaplanır. Bu değer aralığı, zeminlerin litolojik bileşimi, sıkışabilirlik özellikleri ve drenaj koşullarına bağlı olarak farklılaşmaktadır. Çizelge 4.44'e göre, sismik yöntemle elde edilen Bulk modülü (K) değerleri, zeminin hacimsel deformasyona karşı gösterdiği direnç hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Çalışma alanındaki ölçümlerde Bulk modülü değerleri 16.413 kg/cm<sup>2</sup> ile 149.031 kg/cm<sup>2</sup> arasında

değişmektedir. Bu geniş aralık, formasyonların litolojik çeşitliliğini ve zeminlerin mühendislik özelliklerindeki farklılıkları ortaya koymaktadır. Serim noktalarının büyük çoğunluğunda sıkışma direnci "az" olarak sınıflandırılırken, sadece SİS6 serim noktasında "orta" düzeyde bir sıkışma direnci gözlemlenmiştir. Söz konusu noktada aynı zamanda en yüksek K değeri kaydedilmiştir (135.892 kg/cm<sup>2</sup>), bu da zeminin daha az sıkışabilir ve mühendislik açısından daha kararlı olduğunu göstermektedir. Formasyonlar bazında değerlendirildiğinde, Pzbko, Pzbku ve Mzi gibi daha yaşlı jeolojik birimlerin görece yüksek Bulk modülü değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Özellikle SİS3 (Pzbko) ve SİS6 (Pzbku) serimlerinde elde edilen çok yüksek K değerleri, bu birimlerin hacimsel deformasyona karşı güçlü bir direnç sergilediğini göstermektedir. Diğer yandan, Qn, Pey ve Qtr formasyonlarında yer alan serim noktalarının genellikle daha düşük K değerlerine sahip olduğu, dolayısıyla bu birimlerin daha az rijit ve hacimsel yük altında daha fazla şekil değiştirme potansiyeline sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, çalışma alanında özellikle yüzeysel tabakalarda genç birimlerin hâkim olduğunu ve mühendislik uygulamalarında daha dikkatli bir değerlendirme yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bulk modülü değerleri bağlamında mühendislik yorumu yapıldığında, zeminlerin büyük ölçüde az sıkışabilir nitelikte olduğu, yalnızca SİS6 noktasında "orta" sıkışabilirlik özelliği bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, zeminlerin çoğunlukla yapı yükleri altında fazla hacimsel deformasyon göstermeyeceği anlamına gelmekle birlikte, düşük K değerlerine sahip serimlerde oturma, boşluk değişimi ve su geçirgenliği gibi mühendislik parametrelerinde daha fazla değişkenlik beklenebilir. Bu nedenle, özellikle yapılaşma alanları belirlenirken Pzbko ve Pzbku gibi yüksek K değerlerine sahip formasyonlar öncelikli olarak değerlendirilmelidir. Öte yandan, Qn, Qtr ve Pey formasyonlarının bulunduğu alanlarda ilave zemin iyileştirme yöntemlerinin uygulanması gerekebilir.

**Çizelge 4.44.** Sismik serim sonuçlarına göre, çalışma alanındaki Bulk modülü (K) değerleri

| SERİM NO | Tabaka No | K (kg/cm <sup>2</sup> ) | K (kg/cm <sup>2</sup> )'e göre Sıkışma Direnci | Formasyon |
|----------|-----------|-------------------------|------------------------------------------------|-----------|
| SİS1     | 1         | 985                     | Az                                             | Qn        |
|          | 2         | 40597                   | Yüksek                                         |           |
| SİS2     | 1         | 1897                    | Az                                             | Qn        |
|          | 2         | 22052                   | Orta                                           |           |
| SİS3     | 1         | 8280                    | Az                                             | Pzbko     |
|          | 2         | 149031                  | Çok Yüksek                                     |           |

|              |        |                 |                    |       |
|--------------|--------|-----------------|--------------------|-------|
| <b>sİS4</b>  | 1<br>2 | 2231<br>30190   | Az<br>Orta         | Pzbko |
| <b>sİS5</b>  | 1<br>2 | 3461<br>27992   | Az<br>Orta         | Pzbku |
| <b>sİS6</b>  | 1<br>2 | 11323<br>135892 | Orta<br>Çok Yüksek | Pzbku |
| <b>sİS7</b>  | 1<br>2 | 2848<br>21581   | Az<br>Orta         | Pey   |
| <b>sİS8</b>  | 1<br>2 | 5931<br>21051   | Az<br>Orta         | Pey   |
| <b>sİS9</b>  | 1<br>2 | 1950<br>16413   | Az<br>Orta         | Pzmzç |
| <b>sİS10</b> | 1<br>2 | 2836<br>36808   | Az<br>Orta         | Pzmzç |
| <b>sİS11</b> | 1<br>2 | 1056<br>43791   | Az<br>Yüksek       | Mzi   |
| <b>sİS12</b> | 1<br>2 | 1445<br>17261   | Az<br>Orta         | Qtr   |
| <b>sİS13</b> | 1<br>2 | 634<br>28868    | Az<br>Orta         | Qtr   |

Çizelge 4.45’de görüldüğüüzere, çalışma alanında Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) yöntemiyle elde edilen Bulk modülü (K) değerleri, zeminin hacimsel deformasyona karşı gösterdiği direnci yansıttığı için jeoteknik özelliklerin belirlenmesinde önemli bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda K değerleri geniş bir aralıkta dağılmakta olup en düşük değer MASW-2 kesitinde 734 kg/cm<sup>2</sup> (Az sıkışma direnci) olarak belirlenmişken, en yüksek değer MASW-10 kesitinde 124115 kg/cm<sup>2</sup> (Çok yüksek sıkışma direnci) olarak hesaplanmıştır. Bu durum, İnceleme alanındajeolojik formasyonlara bağlı olarak zeminlerin sıkışabilirlik özelliklerinin oldukça değişken olduğunu göstermektedir. Zeminlerin K (Bulk Modülü) değerlerine göre yapılan sınıflandırmada, genellikle “Az” düzeyde sıkışma direncine sahip tabakaların yoğunlukta olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bazı lokasyonlarda, özellikle MASW-6, MASW-10 ve MASW-11 kesitlerinde yer alan tabakalarda “Yüksek” ve “Çok Yüksek” sıkışma dirençleri tespit edilmiştir. Bu durum, muhtemelen bu noktalarda yer alan zeminlerin daha sıkı, düşük poroziteli ve daha rijit yapıya sahip formasyonlardan oluşmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, MASW-11 kesitinde Mzi (Miyosen yaşlı zeminler) formasyonuna ait tabakanın 104060 kg/cm<sup>2</sup>’lik değeriyle çok yüksek sıkışma direncine sahip olması, birim deformasyon altında hacimsel değişimin oldukça sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Formasyonlara göre değerlendirildiğinde, Qn (Nemrut volkanitleri) ve Qtr (Traverten) gibi genç birimlerde orta seviyede sıkışma

direnci gösteren tabakaların varlığı dikkat çekmektedir. Buna karşılık, Pzbku ve Pzmzç gibi altere olmuş ve çimentasyonu güçlü formasyonlarda daha yüksek sıkışma dirençleri gözlenmektedir. Bu durum, jeolojik birimlerin mineralojik bileşimlerinin ve geçmişte geçirdikleri tektonik süreçlerin, zeminlerin hacimsel deformasyona karşı tepkisini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Elde edilen bulgular, yerel zemin davranışlarının yapılaşma ve mühendislik tasarımları açısından detaylı olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymakta; özellikle yüksek K değerlerinin gözlemlendiği bölgelerde taşıma gücü açısından avantajlı koşulların mevcut olabileceğine işaret etmektedir.

**Çizelge 4.45.** MASW serim sonuçlarına göre, çalışma alanındaki Bulk modülü (K) değerleri

| SERİM NO | Tabaka No | K (kg/cm <sup>2</sup> ) | K (kg/cm <sup>2</sup> )'e göre Sıkışma Direnci | Formasyon |
|----------|-----------|-------------------------|------------------------------------------------|-----------|
| MASW-1   | 1<br>2    | 1461<br>22552           | Az<br>Orta                                     | Qn        |
| MASW-2   | 1<br>2    | 734<br>5621             | Az<br>Az                                       | Qn        |
| MASW-3   | 1<br>2    | 1061<br>27535           | Az<br>Orta                                     | Pzbko     |
| MASW-4   | 1<br>2    | 1023<br>6619            | Az<br>Az                                       | Pzbko     |
| MASW-5   | 1<br>2    | 1450<br>35138           | Az<br>Orta                                     | Pzbku     |
| MASW-6   | 1<br>2    | 838<br>79150            | Az<br>Yüksek                                   | Pzbku     |
| MASW-7   | 1<br>2    | 4297<br>6620            | Az<br>Az                                       | Pey       |
| MASW-8   | 1<br>2    | 2353<br>21971           | Az<br>Orta                                     | Pey       |
| MASW-9   | 1<br>2    | 2967<br>6528            | Az<br>Az                                       | Pzmzç     |
| MASW-10  | 1<br>2    | 2442<br>124115          | Az<br>Çok Yüksek                               | Pzmzç     |
| MASW-11  | 1<br>2    | 7573<br>104060          | Az<br>Çok Yüksek                               | Mzi       |
| MASW-12  | 1<br>2    | 7349<br>25202           | Az<br>Orta                                     | Qtr       |
| MASW-13  | 1<br>2    | 5994<br>16747           | Az<br>Orta                                     | Qtr       |

#### 4.11.7. Vs30 kayma dalgası hızı

Vs30 (30 metrelik ortalama kayma dalgası hızı), zemin sınıfı tayininde en yaygın kullanılan parametrelerden biridir. Bu parametre, özellikle deprem mühendisliği ve yerel zemin davranışlarının modellenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Vs30 değeri, zemin türünün mühendislik davranışlarını temsil ederken aynı zamanda deprem dalgalarının yayılım hızı ve şiddetini de etkileyen temel bir göstergedir. Bu bağlamda, Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) yöntemiyle elde edilen veriler doğrultusunda Bitlis merkez ilçesindeki 13 farklı lokasyona ait Vs30 değerleri değerlendirilmiştir.

Çalışma alanında yapılan ölçümlerde elde edilen Vs30 değerleri 255 m/sn ile 697 m/sn arasında değişmektedir. En düşük değer MASW-2 (255 m/sn) ve MASW-4 (257 m/sn) serim noktalarında ölçülmüş, bu alanlar özellikle yüzeysel zayıf zemin birimlerinin yer aldığı bölgeler olarak öne çıkmaktadır. Bu serim noktaları, zayıf tutturulmuş veya gevşek birimlerin bulunduğu alanlara karşılık gelmekte olup deprem dalgalarının yer hareketini büyütebileceği bölgeleri işaret etmektedir.

Vs30, zeminin yüzeyden itibaren ilk 30 metrelik derinlikteki ortalama kayma dalgası hızını (Vs) ifade eder ve özellikle deprem mühendisliği ile zemin sınıflandırmalarında önemli bir parametredir. Amerikan Deprem Mühendisliği Araştırma Enstitüsü (NEHRP) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) gibi birçok ulusal ve uluslararası yönetmelik, zemin davranışını belirlemek ve sismik tehlike analizleri yapmak için Vs30 değerini temel almaktadır. Vs30 değeri arttıkça zemin sertliği artmakta, buna bağlı olarak da zemin büyütmesi azalmaktadır. Bu nedenle yerel zemin sınıflandırmasında bu parametre doğrudan kullanılmaktadır. Çizelge 4.46'da görüldüğü üzere Vs30 değerleri 319 m/sn ile 782 m/sn arasında değişmektedir. Bu durum, çalışma alanındaki formasyonların litolojik ve jeoteknik farklılıklarını açıkça ortaya koymaktadır.

Qtr (Traverten birimleri) için elde edilen yüksek Vs30 değerleri (710 ve 782 m/sn), bu birimlerin daha sert ve rijit bir zemin karakterine sahip olduğunu göstermektedir. Bu değerler, genellikle kaya sınıfına yakın zemin sınıflarını işaret etmektedir. Benzer şekilde, Mzi (Zımpara taşı formasyonu) birimine ait MASW-11 serimi de 600 m/sn'lik bir Vs30 değeri ile rijit özellik göstermektedir. Buna karşılık, Pzbko (Alt Orta Miyosen Kumtaşı-Marn birimleri) ve Pzbku (Üst Miyosen birimleri) için ölçülen değerler daha düşük olup, sırasıyla 319, 389, 400 ve 349 m/sn düzeyindedir. Bu değerler, zayıf zemin koşullarına işaret etmekte olup, sismik etkiler açısından daha büyük

büyütme potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Özellikle 319 m/sn'lik Vs30 değeri (MASW-3), daha yumuşak zemin koşulları özelliğindedir. Formasyonlara göre değerlendirildiğinde: Qn (Nemrut Volkanitleri), Vs30 değerleri 471 ve 539 m/sn arasında değişmekte olup orta sertlikte volkanik birimleri temsil etmektedir. Pey (Paleosen–Eosen birimleri), 350–397 m/sn değer aralığı ile daha düşük dayanımlı, orta sert zemin karakterine işaret etmektedir. Pzmzç (Alt Miyosen killi şeyl–kumtaşı), 516–553 m/sn değer aralığı ile sert zemin özelliği göstermektedir.

**Çizelge 4.46.** Her formasyon için hesaplanan Vs30 değerleri

| SERİM NO | Vs30 (m/sn) | Formasyon |
|----------|-------------|-----------|
| MASW-1   | 471         | Qn        |
| MASW-2   | 539         | Qn        |
| MASW-3   | 319         | Pzbko     |
| MASW-4   | 389         | Pzbko     |
| MASW-5   | 400         | Pzbku     |
| MASW-6   | 349         | Pzbku     |
| MASW-7   | 397         | Pey       |
| MASW-8   | 350         | Pey       |
| MASW-9   | 553         | Pzmzç     |
| MASW-10  | 516         | Pzmzç     |
| MASW-11  | 600         | Mzi       |
| MASW-12  | 782         | Qtr       |
| MASW-13  | 710         | Qtr       |

Genel olarak, Vs30 değerleri formasyonun litolojik yapısına ve yerel zemin koşullarına göre farklılık göstermekte; bu durum yerel zemin sınıflandırması ve mühendislik analizleri açısından büyük önem arz etmektedir.

#### 4.11.8. Sökülebilirlik sınıflandırılması

Sökülebilirlik, zemin veya kaya birimlerinin kazı makineleri ile ne derece kolaylıkla kazılabileceğini belirleyen bir mühendislik parametresidir. Bu sınıflandırma, özellikle yol inşaatı, altyapı projeleri ve temel kazıları gibi mühendislik uygulamaları açısından büyük önem taşımaktadır. Sökülebilirlik değerlendirmesi, zeminin fiziksel özelliklerine, dalga hızlarına, yoğunluğuna ve mühendislik jeofiziği yöntemlerinden elde edilen verilere dayanmaktadır. Bu kapsamda, çalışmada kullanılan Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) ile elde edilen Vs30 (30 m derinliğe kadar kayma dalgası hızı) değerlerinden yararlanılarak, zeminin kazıya karşı gösterdiği dirence göre sökülebilirlik sınıflaması yapılmıştır. Çizelge 4.47'ye bakıldığında özellikle Qtr (Traverten), Qn (Nemrut volkaniti) ve Pzbko (Boz tepe konglomerası) formasyonlarının yüzeye yakın tabakalarında kayma dalgası hızlarının düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, bu formasyonların üst tabakalarının zayıf mühendislik özelliklerine sahip olduğunu, yüzey dalgalarının büyütülmesine sebep olabileceğini ve yapı-zemin etkileşiminde olası rezonans risklerini ortaya çıkarabileceğini göstermektedir. Çalışma sahası zemin birimleri TBDY (2018) kapsamında, zemin sınıfı ZC veya ZD kategorisine girmektedir. Bu sınıflar, düşük kayma dalgası hızı ( $<360$  m/sn) nedeniyle düşük rijitlikli zeminler olarak tanımlanmakta olup mühendislik tasarımında özel dikkat gerektirir. Bu bağlamda, zemin iyileştirme çalışmaları veya yapısal önlemler alınmadan yapılaşmaya gidilmemesi önerilmektedir. Özellikle Pzbku, Pzbko ve Pzmzç gibi formasyonların ikinci tabakalarında Vs değerlerinin oldukça yüksek (örneğin  $> 750$  m/sn) olabileceği ve bu zeminlerin daha rijit, daha stabil ve yapı temelleri için daha uygun olduğu söylenebilir. Ancak üst tabakalar ile alt tabakalar arasında ani geçişler olduğu takdirde yapısal rezonans riskinin artabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Vs30 değerleri ve zemin sınıfları birlikte değerlendirilerek, Bitlis Merkez İlçesi'ndeki yapılaşmanın özellikle sismik tehlike açısından riskli bölgelerde kontrollü ve mühendislik verilerine dayalı şekilde planlanması gerektiği vurgulanmalıdır. İnceleme alanında gerçekleştirilen jeofizik etütler kapsamında elde edilen Vp (boyuna dalga hızı) değerleri üzerinden yapılan sökülebilirlik sınıflandırması, zeminlerin mühendislik amaçlı kazılabilirlik düzeyini ortaya koymak açısından kritik bilgiler sunmaktadır. Çizelge 4.47'de yer alan veriler, farklı formasyonlara ait zemin türlerinin kazılabilirlik açısından sergilediği davranışları nicel bir biçimde sınıflandırmakta ve değerlendirmektedir.



**Çizelge 4.47.** İnceleme alanının  $V_p$  hızları ve sökülebilirlik sınıflandırılması

| SERİM NO | Tabaka No | $\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> ) | Yoğunluğa Göre Zemin Tanımlaması | Formasyon |
|----------|-----------|------------------------------|----------------------------------|-----------|
| sİS1     | 1<br>2    | 456<br>1857                  | Çok Kolay<br>Zor                 | Qn        |
| sİS2     | 1<br>2    | 453<br>1678                  | Çok Kolay<br>Zor                 | Qn        |
| sİS3     | 1<br>2    | 873<br>3105                  | Kolay<br>Son Derece Zor          | Pzbko     |
| sİS4     | 1<br>2    | 486<br>1534                  | Çok Kolay<br>Zor                 | Pzbko     |
| sİS5     | 1<br>2    | 575<br>1518                  | Çok Kolay<br>Orta                | Pzbku     |
| sİS6     | 1<br>2    | 939<br>2901                  | Orta<br>Son Derece Zor           | Pzbku     |
| sİS7     | 1<br>2    | 551<br>1622                  | Çok Kolay<br>Zor                 | Pey       |
| sİS8     | 1<br>2    | 682<br>1631                  | Kolay<br>Zor                     | Pey       |
| sİS9     | 1<br>2    | 602<br>1514                  | Çok Kolay<br>Orta                | Pzmzç     |
| sİS10    | 1<br>2    | 526<br>1765                  | Çok Kolay<br>Zor                 | Pzmzç     |
| sİS11    | 1<br>2    | 483<br>1962                  | Çok Kolay<br>Zor                 | Mzi       |
| sİS12    | 1<br>2    | 471<br>1584                  | Çok Kolay<br>Zor                 | Qtr       |
| sİS13    | 1<br>2    | 432<br>1768                  | Çok Kolay<br>Zor                 | Qtr       |

Çizelge 4.48'e göre, 13 adet serimdeki 2. tabaka  $V_p$  değerleri, Türkiye Deprem Bina Yönetmeliği ve ulusal/uluslararası mühendislik standartlarında kabul gören sınıflandırma eşiklerine göre değerlendirilmiştir. İnceleme alanında yüksek oranda “çok kolay” ve “kolay” kazılabilir zemine sahip tabakaların bulunması, yapılaşma için uygun koşullar sunduğunu, ancak bu alanlarda zemin iyileştirme, drenaj ve taşıma gücü açısından ek mühendislik önlemlerine gereksinim olabileceğini göstermektedir. Diğer taraftan, “zor” ve “çok zor” sökülebilirlik sınıfına sahip zeminlerin inşaat açısından maliyetli kazı ve temel sistemleri gerektireceği, ancak taşıyıcılık açısından daha dayanıklı olabileceği ifade edilebilir.

$V_p$  hızlarına dayalı bu sınıflandırma, hem zeminlerin mühendislik özellikleri hem de kazı maliyet ve yöntemlerinin belirlenmesi açısından son derece yol gösterici olup, saha uygulamalarında planlama süreçlerine katkı sağlayacak niteliktedir.

**Çizelge 4.48.** İnceleme alanının MASW yöntemden elde edilen  $V_p$  hızları ve sükülebilirlik sınıflandırılması

| SERİM NO | Tabaka No | $\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> ) | Yoğunluğa Göre Zemin Tanımlaması | Formasyon |
|----------|-----------|------------------------------|----------------------------------|-----------|
| MASW-1   | 1<br>2    | 491<br>1257                  | Çok Kolay<br>Orta                | Qn        |
| MASW-2   | 1<br>2    | 408<br>917                   | Çok Kolay<br>Orta                | Qn        |
| MASW-3   | 1<br>2    | 378<br>1282                  | Çok Kolay<br>Orta                | Pzbko     |
| MASW-4   | 1<br>2    | 373<br>826                   | Çok Kolay<br>Kolay               | Pzbko     |
| MASW-5   | 1<br>2    | 444<br>1450                  | Çok Kolay<br>Orta                | Pzbku     |
| MASW-6   | 1<br>2    | 347<br>2009                  | Çok Kolay<br>Zor                 | Pzbku     |
| MASW-7   | 1<br>2    | 607<br>811                   | Çok Kolay<br>Kolay               | Pey       |
| MASW-8   | 1<br>2    | 483<br>1193                  | Çok Kolay<br>Orta                | Pey       |
| MASW-9   | 1<br>2    | 589<br>977                   | Çok Kolay<br>Orta                | Pzmzç     |
| MASW-10  | 1<br>2    | 573<br>2477                  | Çok Kolay<br>Son Derece Zor      | Pzmzç     |
| MASW-11  | 1<br>2    | 797<br>2339                  | Kolay<br>Çok Zor                 | Mzi       |
| MASW-12  | 1<br>2    | 1057<br>1473                 | Orta<br>Orta                     | Qtr       |
| MASW-13  | 1<br>2    | 839<br>1308                  | Kolay<br>Orta                    | Qtr       |

#### 4.11.9. Kalınlık (h)

Sismik çalışmalar kapsamında belirlenen "kalınlık (h)" parametresi, yer altındaki tabakaların derinliğini yani kalınlıklarını temsil eder ve bu değerler genellikle metre (m) cinsinden ifade edilir. Bu parametre, jeolojik yapıların mühendislik ve jeoteknik özelliklerinin değerlendirilmesinde kritik bir öneme sahiptir. Kalınlık, özellikle zeminin

farklı jeolojik formasyonlara geçiş yaptığı noktaların belirlenmesinde ve zemin sınıflandırmalarında temel bir girdidir. Kalınlık verileri, genellikle sismik kırılma yöntemiyle elde edilen zaman-uzaklık (time-distance) diyagramlarının analizine dayalı olarak hesaplanır. Bu diyagramlarda, farklı jeofonlarda kaydedilen dalga yayılım zamanları incelenir ve bu eğrilerdeki kırılma noktaları, sismik hızda meydana gelen değişimleri ortaya koyar. Eğrinin eğiminde gözlemlenen bu ani değişim noktaları, farklı jeolojik tabakaların sınırlarını işaret eder. Böylece bu değişimin gerekleştığı noktadaki jeofonun atış noktasına olan mesafesi kullanılarak tabaka kalınlığı belirlenmiş olur.

Bitlis Merkez ilçesinde gerçekleştirilen sismik çalışmalar sonucunda, yaklaşık 30 metre derinliğe kadar güvenilir veri elde edilmiştir. Ancak, yüzeye yakın ilk tabakalar özellikle daha belirgin olarak analiz edilebilmiştir. Bu bağlamda, formasyonların çoğunda ilk 3 ila 6.5 metre arasında değişen kalınlıklar belirlenmiş ve bu değerler tabakaların yüzeye en yakın, mühendislik açısından en kritik kesimini temsil etmektedir. Bu sığ derinliklerdeki veriler, özellikle temel tasarımı ve zemin iyileştirme çalışmaları açısından önem taşır.

Elde edilen kalınlık değerleri, bölgedeki formasyonların jeolojik yapısını anlamada ve mühendislik projelerinde zemin davranışlarını doğru şekilde öngörmede kullanılmaktadır. Her formasyonun farklı kalınlık profiline sahip olması, sahadaki litolojik çeşitliliği ve sedimantasyon özelliklerini de yansıtmaktadır. Bu nedenle, sismik yöntemlerle elde edilen kalınlık verileri hem jeolojik haritalama süreçlerine katkı sağlamakta hem de zemin sınıflandırması, taşıma gücü analizi gibi teknik hesaplamalara önemli bir zemin oluşturmaktadır.

#### **4.12. İnceleme Sahasının Mühendislik Özelliklerinin Değerlendirilmesi**

##### **4.12.1. Şişme – Oturma ve taşıma gücü analizleri ve değerlendirilmesi**

Yerinde yapılan deneysel ve laboratuvar analizleri sonucunda, zeminlerin şişme ve oturma özellikleri ile taşıma gücüne ilişkin değerlendirmeler ortaya konmuştur. Özellikle ince taneli zeminlerde şişme potansiyelinin, zemin yapısının mineralojik bileşimi, plastisite özellikleri ve su alma eğilimi ile doğrudan ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Arazi ve laboratuvar verilerine göre, bazı serim noktalarında şişme potansiyelinin düşük olduğu, bazı bölgelerde ise orta seviyede şişme davranışı gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum, mühendislik yapılarının tasarımında dikkat edilmesi gereken

bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Oturma analizlerinde ise özellikle kohezyonlu ve gevşek zeminlerin bulunduğu alanlarda, yüklemeye bağlı olarak zaman içerisinde meydana gelebilecek konsolidasyon ve ani oturma riskleri dikkate alınmıştır. Oturma miktarları, laboratuvar deney sonuçlarına dayalı olarak hesaplanmış ve taşıma gücü zayıf olan zeminlerde bu değerlerin mühendislik yapıları için kritik sınırlarda olduğu saptanmıştır. Bu nedenle ilgili alanlarda zemin iyileştirme yöntemlerinin uygulanması gerekliliği ortaya konulmuştur.

Taşıma gücü açısından yapılan değerlendirmelerde, yerinde yapılan SPT (Standard Penetration Test), MASW analizleri ve laboratuvar verileri birlikte yorumlanmıştır. Zeminin taşıma kapasitesinin, formasyon türüne, su içeriğine ve sıkışabilirlik özelliklerine göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle Qtr (traverten), Qn (volkanit), Mzi (Metamorfite) gibi sağlam kayalarda taşıma gücünün yüksek olduğu, buna karşın Pzbko ve Pey gibi formasyonlarda daha düşük taşıma kapasitelerinin elde edildiği gözlemlenmiştir.

Elde edilen bu bulgular doğrultusunda, yapı tasarım sürecinde her bir serim noktası için özel mühendislik önlemleri alınması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Şişme ve oturma analizlerinin, sadece zemin güvenliği açısından değil, uzun vadeli yapı performansı açısından da hayati önemde olduğu vurgulanmıştır. Taşıma gücü değerlendirmeleri ise zeminlerin taşıyabileceği maksimum yükü belirlemede yol gösterici olmuş; zeminlerin yerinde iyileştirilmesi, kazıklı temel çözümleri veya oturma riskine karşı drenaj gibi önlemler önerilmiştir.

#### **4.12.2. İnceleme alanındaki zeminlerin şişme özellikleri**

Zeminlerin şişme potansiyeli, yapı temellerinin tasarımı açısından oldukça kritik bir parametre olup, özellikle killi zeminlerin varlığı durumunda şişme davranışı önemli mühendislik problemlerine yol açabilmektedir. Çizelge 4.49’da incelenen örneklerde, zeminin tane boyu dağılımı (% #200 elekten geçen miktar) ve Atterberg limitleri (özellikle sıvı limit - LL) gibi parametreler esas alınarak zeminlerin şişme dereceleri değerlendirilmiştir. Çizelge 4.49’da SK-1 kuyusunda 1.50–1.95 m derinliğinde alınan SPT numunesi, %63.10 oranında #200 elekten geçen ince dane içeriğine sahip olup, bu oran şişme potansiyelinin yüksek olduğuna işaret etmektedir. Aynı numunenin sıvı limiti (LL) %31.70 olarak ölçülmüş ve bu değer orta dereceli bir şişme potansiyeline karşılık

gelmektedir. Bu durum, özellikle tane boyu dağılımının (yüksek ince dane içeriği) şişme davranışını daha baskın şekilde etkilediğini göstermektedir.

Aynı sondaj kuyusunda 2.50–3.00 m derinliğinden alınan UD numunesinde ise #200 elekten geçen miktar %33.00 ile daha düşük olup, bu nedenle şişme derecesi orta olarak değerlendirilmiştir. Sıvı limiti %33.40 ile bir önceki numuneye göre biraz daha yüksek olmasına rağmen, şişme derecesi yine de orta düzeyde kalmıştır. Bu örnekler, sadece sıvı limitin değil, ince dane oranının da şişme potansiyelinde önemli rol oynadığını teyit etmektedir. Benzer şekilde SK-2 kuyusundaki 1.50–1.95 m derinlikteki SPT numunesinde %57.40’lık ince dane içeriği ile orta dereceli bir şişme davranışı gözlemlenmiş; sıvı limitin %31.60 olması da bu değerlendirmeyi desteklemiştir. Aynı kuyunun 3.00–3.50 m derinliğindeki UD numunesinde ise %71.20 gibi oldukça yüksek bir ince dane oranı görülmekte ve buna bağlı olarak yüksek şişme derecesi raporlanmaktadır. İlginç şekilde, sıvı limit değeri bu örnekte %31.20 ile oldukça düşüktür. Bu bulgu, yüksek orandaki kil içeriğinin (ya da aktif mineral yapısının) sıvı limitten bağımsız olarak şişme potansiyelini artırabileceğini göstermektedir.

**Çizelge 4.49.** Zeminlerin İTO ve LL değerlerine göre şişme derceleri

| Sondaj Kuyusu | Numue              |               | #200 Geçen (%) | Şişme derecesi | LL (%) | Şişme derecesi | TBDY – 2018 | Formasyon |
|---------------|--------------------|---------------|----------------|----------------|--------|----------------|-------------|-----------|
|               | Numune Tipi ve Adı | Derinlik (m.) |                |                |        |                |             |           |
| SK-1          | SPT                | 1.50-1.95     | 63.10          | Yükse          | 31.7   | Orta           | ZD          | Qn        |
| SK-1          | UD                 | 2.50-3.00     | 33.00          | Orta           | 33.4   | Orta           | ZC–ZD       | Qn        |
| SK-2          | SPT                | 1.50-1.95     | 57.40          | Orta           | 31.6   | Orta           | ZD          | Qn        |
| SK-2          | UD                 | 3.00-3.50     | 71.20          | Yükse          | 31.2   | Orta           | ZD          | Qn        |

Tüm bu veriler, şişme potansiyelinin sadece sıvı limit ya da tane boyu dağılımı gibi tek bir parametre ile değil, her iki parametrenin birlikte değerlendirilmesiyle daha sağlıklı bir şekilde yorumlanabileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle % #200 elekten geçen miktarın yüksek olduğu örneklerde (örneğin %63.10 ve %71.20), LL değeri orta düzeyde bile olsa şişme davranışının yüksek olabileceği görülmüştür. Bu nedenle, yapı tasarımında potansiyel şişme davranışı taşıyan zeminlerde mutlaka hem Atterberg limitlerinin hem de granülometri analizlerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bitlis merkez ilçesi sınırlarında yer alan bu sondaj noktalarındaki zeminler, özellikle kil içeriği yüksek olan tabakalarında orta ila yüksek derecede şişme potansiyeline sahiptir. Bu durum, yapıların temel tasarımında ve drenaj sistemlerinin planlanmasında özel mühendislik önlemleri alınmasını zorunlu kılmaktadır. TBDY

(2018) kapsamında ZD zemin sınıfında değerlendirilen bu zeminlerin, özellikle su ile temas etmesi halinde taşıma gücü kaybı ve oturma riskleri taşıdığı göz önünde bulundurulmalıdır.

#### 4.12.3. Zeminlerin oturma özellikleri

Zeminlerin mühendislik açısından değerlendirilmesinde, oturma davranışı yapı güvenliği ve servis performansı açısından kritik bir öneme sahiptir. Özellikle yapı temelleri altında oluşabilecek oturmalar, hem yapısal bütünlük hem de kullanıcı konforu açısından ciddi sorunlara yol açabilir. Bu nedenle, temel sisteminin tipi, zemin özellikleri ve beklenen oturma miktarı birlikte değerlendirilerek projelendirme yapılmalıdır.

Çizelge 4.50'de, yapı temelleri için öngörülen izin verilebilir maksimum oturma ( $\rho$ ) ve farklı oturma ( $\delta$ ) değerleri verilmiştir. Bu değerler, yapı türüne ve zeminin türüne göre farklılık göstermektedir. Killer ve kumlar gibi farklı zemin sınıfları için öngörülen sınır değerler, yapıların emniyetli tasarımı açısından referans alınmaktadır. Buna göre; Münferit temellerde killer için toplam oturma 7,5 cm, farklı oturma ise 4,5 cm ile sınırlandırılmıştır. Münferit temellerde kumlar için toplam oturma değeri 5,0 cm, farklı oturma değeri ise 3,2 cm olarak belirlenmiştir. Radye jeneral temellerde ise, killerde toplam oturma 12,5 cm ve farklı oturma 4,5 cm, kumlarda ise toplam oturma 7,5 cm ve farklı oturma 3,2 cm olarak kabul edilmiştir.

**Çizelge 4.50.** Yapı temellerinde izin verilebilir max. oturma miktarları

| Temel Tipi             | $\rho$ (toplam oturma) | $\delta$ (farklı oturma) |
|------------------------|------------------------|--------------------------|
| Münferit temeller      | 7,5 cm                 | 4,5 cm                   |
| Killer Kumlar          | 5,0 cm                 | 3,2 cm                   |
| Radye jeneral temeller | 12,5 cm                | 4,5 cm                   |
| Killer                 | 7,5 cm                 | 3,2 cm                   |
| Kumlar                 |                        |                          |

Oturmaların değerlendirilmesi sırasında, temel sistemi altındaki zemin tabakalarının konsolidasyon ve kohezyon özellikleri dikkate alınmalı, özellikle killi zeminlerde uzun süreli oturma davranışı göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, farklı temellerin farklı zemin koşullarındaki davranışları, geoteknik mühendislik hesapları ve arazi/laboratuvar deneyleriyle desteklenerek projeye özel değerlendirmeler yapılmalıdır.

Yapılan analizler sonucunda, çalışma alanındaki bazı formasyonların örneğin Qn volkanitleri oturma açısından daha stabil davranış gösterdiği, buna karşın yumuşak geçişli killerin yer aldığı formasyonlarda oturma miktarlarının sınıra daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, bu bölgelerde temel tasarımı sırasında zemin iyileştirme tekniklerinin (ön yükleme, zemin enjeksiyonu, kazıklı temel sistemleri gibi) dikkate alınması önerilmektedir.

#### 4.12.4. Zeminlerin taşıma gücü hesabı

Taşıma gücü, zeminlerin üzerine gelen yükleri güvenli bir şekilde taşıyabilme kapasitesini ifade eder ve yapı güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Zemin taşıma gücünün doğru hesaplanabilmesi için zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin ayrıntılı şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, zeminlerin kohezyon katsayısı (c), içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ), doğal birim hacim ağırlığı ve zemin parametrelerine bağlı olarak belirlenen taşıma gücü faktörleri ( $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$ ) dikkate alınarak analiz yapılmaktadır.

Çizelge 5.51’de, Bitlis Merkez İlçesi’nde gerçekleştirilen sondaj çalışmalarına ait kohezyonlu zeminlerin taşıma kapasitesi analizine ilişkin veriler sunulmuştur. Bu veriler, sahada yapılan sondajlardan alınan numunelere ait laboratuvar ve arazi deney sonuçlarına dayanarak hesaplanmıştır.

Bu analizlerde, SK-1 ve SK-2 kodlu sondaj noktalarında alınan örneklerin taşıma gücü, klasik Terzaghi taşıma gücü denklemleri esas alınarak hesaplanmıştır. Verilen değerler, yerinde alınan "UD (Undisturbed)" yani bozulmamış örneklerden elde edilmiş olup, yerinde zemin davranışını yansıtmaya açısından önemlidir.

İlk olarak zeminlerin doğal birim hacim ağırlıkları  $17.50 \text{ kN/m}^3$  (SK-1) ve  $19.00 \text{ kN/m}^3$  (SK-2) olarak ölçülmüştür. Bu değerler, zeminin mineral yapısı, sıklığı ve nem içeriği hakkında bilgi verir. SK-2 noktasındaki değer, zeminin daha sıkı veya daha düşük boşluk oranına sahip olduğunu göstermektedir. Kohezyon (c) parametresi incelendiğinde, SK-1’de  $0.21 \text{ kgf/cm}^2$ , SK-2’de ise  $55.0 \text{ kgf/cm}^2$  gibi ciddi farklılıklar görülmektedir. Bu durum, SK-2 numunesinin daha yüksek kohezyona sahip, yani daha dayanıklı ve plastisiteli bir kil zemin olduğunu ortaya koyar. Bu fark, oturma davranışı ve taşıma kapasitesine doğrudan etki etmektedir. Bu bağlamda, SK-2 zemininde temel tasarımının daha güvenli yapılabileceği anlaşılmaktadır. İçsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) bakımından, SK-1 için  $19^\circ$ , SK-2 için ise sadece  $5^\circ$  olarak ölçülmüştür. SK-2’deki düşük içsel sürtünme

açısı, zeminin kohezyon kontrolünde bir dayanım sergilediğini, ancak sürtünme etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir. Bu da, bu zeminin plastisiteli, suya doygun ve olası sıkışma eğiliminde bir kil karakterinde olduğunu gösterir.

Taşıma gücü katsayıları ( $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$ ) her iki örnek için de aynı alınmış ( $N_c$ : 7.52,  $N_q$ : 2.05,  $N_\gamma$ : 0.26) olup, zeminin düşük sürtünme açılı ve kohezyon kontrollü özelliklere sahip olduğunu desteklemektedir. Bu katsayılar taşıma gücü denklemlerinde temel rol oynar. Fakat verilerin aynı alınması, hesaplamalarda genel ortalama değerlerin veya konservatif (güvenli tarafta) kabul edilen değerlerin kullanıldığını düşündürmektedir.

**Çizelge 4.51.** Kohezyonlu zeminlerde izin verilebilir taşıma kapasite değerler çizelgesi

| Sondaj No | Numune No | Doğal Yoğunluk (kN/m <sup>3</sup> ) | c (kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\phi$ (°) | $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ | Taşıma Kapasitesi (kg/cm <sup>2</sup> ) | Litoloji          | FORMASYON         |
|-----------|-----------|-------------------------------------|--------------------------|------------|-------|-------|------------|-----------------------------------------|-------------------|-------------------|
| SK-1      | UD        | 17.50                               | 0.21                     | 19         | 7,52  | 2,05  | 0,26       | 5.614                                   | Çakıllı kumlu kil | Qn (Ayrışma zonu) |
| SK-2      | UD        | 19.00                               | 55.0                     | 5          | 7,52  | 2,05  | 0,26       | 5.614                                   | Çakıllı kumlu kil | Qn (Ayrışma zonu) |

Her iki sondaj noktası için de taşıma kapasitesi 5.614 kg/cm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu değer her iki numune de aynı çıkması dikkat çekicidir; çünkü kohezyon ve diğer parametrelerde ciddi farklar olmasına rağmen taşıma gücü sabit verilmiştir. Bu durum, hesaplamaların yalnızca laboratuvar verilerine değil, belki de sahadaki genel zemin yapısına dayalı muhafazakâr bir yaklaşım üzerinden yapıldığını gösterir. Aynı zamanda bu durum, analizlerde daha fazla örnek alınarak parametrik çeşitlilik oluşturulması gerektiğine işaret etmektedir. Zeminlerin litolojik tanımlamaları ise her iki örnek için de “Çakıllı kumlu kil” olarak yapılmış ve bu zeminler Qn formasyonunun ayrışma zonu olarak nitelendirilmiştir. Bu litoloji, taşıma gücü açısından heterojen bir davranış sergileyebilecek, yer yer iri taneli bileşenlerin katkısıyla daha fazla stabilite sağlayabilen, ancak ayrışma zonu nedeniyle zayıf düşmüş alanlar da barındırabilecek bir yapıyı temsil etmektedir.

#### 4.12.5. Kayada taşıma gücü hesabı

Zemin mühendisliğinde yapıların güvenli temellendirilmesi açısından yalnızca zeminlerin değil, temel altındaki kaya birimlerinin de taşıma gücünün doğru şekilde belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Kaya ortamlarında taşıma gücünün



hesaplanmasında, kayacın dayanım parametreleri, süreksizliklerin durumu ve kaya kütlelerinin bütünlük özellikleri dikkate alınarak farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Özellikle kaya kütlesi sınıflama sistemlerinden elde edilen RQD, Q ve RMR gibi parametreler; kaya ortamlarının taşıma kapasitesini yansıtan mühendislik verilerinin elde edilmesinde kritik rol oynamaktadır. Taşıma gücü hesaplamalarında genellikle doğrusal olmayan davranışlar ve süreksizliklerin etkisi göz önünde bulundurulmakta, taşıma kapasitesine yönelik değerlendirmelerde güvenlik katsayıları ile birlikte ampirik ve yarı ampirik yöntemlerden yararlanılmaktadır. Bu kapsamda, çalışmada yer alan sondaj noktalarına ait kayaç birimlerinin taşıma gücü hesaplamaları yapılmış ve elde edilen veriler Çizelge 4.52'de sunulmuştur. Çizelge 4.52'de görüldüğü üzere, kaya örneklerinin taşıma kapasitesi 6.12 kg/cm<sup>2</sup> ile 27.85 kg/cm<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Taşıma gücü bakımından en yüksek değerlere kuvarsit (Pzbko formasyonu) ve kireçtaşı (PzMzç formasyonu) litolojileri ulaşmıştır. Özellikle SK-4 ve SK-10 sondajlarında elde edilen yüksek qu değerleri (sırasıyla 278.50 ve 265.00 kg/cm<sup>2</sup>), bu kayaçların yüksek dayanımlı, sıkı dokulu ve az çatlaklı olduğunu göstermektedir. Bu birimler taşıma gücü açısından “çok iyi kaya” sınıfında değerlendirilmektedir. Diğer taraftan, ignimbirit (Qn) ve traverten (Qtr) birimlerinden alınan örneklerin taşıma gücü daha düşüktür. Özellikle SK-1, SK-2, SK-12 ve SK-13 sondajlarından elde edilen taşıma gücü değerlerinin 6–8 kg/cm<sup>2</sup> aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Bu birimler yapısal olarak daha fazla boşluk, çatlak ve ayrışma içerdiği için mühendislik anlamda taşıma kapasitesi sınırlı olan kayaçlar arasında yer almaktadır.

Şist (Pzbku) ve mikaşist (Pey) litolojileri ise taşıma gücü açısından orta seviyede performans göstermiştir. SK-5, SK-6, SK-7 ve SK-8 numaralı sondajlardan elde edilen veriler, bu kayaçların yer yer ayrışmış ya da şistozite düzlemleri boyunca zayıflamış olabileceğini düşündürmektedir. Taşıma kapasitesi bu grupta genellikle 9–16 kg/cm<sup>2</sup> aralığında değişmiştir.

**Çizelge 4.52.** Kaya birimlerin taşıma gücü değerleri

| Numue            |                          |                  | Nokta<br>Yükleme<br>*Is = P / De2<br>(kgf/cm2) | Kayada<br>Tek<br>Eksenli<br>Basınç<br>Deneyi qu | Taşıma<br>Gücü<br>Değeri<br>(kg/cm2<br>) | Litoloji   | Formasyon |
|------------------|--------------------------|------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|------------|-----------|
| Sondaj<br>Kuyusu | Numune<br>Tipi ve<br>Adı | Derinlik<br>(m.) |                                                |                                                 |                                          |            |           |
| SK-1             | CR                       | 5.00-6.00        | 6.40                                           |                                                 | 7.68                                     | İgnimbirit | Qn        |
| SK-2             | CR                       | 7.00-8.00        | 4.80                                           |                                                 | 5.76                                     | İgnimbirit | Qn        |
| SK-3             | CR                       | 6.00-8.00        | 20.30                                          |                                                 | 24.36                                    | Kuvarsit   | Pzbko     |

|       |    |           |       |        |       |           |       |
|-------|----|-----------|-------|--------|-------|-----------|-------|
| SK-4  | CR | 6.00-7.00 |       | 278.50 | 27.85 | Kuvarsit  | Pzbko |
| SK-5  | CR | 4.50-6.00 | 8.20  |        | 9.84  | Şist      | Pzbku |
| SK-6  | CR | 6.00-7.00 | 9.60  |        | 11.52 | Şist      | Pzbku |
| SK-7  | CR | 6.00-8.00 |       | 165.20 | 16.52 | Mikaşist  | Pey   |
| SK-8  | CR | 6.00-7.00 |       | 163.50 | 16.35 | Mikaşist  | Pey   |
| SK-9  | CR | 6.00-7.00 |       | 255.60 | 25.56 | Kireçtaşı | PzMzç |
| SK-10 | CR | 7.00-8.00 |       | 265.00 | 26.50 | Kireçtaşı | PzMzç |
| SK-11 | CR | 4.00-5.00 | 10.50 |        | 12.60 | Çört-     | Mzi   |
| SK-12 | CR | 6.00-7.00 | 5.10  |        | 6.12  | Traverten | Qtr   |
| SK-13 | CR | 5.00-6.00 | 6.00  |        | 7.20  | Traverten | Qtr   |

Bu bulgular doğrultusunda, yerinde taşıma gücü değerleri dikkate alınarak yapılacak yapısal tasarımlarda; yüksek dayanımlı birimler üzerine gelen temeller için ilave zemin iyileştirmesi gerekmeyeceği, ancak düşük dayanımlı ignimbirit ve traverten birimlerinde daha dikkatli bir mühendislik değerlendirmesi yapılmasının zorunlu olduğu söylenebilir.

#### 4.13. Çalışma Sahasının Hidrojeolojik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Bitlis Merkez ilçesinin hidrojeolojik özellikleri, zemin ve kaya ortamlarının su ile olan etkileşimlerinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Hidrojeolojik analizler, yer altı ve yüzey sularının varlığı, sirkülasyon yapısı, drenaj koşulları ve mühendislik açısından etkileri bakımından değerlendirilmiştir. Özellikle temel kazıları ve yapı yüklerinin aktarılması aşamasında su varlığı, zemin davranışını doğrudan etkileyen bir parametredir. Bu nedenle, hem yer altı suyu hem de yüzey akışlarının ayrıntılı şekilde irdelenmesi gerekmektedir. İnceleme alanında açılan sondaj kuyularında yapılan gözlemler neticesinde, yeraltı suyuna rastlanmamıştır. Bu durum, alanın jeolojik ve hidrojeolojik yapısıyla yakından ilişkilidir. Zeminlerin geçirimsiz veya düşük geçirgenlikli olması, yer altı su seviyesinin yüzeye yakın konumlanmamasına neden olmuş olabilir. Ayrıca, drenaj koşullarının uygunluğu da suyun birikmeden derin zonlara sızmasını sağlamış olabilir. Yeraltı suyu bulunmaması, temel kazılarının kuru ortamda gerçekleştirileceğini ve bu nedenle su izolasyonu veya pompalama işlemlerine ihtiyaç duyulmayacağını göstermektedir. Bu durum, uygulama sürecinde maliyet ve zaman açısından avantaj sağlamaktadır. Ancak, bu bulgu sabit ve değişmez olarak değerlendirilmemeli, mevsimsel etkiler ve ani yağışlar dikkate alınarak sürekli kontrol sağlanmalıdır. Yeraltı suyu olmaması ayrıca zemin taşıma gücünü artıran bir unsur olarak değerlendirilebilir. Çünkü su varlığı, kohezyonlu zeminlerde dayanım kaybına,

kohezyonsuz zeminlerde ise yumuşamaya neden olabilir. Bu bakımdan, yapılan sondajlarda suya rastlanmaması, yapılaşma açısından olumlu olarak yorumlanabilir. Ancak yine de kazı aşamasında yerel su birikintileri göz ardı edilmemelidir.

Son olarak, yeraltı suyunun bulunmaması çevresel etkiler açısından da önem taşımaktadır. Özellikle atık suların yer altı suyu ile etkileşime geçerek yayılma riski, bu alanda düşüktür. Ancak yapılaşma sonrası peyzaj uygulamaları ya da yerleşim içi su döngüsü planlamalarında bu durum dikkate alınarak dışsal su kaynaklarına yönelim sağlanmalıdır.

#### **4.14. İnceleme Alanının Yerleşime Uygunluk Açısından Değerlendirilmesi**

Bitlis Merkez İlçesi sınırları içerisinde gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında; jeolojik, jeoteknik, jeofizik ve hidrojeolojik veriler birlikte değerlendirilerek alanın yerleşime uygunluk potansiyeli analiz edilmiştir. Jeoteknik araştırmalar ve yerel afet verileri dikkate alınarak alan dört temel kategoriye ayrılmıştır: Önlemleri Alanlar, Uygun Olmayan Alanlar ve Afete Maruz Bölgelerdir.

İnceleme alanında başlıca jeolojik birimler olarak; Yolcular Formasyonuna ait mikaşist, Kokarsu Formasyonuna ait kuvarsit, Kuştaşı Formasyonuna ait şist, Çadırdağ Formasyonuna ait kireçtaşı, İçmeli Formasyonuna ait çört ve kayrak, Nemrut Volkaniti'ne ait ignimbirit ve Kuaterner yaşlı Travertenler yer almaktadır. Bu litolojiler mühendislik özellikleri bakımından oldukça farklı davranış göstermektedir. Topografik eğim genel olarak % 0-50 arasında değişmekle birlikte, bazı yamaç ve dere yataklarında % 70'e kadar çıkmaktadır. Açılan sondaj kuyularında yer altı suyuna rastlanmamıştır, ancak şişme potansiyeli orta-yüksek olarak belirlenen alanlar bulunmaktadır. Kaya birimlerinde RQD değerleri düşük (çok kötü-kötü kalite), nokta yük ve tek eksenli basınç dayanımları ise çok düşük – orta dayanımlı kaya karakterine işaret etmektedir.

Bölgenin bazı kesimlerinde anakayadan ayrılmak üzere olan veya asılı halde bulunan kaya blokları, kaya düşmesi riski oluşturmakta; bazı alanlar ise Bitlis İl AFAD tarafından “Afete Maruz Bölge (AMB)” ilan edilmiştir.

Tüm bu veriler ışığında inceleme alanı, dört temel kategoride değerlendirilmiştir:

##### **➡ Önlemleri Alanlar-2.3 (ÖA-2.3):**

Bu alanlar, topoğrafik eğimi % 10–40 arasında olan ve mühendislik açısından kaya düşmesi riski taşıyan sahaları kapsamaktadır. Bu bölgelerde litolojik yapıların kırıklı

ve çatlaklı olması, yüzeysel ayrışmalar ve eğim etkisiyle kama tipi kopmalar, blok düşmeleri gibi stabilite sorunları gözlenebilmektedir.

Önerilen Önlemler:

- Kaya bloklarının ıslahı sonrası yapılaşmaya geçilmeli.
- Şevlerin istinat yapılarıyla desteklenmesi.
- Zemin kazılarında drenaj ve yüzey suyu yönetimi sağlanmalı.
- Yapı temelleri sağlam birimlere oturtulmalı.
- Stabilite analizleri temel projelendirme sürecine entegre edilmeli.

➔ *Önlemler Alanlar-5.1 (ÖA-5.1):*

Bu alanlar, Nemrut Volkaniti'nin ayrışmış zonları üzerinde yer almakta olup, yüzeyde düşük eğimli (eğim < %10) sahalardır. Zeminlerin içerdiği killer nedeniyle şişme ve oturma gibi davranışlar mühendislik açısından potansiyel risk oluşturmaktadır.

Önerilen Önlemler:

- Ayrıntılı şişme analizleri ve konsolidasyon deneyleri yapılmalı.
- Temeller, aynı litolojik birimler üzerine oturtulmalı.
- Yüzey ve atık sulara karşı etkili drenaj sistemleri planlanmalı.
- Kazılarda istinat sistemleri düşünülmeli.
- Temel derinliği ve taşıma gücü parametreleri saha özelinde belirlenmelidir.

➔ *Uygun Olmayan Alanlar-2.3 (UOA-2.3):*

Eğimin %40'tan fazla olduğu alanları kapsamaktadır. Saha gözlemlerinde, özellikle yamaçlarda asılı kalan veya ayrılmak üzere olan kaya bloklarının, ekonomik veya teknik olarak ıslahının mümkün olmadığı değerlendirilmiştir. Ayrıca, litolojik yapıların çatlaklı ve ayrışmış olması, kontrolsüz kazılarda ciddi stabilite riski yaratmaktadır.

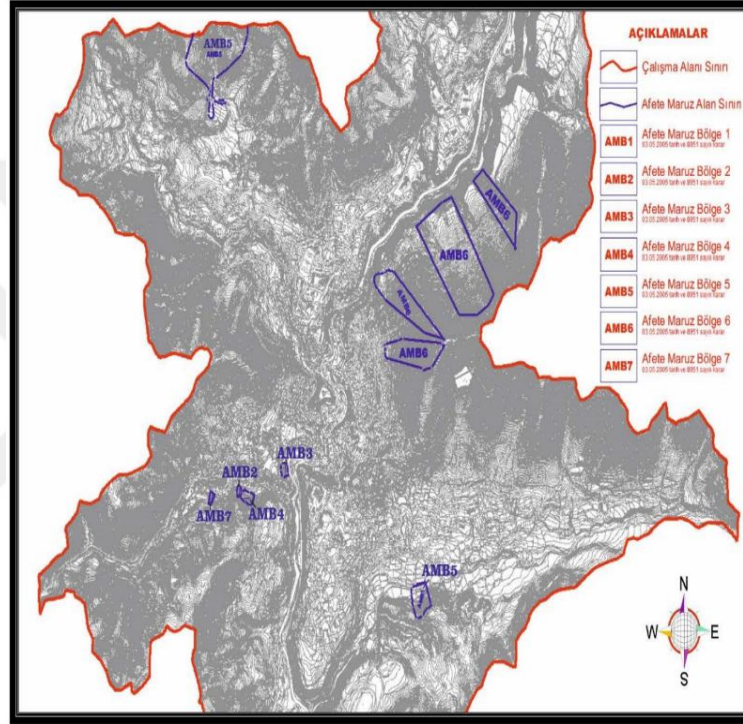
Yapılaşma Önerisi:

- Bu alanlarda yapılaşma kesinlikle önerilmemekte, imar planlarında uygun olmayan alanlar olarak tanımlanması tavsiye edilmektedir.

➔ *Afete Maruz Bölgeler (A.M.B):*

Bitlis İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'nün resmi verilerine göre, inceleme alanı içerisinde "Afete Maruz Bölge (AMB)" sınırları mevcuttur. Bu alanlar, kaya düşmesi, heyelan veya çığ riski taşıdığı için yapılaşmaya yasal olarak kapalı olup, herhangi bir jeoteknik değerlendirme yapılmamıştır.

Bitlis Merkez İlçesi'nin jeolojisi açısından değerlendirildiğinde; bölge karmaşık litolojik yapı, farklı zemin sınıfları, eğim riski, şişme potansiyeli ve kaya düşmesi tehlikesi gibi çok çeşitli jeoteknik unsurlar barındırmaktadır. Bu nedenle, bölgenin yerleşime uygunluğu saha bazlı, önlem esaslı ve sürekli izlenebilir bir sistemle yürütülmelidir. Ayrıca inceleme alanında Bitlis İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'nün raporunda belirtildiğine göre inceleme alanında dâhilinde kaya düşmesi, heyelan ve çığ tehlikesinden dolayı kararı alınmış 'Afete Maruz Bölgeler' bulunmaktadır (Şekil 4.21).



**Şekil 4.21.** İnceleme alanında kalan afete maruz bölgeleri gösteren harita (CBS, Coğrafi Bilgi Sistemi, 2024)

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, Bitlis Merkez İlçesi'nde jeolojik formasyonların tanımlanması, zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, sismik zemin sınıflarının değerlendirilmesi ve hidrojeolojik durumun incelenmesi amacıyla sondajlar, yerinde yapılan arazi testleri ve laboratuvar deneylerine dayalı jeoteknik araştırmalar yapılmıştır. Bu veriler ışığında, bölgedeki jeoteknik özelliklerin detaylı analizi yapılmış ve mühendislik parametreleri tespit edilmiştir. Bu analiz sonuçları, zeminin yerleşime uygunluğunu ve farklı yapısal yüklemeler altındaki tepkisini değerlendirmede faydalı olmuş; zemin-yapı etkileşimi üzerine ayrıntılı bilgiler sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar, jeoteknik parametreler doğrultusunda yapı temel tasarımında önemli bilgiler sunmaktadır.

### 5.1. Sonuçlar

1. İnceleme alanının jeolojisi; Nemrut Volkaniti (Qn), Traverten (Qtr), Kokarsu (Pzbko), Kuştaşı (Pzbku), Çadırdag (Pzmzç), İçmeli (Mzi) ve Yolcular Grubu (Pey) birimlerinden oluşmaktadır. Bu birimler mühendislik özellikleri bakımından oldukça heterojen davranışlar sergilemektedir.

2. Çalışma sahasında açılan sondaj kuyularına ait Standart Penetrasyon Testi (SPT) sonuçlarına göre, SK-1 ve SK-2 numaralı sondajlarda, sırasıyla 6.00 m ve 8.00 m derinliklerde gerçekleştirilen deneylerde SPT-(N30) değerleri sırasıyla 53 ve 63 olarak belirlenmiş, her iki noktada da relatif sıkılık değeri  $>0.85$  olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, zeminin “çok sıkı” sınıfında yer aldığını ve yüksek dayanım gösterdiğini ortaya koymaktadır.

3. Çalışma sahasında UD (Undisturbed) numunelerinden alınan karot verilerine göre, RQD değerleri % 5–50 aralığında değişmiş, özellikle Nemrut Volkaniti (Qn) ve Traverten (Qtr) birimlerinde zayıf zemin davranışları gözlenmiştir.

4. İnceleme alanında gözlenen zeminlerin mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik yapılan deney sonuçlarında, Qn Rez. (Nemrut volkaniti) formasyonunun yer yer daha yoğun (kompakt) yapıya sahip olabileceğini ve zeminlerin mühendislik açısından

orta-iyi derecede taşıma kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Direk kesme ve üç eksenli deneyler sonucunda, zeminlerin taşıma gücü kohezyonlu birimlerde  $5.61 \text{ kg/cm}^2$ , kuvarsit kayalarda ise  $24\text{--}27 \text{ kg/cm}^2$ 'ye kadar çıkmıştır. Özellikle, Traverten (Qtr) ve Nemrut Volkaniti (Qn) formasyonlarındaki altere-zayıf birimlerde taşıma gücü düşük bulunmuştur.

5. İnceleme alanında gözlenen zeminlerin fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik yapılan deney sonuçlarında, likit limitin (LL) %30'un üzerinde ve plastisite indeksinin (PI) 12-15 arasında olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, % 200 eleğinden geçen ince malzeme oranının yüksek olduğu birimlerde, yerel zemin davranışı açısından düşük rijitlik ve zayıf taşıma kapasitesi olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki zemin birimlerinde, şişme potansiyeli % 1.25'e kadar çıkmış, SK-1 ve SK-2'de orta-yüksek şişme riski belirlenmiştir. Likit limit, plastisite ve % 200 elekten geçiş verileriyle bu durum desteklenmiştir.

6. Çalışma alanındaki zemin birimlerinde, kayma dalgası hızı ( $V_s$ ) değerleri genellikle  $250 \text{ m/s}$  ile  $750 \text{ m/s}$  arasında değişmekte olup, bu durum zeminlerin gevşek-sıkı yapıda ve yer yer orta-iyi derecede taşıma gücüne sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlarda; kayma modülü, elastisite modülü ve Poisson oranı gibi parametrelerin, yerel zeminlerin rijitliğinin ve elastik özelliklerinin inşaat mühendisliği uygulamaları açısından kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca,  $V_{s30}$  değerleri dikkate alındığında, çalışma sahasının yerel zemin sınıfı açısından ZC ve ZD sınıfları arasında yer aldığı görülmekte, bu da yerleşim ve yapılaşma açısından alanın genel olarak orta derecede sağlam zemin özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu sonuçlar, bölgede gerçekleştirilecek mühendislik yapılarının tasarımında dinamik özelliklerin dikkate alınmasını gerektirdiğini desteklemektedir.

7. Çalışma sahasında Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) yöntemiyle elde edilen  $V_p/V_s$  oranları sonuçlarında, araştırma alanında yer alan zeminlerin dinamik özellikleri açısından oldukça değişken bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Özellikle Pzbku, Pey ve Mzi formasyonlarında ikinci tabakaların gevşek yapıda olduğu görülmekte, bu durum zeminlerin derinlikle birlikte mühendislik açısından zayıf nitelikler sergileyebileceğini göstermektedir. Buna karşın, Qn ve Qtr formasyonlarına ait bazı tabakalar, daha düşük  $V_p/V_s$  oranlarıyla katı ve sıkı zemin özellikleri sunmakta, bu durum formasyonlar arası heterojenliği vurgulamaktadır. Sonuç olarak, çalışma alanındaki zeminlerin mühendislik tasarımlarında yerel zemin

koşullarının dikkatle değerlendirilmesi, özellikle yüksek  $V_p/V_s$  oranına sahip bölgelerde zemin iyileştirme yöntemlerinin uygulanması gerektiği anlaşılmaktadır.

8. Bitlis Merkez İlçesi'nde yer alan zeminlerin büyük bir çoğunluğunun TBDY (2018) yönetmeliği kapsamında, ZB sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir. Bu zemin sınıfı, genellikle orta sertlikteki kaya birimlerini temsil etmekte olup mühendislik açısından yeterli taşıma gücüne ve düşük deformasyon özelliklerine sahiptir. Bununla birlikte, çalışma alanının bazı bölgelerinde ZC ve ZD zemin sınıfları hakimdir. Dolayısıyla, kentin bazı bölgelerinde bundan farklı ZC ve ZD zemin sınıflarının hakim olması, yapılaşma süreçlerinde yerel zemin koşullarının ayrıntılı biçimde incelenmesini zorunlu kılmaktadır.

9. Sondajlarda yeraltı suyu gözlenmemiştir. Bu durum, geçirimsiz tabakaların etkisiyle açıklanmakta; zemin-yapı etkileşimi açısından avantaj sağlamakla birlikte, su ile temas durumunda hacimsel değişim riski taşımaktadır.

10. Mikrotremor analizlerinde, Traverten (Qtr) formasyonunda H/V oranı 2.00–2.50 arasında tespit edilmiş, bu da rezonans riskinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Buna karşın, Pzbko (Kuvarsit) ve Pey (Mikaşist) birimlerinde rezonans riski düşük, yapı-zemin etkileşimi daha kontrollüdür.

11. Yamaçlarda ve dere yataklarına yakın eğimli alanlarda, özellikle şistli ve çatlaklı kayalarda stabilite sorunu ve kaya düşmesi riski gözlemlenmiştir. Özellikle % 40'tan fazla eğime sahip alanlarda kaya kütlesi stabilitesi mühendislik önlemleri gerektirmektedir.

12. alanı yerleşime uygunluk açısından; ÖA-2.3 (kaya düşmesi riski olan alanlar), ÖA-5.1 (şişme-oturma riski olan alanlar), UOA-2.3 (uygun olmayan alanlar) ve AMB (Afete Maruz Bölgeler) şeklinde dört sınıfta değerlendirilmiştir.

## 5.2. Öneriler

1. Nemrut Volkaniti (Qn) ve Traverten (Qtr) gibi düşük dayanımlı, şişme potansiyeli yüksek formasyonlarda enjeksiyon, jet grout, kazıklı temel ve drenaj sistemleri gibi zemin iyileştirme tekniklerinin uygulanması gerekmektedir.

2. Yüzeyde ayrılmış zonların yaygın olduğu alanlarda temeller mutlaka sağlam kayaç seviyelerine oturtulmalı, farklı jeolojik birimlere oturacak temellerde oturma analizleri yapılmalıdır.



3. Rezonans riski yüksek olan alanlarda yapıların titreşim periyotları zemin doğal periyodundan uzak olacak şekilde tasarlanmalı, gerekirse sismik izolasyon çözümleri tercih edilmelidir.

4. Düşme riski taşıyan alanlarda mühendislik önlemleri alınmalı (şev destekleme, çelik ağ, ankraj vb.). Bu tür alanlarda yapılaşmadan önce kaya düşmesi riski giderilmeli ve kazılar kontrollü yapılmalıdır.

5. Elde edilen Vs30, şişme potansiyeli, taşıma gücü gibi parametreler kullanılarak Bitlis Merkez için mikrobölgeleme haritaları hazırlanmalı, bu haritalar yerel idare tarafından imar planlamasına entegre edilmelidir.

6. Her ne kadar yeraltı suyu gözlenmemiş olsa da, mevsimsel değişimler ve ani yüzey akışlarına karşı drenaj sistemleri mutlaka projelere dahil edilmelidir.

7. Bölge genelinde zeminler heterojen yapıdadır. Bu nedenle her yeni yapılaşma için mikro ölçekte sondaj, arazi ve laboratuvar verilerine dayalı proje bazlı özel jeoteknik etüt yapılması zorunludur.

8. Bitlis aktif fay zonu üzerindedir. Bu sebeple zemin parametreleriyle birlikte aktif tektonik etkiler, yapı tasarımı sürecinde dikkate alınmalıdır. Özellikle deprem senaryoları ile entegre yerel zemin analizleri yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Akar, F., Işık, E., Avcil, F., Büyüksaraç, A., Arkan, E., & İzol, R. (2024). Geotechnical and structural damages caused by the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes in Gölbaşı (Adıyaman). *Applied Sciences*, 14(5), 2165.
- ASTM. (1978). *Standard Test Method for Measurement of Soil Bulk Modulus Using Seismic Methods*. ASTM International.
- Atkinson, J. H. (2007). *The Mechanics of Soils and Foundations* (2nd ed.). CRC Press.
- Aydan, Ö. (2012). Türkiye’de Zemin ve Kaya Mekaniği Uygulamaları ve Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirme. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(3), 205-214.
- Aydın, A. (2015). *Zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde mikro tremor ve remi yöntemlerinin kullanımı*. [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Aydoğan, B., (1975). Bitlis dolayının yapısı ve metamorfizması. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 18, 81-84.
- Bailey, J. E. (1975). *Seismic methods for determining rippability of rock*. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation.
- Bieniawski, Z. T. (1975). *The point-load test in geotechnical practice*. *Engineering Geology*, 9(1), 1–11.
- Boore, D. M., Joyner, W. B., & Fumal, T. E. (1993). *Estimation of response spectra and peak accelerations from western North American earthquakes: an interim report*. U.S. Geological Survey, Open-File Report 93–509.
- Boray, A. (1975). *Stratigraphy and metamorphism of the northern part of the Bitlis Massif, Southeast Turkey*. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA)*, 85, 1–20.
- Boray, A. (1976). Bitlis Metamorfikleri (masifi) üzerine. *Yeryuvarı ve İnsan*, 1(1), 74-76.
- Boray, A. (1973). *The structure and metamorphism of the Bitlis area, South-East Turkey*. [Yayınlanmamış Doktora Tezi]. University of London.
- Bowles, J. E. (1988). *Foundation Analysis and Design* (4th ed.). McGraw-Hill Book Company.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey—a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 3-30.

- Bray, J. D., & Sancio, R. B. (2006). Assessment of the liquefaction susceptibility of fine-grained soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(9), 1165–1177.
- Brook, N., & Dharmaratne, P. G. R. (1985). *A study of the point-load test for strength determination of rock materials. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 22(3), 139–152.
- Budhu, M. (2010). *Soil Mechanics and Foundations* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Budhu, M. (2015). *Soil mechanics and foundations* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Burmister, D. M. (1951). Principles and techniques of soil identification. *Proceedings of the Highway Research Board*, 30, 121–128.
- Chen, F. H. (1975). *Foundations on Expansive Soils*. Elsevier.
- Chen, F. H. (1988). *Foundations on Expansive Soils*. Elsevier.
- Coduto, D. P. (2001). *Geotechnical engineering: Principles and practices*. Prentice Hall.
- Coşkun, A. Ö., (2012). *Polatlı (Ankara) yerleşim alanının jeolojik-jeoteknik değerlendirilmesi*. [Yüksek Lisans Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Craig, R. F. (2004). *Soil mechanics* (7th ed.). Spon Press.
- Craig, R. F. (2012). *Craig's soil mechanics* (8th ed.). Spon Press.
- Çetin, K. Ö., Seed, R. B., Der Kiureghian, A., & Tokimatsu, K. (2004). Standard penetration test-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(12), 1314–1340.
- Çetin, K., Tunçer, F., & Yıldız, M. (2018). Zeminlerin Dinamik Özelliklerinin Sismik Yöntemlerle Belirlenmesi. *İnşaat Mühendisliği Dergisi*, 34(2), 105–117.
- Çiftçi, Y., & Güngör, Y. (2021). Natural and cultural heritage integration and geoconservation recommendatory of the Nemrut-Süphan proposed geopark area, Bitlis-Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 165(165), 191–215.
- Çolakoğlu, A. R., Hanilci, N., & Günay, K. (2011). Cenozoic collisional tectonics and origin of Pb-Zn-F mineralization in the Bitlis Massif, SE Turkey. *International Geology Review*, 53(14), 1593–1621.
- Das, B. M. (2015). *Principles of geotechnical engineering* (8th ed.). Cengage Learning.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering* (8th ed.). Cengage Learning.

- Das, B. M., & Sobhan, K. (2017). *Principles of Geotechnical Engineering* (9th ed.). Cengage Learning.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). *Principles of geotechnical engineering* (9th ed.). Cengage Learning.
- Demirtaşlı, E., & Pısoni, C. (2023). The Geology Of Ahlat-Adilcevaz Area (North Of Lake Van). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 1965(64), 3.
- Ekinci, Y. L., Büyüksaraç, A., Bektaş, Ö., & Ertekin, C. (2020). Geophysical investigation of Mount Nemrut stratovolcano (Bitlis, Eastern Turkey) through aeromagnetic anomaly analyses. *Pure and Applied Geophysics*, 177, 3243-3264.
- Elmastaş, N., & Özcanlı, M. (2014). Arazi kullanımı ve deprem ilişkisi bağlamında 2011 Van depremlerinin erciş şehri'ne etkileri. *Electronic Turkish Studies*, 9(5), 825-847.
- Ercan, T. (2001). *Jeofizik Yöntemlerle Zemin Etüdü ve Değerlendirme Teknikleri*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Erdoğan, B. ve Dora, O. Ö. (1983). Bitlis Masifi apatitli demir yataklarının jeolojisi ve oluşumu. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 26, 133-144.
- Erdoğan, B., Akay, E., Hasözbeke, A., Mertz-Kraus, R., & Özdil, L. (2023). Geological characteristics and tectonic setting of the Kiruna-type magnetite-apatite ores in the Bitlis Massif (SE Anatolia, Türkiye). *Neues Jahrbuch Für Mineralogie*, 198(3), 235–256.
- Erhan, Z., Gündoğdu, M. N., & Demir, M. (2015). Sismik yöntemle zemin sınıflandırması ve kazılabilirlik değerlendirme: Uygulamalı bir çalışma. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 58(2), 101–115.
- Göncüoğlu, M. C., & Turhan, N. (1983). Bitlis Metamorfizminde Yeni Yaş Bulguları. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 95(95-96), 1-5.
- Göncüoğlu, M. C., & Turhan, N. (1999). Geological evolution of the pre-Alpine basement in the Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 88(1), 27–43.
- Görür, N., ve Önder, Ş. (2022). Türkiye'nin neotektoniği ve jeotermal etkileri. *Maden Araştırma ve Arama Bülteni*, 1-1.
- Gümbür, S. ve Küçükönder, E. (2023). Fay hattı üzerinde doğrudan gama doz hızı ölçümü, yıllık efektif doz eşdeğeri ve yaşam boyu kanser riskinin hesaplanması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 834-842.
- Gür, H., Yıldırım Sözmez, F., & Ay, M. (2012). *Bitlis ili çevre durum raporu*. CSB.

- Hardin, B. O., & Drnevich, V. P. (1972). Shear modulus and damping in soils: Design equations and curves. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 98(7), 667–692.
- Hocaoğlu, K. (2015). *Yüksek çözünürlüklü deprem lokasyonları ile Kilikya Bölgesindeki aktif yapıların belirlenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Hoek, E. (2007). *Practical Rock Engineering*. Rocscience.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (2011). *An Introduction to Geotechnical Engineering* (2nd ed.). Pearson.
- ISRM. (1985). *Suggested method for determining point load strength index of rocks*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 22(2), 51–60.
- Işık, E. (2010). *Bitlis şehri deprem performans analizi*. [Doktora Tezi]. Sakarya Üniversitesi.
- Işık, E., Aydın, M. C., Bakış, A. ve Özlük, M. H. (2012). Bitlis ve civarındaki faylar ve bölgenin depremselliği. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 153–169.
- Kahafaji, H. A., & Andersland, O. B. (1993). *Mechanism of soil consolidation and settlement*. In *Proceedings of the International Conference on Advances in Soft Soil Engineering and Technology* (pp. 163–171).
- Kanai, K. (1961). *An empirical formula for the spectrum of strong earthquake motions*. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 39, 85–95.
- Kearey, P., Brooks, M., & Hill, I. (2002). *An introduction to geophysical exploration* (3rd ed.). Blackwell Science Ltd.
- Keçeli, A. (1990). *Uygulamalı Jeofizik Yöntemler*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Koçak, K., & Ceran, Ş. (2009). *Petrology and geochemistry of Precambrian metamafic rocks from the Mutki region (Bitlis Massif), Southeast Turkey: implications for tectonic setting*. *Geodinamica Acta*, 22(1–3), 69–88.
- Koçyiğit, A. (1983). Doğu Anadolu Bölgesi'nin depremselliği ve gerekli çalışmalar. *Yeryuvarı ve İnsan*, 8(3), 25–29.
- Koralay, T., Özkul, M., Kumsar, H., Celik, S. B., & Pektaş, K. (2011). The effect of welding degree on geotechnical properties of an ignimbrite flow unit: the Bitlis castle case (eastern Turkey). *Environmental earth sciences*, 64, 869–881.
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall.

- Kulhawy, F. H., & Mayne, P. W. (1990). *Manual on estimating soil properties for foundation design* (No. EL-6800). Electric Power Research Institute.
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969). *Soil Mechanics*. Wiley.
- Leonards, G. A. (1962). *Foundation engineering*. McGraw-Hill Book Company.
- Lermo, J., & Chávez-García, F. J. (1993). Site effect evaluation using spectral ratios with only one station. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83(5), 1574-1594.
- Matpay, B. ve Doğu, A. F. (2021). Pürtük Deresi Havzası (Hizan-Bitlis)'nın Jeomorfolojik Özelliklerinin Jeomorfik İndislerle Analizi. *Vankulu Sosyal Araştırmalar Dergisi*, (8), 35-56.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quarterly Report of RTRI*, 30(1), 25-33.
- Namlı, S. (2018). *Hizan ilçe merkezi (Bitlis) jeolojik-jeoteknik incelemesi*. [Yüksek Lisans Tezi]. Fırat Üniversitesi.
- Okay, A. I., & Satır, M. (2000). *Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey*. *Geological Magazine*, 137(5), 495-516.
- Özaydın, K., & Tönük, G. (2011). Zeminlerin Sismik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler. *İnşaat Mühendisliği Dergisi*, 23(2), 17-29.
- Özçep, F. (2010). *Zeminlerin Dinamik Özelliklerinin Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi*. *Jeofizik Bülteni*, 14(1), 23-35.
- Özçep, F., & Gönenç, S. (2013). Yerel zemin sınıflarının belirlenmesi ve mühendislik yapılarının tasarımına etkileri. *İnşaat Mühendisliği Dergisi*, 25(2), 45-56.
- Özçep, F., & Gönenç, T. (2012). Zeminlerin Dinamik Özelliklerinin Elastisite Modülleri Cinsinden Sınıflandırılması. *TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Dergisi*, 18(3), 15-28.
- Özmen, B. (2012). Türkiye deprem bölgeleri haritalarının tarihsel gelişimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 55(1), 43-55.
- Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64(3), 800-808.
- Pektaş, K., Kumsar, H., Baş, G., Koralay, T., Kılağuz, B. N., Erdoğan, S. ve Akbulut, Ş. (2009). Bitlis kalesi kazısı ve Bitlis çevresi yüzey araştırmaları.
- Pektaş, Ö. (2009). *Bitlis ve çevresinin jeoteknik özellikleri ile yapılaşma ilişkisi üzerine bir araştırma* [Yüksek lisans tezi]. Fırat Üniversitesi.

- Senfaute, G., Delage, P., & Cui, Y. J. (2000). *An approach to determine the Young's modulus at small strains for unsaturated soils*. In Proceedings of the Asian Conference on Unsaturated Soils.
- SESAME Project. (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. *European Research Project SESAME*, Deliverable D23.12.
- Sowers, G. F. (1979). *Introductory soil mechanics and foundations* (4th ed.). Macmillan Publishing Company.
- Sunbul, A. B. ve Sunbul, F. (2018). Deprem etkileşimlerinde Coulomb gerilme kriteri değerlendirmesi; Doğu Anadolu fay hattı. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2), 523-535.
- Şahin, S., & Kayabalı, K. (2010). Mühendislik Jeofiziği Yöntemleri ile Yeraltı Araştırmaları. *Mühendis ve Makina*, 51(601), 22-35.
- Şahinalp M. (2009). *Tatvan (Bitlis) yerleşkesinin jeolojik-jeoteknik incelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi]. Yüzüncü Yıl Üniversitesi.
- Şaroğlu, F. ve Güner, Y. (1981). Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler: Jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri, *TJK Bült*, 24, 39-50.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., & Kuşçu, İ. (1992). *Türkiye'nin Diri Fayları ve Deprem Bölgeleri Haritası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Yayını, Ankara.
- Şekercioğlu, A. (2002). *Zemin Mekaniği* (1. Baskı). Birsen Yayınevi.
- Şekercioğlu, T. (2002). *Uygulamalı zemin mekaniği ve temel mühendisliği*. Birsen Yayınevi.
- Şengün, M. (1993). Bitlis masifinin metamorfizması ve örtü çekirdek ilişkisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, (115), 1-13.
- Şengün, M., (1984). *Bitlis Masifi Tatvan güneyinin jeolojik/petrografik incelenmesi*. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Hacettepe Üniversitesi.
- Şentürk, E. (2018). *Türkiye'deki depremlerin sismik-iyonosferik öncüllerinin GPS/GNSS ölçüleriyle zamansal, mekansal, spektral ve istatistiksel olarak incelenmesi*. [Yüksek lisans tezi]. Kocaeli Üniversitesi.
- TBDY. (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD).
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical soil mechanics*. John Wiley & Sons.

- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1967). *Soil mechanics in engineering practice* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (3rd ed.). Wiley.
- TS EN ISO 17892-2. (2014). *Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 2: Determination of bulk density*.
- TS EN ISO 17892-4. (2016). *Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 4: Determination of particle size distribution*.
- Ulusay, R. (2001). *Uygulamalı jeoteknik bilgiler*. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No:38, Genişletilmiş 4. Baskı.
- Ulusay, R., & Hudson, J. A. (2007). *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974–2006*. International Society for Rock Mechanics (ISRM), Compilation Book.
- USGS. (2025, September 17). *Earthquake Hazards Program*. <http://earthquake.usgs.gov/>
- Xia, J., Miller, R. D., & Park, C. B. (1999). Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves. *Geophysics*, 64(3), 691–700.
- Yılmaz, H., Kaya, M. A., & Özçep, F. (2007). Çok kanallı yüzey dalgaları analizi (MASW) yöntemi ile yerel zemin özelliklerinin belirlenmesi: İzmir ili örneği. *Türkiye Jeofizik Dergisi*, 11(1–2), 29–40.
- Yılmaz, Y. (1978). Gevaş (Van) dolayında Bitlis masifi/ofiyolit ilişkisi. *Türkiye Yayınları*, 4, 83-94.
- Yılmaz, Y. (2019). Southeast Anatolian Orogenic Belt revisited (geology and evolution). *Canadian Journal of Earth Sciences*, 56(11), 1163-1180.
- Yılmaz, Y., Güner, Y., & Şaroğlu, F. (1998). Geology of the quaternary volcanic centres of the east Anatolia. *Journal of volcanology and geothermal research*, 85(1-4), 173-210.
- Yılmaz, Z. (2006). *Mühendislik Jeolojisi*. Ankara: Gazi Kitabevi.



# EKLER

## EK-1 Sondaj Logları

|                     |            | PROJE ADI          |                           | BİTLİS (MERKEZ) BELEDİYESİNİN İMAR PLANINA ESAS<br>JEOLOJİK-JEOTEKNİK ETÜT RAPORU |             |              |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
|---------------------|------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|----------------------------|--------------|----|----------|-------------------|----------------|---------------------------------------------------|------------------------|--------|-------------|------------------|----------------|----|
| SONDAJ NO           |            | SK1                |                           |                                                                                   |             | BAŞL. TARİHİ |                            | BİTİŞ TARİHİ |    | Say. no. |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| KOORDİNAT-KOTU      |            | Y                  | 514959                    | X                                                                                 | 4260816     | 18.06.2023   |                            | 18.06.2023   |    | 1/1      |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| DERİNLİĞİ, m        |            | 6.00               |                           |                                                                                   |             | SONDAJ VERİ  |                            | ADI SOYADI   |    | İmza     |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| EĞİM/EĞİM YÖNÜ      |            |                    |                           |                                                                                   |             | MÜHENDİS     |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| SONDAJ YÖNTEMİ      |            | Rotary             |                           |                                                                                   |             | SONDÖR       |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| MAKİNA TİPİ         |            | DS-2001            |                           |                                                                                   |             | KÜTÜĞÜ       |                            | VERİYİ       |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| YASS                |            | Der., m            | Tarih                     | Saat                                                                              | Açıklamalar | HAZIRLAYAN   |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| Durumu              |            |                    |                           |                                                                                   |             | ONAYLAYAN    |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| DERİNLİK, m         | ÖRNEK NO   | ÖRNEK DERİNLİĞİ, m | ÖRNEK TÜRÜ                | MUH. BORUSU                                                                       | SPT DENEYİ  |              |                            | SPT GRAFİĞİ  |    |          | JEOLOJİK BELİRTEÇ | BİRİMİN TANIMI | % ÖRNEK (CR)                                      | TAM ÇAPLI ÖR. (SCR), % | RQD, % | SÜREKSİZLİK | AYRIŞMA DEREJESİ | TABAKA KAL., m |    |
|                     |            |                    |                           |                                                                                   | 15          | 30           | 45                         | N° DEĞERİ    | 10 | 20       |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                | 30 |
| 1                   | 1          | 0.0-1.5            | CR SPT                    |                                                                                   | 17          | 23           | 30                         | 53           |    |          |                   |                | Az çakıllı kumlu siltli kil (Bozuşmuş İgnimbirit) |                        |        |             |                  |                |    |
| 2                   | 2          | 1.5-3.0            | CR UD                     |                                                                                   | UD ALINDI   |              |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| 3                   |            |                    |                           |                                                                                   |             |              |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| 4                   | 3          | 3.0-4.5            | CR                        |                                                                                   |             |              |                            |              |    |          |                   |                | Kahverengi Renkli Kırıklı-Çatlaklı İgnimbirit     | 30                     | 25     |             | W4               |                |    |
| 5                   | 4          | 4.5-6.0            | CR                        |                                                                                   |             |              |                            |              |    |          |                   |                |                                                   | 40                     | 30     |             | W4               |                |    |
| 6                   |            |                    |                           |                                                                                   |             |              |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| Kuyu Sonu : 6.00 m. |            |                    |                           |                                                                                   |             |              |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| 7                   |            |                    |                           |                                                                                   |             |              |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| 8                   |            |                    |                           |                                                                                   |             |              |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| 9                   |            |                    |                           |                                                                                   |             |              |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| 10                  |            |                    |                           |                                                                                   |             |              |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| 11                  |            |                    |                           |                                                                                   |             |              |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| 12                  |            |                    |                           |                                                                                   |             |              |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| 13                  |            |                    |                           |                                                                                   |             |              |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| 14                  |            |                    |                           |                                                                                   |             |              |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| 15                  |            |                    |                           |                                                                                   |             |              |                            |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| GEÇİRLİLİK (LUGEON) |            | ÖRNEK TÜRÜ         | TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİR. |                                                                                   |             |              | KAYA ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
|                     |            |                    | İ. TANE. (No), -          | İRİ TANELİ (No), -                                                                | RQD, %      | AYRIŞMA DER. | SÜREKSİZLİK                |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| <1                  | GEÇİRİMSİZ |                    | <2 Ç. YUM.                | <4 ÇOK GEV.                                                                       | 0 - 25      | W5           | TAMAMEN                    |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| 1-5                 | AZ GEÇİR.  |                    | 2-4 YUMUŞ.                | 4-10 GEVŞEK                                                                       | 25 - 50     | W4           | ÇOK A.                     |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| 5-10                | ORTA       |                    | 4-8 O. KATI               | 10-30 ORTA SIKI                                                                   | 50 - 75     | W3           | ORTA A.                    |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
|                     | GEÇİRLİ    |                    | 8-15 KATI                 | 30-50 SIKI                                                                        | 75 - 90     | W2           | AZ AYRIŞMIŞ                |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| 110-25              |            |                    | 15-30 Ç. KATI             | >50 ÇOK SIKI                                                                      | 90-100      | W1           | TAZE                       |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |
| GEÇİRLİ             |            |                    | >30 SERT                  |                                                                                   |             |              | <1 S5 KÜTLESEL             |              |    |          |                   |                |                                                   |                        |        |             |                  |                |    |



|                       |          | PROJE ADI                                          | BİTLİS (MERKEZ) BELEDİYESİNİN İMAR PLANINA ESAS<br>JEOLOJİK-JEOTEKNİK ETÜT RAPORU |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
|-----------------------|----------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------|----------------|----------------------------|--------------|----|----------|-------------------|----------------|--------------|------------------------|--------|-------------|------------------|----------------|----|
| SONDAJ NO             |          | SK3                                                |                                                                                   |                    |             | BAŞL. TARİHİ   |                            | BİTİŞ TARİHİ |    | Say. no. |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| KOORDİNAT-KOTU        |          | Y                                                  | 513050                                                                            | X                  | 4260142     | 18.06.2023     |                            | 18.06.2023   |    | 1/1      |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| DERİNLİĞİ, m          |          | 8.00                                               |                                                                                   |                    |             | SONDAJ VERİ    |                            | ADİ SOYADI   |    | İmza     |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| EĞİM/EĞİM YÖNÜ        |          |                                                    |                                                                                   |                    |             | MÜHENDİS       |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| SONDAJ YÖNTEMİ        |          | Rotary                                             |                                                                                   |                    |             | SONDÖR         |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| MAKİNA TİPİ           |          | DS-2001                                            |                                                                                   |                    |             | KÜTÜĞÜ         |                            | VERİYİ       |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| YASS                  |          | Der., m                                            | Tarih                                                                             | Saat               | Açıklamalar | HAZIRLAYAN     |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| Durumu                |          |                                                    |                                                                                   |                    |             | ONAYLAYAN      |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| DERİNLİK, m           | ÖRNEK NO | ÖRNEK DERİNLİĞİ, m                                 | ÖRNEK TÜRÜ                                                                        | MUH. BORUSU        | SPT DENEYİ  |                |                            | SPT GRAFİĞİ  |    |          | JEOLOJİK BELLETEÇ | BİRİMİN TANIMI | % ÖRNEK (CR) | TAM ÇAPLI ÖR. (SCR), % | RQD, % | SÜREKSİZLİK | AYRIŞMA DERECEŚİ | TABAKA KAL., m |    |
|                       |          |                                                    |                                                                                   |                    | 15          | 30             | 45                         | N° DEĞERİ    | 10 | 20       |                   |                |              |                        |        |             |                  |                | 30 |
| 1                     | 1        | 0.0-1.5                                            | CR                                                                                |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 2                     | 2        | 1.5-3.0                                            | CR                                                                                |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 3                     | 3        | 3.0-4.5                                            | CR                                                                                |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 4                     | 4        | 4.5-6.0                                            | CR                                                                                |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 5                     | 5        | 6.0-8.0                                            | CR                                                                                |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 6                     |          |                                                    |                                                                                   |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 7                     |          |                                                    |                                                                                   |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 8                     |          |                                                    |                                                                                   |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| Kuyu Sonu : 8.00 m.   |          |                                                    |                                                                                   |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 9                     |          |                                                    |                                                                                   |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 10                    |          |                                                    |                                                                                   |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 11                    |          |                                                    |                                                                                   |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 12                    |          |                                                    |                                                                                   |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 13                    |          |                                                    |                                                                                   |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 14                    |          |                                                    |                                                                                   |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 15                    |          |                                                    |                                                                                   |                    |             |                |                            |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| GEÇİRİMLİLİK (LUGEON) |          | ÖRNEK TÜRÜ                                         | TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİR.                                                         |                    |             |                | KAYA ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
|                       |          |                                                    | İ. TANE. (Nö), -                                                                  | İRİ TANELİ (Nö), - | RQD, %      | AYRIŞMA DER.   | SÜREKSİZLİK                |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| <1 GEÇİRİMSİZ         |          | SPT 31D İLERLEME<br>TİD-ŞELBİ TUP<br>RC-KAROI ÖRN. | <2 Ç. YUM.                                                                        | <4 ÇOK GEV.        | 0 - 25      | W5 TAMAMEN     | ARALIĞI (s sayısı/m)       |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 1-5 AZ GEÇİR.         |          |                                                    | 2-4 YUMUŞ.                                                                        | 4-10 GEVŞEK        | 25 - 50     | W4 ÇOK A.      | >50 S1 UFALANMIŞ           |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 5-10 ORTA             |          |                                                    | 4-8 O. KATI                                                                       | 10-30 ORTA SIKI    | 50 - 75     | W3 ORTA A.     | 10-50 S2 ÇOK SIK ARAL.     |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| GEÇİRİML.             |          |                                                    | 8-15 KATI                                                                         | 30-50 SIKI         | 75 - 90     | W2 AZ AYRIŞMIŞ | 3-10 S3 SIK ARALIK         |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 110-25                |          |                                                    | 15-30 Ç. KATI                                                                     | >50 ÇOK SIKI       | 90-100      | W1 TAZE        | 1-3 S4 GENİŞ ARAL.         |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |
| GEÇİRİMLİ             |          |                                                    | >30 SERT                                                                          |                    |             |                | <1 S5 KÜTLESEL             |              |    |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |    |

|                       |          | PROJE ADI          |                           | BİTLİS (MERKEZ) BELEDİYESİNİN İMAR PLANINA ESAS<br>JEOLOJİK-JEOTEKNİK ETÜT RAPORU |            |                |                            |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
|-----------------------|----------|--------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------|----------------------------|--------------|--|----------|-------------------|----------------|--------------|------------------------|--------|-------------|------------------|----------------|
| SONDAJ NO             |          | SK4                |                           |                                                                                   |            | BAŞL. TARİHİ   |                            | BİTİŞ TARİHİ |  | Say. no. |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| KOORDİNAT-KOTU        |          | Y                  | 513165                    | X                                                                                 | 4259071    | 19.06.2023     |                            | 19.06.2023   |  | 1/1      |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| DERİNLİĞİ, m          |          | 7.00               |                           |                                                                                   |            | SONDAJ VERİ    |                            | ADI SOYADI   |  | İmza     |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| EĞİM/EĞİM YÖNÜ        |          |                    |                           |                                                                                   |            | MÜHENDİS       |                            |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| SONDAJ YÖNTEMİ        |          | Rotary             |                           |                                                                                   |            | SONDÖR         |                            |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| MAKİNA TİPİ           |          | DS-2001            |                           |                                                                                   |            | KÜTÜĞÜ         |                            | VERİYİ       |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| YASS Durumu           |          | Der., m            | Tarih                     |                                                                                   | Saat       | Açıklamalar    |                            | HAZIRLAYAN   |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
|                       |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            | ONAYLAYAN    |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| DERİNLİK, m           | ÖRNEK NO | ÖRNEK DERİNLİĞİ, m | ÖRNEK TÜRÜ                | MUH. BORUSU                                                                       | SPT DENEYİ |                |                            | SPT GRAFİĞİ  |  |          | JEOLOJİK BELİRTEÇ | BİRİMİN TANIMI | % ÖRNEK (CR) | TAM ÇAPLI ÖR. (SCR), % | RQD, % | SÜREKSİZLİK | AYRIŞMA DEREJESİ | TABAKA KAL., m |
| 15                    | 30       | 45                 | N° DEĞERİ                 | 10                                                                                | 20         | 30             | 40                         | 50           |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| 1                     | 1        | 0.0-1.5            | CR                        |                                                                                   |            |                |                            |              |  |          |                   | Altere zon     |              | 20                     | 10     |             | W5               |                |
| 2                     | 2        | 1.5-3.0            | CR                        |                                                                                   |            |                |                            |              |  |          |                   | Kuvarsit       |              | 20                     | 15     |             | W5               |                |
| 3                     | 3        | 3.0-4.5            | CR                        |                                                                                   |            |                |                            |              |  |          |                   |                |              | 30                     | 25     |             | W4               |                |
| 4                     | 4        | 4.5-6.0            | CR                        |                                                                                   |            |                |                            |              |  |          |                   |                |              | 40                     | 30     |             | W4               |                |
| 5                     | 5        | 6.0-7.0            | CR                        |                                                                                   |            |                |                            |              |  |          |                   |                |              | 45                     | 35     |             | W4               |                |
| 6                     |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| 7                     |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| Kuyu Sonu : 7.00 m.   |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| 8                     |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| 9                     |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| 10                    |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| 11                    |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| 12                    |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| 13                    |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| 14                    |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| 15                    |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| GEÇİRİMLİLİK (LUGEON) |          | ÖRNEK TÜRÜ         | TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİR. |                                                                                   |            |                | KAYA ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
|                       |          |                    | İ. TANE. (N°).-           | İRİ TANELİ (N°).-                                                                 | RQD. %     | AYRIŞMA DER.   | SÜREKSİZLİK                |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| <1 GEÇİRİMSİZ         |          |                    | <2 Ç. YUM.                | <4 ÇOK GEV.                                                                       | 0 - 25     | W5 TAMAMEN     | ARALIĞI (s sayıs/m)        |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| 1-5 AZ GEÇİR.         |          |                    | 2-4 YUMUŞ.                | 4-10 GEVŞEK                                                                       | 25 - 50    | W4 ÇOK A.      | >50 S1 UFALANMIŞ           |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| 5-10 ORTA GEÇİRİMLİ   |          |                    | 4-8 O. KATI               | 10-30 ORTA SIKI                                                                   | 50 - 75    | W3 ORTA A.     | 10-50 S2 ÇOK SIK ARAL.     |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
| 10-25 GEÇİRİMLİ       |          |                    | 8-15 KATI                 | 30-50 SIKI                                                                        | 75 - 90    | W2 AZ AYRIŞMIŞ | 3-10 S3 SIK ARALIK         |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
|                       |          |                    | 15-30 Ç. KATI             | >50 ÇOK SIKI                                                                      | 90-100     | W1 TAZE        | 1-3 S4 GENİŞ ARAL.         |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |
|                       |          |                    | >30 SERT                  |                                                                                   |            |                | <1 S5 KÜTLESEL             |              |  |          |                   |                |              |                        |        |             |                  |                |

|                     |          | PROJE ADI          |            | BİTLİS (MERKEZ) BELEDİYESİNİN İMAR PLANINA ESAS<br>JEOLOJİK-JEOTEKNİK ETÜT RAPORU |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
|---------------------|----------|--------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------|----|--------------|----|----------------|------------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------|-------------|--------------------|----------------|----|
| SONDAJ NO           |          | SK5                |            |                                                                                   |             | BAŞL. TARİHİ       |    | BİTİŞ TARİHİ |    | Say. no.       |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| KOORDİNAT-KOTU      |          | Y                  | 512095     | X                                                                                 | 4256710     | 19.06.2023         |    | 19.06.2023   |    | 1/1            |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| DERİNLİĞİ, m        |          | 7.00               |            |                                                                                   |             | SONDAJ VERİ        |    | ADI SOYADI   |    | İmza           |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| EĞİM/EĞİM YÖNÜ      |          |                    |            |                                                                                   |             | MÜHENDİS           |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| SONDAJ YÖNTEMİ      |          | Rotary             |            |                                                                                   |             | SONDÖR             |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| MAKİNA TİPİ         |          | DS-2001            |            |                                                                                   |             | KÜTÜĞÜ             |    | VERİYİ       |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| YASS                |          | Der., m            | Tarih      | Saat                                                                              | Açıklamalar | HAZIRLAYAN         |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| Durumu              |          |                    |            |                                                                                   |             | ONAYLAYAN          |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| DERİNLİK, m         | ÖRNEK NO | ÖRNEK DERİNLİĞİ, m | ÖRNEK TÜRÜ | MUH. BORUSU                                                                       | SPT DENEYİ  |                    |    | SPT GRAFIĞI  |    |                | JEOLOJİK BELİTEÇ | BİRİMİN TANIMI             | % ÖRNEK (CR) | TAM ÇAPLI ÖR. (SCR), % | RQD, % | SÜREKSİZLİK | AYRIŞMA DERECESESİ | TABAKA KAL., m |    |
|                     |          |                    |            |                                                                                   | 15          | 30                 | 45 | N° DEĞERİ    | 10 | 20             |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                | 30 |
| 1                   | 1        | 0.0-1.5            | CR         |                                                                                   |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              | 10                     | 5      |             | W5                 |                |    |
| 2                   | 2        | 1.5-3.0            | CR         |                                                                                   |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              | 10                     | 5      |             | W5                 |                |    |
| 3                   | 3        | 3.0-4.5            | CR         |                                                                                   |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              | 15                     | 10     |             | W5                 |                |    |
| 4                   | 4        | 4.5-6.0            | CR         |                                                                                   |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              | 15                     | 10     |             | W5                 |                |    |
| 5                   |          |                    |            |                                                                                   |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 6                   |          |                    |            |                                                                                   |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| Kuyu Sonu : 6.00 m. |          |                    |            |                                                                                   |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 7                   |          |                    |            |                                                                                   |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 8                   |          |                    |            |                                                                                   |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 9                   |          |                    |            |                                                                                   |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 10                  |          |                    |            |                                                                                   |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 11                  |          |                    |            |                                                                                   |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 12                  |          |                    |            |                                                                                   |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 13                  |          |                    |            |                                                                                   |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 14                  |          |                    |            |                                                                                   |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 15                  |          |                    |            |                                                                                   |             |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRLİLİK (LUGEON) |          | ÖRNEK TÜRÜ         |            | TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİR.                                                         |             |                    |    |              |    |                |                  | KAYA ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ |              |                        |        |             |                    |                |    |
|                     |          |                    |            | İ. TANE. (N°). -                                                                  |             | İRİ TANELİ (N°). - |    | RQD. %       |    | AYRIŞMA DER.   |                  | SÜREKSİZLİK                |              |                        |        |             |                    |                |    |
| <1 GEÇİRİMSİZ       |          | SPT İD. İERLEME    |            | <2 Ç. YUM.                                                                        |             | <4 ÇOK GEV.        |    | 0 - 25       |    | W5 TAMAMEN     |                  | ARALIĞI (s sayıs/m)        |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 1-5 AZ GEÇİR.       |          | UD-ŞELHİ TUP       |            | 2-4 YUMUŞ.                                                                        |             | 4-10 GEVŞEK        |    | 25 - 50      |    | W4 ÇOK A.      |                  | >50 S1 UFALANMIŞ           |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 5-10 ORTA           |          | RC-KAROT ÖRN.      |            | 4-8 O. KATI                                                                       |             | 10-30 ORTA SIKI    |    | 50 - 75      |    | W3 ORTA A.     |                  | 10-50 S2 ÇOK SIK ARAL.     |              |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRİMLİ           |          |                    |            | 8-15 KATI                                                                         |             | 30-50 SIKI         |    | 75 - 90      |    | W2 AZ AYRIŞMIŞ |                  | 3-10 S3 SIK ARALIK         |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 110-25              |          |                    |            | 15-30 Ç. KATI                                                                     |             | >50 ÇOK SIKI       |    | 90-100       |    | W1 TAZE        |                  | 1-3 S4 GENİŞ ARAL.         |              |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRİMLİ           |          |                    |            | >30 SERT                                                                          |             |                    |    |              |    |                |                  | <1 S5 KÜTLESEL             |              |                        |        |             |                    |                |    |

|                     |          | PROJE ADI          |            | BİTLİS (MERKEZ) BELEDİYESİNİN İMAR PLANINA ESAS<br>JEOLOJİK-JEOTEKNİK ETÜT RAPORU |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
|---------------------|----------|--------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------|----|--------------|----|----------------|------------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------|-------------|--------------------|----------------|----|
| SONDAJ NO           |          | SK6                |            |                                                                                   |            | BAŞL. TARİHİ       |    | BİTİŞ TARİHİ |    | Say. no.       |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| KOORDİNAT-KOTU      |          | Y                  | 512323     | X                                                                                 | 4255955    | 19.06.2023         |    | 19.06.2023   |    | 1/1            |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| DERİNLİĞİ, m        |          | 7.00               |            |                                                                                   |            | SONDAJ VERİ        |    | ADI SOYADI   |    | İmza           |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| EĞİM/EĞİM YÖNÜ      |          |                    |            |                                                                                   |            | MÜHENDİS           |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| SONDAJ YÖNTEMİ      |          | Rotary             |            |                                                                                   |            | SONDÖR             |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| MAKİNA TİPİ         |          | DS-2001            |            |                                                                                   |            | KÜTÜĞÜ             |    | VERİYİ       |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| YASS                |          | Der., m            |            | Tarih                                                                             |            | Saat               |    | Açıklamalar  |    | HAZIRLAYAN     |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| Durumu              |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    | ONAYLAYAN      |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| DERİNLİK, m         | ÖRNEK NO | ÖRNEK DERİNLİĞİ, m | ÖRNEK TÜRÜ | MUH. BORUSU                                                                       | SPT DENEYİ |                    |    | SPT GRAFİĞİ  |    |                | JEOLOJİK BELİTEÇ | BİRİMİN TANIMI             | % ÖRNEK (CR) | TAM ÇAPLI ÖR. (SCR), % | RQD, % | SÜREKSİZLİK | AYRIŞMA DERECESESİ | TABAKA KAL., m |    |
|                     |          |                    |            |                                                                                   | 15         | 30                 | 45 | N° DEĞERİ    | 10 | 20             |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                | 30 |
| 1                   | 1        | 0.0-1.5            | CR         |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              | 10                     | 5      |             | W5                 |                |    |
| 2                   | 2        | 1.5-3.0            | CR         |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              | 10                     | 5      |             | W5                 |                |    |
| 3                   | 3        | 3.0-4.5            | CR         |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              | 15                     | 10     |             | W5                 |                |    |
| 4                   | 4        | 4.5-6.0            | CR         |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              | 15                     | 10     |             | W5                 |                |    |
| 5                   | 5        | 6.0-7.0            | CR         |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              | 20                     | 15     |             | W5                 |                |    |
| 6                   |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 7                   |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| Kuyu Sonu : 7.00 m. |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 8                   |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 9                   |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 10                  |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 11                  |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 12                  |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 13                  |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 14                  |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 15                  |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                |                  |                            |              |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRLİLİK (LUGEON) |          | ÖRNEK TÜRÜ         |            | TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİR.                                                         |            |                    |    |              |    |                |                  | KAYA ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ |              |                        |        |             |                    |                |    |
|                     |          |                    |            | İ. TANE. (N°). -                                                                  |            | İRİ TANELİ (N°). - |    | RQD. %       |    | AYRIŞMA DER.   |                  | SÜREKSİZLİK                |              |                        |        |             |                    |                |    |
| <1 GEÇİRİMSİZ       |          | SPT İD. İERLEME    |            | <2 Ç. YUM.                                                                        |            | <4 ÇOK GEV.        |    | 0 - 25       |    | W5 TAMAMEN     |                  | ARALIĞI (s sayıs/m)        |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 1-5 AZ GEÇİR.       |          | UD-ŞELHİTUP        |            | 2-4 YUMUŞ.                                                                        |            | 4-10 GEVŞEK        |    | 25 - 50      |    | W4 ÇOK A.      |                  | >50 S1 UFALANMIŞ           |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 5-10 ORTA           |          | RC-KAROT ÖRN.      |            | 4-8 O. KATI                                                                       |            | 10-30 ORTA SIKI    |    | 50 - 75      |    | W3 ORTA A.     |                  | 10-50 S2 ÇOK SIK ARAL.     |              |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRİMLİ           |          |                    |            | 8-15 KATI                                                                         |            | 30-50 SIKI         |    | 75 - 90      |    | W2 AZ AYRIŞMIŞ |                  | 3-10 S3 SIK ARALIK         |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 110-25              |          |                    |            | 15-30 Ç. KATI                                                                     |            | >50 ÇOK SIKI       |    | 90-100       |    | W1 TAZE        |                  | 1-3 S4 GENİŞ ARAL.         |              |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRİMLİ           |          |                    |            | >30 SERT                                                                          |            |                    |    |              |    |                |                  | <1 S5 KÜTLESEL             |              |                        |        |             |                    |                |    |





|                       |          | PROJE ADI          |            | BİTLİS (MERKEZ) BELEDİYESİNİN İMAR PLANINA ESAS<br>JEOLOJİK-JEOTEKNİK ETÜT RAPORU |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
|-----------------------|----------|--------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------|----|--------------|----|----------------------------|-------------------|------------------------|--------------|------------------------|--------|-------------|------------------|----------------|----|
| SONDAJ NO             |          | SK8                |            |                                                                                   |            | BAŞL. TARİHİ       |    | BİTİŞ TARİHİ |    | Say. no.                   |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| KOORDİNAT-KOTU        |          | Y                  | 508446     | X                                                                                 | 4253717    | 21.06.2023         |    | 21.06.2023   |    | 1/1                        |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| DERİNLİĞİ, m          |          | 7.00               |            |                                                                                   |            | SONDAJ VERİ        |    | ADI SOYADI   |    | İmza                       |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| EĞİM/EĞİM YÖNÜ        |          |                    |            |                                                                                   |            | MÜHENDİS           |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| SONDAJ YÖNTEMİ        |          | Rotary             |            |                                                                                   |            | SONDÖR             |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| MAKİNA TİPİ           |          | DS-2001            |            |                                                                                   |            | KÜTÜĞÜ             |    | VERİYİ       |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| YASS                  |          | Der., m            |            | Tarih                                                                             |            | Saat               |    | Açıklamalar  |    | HAZIRLAYAN                 |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| Durumu                |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    | ONAYLAYAN                  |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| DERİNLİK, m           | ÖRNEK NO | ÖRNEK DERİNLİĞİ, m | ÖRNEK TÜRÜ | MUH. BORUSU                                                                       | SPT DENEYİ |                    |    | SPT GRAFİĞİ  |    |                            | JEOLOJİK BELİRTEÇ | BİRİMİN TANIMI         | % ÖRNEK (CR) | TAM ÇAPLI ÖR. (SCR), % | RQD, % | SÜREKSİZLİK | AYRIŞMA DEREJESİ | TABAKA KAL., m |    |
|                       |          |                    |            |                                                                                   | 15         | 30                 | 45 | N° DEĞERİ    | 10 | 20                         |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                | 30 |
| 1                     | 1        | 0.0-1.5            | CR         |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 2                     | 2        | 1.5-3.0            | CR         |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 3                     | 3        | 3.0-4.5            | CR         |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 4                     | 4        | 4.5-6.0            | CR         |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 5                     | 5        | 6.0-7.0            | CR         |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 6                     |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 7                     |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| Kuyu Sonu : 7.00 m.   |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 8                     |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 9                     |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 10                    |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 11                    |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 12                    |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 13                    |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 14                    |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 15                    |          |                    |            |                                                                                   |            |                    |    |              |    |                            |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
| GEÇİRİMLİLİK (LUGEON) |          | ÖRNEK TÜRÜ         |            | TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİR.                                                         |            |                    |    |              |    | KAYA ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ |                   |                        |              |                        |        |             |                  |                |    |
|                       |          |                    |            | İ. TANE. (N°). -                                                                  |            | İRİ TANELİ (N°). - |    | RQD, %       |    | AYRIŞMA DER.               |                   | SÜREKSİZLİK            |              |                        |        |             |                  |                |    |
| <1 GEÇİRİMSİZ         |          | SPT SİD. DEĞERLEME |            | <2 Ç. YUM.                                                                        |            | <4 ÇOK GEV.        |    | 0 - 25       |    | W5 TAMAMEN                 |                   | ARALIĞI (s sayıs/m)    |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 1-5 AZ GEÇİR.         |          | UD-ŞELİ TUP        |            | 2-4 YUMUŞ.                                                                        |            | 4-10 GEVŞEK        |    | 25 - 50      |    | W4 ÇOK A.                  |                   | >50 S1 UFALANMIŞ       |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 5-10 ORTA GEÇİRİMLİ   |          | RC: KARIOTÖR.      |            | 4-8 O. KATI                                                                       |            | 10-30 ORTA SIKI    |    | 50 - 75      |    | W3 ORTA A.                 |                   | 10-50 S2 ÇOK SIK ARAL. |              |                        |        |             |                  |                |    |
| 10-25 GEÇİRİMLİ       |          |                    |            | 8-15 KATI                                                                         |            | 30-50 SIKI         |    | 75 - 90      |    | W2 AZ AYRIŞMIŞ             |                   | 3-10 S3 SIK ARALIK     |              |                        |        |             |                  |                |    |
|                       |          |                    |            | 15-30 Ç. KATI                                                                     |            | >50 ÇOK SIKI       |    | 90-100       |    | W1 TAZE                    |                   | 1-3 S4 GENİŞ ARAL.     |              |                        |        |             |                  |                |    |
|                       |          |                    |            | >30 SERT                                                                          |            |                    |    |              |    |                            |                   | <1 S5 KÜTLESEL         |              |                        |        |             |                  |                |    |



|                      |          | PROJE ADI          |                           | BİTLİS (MERKEZ) BELEDİYESİNİN İMAR PLANINA ESAS<br>JEOLOJİK-JEOTEKNİK ETÜT RAPORU |             |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
|----------------------|----------|--------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|----------------------------|--------------|----|----------|-------------------|----------------|------------------|------------------------|--------|-------------|--------------------|----------------|----|
| SONDAJ NO            |          | SK9                |                           |                                                                                   |             | BAŞL. TARİHİ   |                            | BİTİŞ TARİHİ |    | Say. no. |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| KOORDİNAT-KOTU       |          | Y                  | 507556                    | X                                                                                 | 4251264     | 22.06.2023     |                            | 22.06.2023   |    | 1/1      |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| DERİNLİĞİ, m         |          | 7.00               |                           |                                                                                   |             | SONDAJ VERİ    |                            | ADI SOYADI   |    | İmza     |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| EĞİM/EĞİM YÖNÜ       |          |                    |                           |                                                                                   |             |                |                            | MÜHENDİS     |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| SONDAJ YÖNTEMİ       |          | Rotary             |                           |                                                                                   |             | KÜTÜĞÜ         |                            | SONDÖR       |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| MAKİNA TİPİ          |          | DS-2001            |                           |                                                                                   |             |                |                            | VERİYİ       |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| YASS                 |          | Der., m            | Tarih                     | Saat                                                                              | Açıklamalar | HAZIRLAYAN     |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| Durumu               |          |                    |                           |                                                                                   |             | ONAYLAYAN      |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| DERİNLİK, m          | ÖRNEK NO | ÖRNEK DERİNLİĞİ, m | ÖRNEK TÜRÜ                | MUH. BORUSU                                                                       | SPT DENEYİ  |                |                            | SPT GRAFİĞİ  |    |          | JEOLOJİK BELİRTEÇ | BİRİMİN TANIMI | % ÖRNEK (CR)     | TAM ÇAPLI ÖR. (SCR), % | RQD, % | SÜREKSİZLİK | AYRIŞMA DERECESESİ | TABAKA KAL., m |    |
|                      |          |                    |                           |                                                                                   | 15          | 30             | 45                         | N° DEĞERİ    | 10 | 20       |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                | 30 |
| 1                    | 1        | 0.0-1.5            | CR                        |                                                                                   |             |                |                            |              |    |          |                   |                | Altere Kireçtaşı |                        | 0      |             |                    |                |    |
| 2                    | 2        | 1.5-3.0            | CR                        |                                                                                   |             |                |                            |              |    |          |                   |                | Kireçtaşı        | 20                     | 10     |             | W5                 |                |    |
| 3                    | 3        | 3.0-4.5            | CR                        |                                                                                   |             |                |                            |              |    |          |                   |                |                  | 20                     | 10     |             | W5                 |                |    |
| 4                    | 4        | 4.5-6.0            | CR                        |                                                                                   |             |                |                            |              |    |          |                   |                |                  | 30                     | 25     |             | W4                 |                |    |
| 5                    | 5        | 6.0-7.0            | CR                        |                                                                                   |             |                |                            |              |    |          |                   |                |                  | 50                     | 40     |             | W4                 |                |    |
| 6                    |          |                    |                           |                                                                                   |             |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 7                    |          |                    |                           |                                                                                   |             |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| Kuyu Sonu : 7.00 m.  |          |                    |                           |                                                                                   |             |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 8                    |          |                    |                           |                                                                                   |             |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 9                    |          |                    |                           |                                                                                   |             |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 10                   |          |                    |                           |                                                                                   |             |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 11                   |          |                    |                           |                                                                                   |             |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 12                   |          |                    |                           |                                                                                   |             |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 13                   |          |                    |                           |                                                                                   |             |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 14                   |          |                    |                           |                                                                                   |             |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 15                   |          |                    |                           |                                                                                   |             |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRİMLİLİK (LUGEN) |          | ÖRNEK TÜRÜ         | TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİR. |                                                                                   |             |                | KAYA ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
|                      |          |                    | İ. TANE. (Nö), -          | İRİ TANELİ (Nö), -                                                                | RQD, %      | AYRIŞMA DER.   | SÜREKSİZLİK                |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| <1 GEÇİRİMSİZ        |          |                    | <2 Ç. YUM.                | <4 ÇOK GEV.                                                                       | 0 - 25      | W5 TAMAMEN     | ARALIĞI (s sayısı/m)       |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 1-5 AZ GEÇİR.        |          |                    | 2-4 YUMUŞ.                | 4-10 GEVŞEK                                                                       | 25 - 50     | W4 ÇOK A.      | >50 S1 UFALANMIŞ           |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 5-10 ORTA            |          |                    | 4-8 O. KATI               | 10-30 ORTA SIKI                                                                   | 50 - 75     | W3 ORTA A.     | 10-50 S2 ÇOK SIK ARAL.     |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRİML.            |          |                    | 8-15 KATI                 | 30-50 SIKI                                                                        | 75 - 90     | W2 AZ AYRIŞMIŞ | 3-10 S3 SIK ARALIK         |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 110-25               |          |                    | 15-30 Ç. KATI             | >50 ÇOK SIKI                                                                      | 90-100      | W1 TAZE        | 1-3 S4 GENİŞ ARAL.         |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRİMLİ            |          |                    | >30 SERT                  |                                                                                   |             |                | <1 S5 KÜTLESEL             |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |

|                      |          | PROJE ADI          |                           | BİTLİS (MERKEZ) BELEDİYESİNİN İMAR PLANINA ESAS<br>JEOLOJİK-JEOTEKNİK ETÜT RAPORU |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
|----------------------|----------|--------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------|----------------------------|--------------|----|----------|-------------------|----------------|------------------|------------------------|--------|-------------|--------------------|----------------|----|
| SONDAJ NO            |          | SK10               |                           |                                                                                   |            | BAŞL. TARİHİ   |                            | BİTİŞ TARİHİ |    | Say. no. |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| KOORDİNAT-KOTU       |          | Y                  | 508831                    | X                                                                                 | 4250399    | 22.06.2023     |                            | 22.06.2023   |    | 1/1      |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| DERİNLİĞİ, m         |          | 7.00               |                           |                                                                                   |            | SONDAJ VERİ    |                            | ADI SOYADI   |    | İmza     |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| EĞİM/EĞİM YÖNÜ       |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            | MÜHENDİS     |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| SONDAJ YÖNTEMİ       |          | Rotary             |                           |                                                                                   |            | KÜTÜĞÜ         |                            | SONDÖR       |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| MAKİNA TİPİ          |          | DS-2001            |                           |                                                                                   |            |                |                            | VERİYİ       |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| YASS                 |          | Der., m            | Tarih                     |                                                                                   | Saat       | Açıklamalar    |                            | HAZIRLAYAN   |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| Durumu               |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            | ONAYLAYAN    |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| DERİNLİK, m          | ÖRNEK NO | ÖRNEK DERİNLİĞİ, m | ÖRNEK TÜRÜ                | MUH. BORUSU                                                                       | SPT DENEYİ |                |                            | SPT GRAFİĞİ  |    |          | JEOLOJİK BELİRTEÇ | BİRİMİN TANIMI | % ÖRNEK (CR)     | TAM ÇAPLI ÖR. (SCR), % | RQD, % | SÜREKSİZLİK | AYRIŞMA DERECESESİ | TABAKA KAL., m |    |
|                      |          |                    |                           |                                                                                   | 15         | 30             | 45                         | N° DEĞERİ    | 10 | 20       |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                | 30 |
| 1                    | 1        | 0.0-1.5            | CR                        |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                | Altere kireçtaşı |                        | 0      |             |                    |                |    |
| 2                    | 2        | 1.5-3.0            | CR                        |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                | Kireçtaşı        | 20                     | 15     |             | W3                 |                |    |
| 3                    | 3        | 3.0-4.5            | CR                        |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                  | 30                     | 25     |             | W4                 |                |    |
| 4                    | 4        | 4.5-6.0            | CR                        |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                  | 40                     | 35     |             | W4                 |                |    |
| 5                    | 5        | 6.0-7.0            | CR                        |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                  | 50                     | 40     |             | W4                 |                |    |
| 6                    |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 7                    |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| Kuyu Sonu : 7.00 m.  |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 8                    |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 9                    |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 10                   |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 11                   |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 12                   |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 13                   |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 14                   |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 15                   |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRİMLİLİK (LUGEN) |          | ÖRNEK TÜRÜ         | TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİR. |                                                                                   |            |                | KAYA ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
|                      |          |                    | İ. TANE. (Nö), -          | İRİ TANELİ (Nö), -                                                                | RQD, %     | AYRIŞMA DER.   | SÜREKSİZLİK                |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| <1 GEÇİRİMSİZ        |          |                    | <2 Ç. YUM.                | <4 ÇOK GEV.                                                                       | 0 - 25     | W5 TAMAMEN     | ARALIĞI (s sayısı/m)       |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 1-5 AZ GEÇİR.        |          |                    | 2-4 YUMUŞ.                | 4-10 GEVŞEK                                                                       | 25 - 50    | W4 ÇOK A.      | >50 S1 UFALANMIŞ           |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 5-10 ORTA            |          |                    | 4-8 O. KATI               | 10-30 ORTA SIKI                                                                   | 50 - 75    | W3 ORTA A.     | 10-50 S2 ÇOK SIK ARAL.     |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRİML.            |          |                    | 8-15 KATI                 | 30-50 SIKI                                                                        | 75 - 90    | W2 AZ AYRIŞMIŞ | 3-10 S3 SIK ARALIK         |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| 110-25               |          |                    | 15-30 Ç. KATI             | >50 ÇOK SIKI                                                                      | 90-100     | W1 TAZE        | 1-3 S4 GENİŞ ARAL.         |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRİMLİ            |          |                    | >30 SERT                  |                                                                                   |            |                | <1 S5 KÜTLESEL             |              |    |          |                   |                |                  |                        |        |             |                    |                |    |

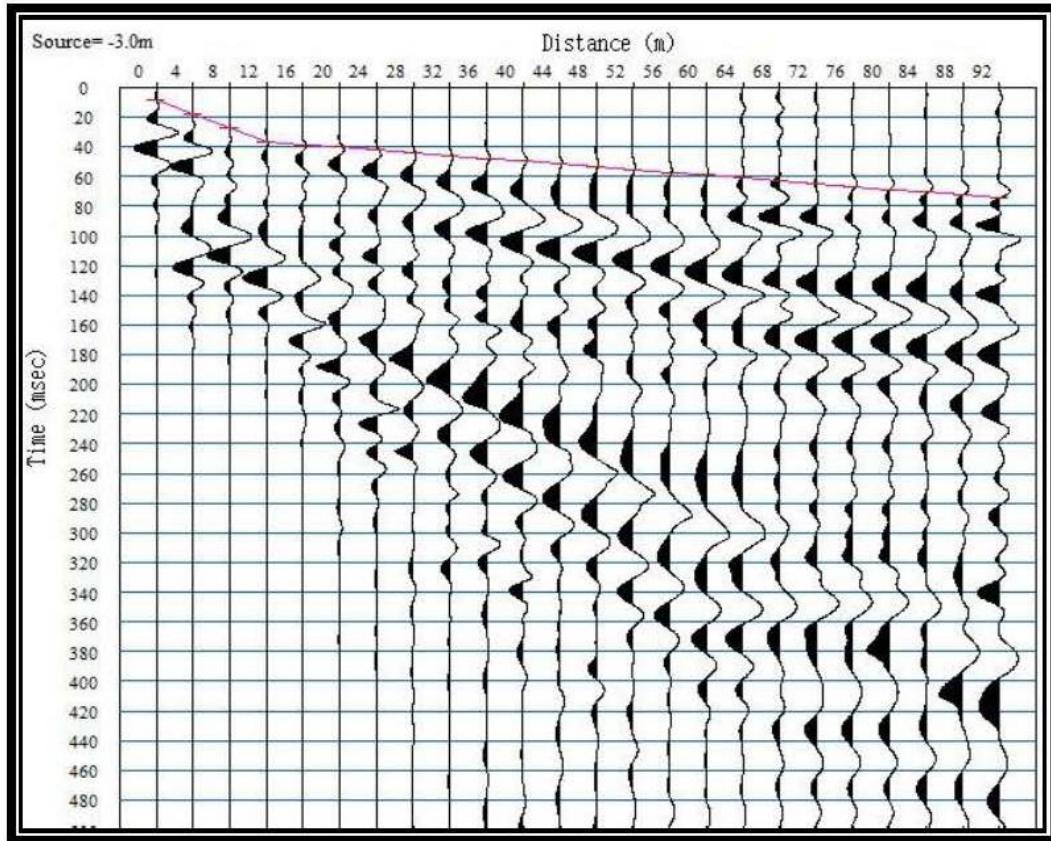
|                          |          | PROJE ADI                                         |                           | BİTLİS (MERKEZ) BELEDİYESİNİN İMAR PLANINA ESAS<br>JEOLOJİK-JEOTEKNİK ETÜT RAPORU |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
|--------------------------|----------|---------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------|----------------------------|----------------|----|------------------------|-------------------|-------------------|--------------|------------------------|--------|-------------|--------------------|----------------|----|
| SONDAJ NO                |          | SK11                                              |                           |                                                                                   |            | BAŞL. TARİHİ          |                            | BİTİŞ TARİHİ   |    | Say. no.               |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| KOORDİNAT-KOTU           |          | Y                                                 | 509475                    | X                                                                                 | 4249667    | 23.06.2023            |                            | 23.06.2023     |    | 1/1                    |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| DERİNLİĞİ, m             |          | 8.00                                              |                           |                                                                                   |            | SONDAJ VERİ<br>KÜTÜĞÜ |                            | ADI SOYADI     |    | İmza                   |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| EĞİMEĞİM YÖNÜ            |          |                                                   |                           |                                                                                   |            |                       |                            | MÜHENDİS       |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| SONDAJ YÖNTEMİ           |          | Rotary                                            |                           |                                                                                   |            |                       |                            | SONDÖR         |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| MAKİNA TİPİ              |          | DS-2001                                           |                           |                                                                                   |            | VERİYİ                |                            |                |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| YASS                     |          | Der., m                                           | Tarih                     |                                                                                   | Saat       | Açıklamalar           |                            | HAZIRLAYAN     |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| Durumu                   |          |                                                   |                           |                                                                                   |            |                       |                            | ONAYLAYAN      |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| DERİNLİK, m              | ÖRNEK NO | ÖRNEK DERİNLİĞİ, m                                | ÖRNEK TÜRÜ                | MUH. BORUSU                                                                       | SPT DENEYİ |                       |                            | SPT GRAFİĞİ    |    |                        | JEOLOJİK BELİRTEÇ | BİRİMİN<br>TANIMI | % ÖRNEK (CR) | TAM ÇAPLI ÖR. (SCR), % | RQD, % | SÜREKSİZLİK | AYRIŞMA DERECESESİ | TABAKA KAL., m |    |
|                          |          |                                                   |                           |                                                                                   | 15         | 30                    | 45                         | N° DEĞERİ      | 10 | 20                     |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                | 30 |
| 1                        | 1        | 0.0-1.5                                           | CR                        |                                                                                   |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   | Kumlu çakıl  |                        |        |             |                    |                |    |
| 2                        | 2        | 1.5-3.0                                           | CR                        |                                                                                   |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   | Çört-Kayrak  | 20                     | 10     |             | W5                 |                |    |
| 3                        |          |                                                   |                           |                                                                                   |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 4                        | 3        | 3.0-4.5                                           | CR                        |                                                                                   |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   |              |                        | 20     | 10          |                    | W5             |    |
| 5                        | 4        | 4.5-6.0                                           | CR                        |                                                                                   |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   |              |                        | 30     | 25          |                    | W4             |    |
| 6                        |          |                                                   |                           |                                                                                   |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 7                        | 5        | 6.0-8.0                                           | CR                        |                                                                                   |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   |              | 50                     | 40     |             | W4                 |                |    |
| 8                        |          |                                                   |                           |                                                                                   |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| Kuyu Sonu : 8.00 m.      |          |                                                   |                           |                                                                                   |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 9                        |          |                                                   |                           |                                                                                   |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 10                       |          |                                                   |                           |                                                                                   |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 11                       |          |                                                   |                           |                                                                                   |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 12                       |          |                                                   |                           |                                                                                   |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 13                       |          |                                                   |                           |                                                                                   |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 14                       |          |                                                   |                           |                                                                                   |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 15                       |          |                                                   |                           |                                                                                   |            |                       |                            |                |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRİMLİLİK<br>(LUGEON) |          | ÖRNEK<br>TÜRÜ                                     | TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİR. |                                                                                   |            |                       | KAYA ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ |                |    |                        |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
|                          |          |                                                   | İ. TANE. (N°).            | İRİ TANELİ (N°).                                                                  |            | RQD, %                |                            | AYRIŞMA DER.   |    | SÜREKSİZLİK            |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| <1 GEÇİRİMSİZ            |          | SPT İD. İLERLEME<br>UD ŞELBİ TUP<br>EC KARGI ÖRN. | <2 Ç. YUM.                | <4 ÇOK GEV.                                                                       |            | 0 - 25                |                            | W5 TAMAMEN     |    | ARALIĞI (s sayısı/m)   |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 1-5 AZ GEÇİR.            |          |                                                   | 2-4 YUMUŞ.                | 4-10 GEVŞEK                                                                       |            | 25 - 50               |                            | W4 ÇOK A.      |    | >50 S1 UFALANMIŞ       |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 5-10 ORTA                |          |                                                   | 4-8 O. KATI               | 10-30 ORTA SIKI                                                                   |            | 50 - 75               |                            | W3 ORTA A.     |    | 10-50 S2 ÇOK SIK ARAL. |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRİMLİ                |          |                                                   | 8-15 KATI                 | 30-50 SIKI                                                                        |            | 75 - 90               |                            | W2 AZ AYRIŞMIŞ |    | 3-10 S3 SIK ARALIK     |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| 110-25                   |          |                                                   | 15-30 Ç. KATI             | >50 ÇOK SIKI                                                                      |            | 90-100                |                            | W1 TAZE        |    | 1-3 S4 GENİŞ ARAL.     |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRİMLİ                |          |                                                   | >30 SERT                  |                                                                                   |            |                       |                            |                |    | <1 S5 KÜTLESEL         |                   |                   |              |                        |        |             |                    |                |    |

|                     |          | PROJE ADI          | BİTLİS (MERKEZ) BELEDİYESİNİN İMAR PLANINA ESAS<br>JEOLOJİK-JEOTEKNİK ETÜT RAPORU |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
|---------------------|----------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------|--------------------|----|----------------------------|----|----------------|------------------|------------------------|--------------|------------------------|--------|-------------|--------------------|----------------|
| SONDAJ NO           |          | SK12               |                                                                                   | BAŞL. TARİHİ              |            | BİTİŞ TARİHİ       |    | Say. no.                   |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| KOORDİNAT-KOTU      |          | Y X                |                                                                                   | 23.06.2023                |            | 23.06.2023         |    | 1/1                        |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| DERİNLİĞİ, m        |          | 7.00               |                                                                                   | SONDAJ VERİ               |            | ADİ SOYADI         |    | İmza                       |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| EĞİM/EĞİM YÖNÜ      |          |                    |                                                                                   |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| SONDAJ YÖNTEMİ      |          | Rotary             |                                                                                   | KÜTÜĞÜ                    |            | MÜHENDİS           |    | SONDÖR                     |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| MAKİNA TİPİ         |          | DS-2001            |                                                                                   |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| YASS                |          | Der., m            |                                                                                   | Tarih                     |            | Saat               |    | Açıklamalar                |    | HAZIRLAYAN     |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| Durumu              |          |                    |                                                                                   |                           |            |                    |    |                            |    | ONAYLAYAN      |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| DERİNLİK, m         | ÖRNEK NO | ÖRNEK DERİNLİĞİ, m | ÖRNEK TÜRÜ                                                                        | MUH. BORUSU               | SPT DENEYİ |                    |    | SPT GRAFİĞİ                |    |                | JEOLOJİK BELİTEÇ | BİRİMİN TANIMI         | % ÖRNEK (CR) | TAM ÇAPLI ÖR. (SCR), % | RQD, % | SÜREKSİZLİK | AYRIŞMA DERECESESİ | TABAKA KAL., m |
|                     |          |                    |                                                                                   |                           | 15         | 30                 | 45 | N° DEĞERİ                  | 10 | 20             |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| 1                   | 1        | 0.0-1.5            | CR                                                                                |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              | 5                      | 0      |             | W5                 |                |
| 2                   | 2        | 1.5-3.0            | CR                                                                                |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              | 10                     | 5      |             | W5                 |                |
| 3                   |          |                    |                                                                                   |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| 4                   | 3        | 3.0-4.5            | CR                                                                                |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              | 10                     | 5      |             | W5                 |                |
| 5                   | 4        | 4.5-6.0            | CR                                                                                |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              | 20                     | 15     |             | W5                 |                |
| 6                   | 5        | 6.0-7.0            | CR                                                                                |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              | 30                     | 15     |             | W5                 |                |
| 7                   |          |                    |                                                                                   |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| Kuyu Sonu : 7.00 m. |          |                    |                                                                                   |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| 8                   |          |                    |                                                                                   |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| 9                   |          |                    |                                                                                   |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| 10                  |          |                    |                                                                                   |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| 11                  |          |                    |                                                                                   |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| 12                  |          |                    |                                                                                   |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| 13                  |          |                    |                                                                                   |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| 14                  |          |                    |                                                                                   |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| 15                  |          |                    |                                                                                   |                           |            |                    |    |                            |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
| GEÇİRLİLİK (LUGEON) |          | ÖRNEK TÜRÜ         |                                                                                   | TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİR. |            |                    |    | KAYA ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ |    |                |                  |                        |              |                        |        |             |                    |                |
|                     |          |                    |                                                                                   | İ. TANE. (N°). -          |            | İRİ TANELİ (N°). - |    | RQD. %                     |    | AYRIŞMA DER.   |                  | SÜREKSİZLİK            |              |                        |        |             |                    |                |
| <1 GEÇİRİMSİZ       |          | SPT İD. İERLEME    |                                                                                   | <2 Ç. YUM.                |            | <4 ÇOK GEV.        |    | 0 - 25                     |    | W5 TAMAMEN     |                  | ARALIĞI (s sayıs/m)    |              |                        |        |             |                    |                |
| 1-5 AZ GEÇİR.       |          | UD-ŞELHİ TUP       |                                                                                   | 2-4 YUMUŞ.                |            | 4-10 GEVŞEK        |    | 25 - 50                    |    | W4 ÇOK A.      |                  | >50 S1 UFALANMIŞ       |              |                        |        |             |                    |                |
| 5-10 ORTA           |          | RC-KAROT ÖRN.      |                                                                                   | 4-8 O. KATI               |            | 10-30 ORTA SIKI    |    | 50 - 75                    |    | W3 ORTA A.     |                  | 10-50 S2 ÇOK SIK ARAL. |              |                        |        |             |                    |                |
| GEÇİRİMLİ           |          |                    |                                                                                   | 8-15 KATI                 |            | 30-50 SIKI         |    | 75 - 90                    |    | W2 AZ AYRIŞMIŞ |                  | 3-10 S3 SIK ARALIK     |              |                        |        |             |                    |                |
| 110-25              |          |                    |                                                                                   | 15-30 Ç. KATI             |            | >50 ÇOK SIKI       |    | 90-100                     |    | W1 TAZE        |                  | 1-3 S4 GENİŞ ARAL.     |              |                        |        |             |                    |                |
| GEÇİRİMLİ           |          |                    |                                                                                   | >30 SERT                  |            |                    |    |                            |    |                |                  | <1 S5 KÜTLESEL         |              |                        |        |             |                    |                |

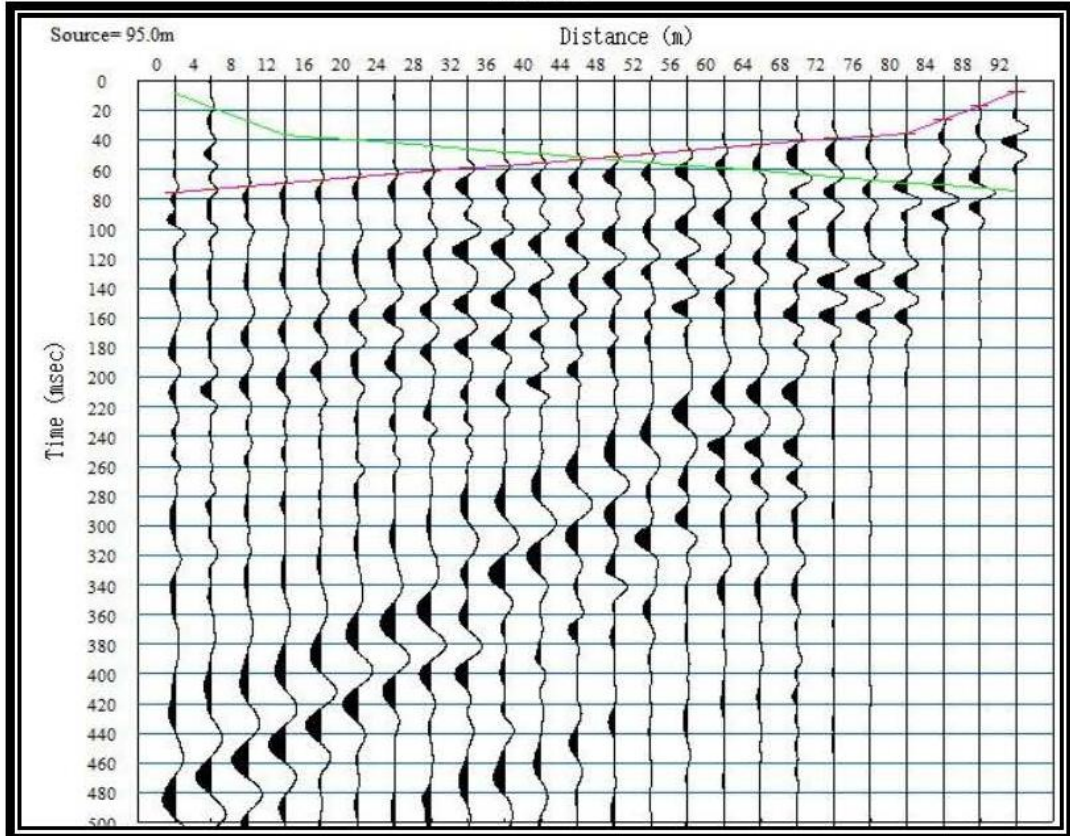
|                      |          | PROJE ADI          |                           | BİTLİS (MERKEZ) BELEDİYESİNİN İMAR PLANINA ESAS<br>JEOLOJİK-JEOTEKNİK ETÜT RAPORU |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
|----------------------|----------|--------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------|----------------------------|--------------|----|----------|-------------------|----------------|-------------------|------------------------|--------|-------------|--------------------|----------------|----|
| SONDAJ NO            |          | SK13               |                           |                                                                                   |            | BAŞL. TARİHİ   |                            | BİTİŞ TARİHİ |    | Say. no. |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| KOORDİNAT-KOTU       |          | Y                  | 507544                    | X                                                                                 | 4248117    | 23.06.2023     |                            | 23.06.2023   |    | 1/1      |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| DERİNLİĞİ, m         |          | 7.00               |                           |                                                                                   |            | SONDAJ VERİ    |                            | ADI SOYADI   |    | İmza     |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| EĞİM/EĞİM YÖNÜ       |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            | MÜHENDİS     |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| SONDAJ YÖNTEMİ       |          | Rotary             |                           |                                                                                   |            | KÜTÜĞÜ         |                            | SONDÖR       |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| MAKİNA TİPİ          |          | DS-2001            |                           |                                                                                   |            |                |                            | VERİYİ       |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| YASS                 |          | Der., m            | Tarih                     |                                                                                   | Saat       | Açıklamalar    |                            | HAZIRLAYAN   |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| Durumu               |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            | ONAYLAYAN    |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| DERİNLİK, m          | ÖRNEK NO | ÖRNEK DERİNLİĞİ, m | ÖRNEK TÜRÜ                | MUH. BORUSU                                                                       | SPT DENEYİ |                |                            | SPT GRAFİĞİ  |    |          | JEOLOJİK BELİRTEÇ | BİRİMİN TANIMI | % ÖRNEK (CR)      | TAM ÇAPLI ÖR. (SCR), % | RQD, % | SÜREKSİZLİK | AYRIŞMA DERECESESİ | TABAKA KAL., m |    |
|                      |          |                    |                           |                                                                                   | 15         | 30             | 45                         | N° DEĞERİ    | 10 | 20       |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                | 30 |
| 1                    | 1        | 0.0-1.5            | CR                        |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                | Altere Travereten |                        | 0      |             | W5                 |                |    |
| 2                    | 2        | 1.5-3.0            | CR                        |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                | Traverten         | 10                     | 5      |             | W5                 |                |    |
| 3                    | 3        | 3.0-4.5            | CR                        |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                   | 15                     | 10     |             | W5                 |                |    |
| 4                    | 4        | 4.5-6.0            | CR                        |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                   | 20                     | 10     |             | W5                 |                |    |
| 5                    | 5        | 6.0-7.0            | CR                        |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                   | 20                     | 15     |             | W5                 |                |    |
| 6                    | 6        |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| 7                    | 7        |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| Kuyu Sonu : 7.00 m.  |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| 8                    |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| 9                    |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| 10                   |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| 11                   |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| 12                   |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| 13                   |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| 14                   |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| 15                   |          |                    |                           |                                                                                   |            |                |                            |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRİMLİLİK (LUGEN) |          | ÖRNEK TÜRÜ         | TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİR. |                                                                                   |            |                | KAYA ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
|                      |          |                    | İ. TANE. (N°), -          | İRİ TANELİ (N°), -                                                                | RQD, %     | AYRIŞMA DER.   | SÜREKSİZLİK                |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| <1 GEÇİRİMSİZ        |          |                    | <2 Ç. YUM.                | <4 ÇOK GEV.                                                                       | 0 - 25     | W5 TAMAMEN     | ARALIĞI (s sayıs/m)        |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| 1-5 AZ GEÇİR.        |          |                    | 2-4 YUMUŞ.                | 4-10 GEVŞEK                                                                       | 25 - 50    | W4 ÇOK A.      | >50 S1 UFALANMIŞ           |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| 5-10 ORTA            |          |                    | 4-8 O. KATI               | 10-30 ORTA SIKI                                                                   | 50 - 75    | W3 ORTA A.     | 10-50 S2 ÇOK SIK ARAL.     |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRİML.            |          |                    | 8-15 KATI                 | 30-50 SIKI                                                                        | 75 - 90    | W2 AZ AYRIŞMIŞ | 3-10 S3 SIK ARALIK         |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| 110-25               |          |                    | 15-30 Ç. KATI             | >50 ÇOK SIKI                                                                      | 90-100     | W1 TAZE        | 1-3 S4 GENİŞ ARAL.         |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |
| GEÇİRİMLİ            |          |                    | >30 SERT                  |                                                                                   |            |                | <1 S5 KÜTLESEL             |              |    |          |                   |                |                   |                        |        |             |                    |                |    |



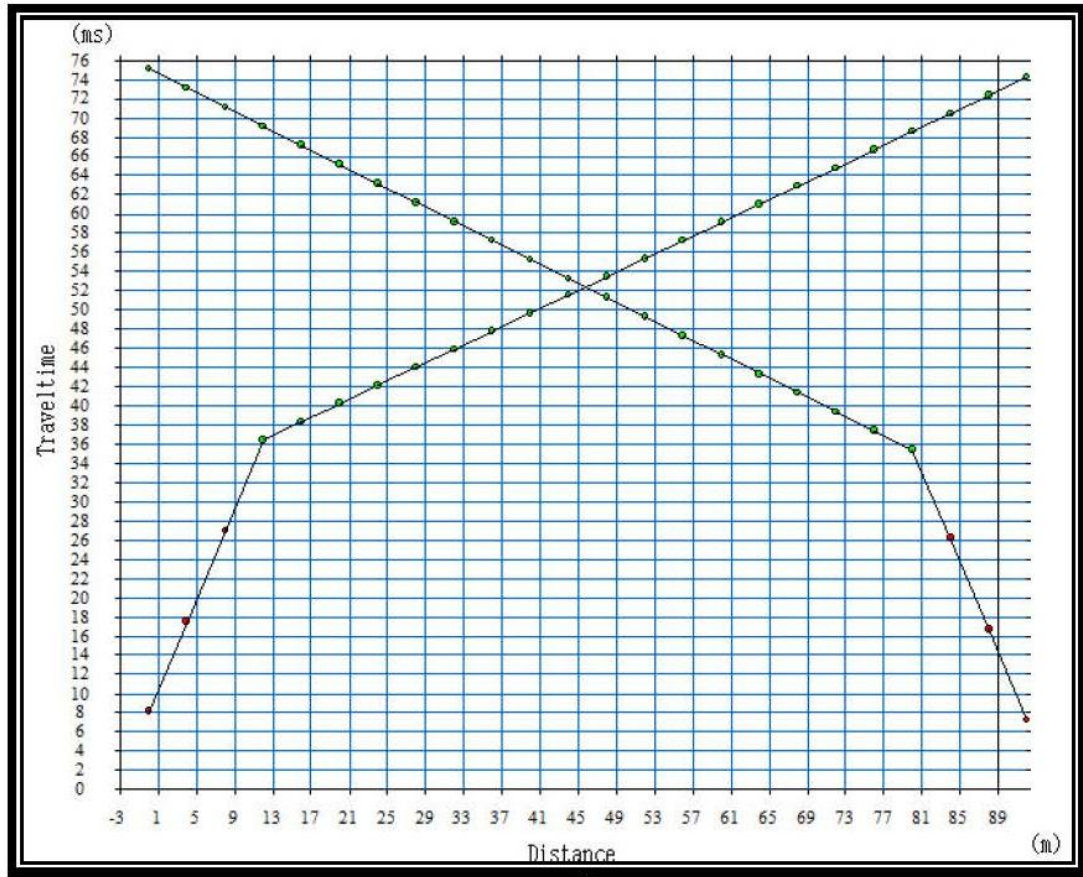
## EK-2 Sismik Kırılma Ölçümleri



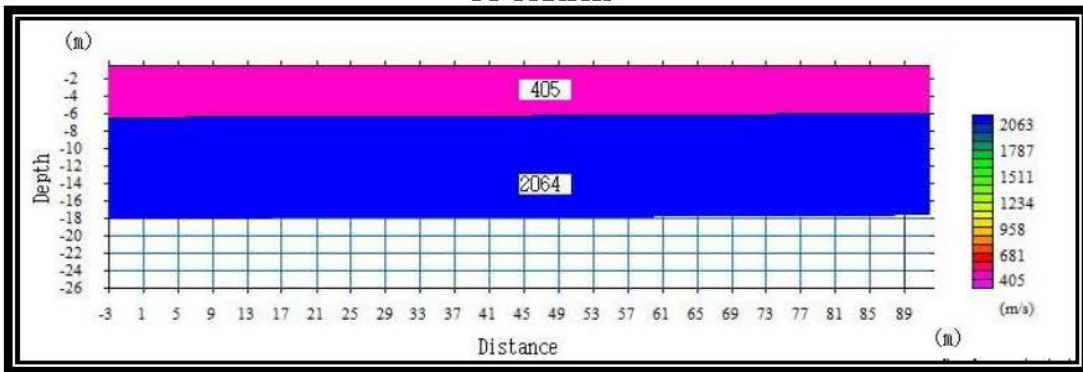
P1-DÜZ



P1-TERS

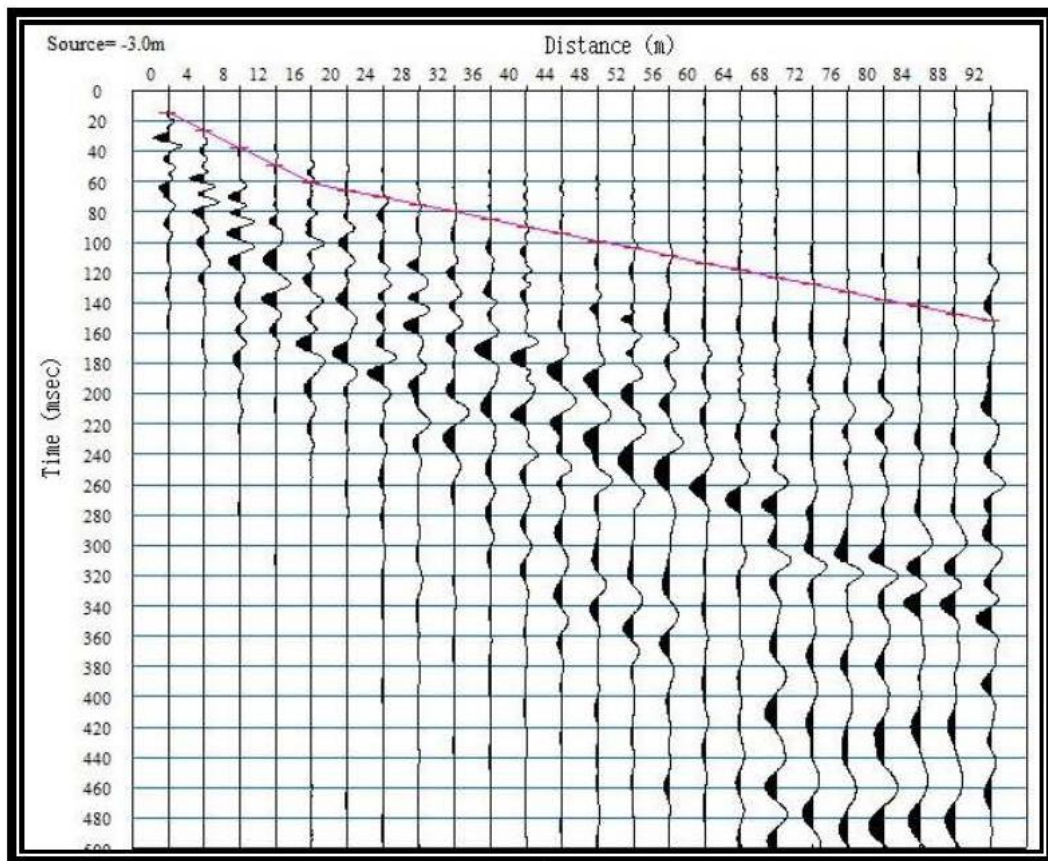


P1-GRAFIK

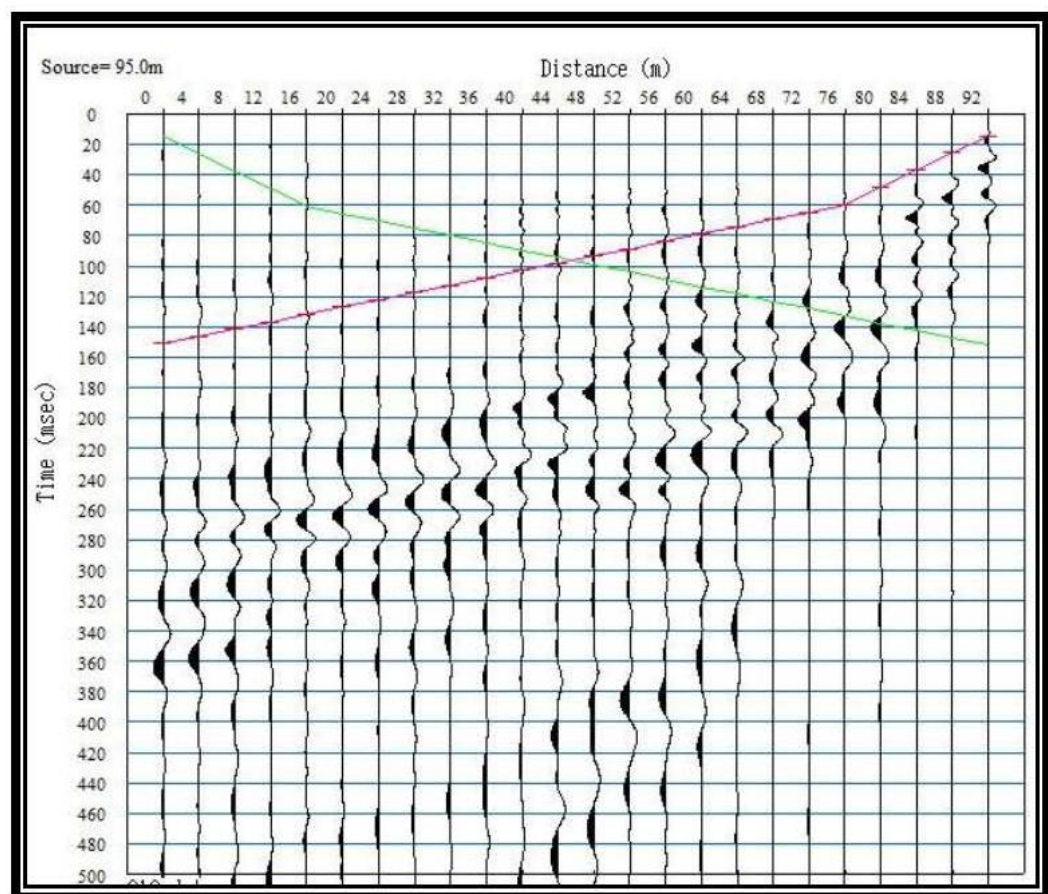


P1-KESİT



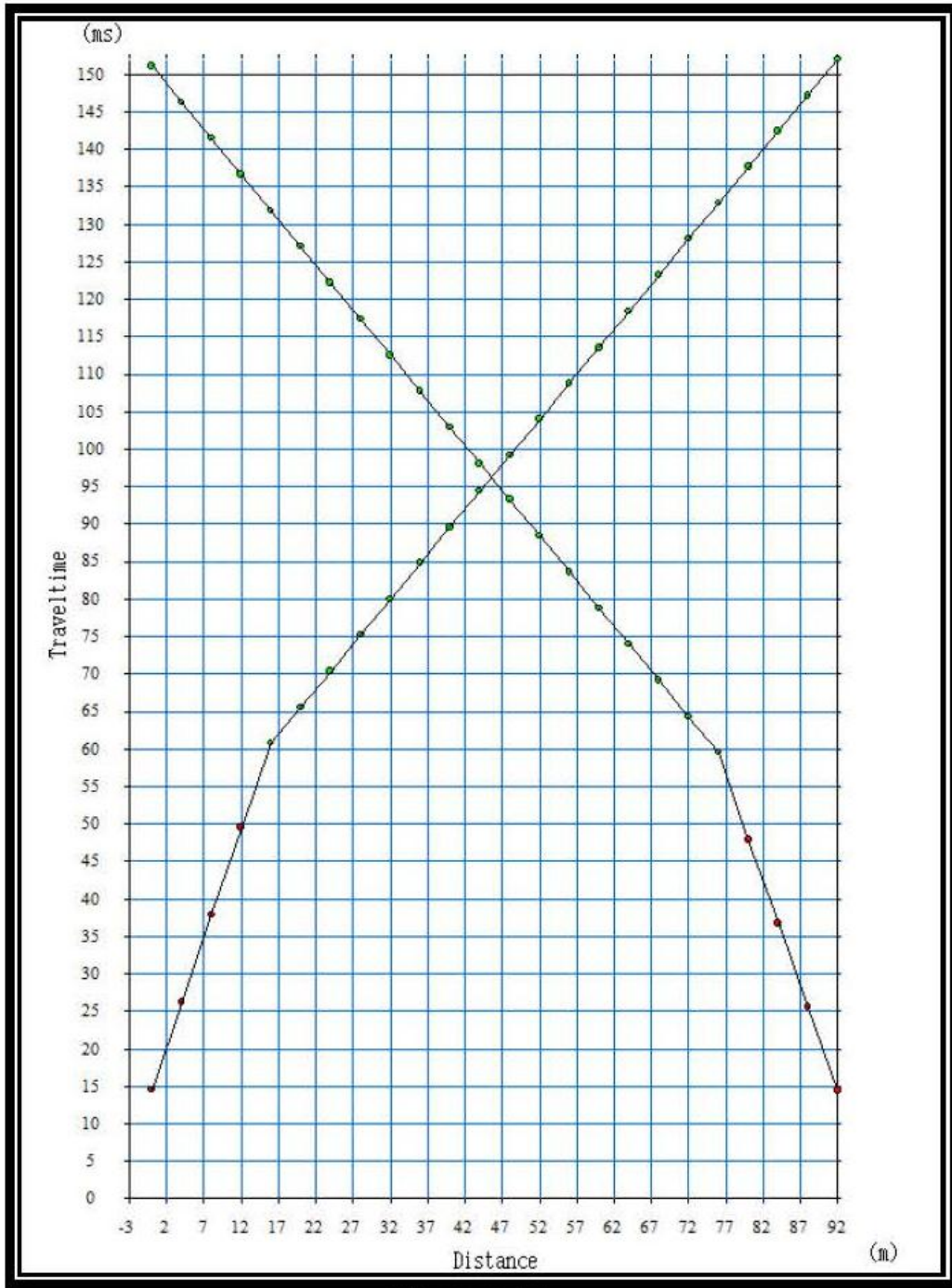


S1-DÜZ

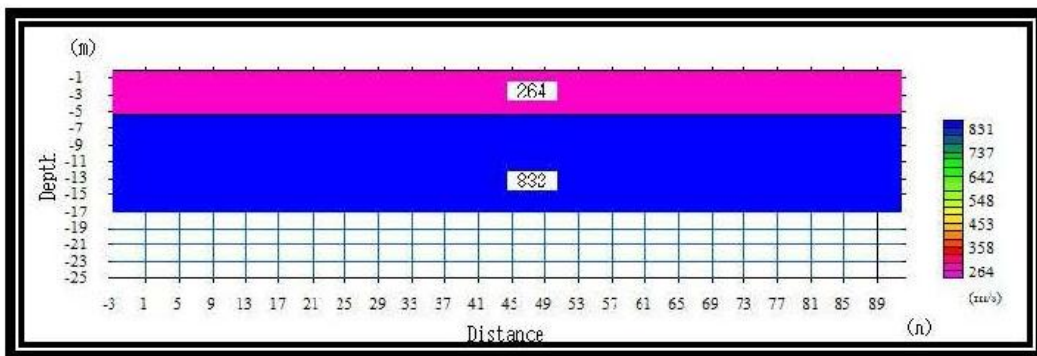


S1-TERS

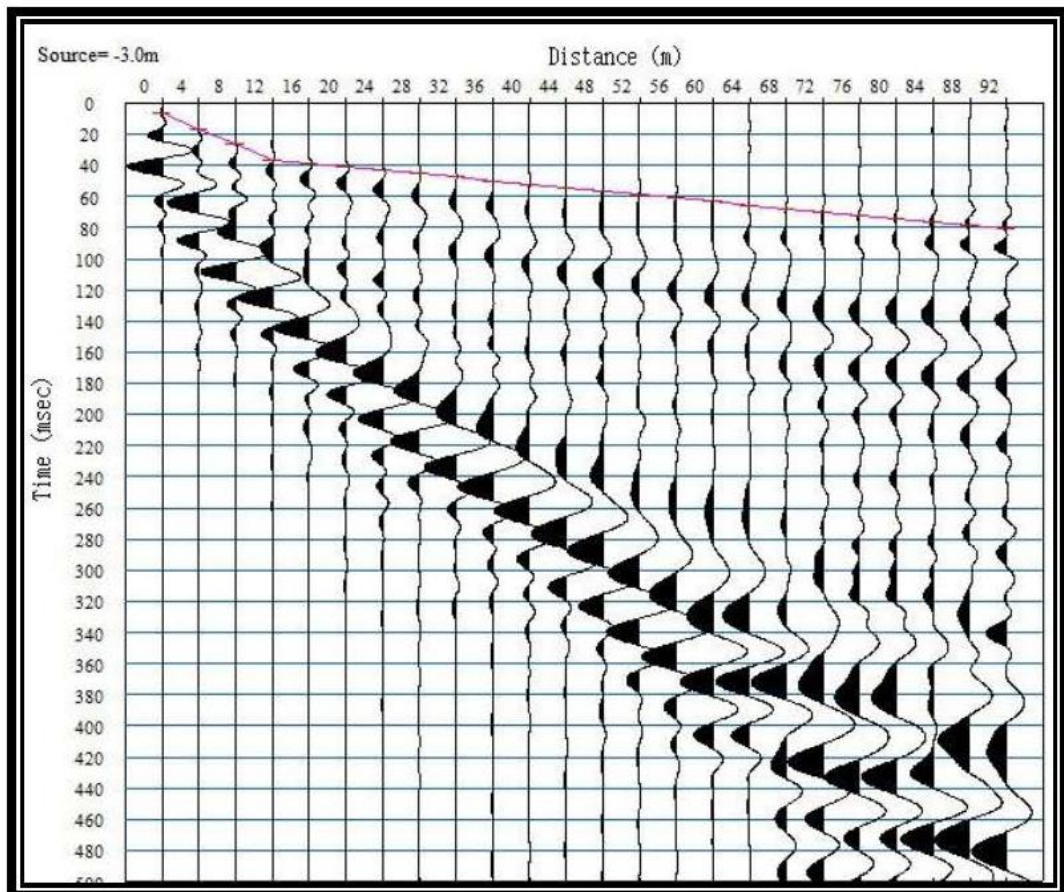




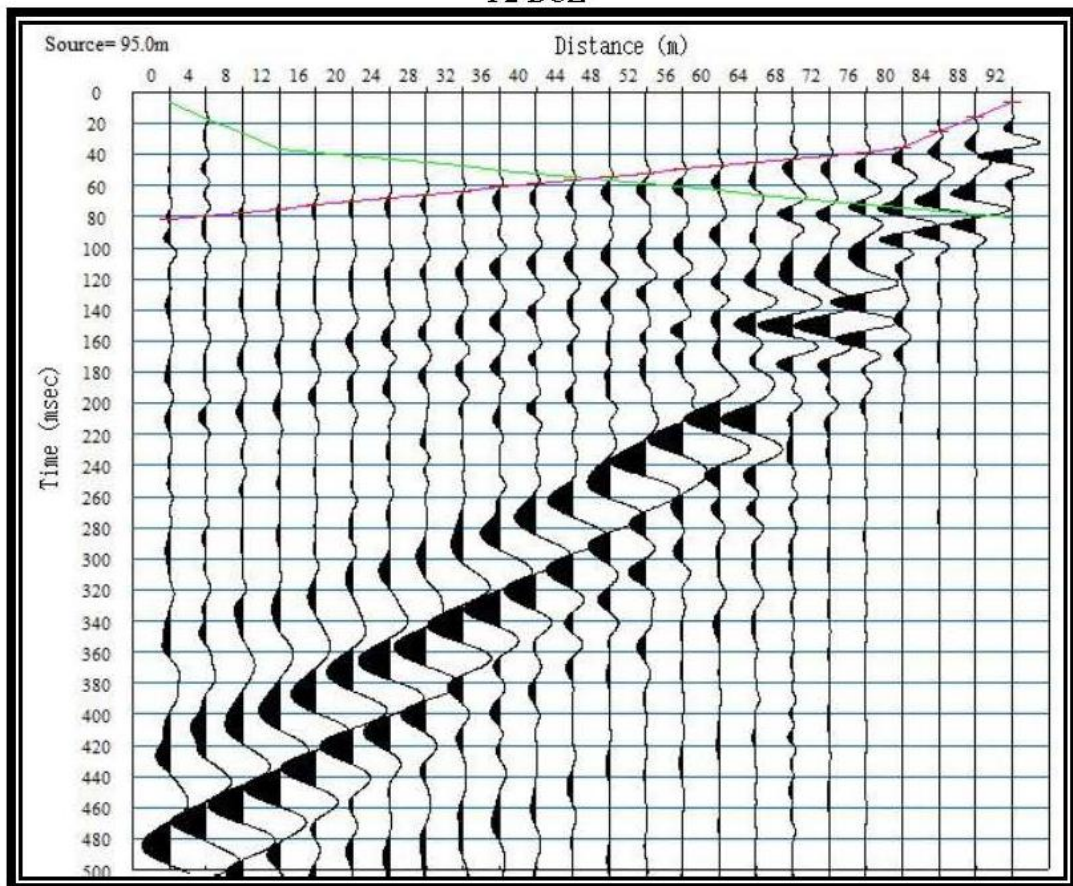
S1-GRAFİK



S1-KESİT

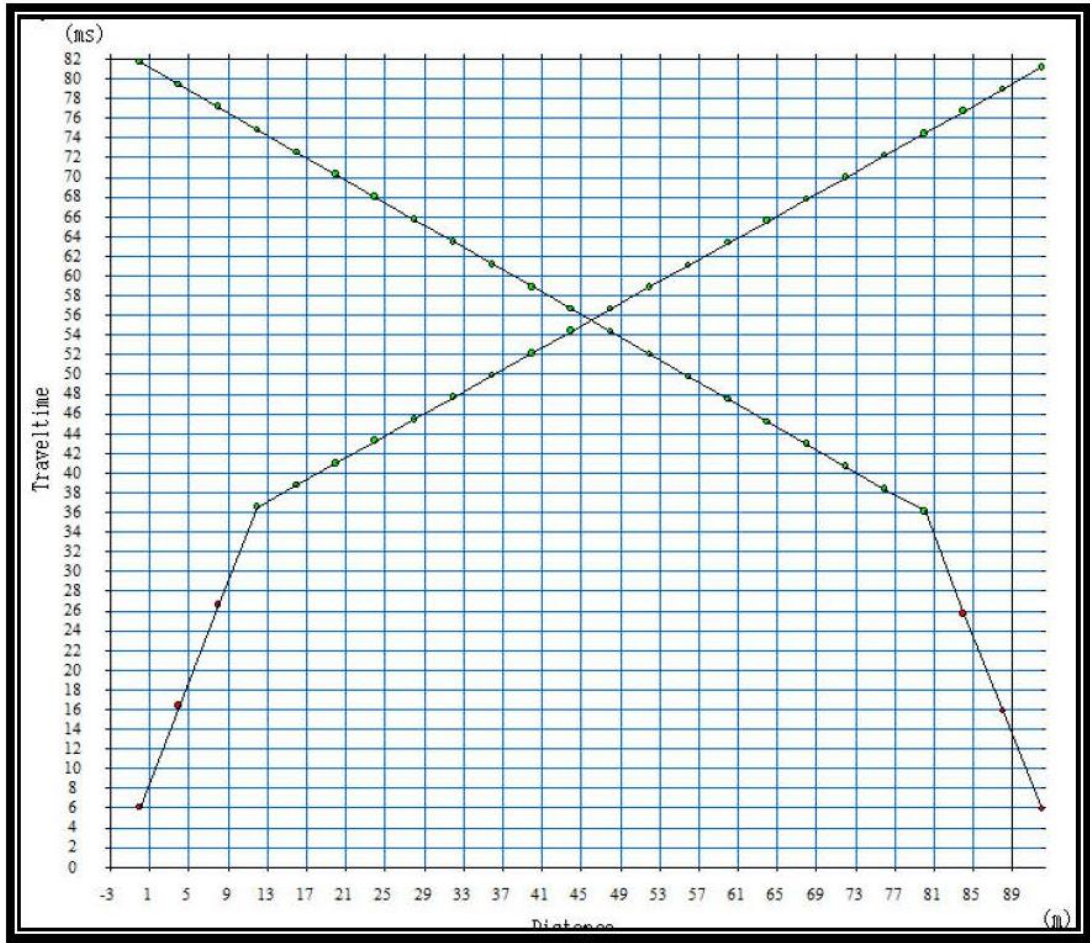


P2-DÜZ

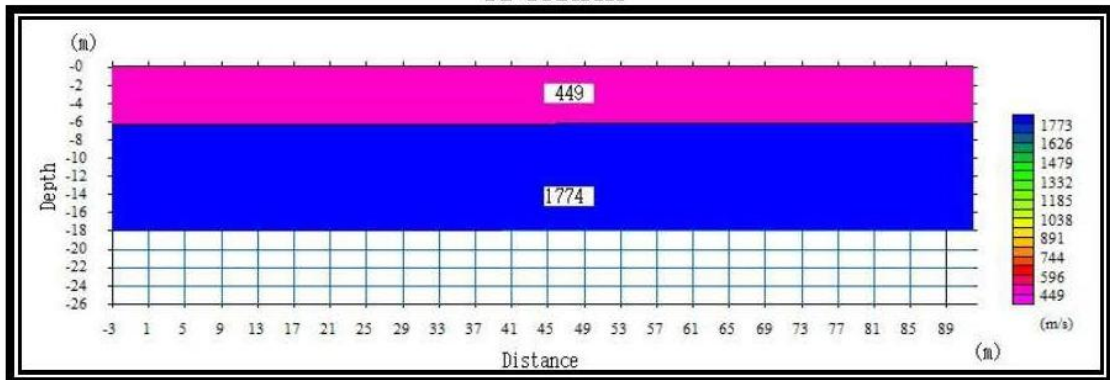


P2-TES

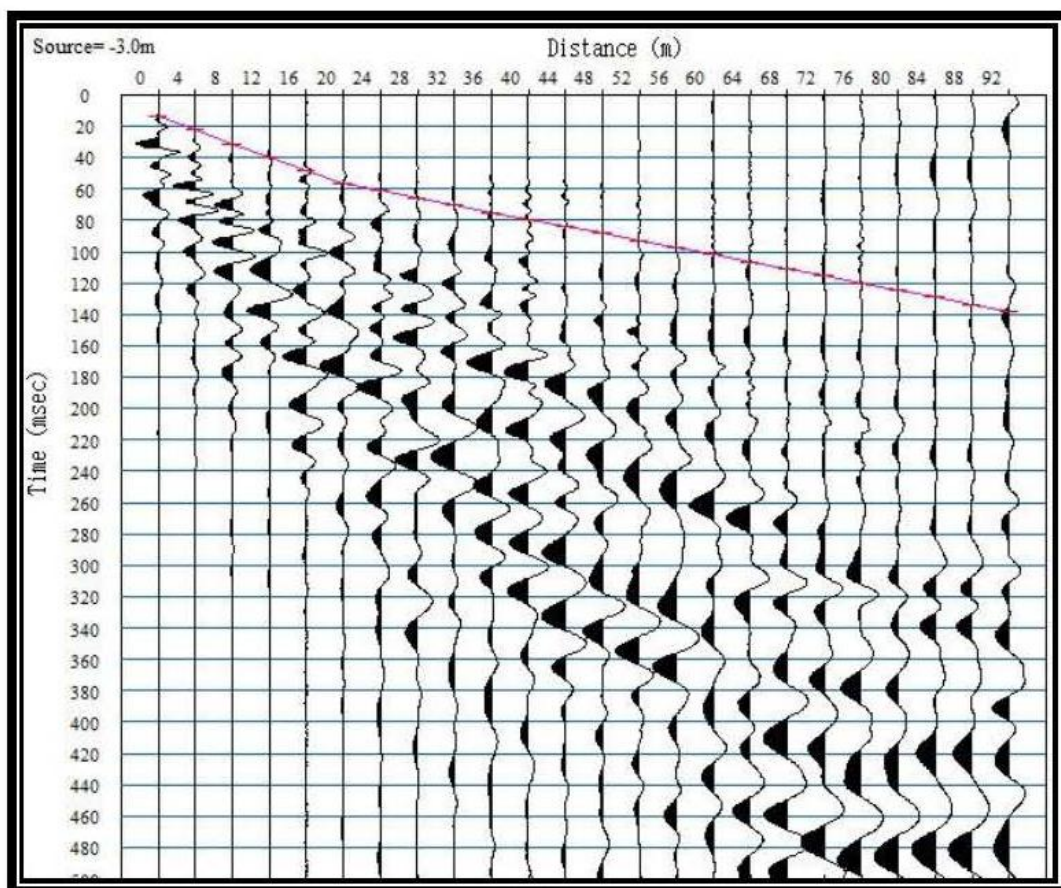




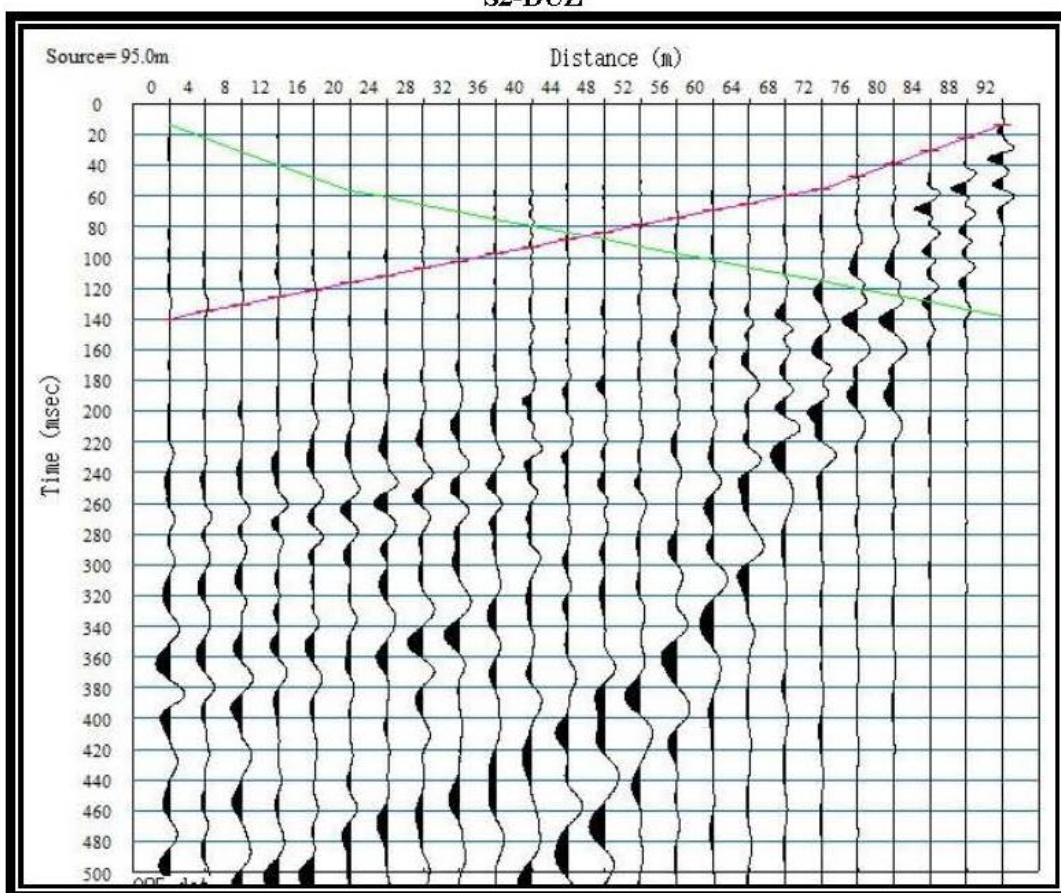
P2-GRAFIK



P2-KESİT

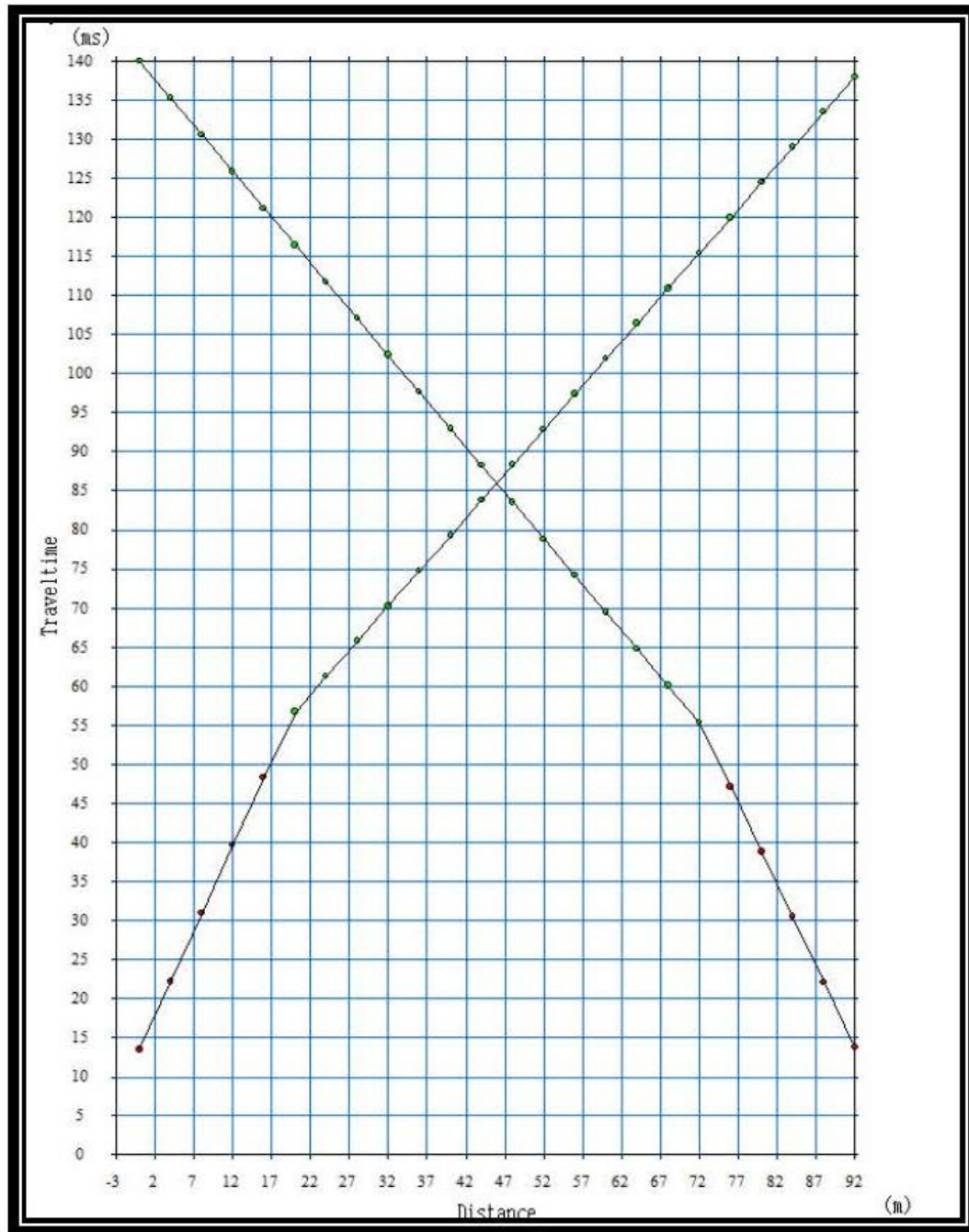


S2-DÜZ

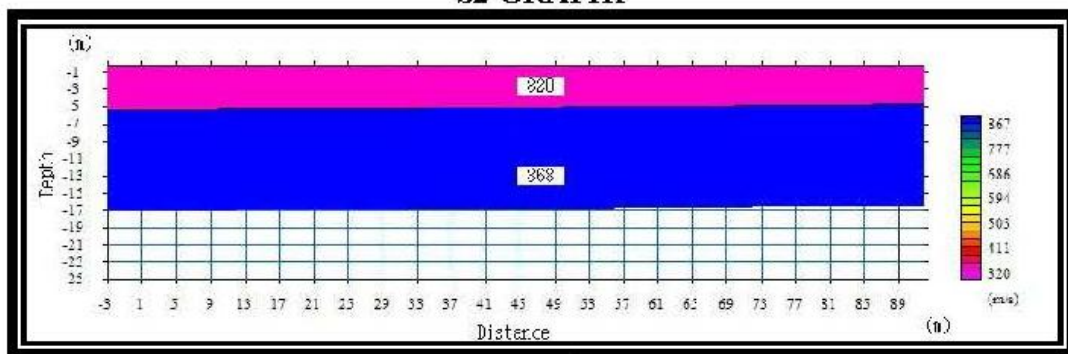


S2-TERS

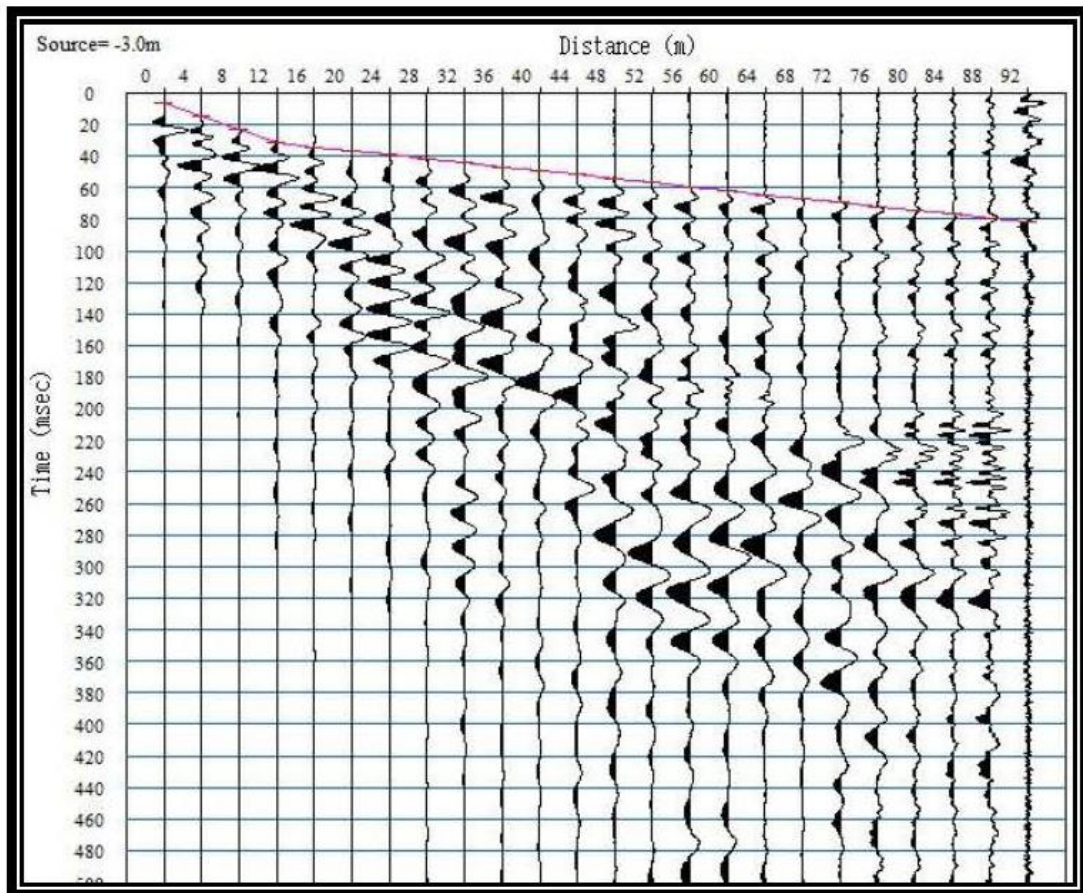




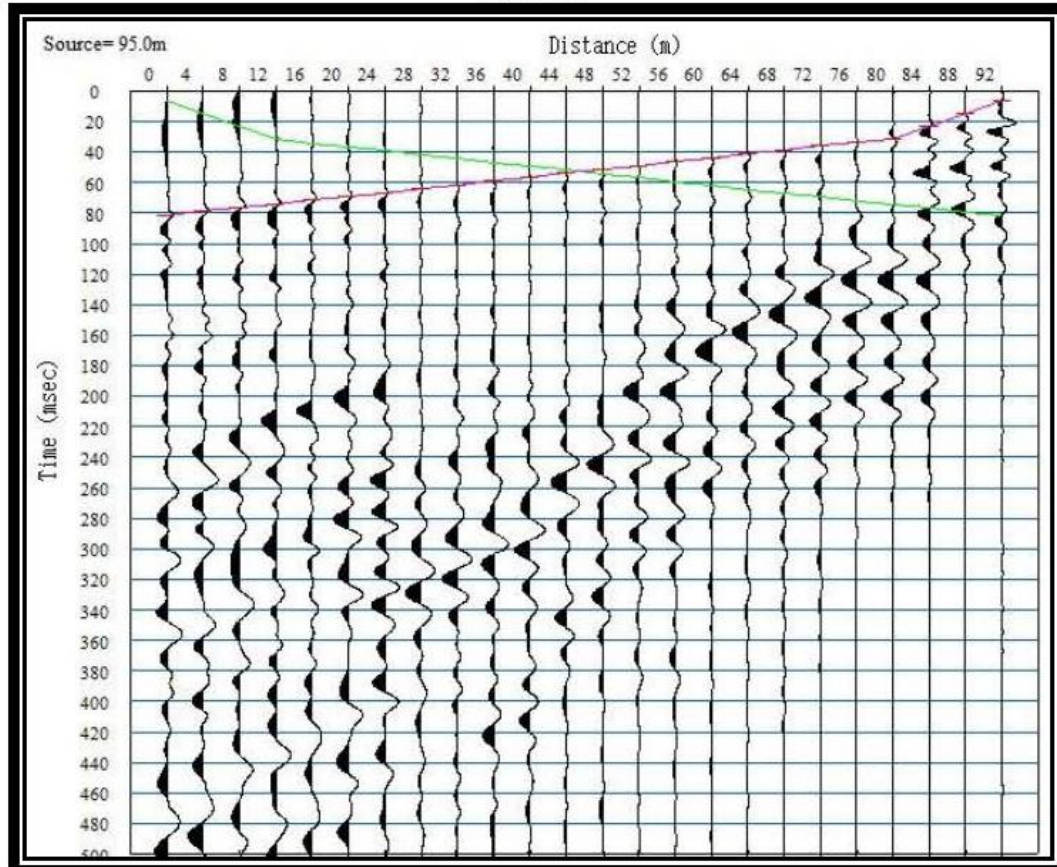
**S2-GRAFIK**



**S2-KESİT**

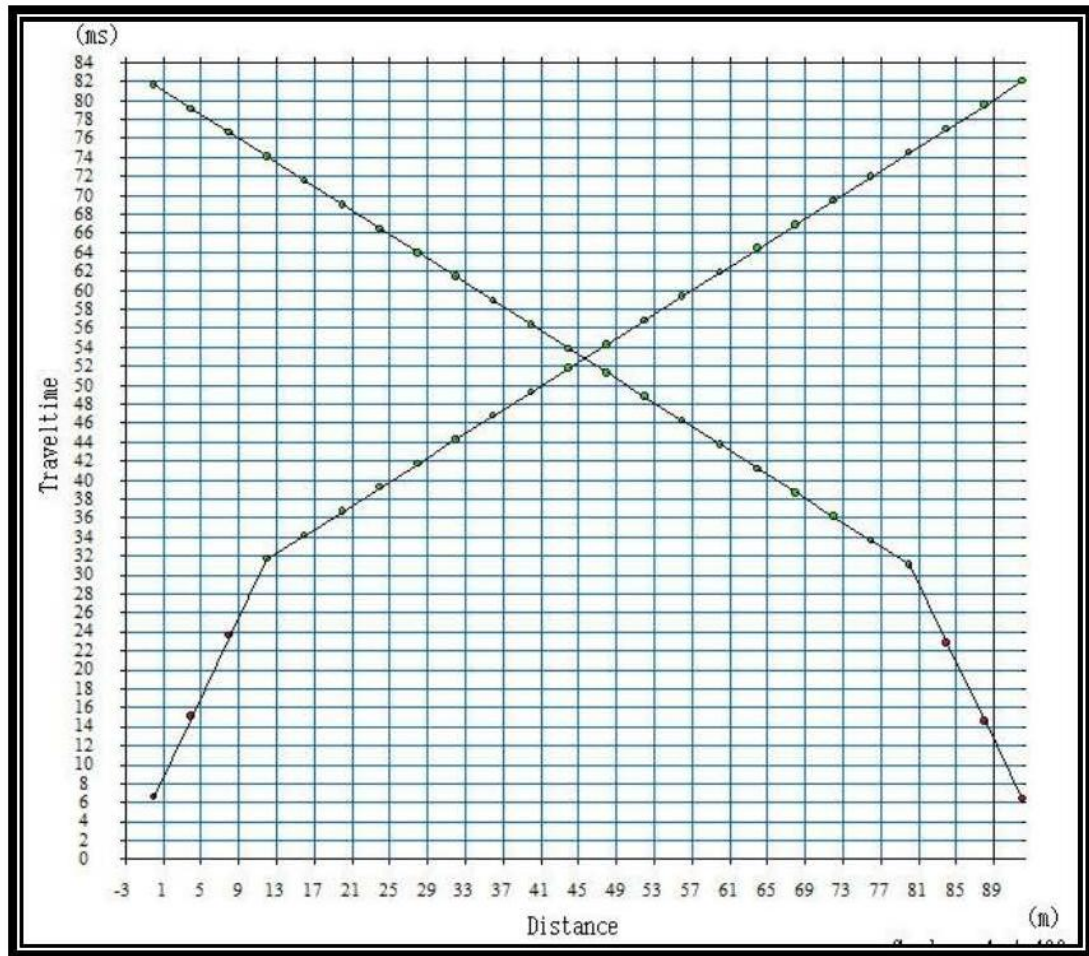


P3-DÜZ

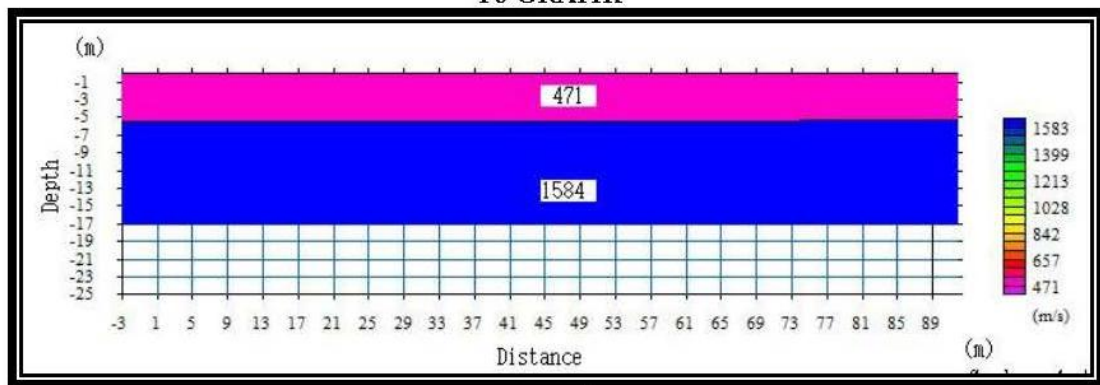


P3-TERS

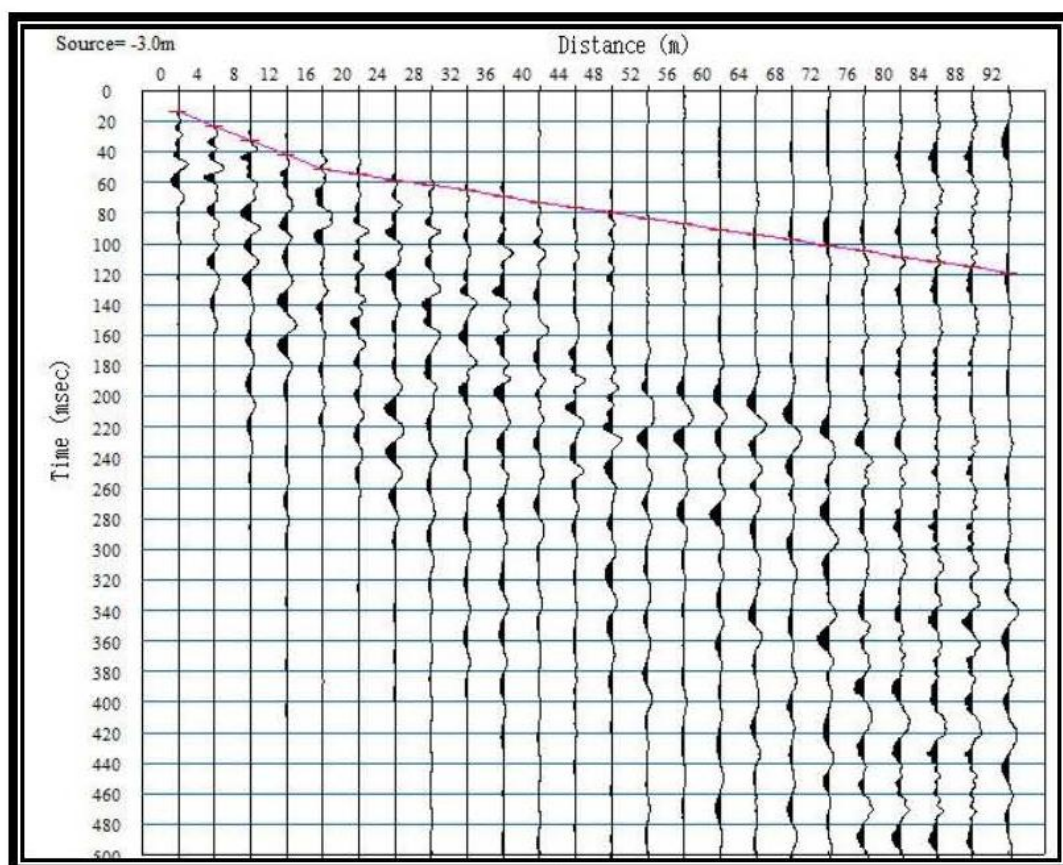




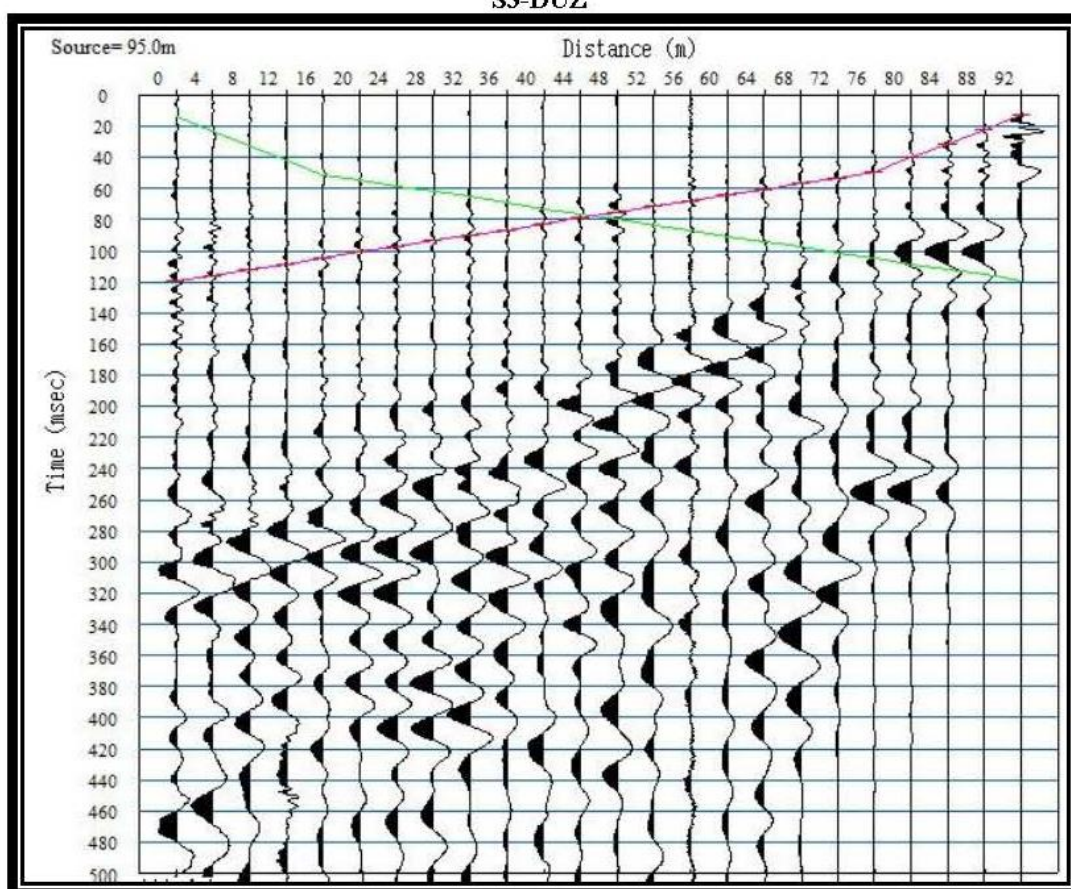
**P3-GRAFIK**



**P3-KESİT**

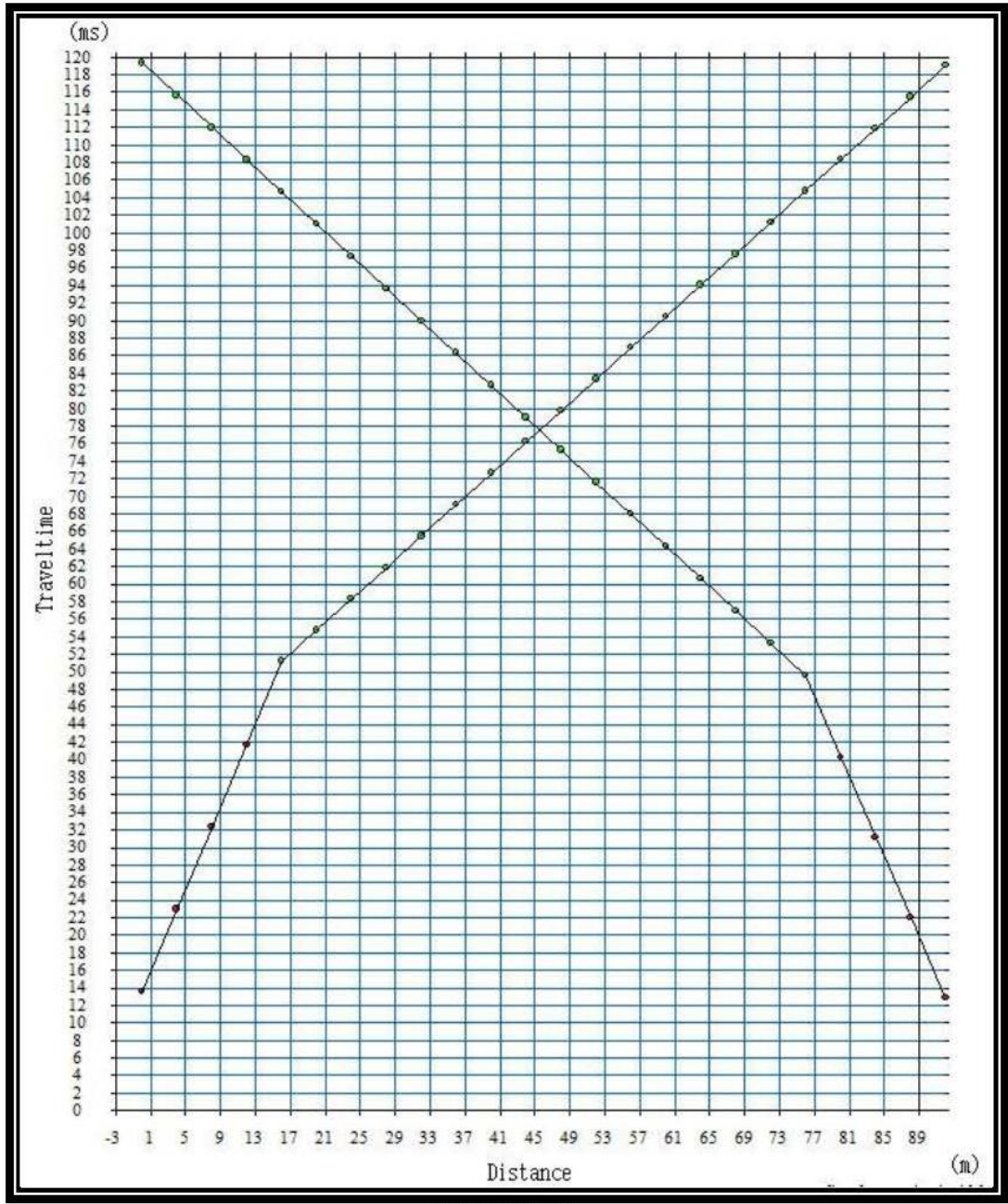


S3-DÜZ

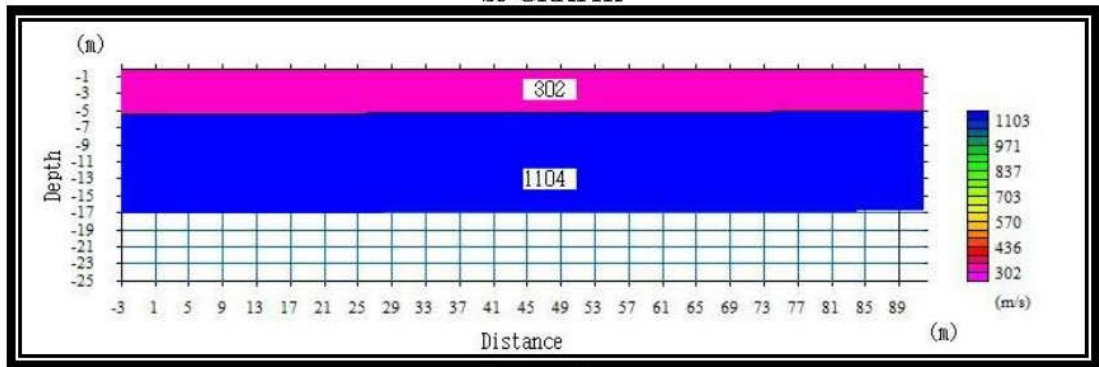


S3-TERS

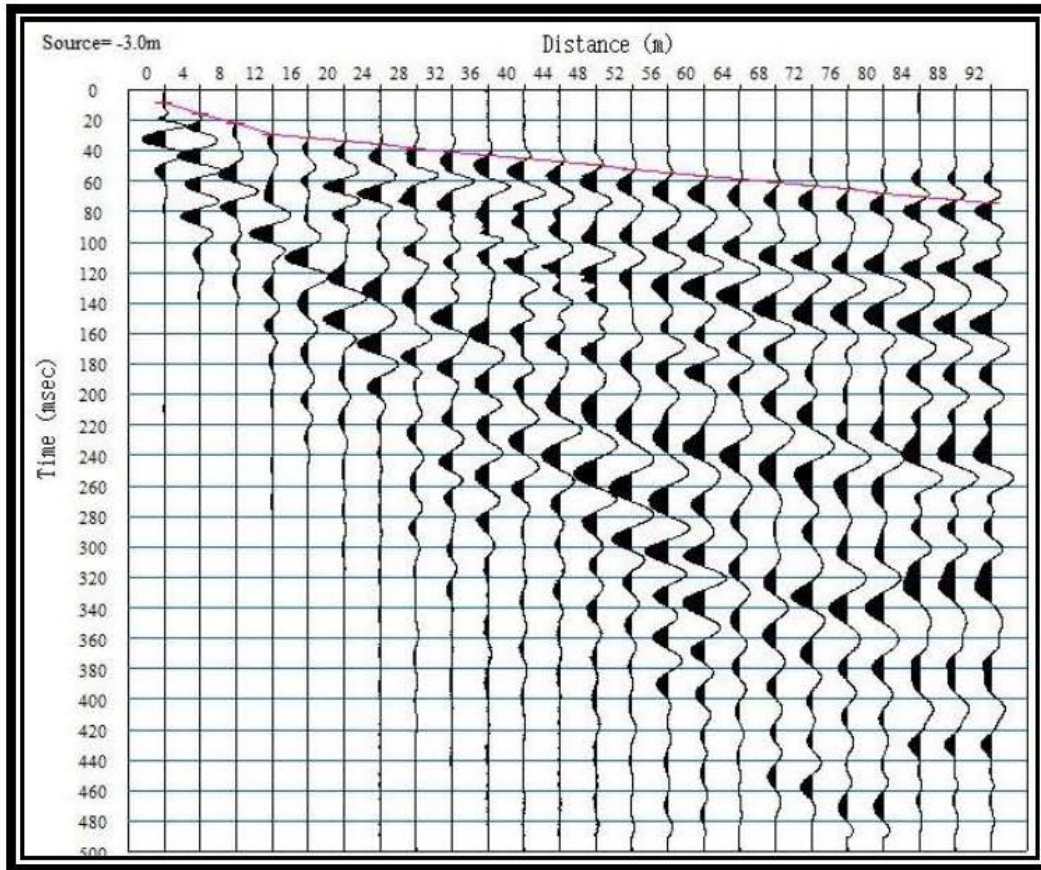




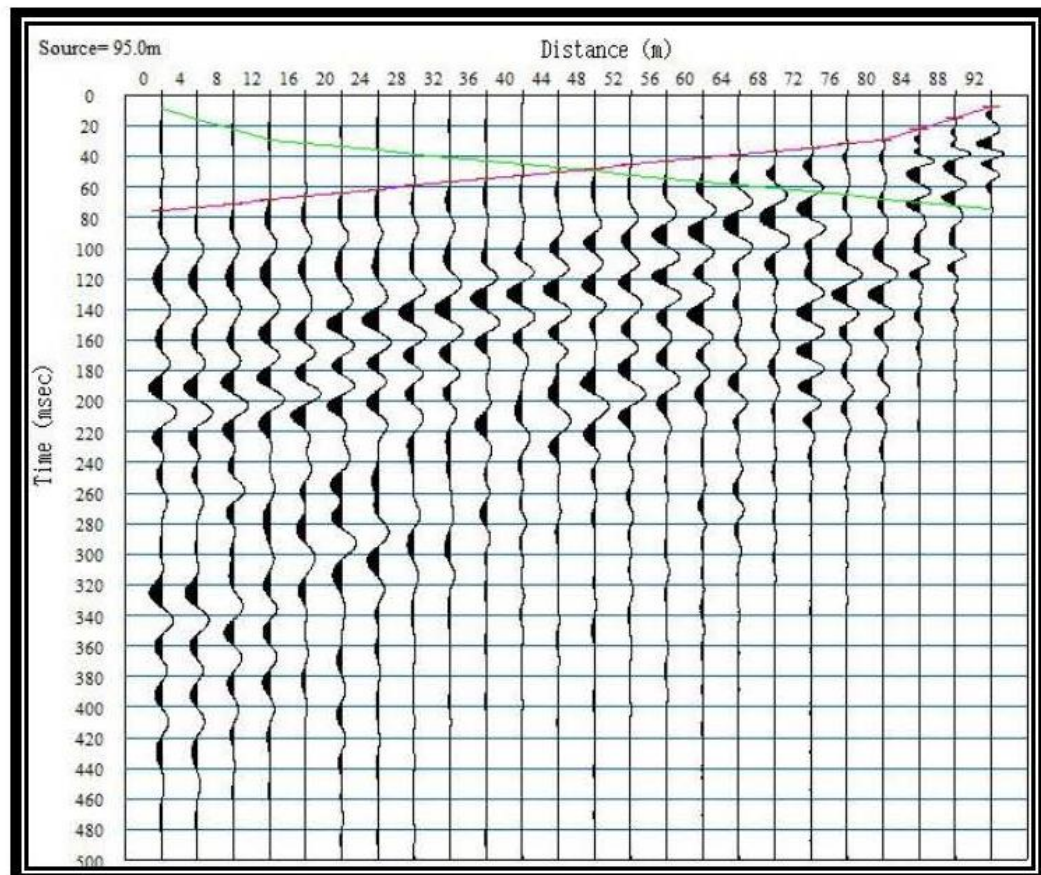
S3-GRAFIK



S3-KESİT

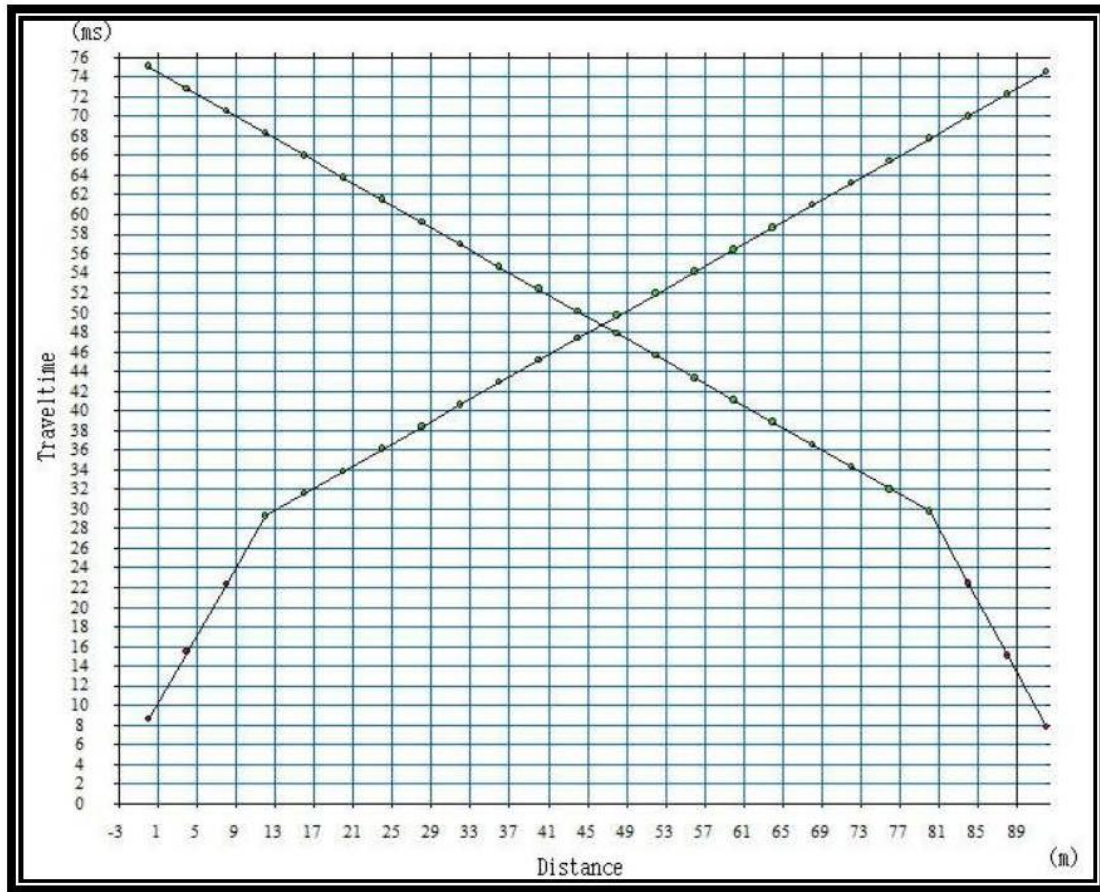


P4-DÜZ

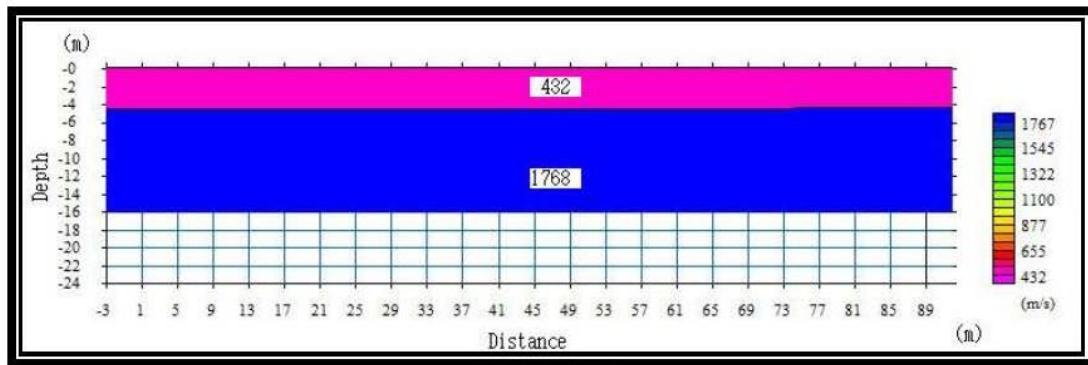


P4-TERS

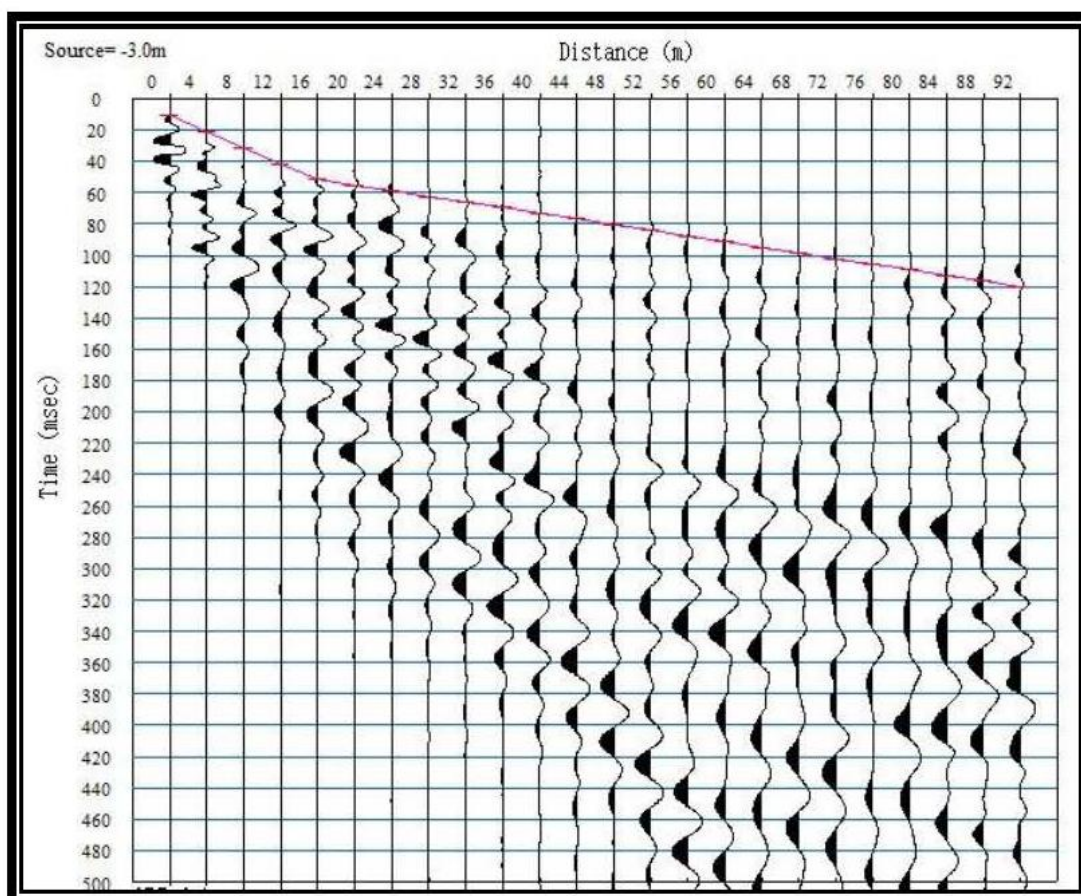




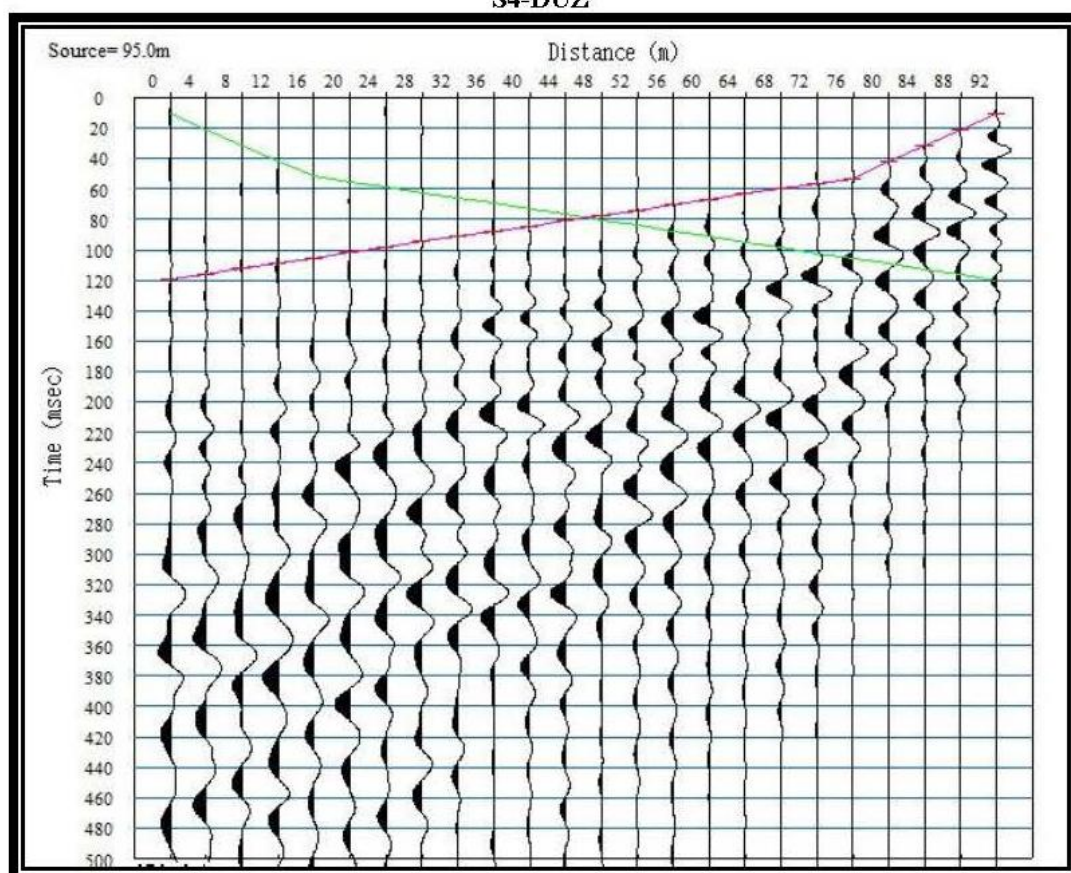
P4-GRAFİK



P4-KESİT

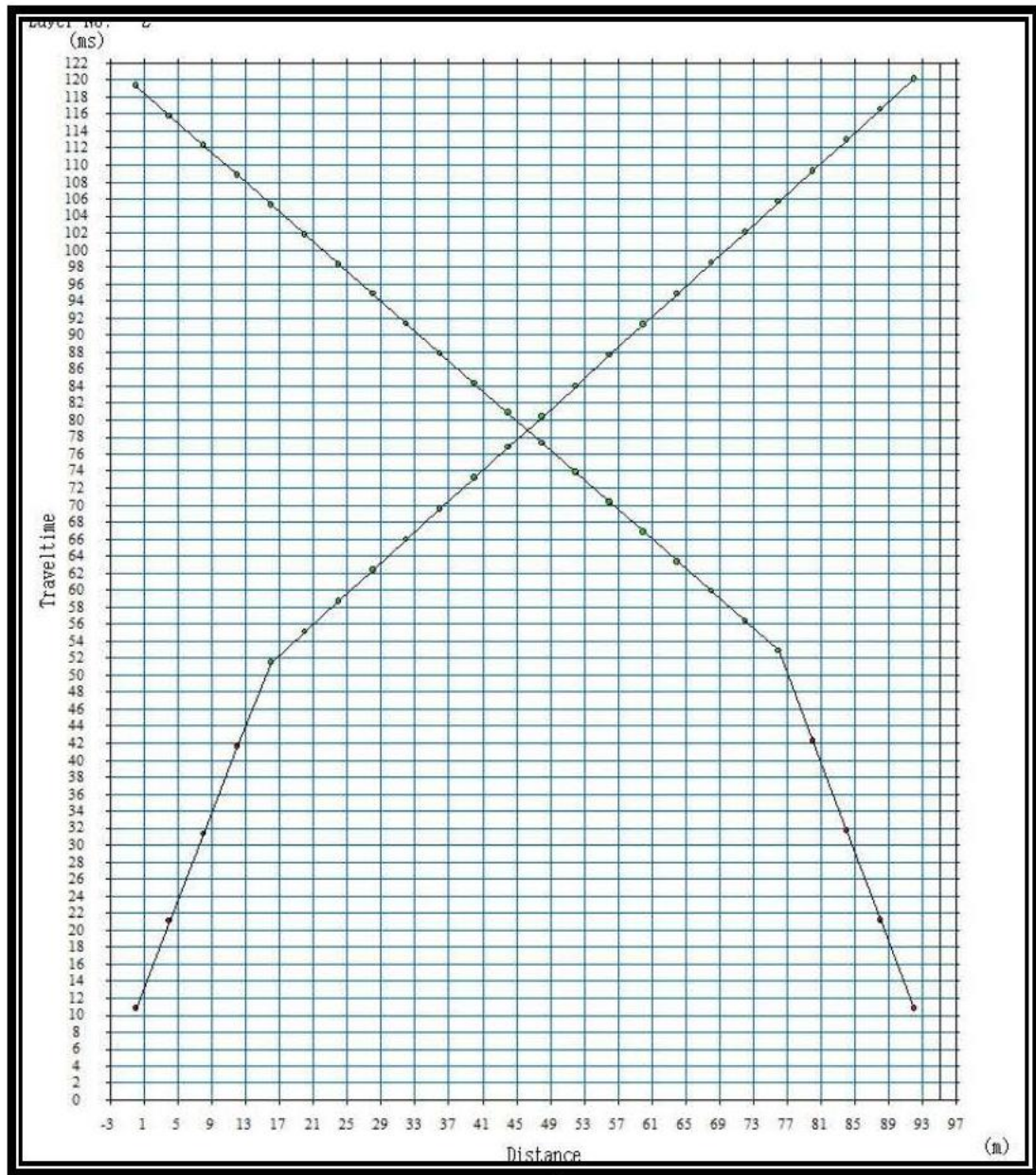


S4-DÜZ

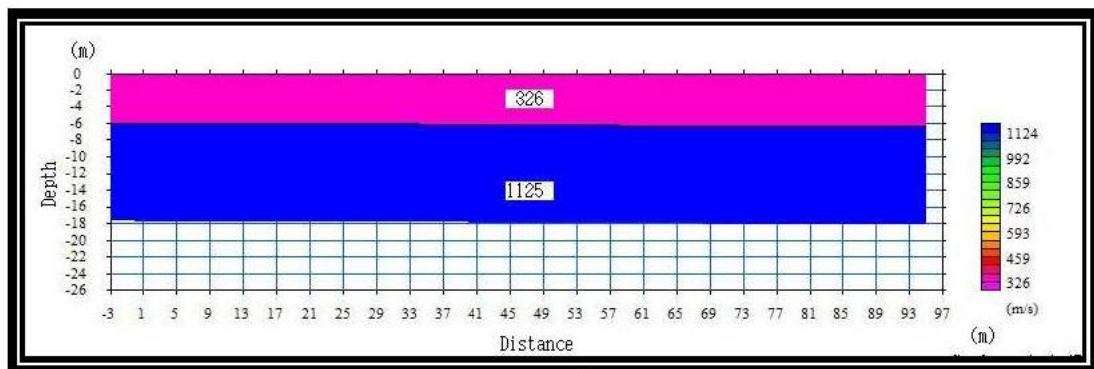


S4-TERS

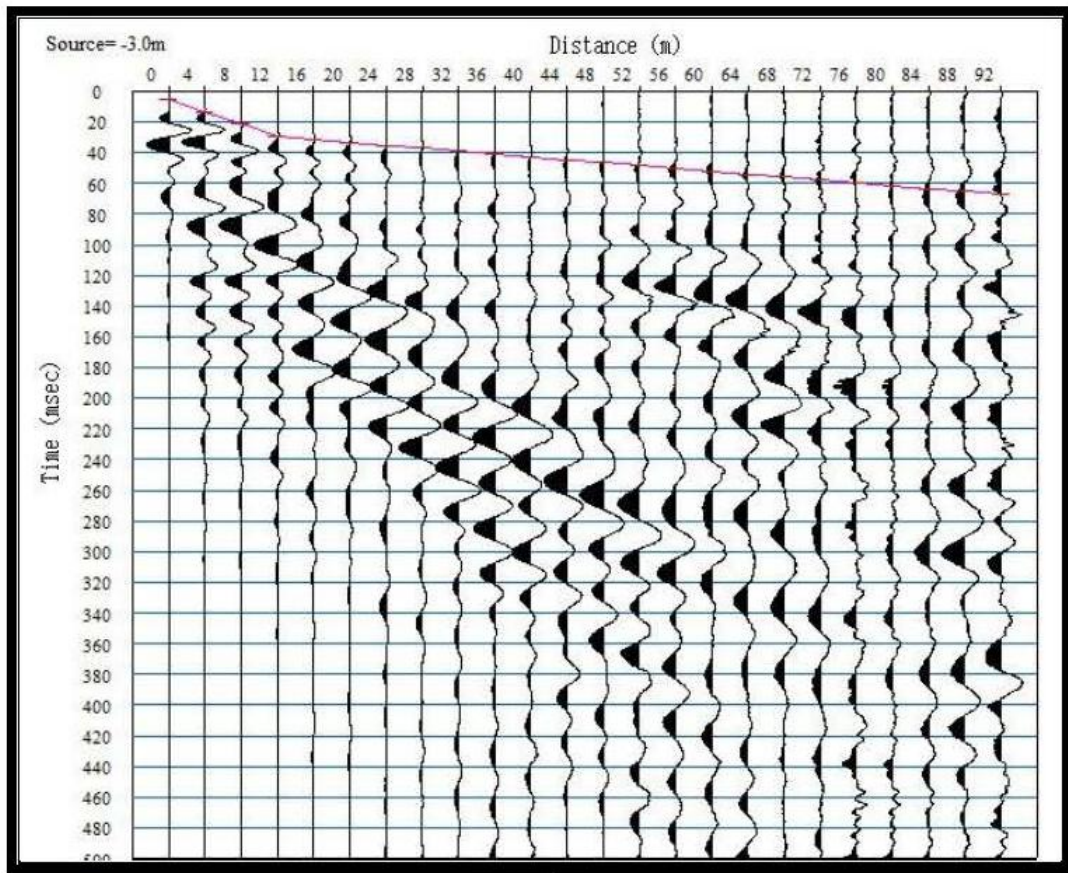




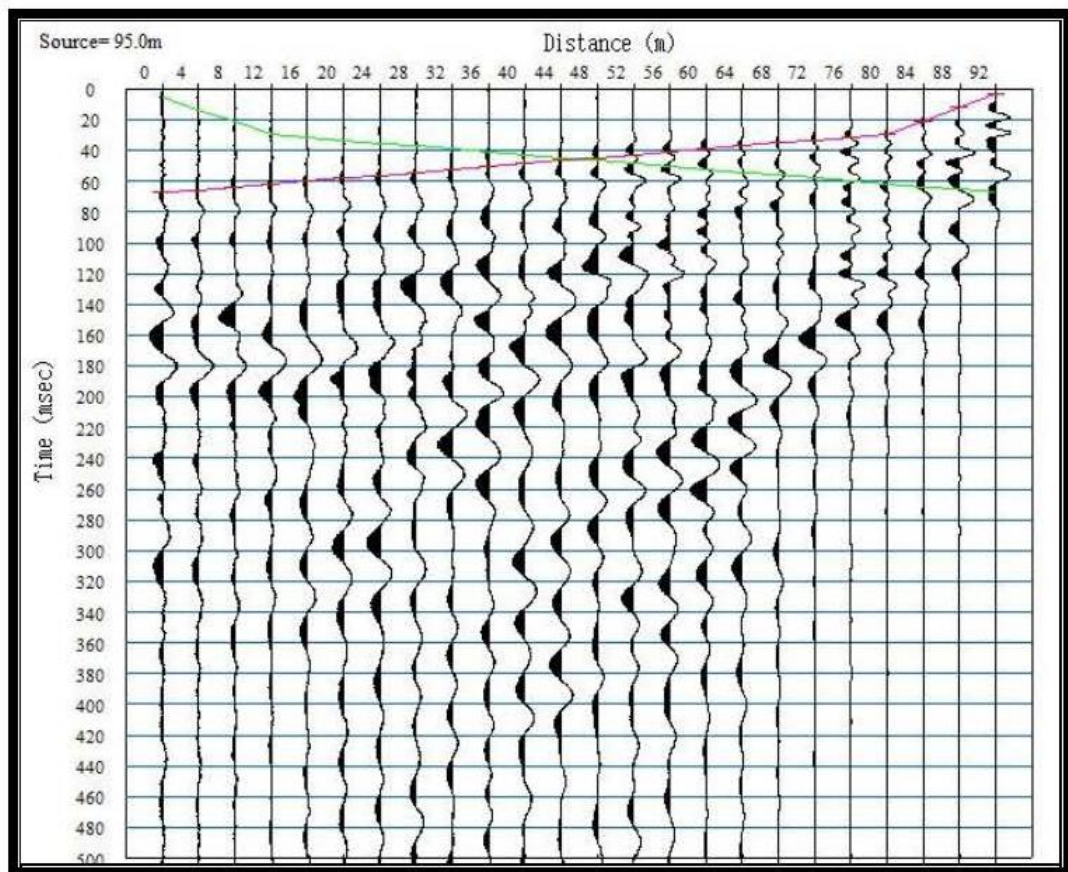
**S4-GRAFIK**



**S4-KESİT**

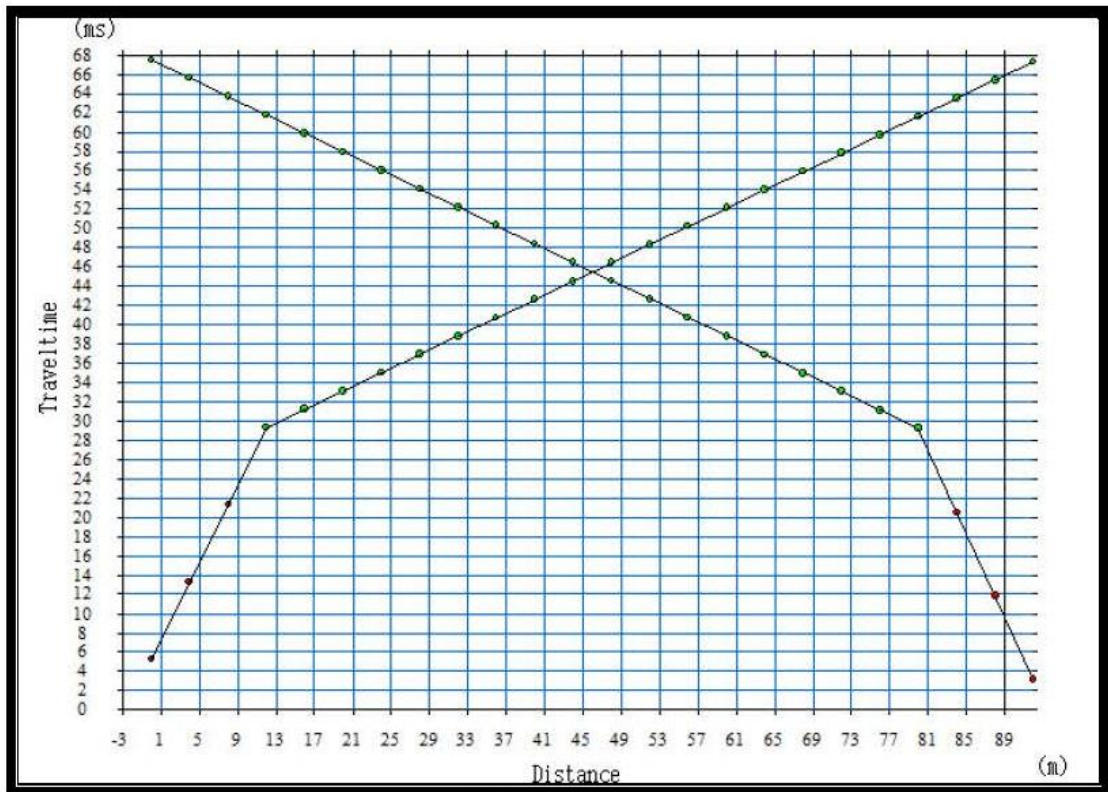


P5-DÜZ

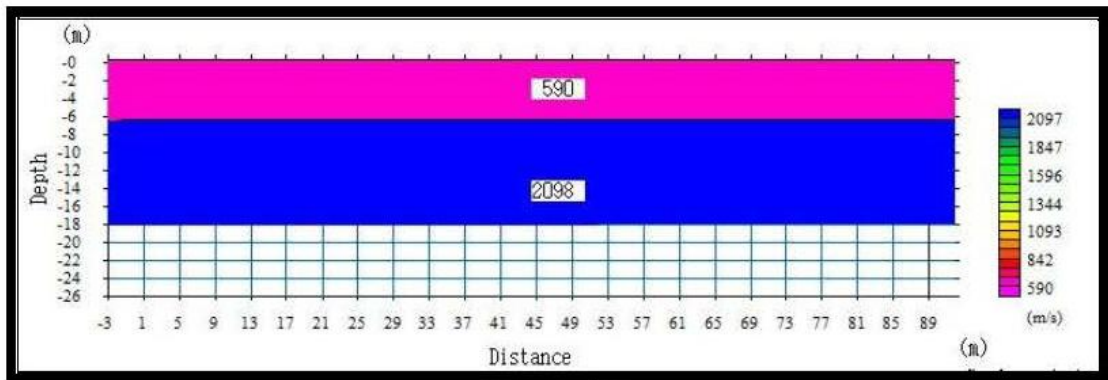


P5-TERS

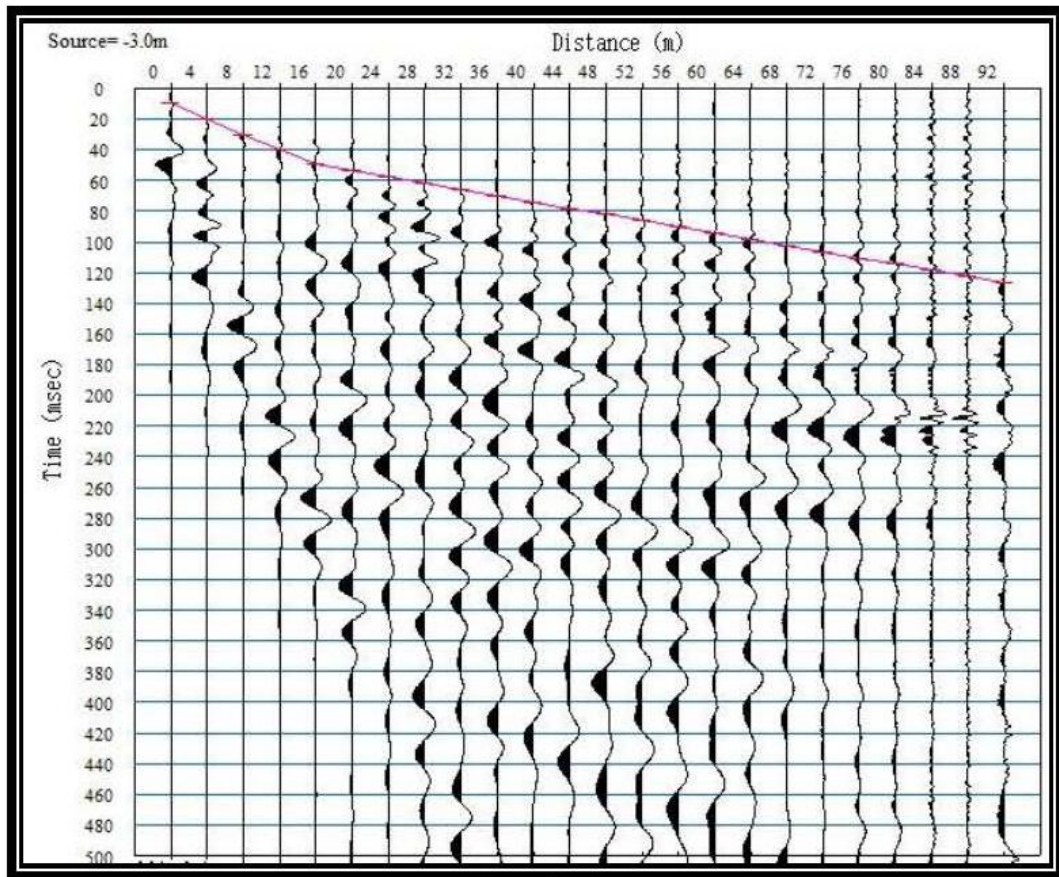




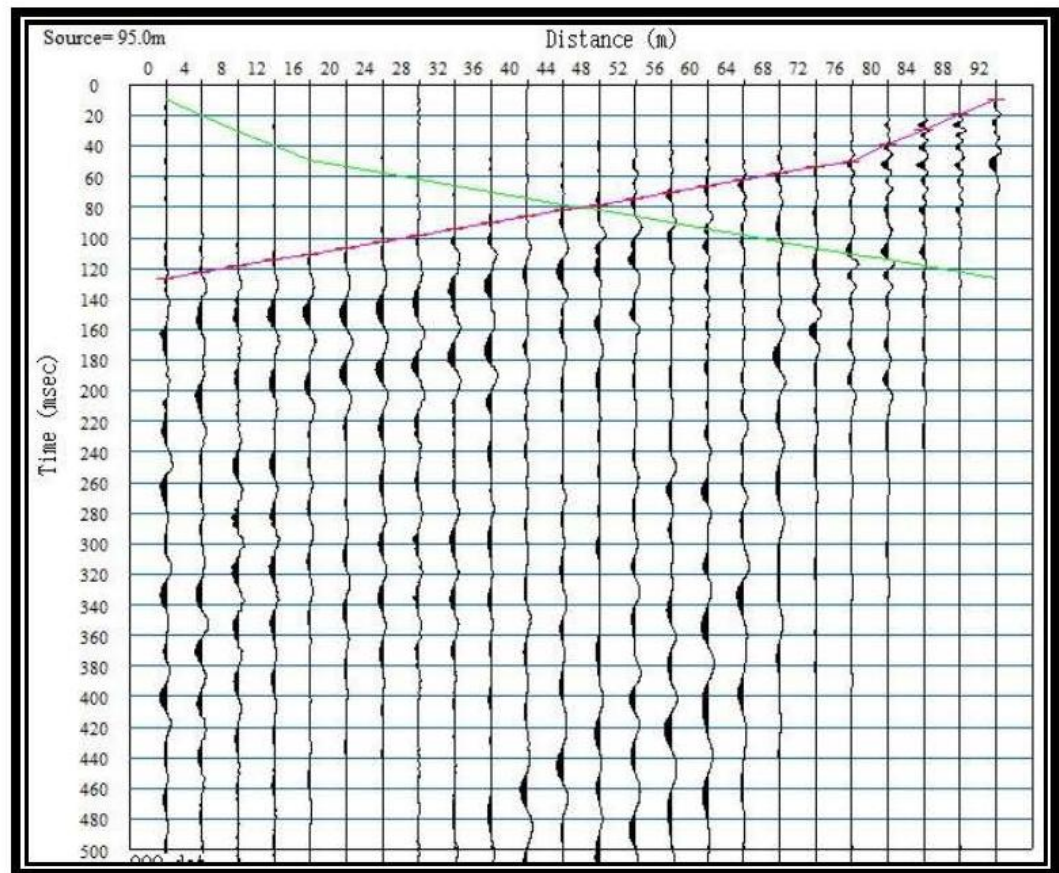
P5-GRAFIK



P5-KESİT

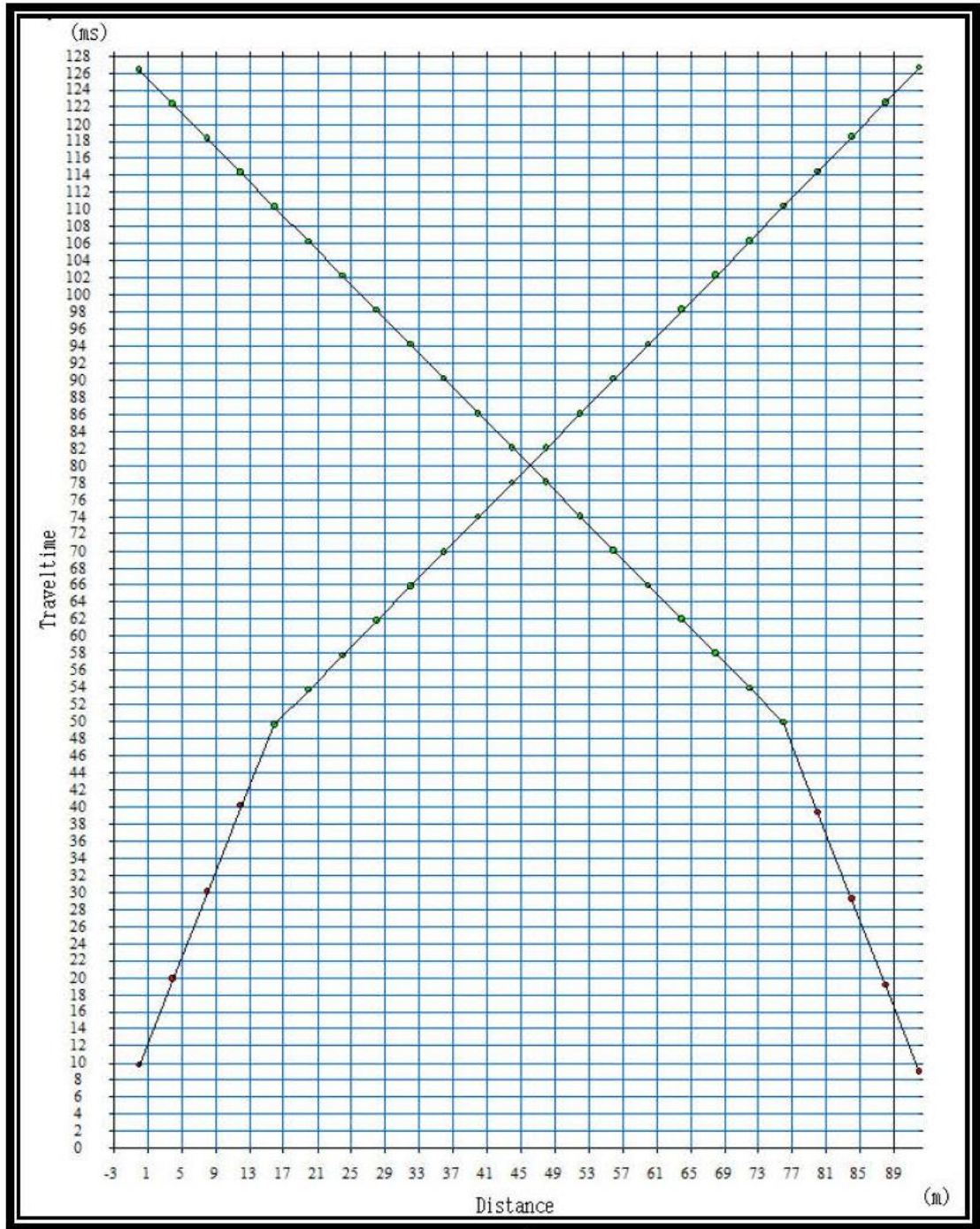


S5-DÜZ

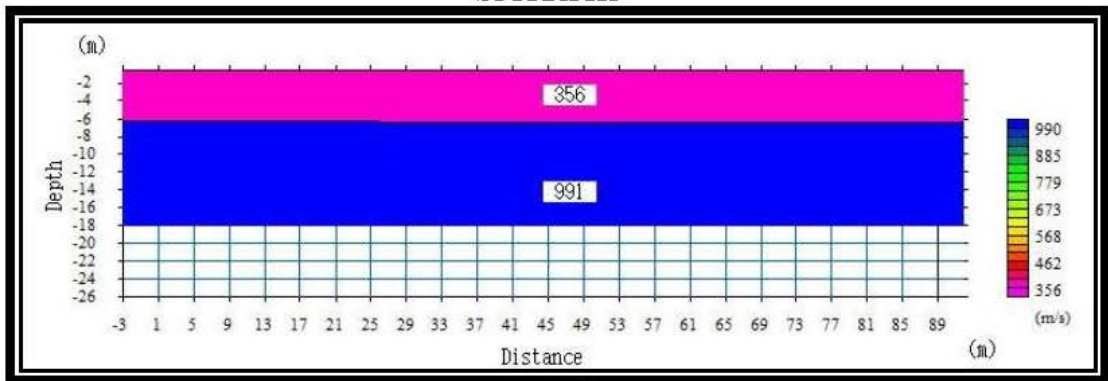


S5-TERS

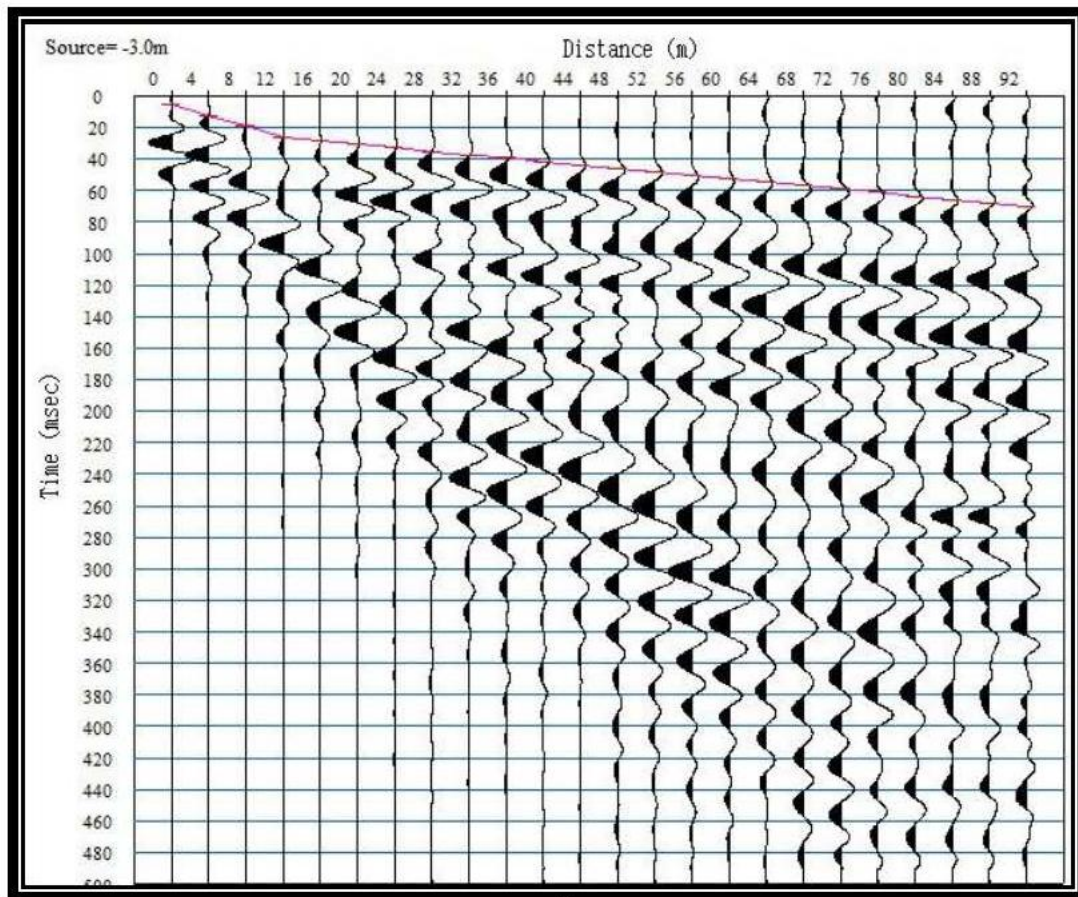




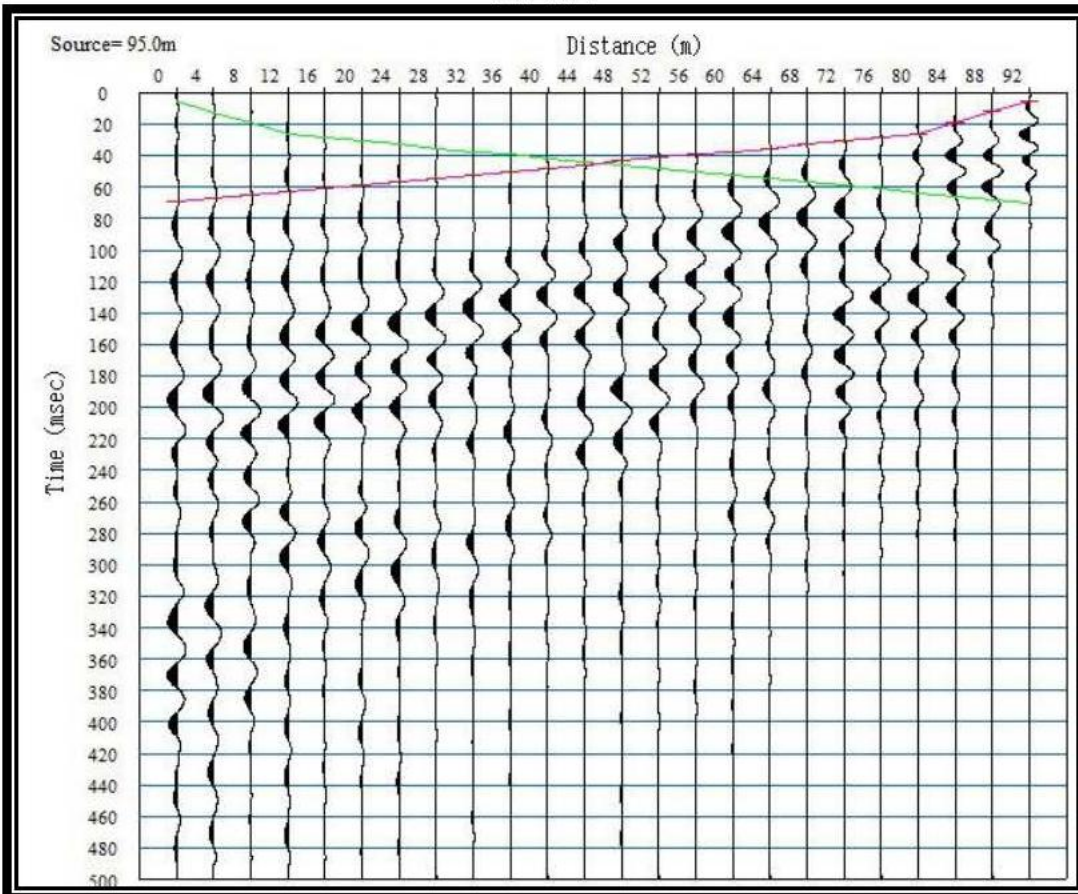
S5GRAFIK



S5-KESİT

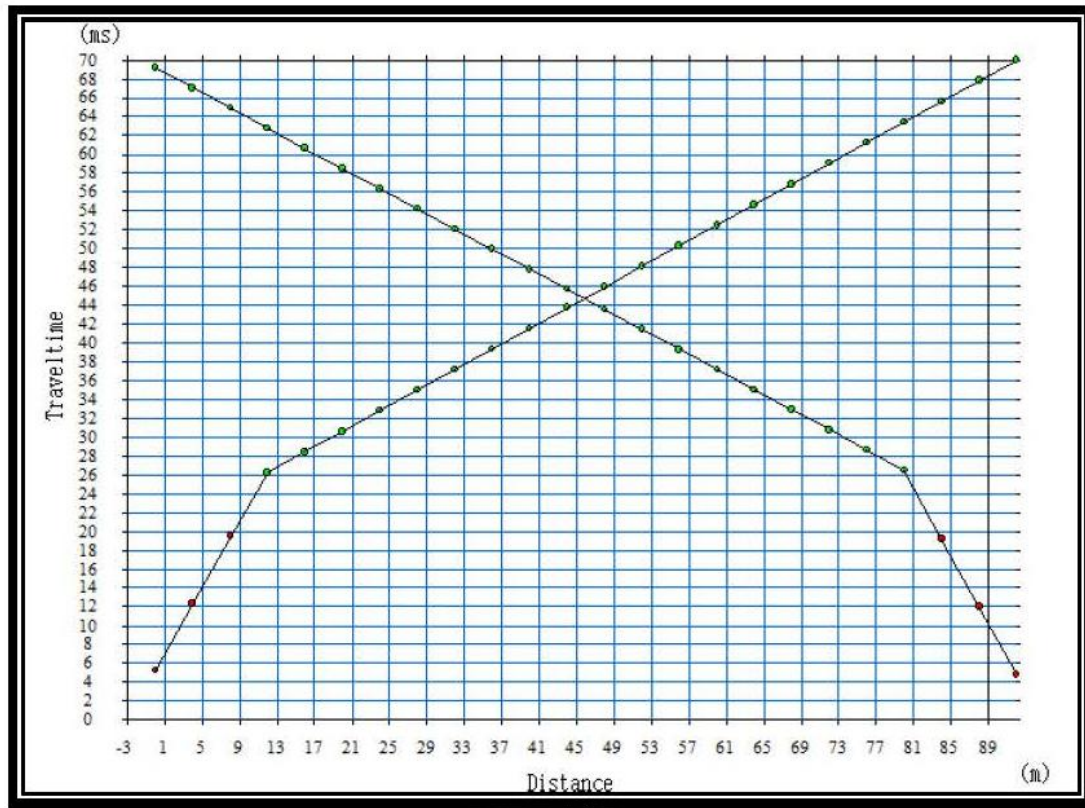


P6-DÜZ

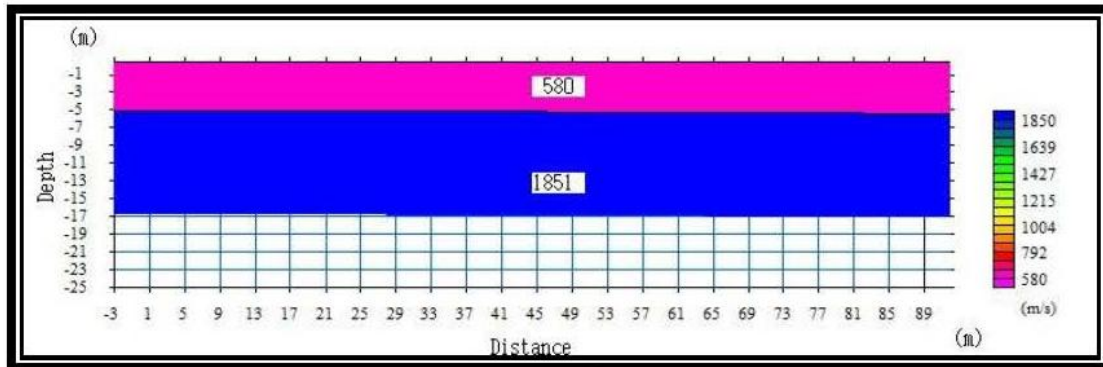


P6-TERS

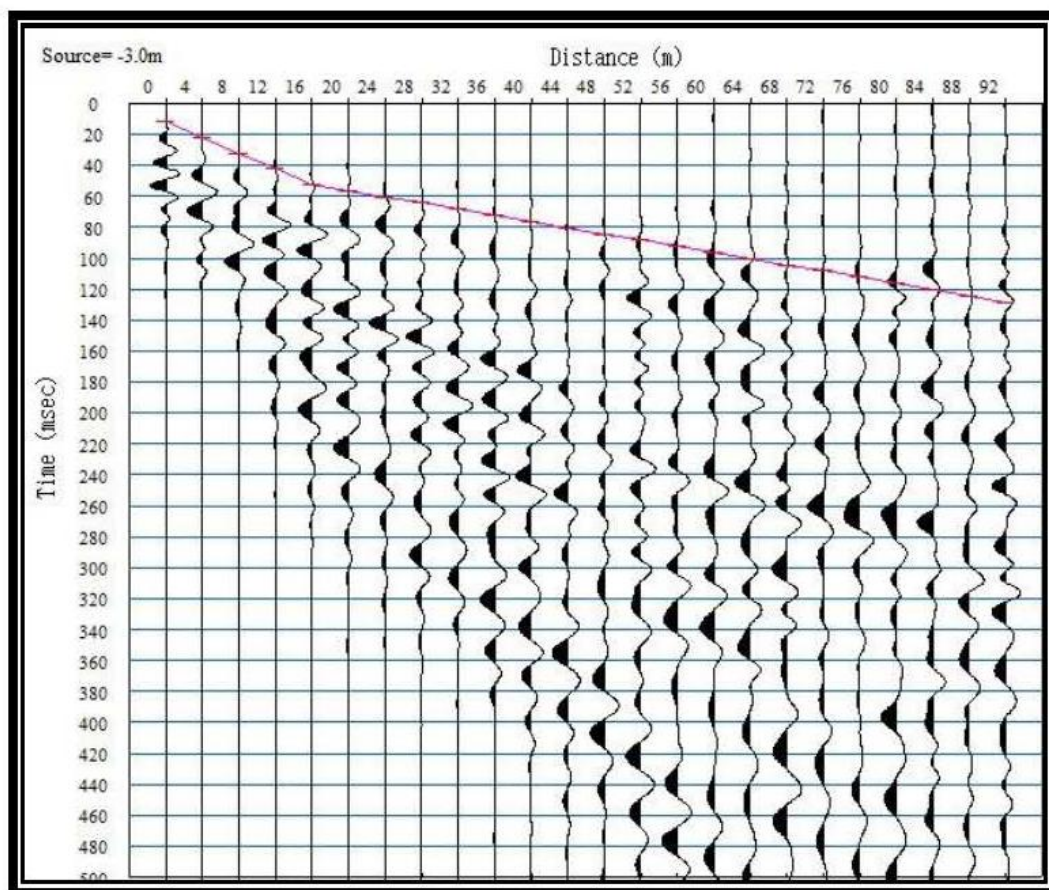




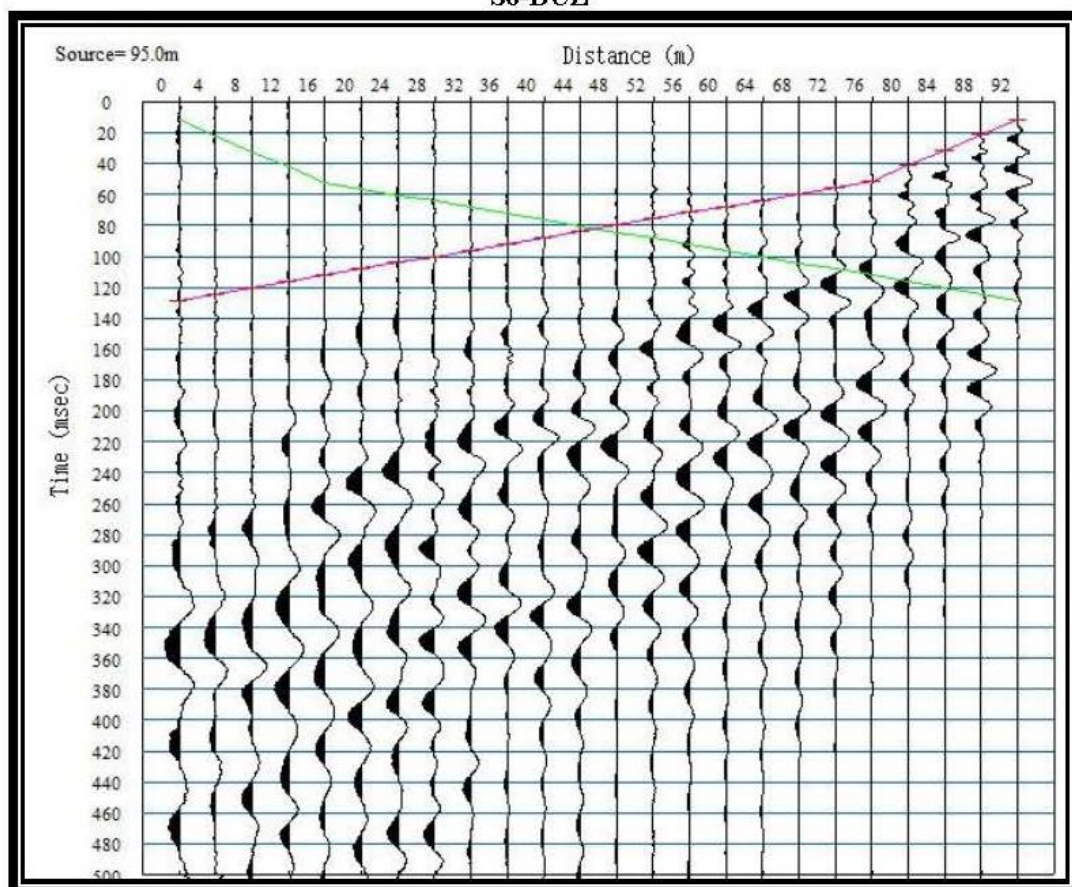
P6-GRAFIK



P6-KESİT

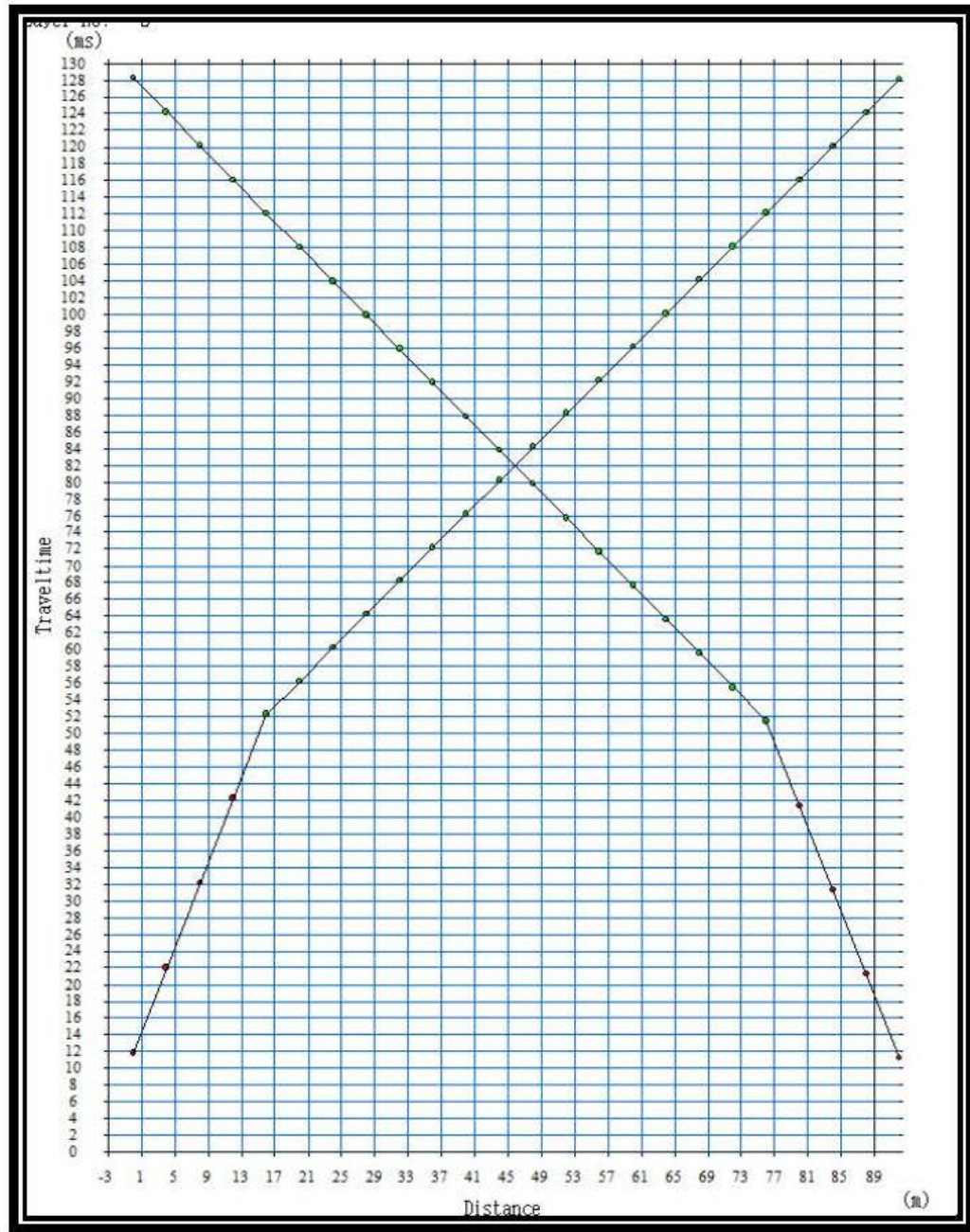


S6-DÜZ

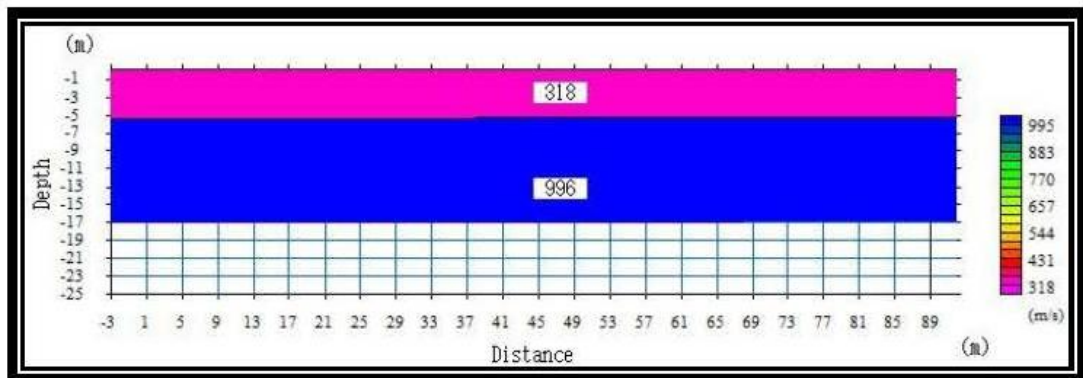


S6-TERS

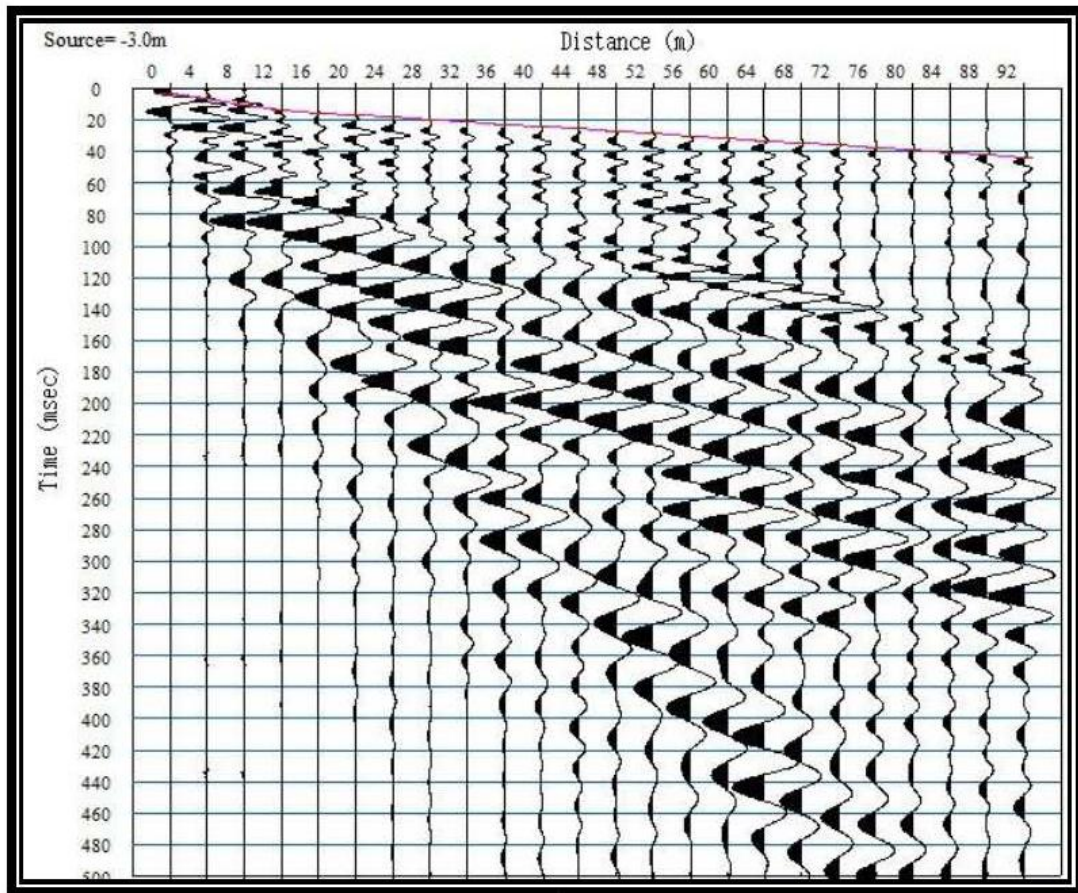




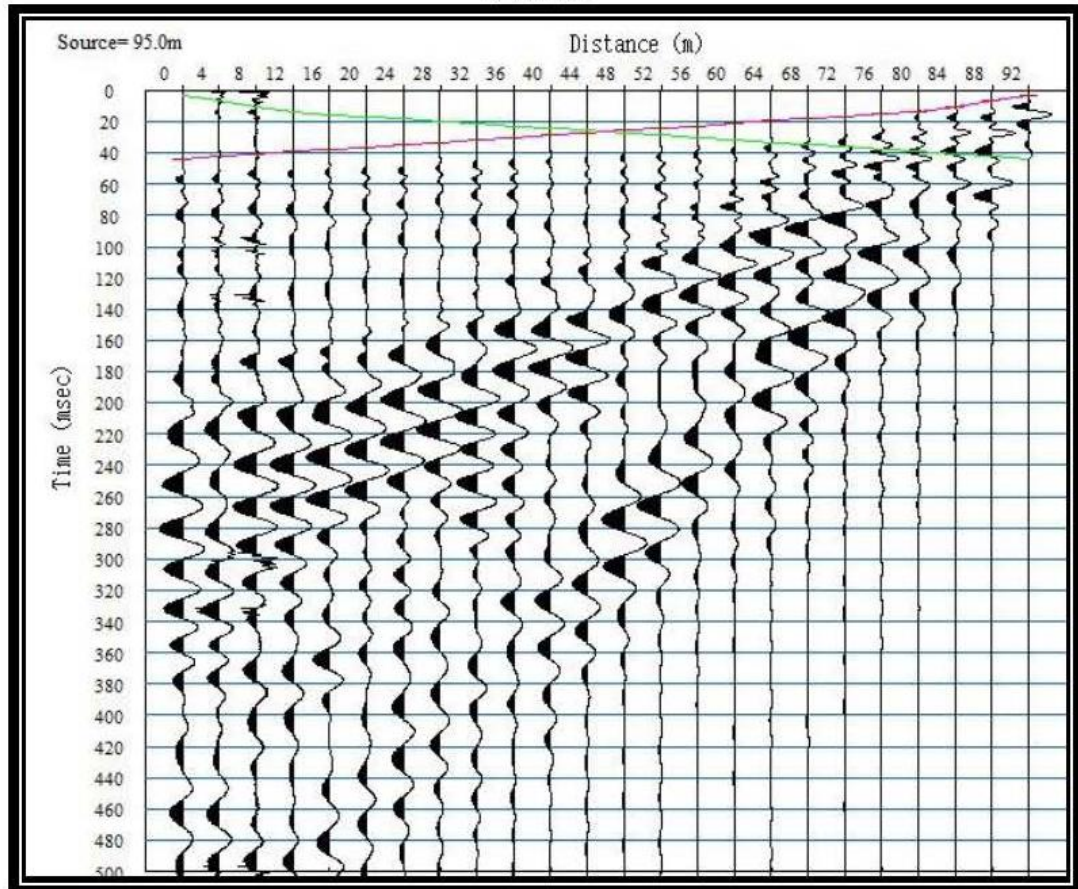
S6-GRAFIK



S6-KESİT

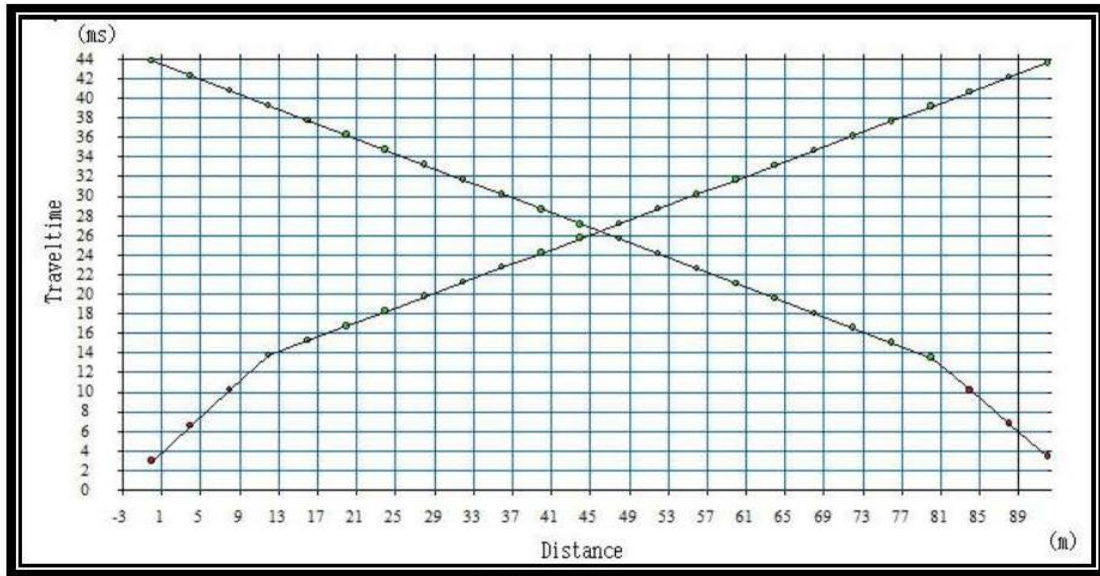


P7-DÜZ

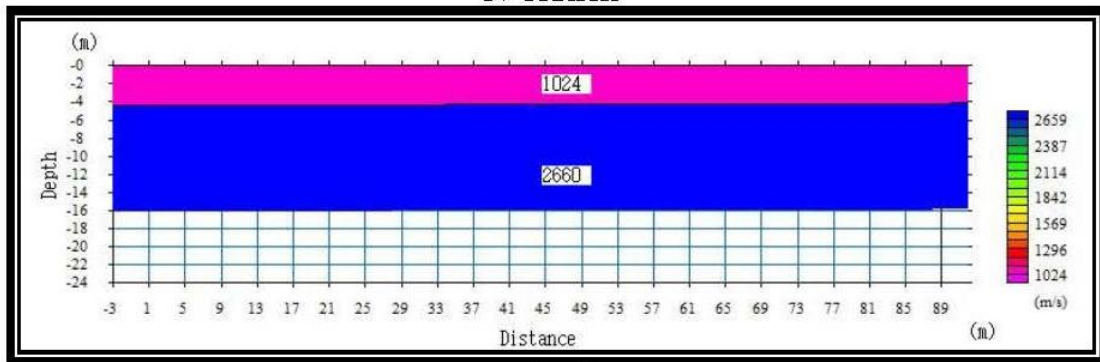


P7-TERS



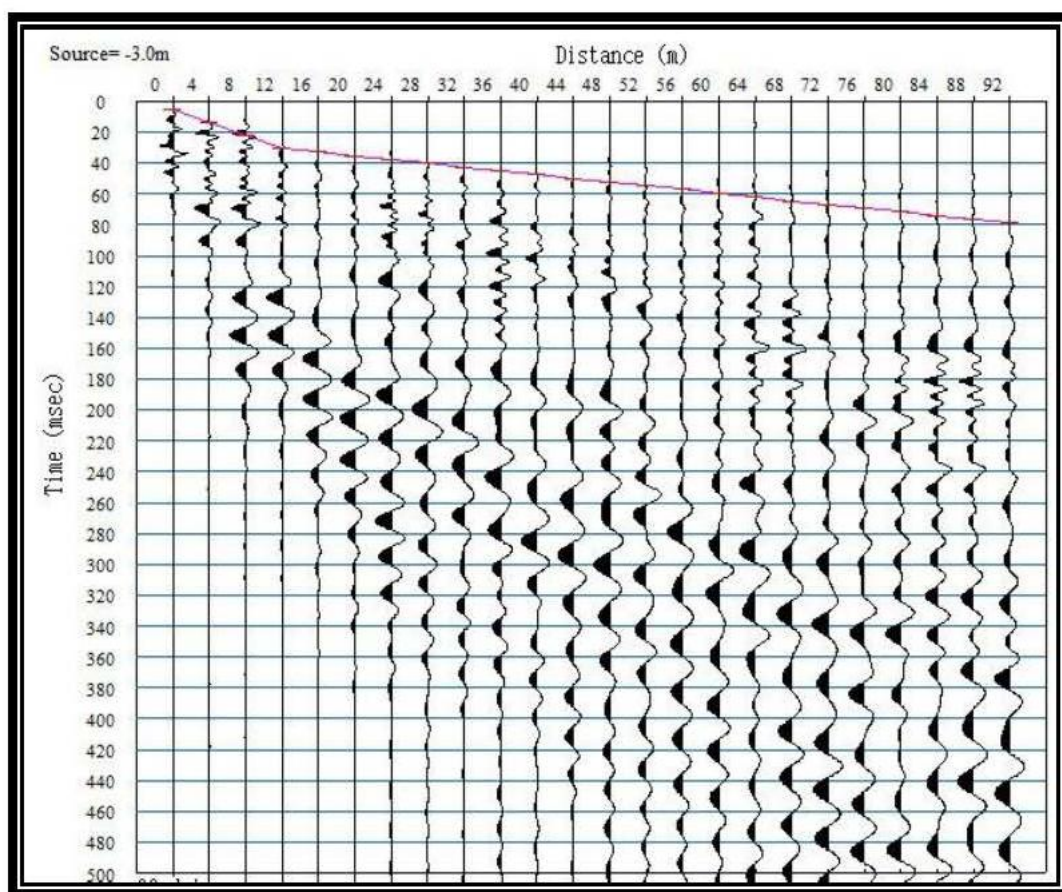


P7-GRAFIK

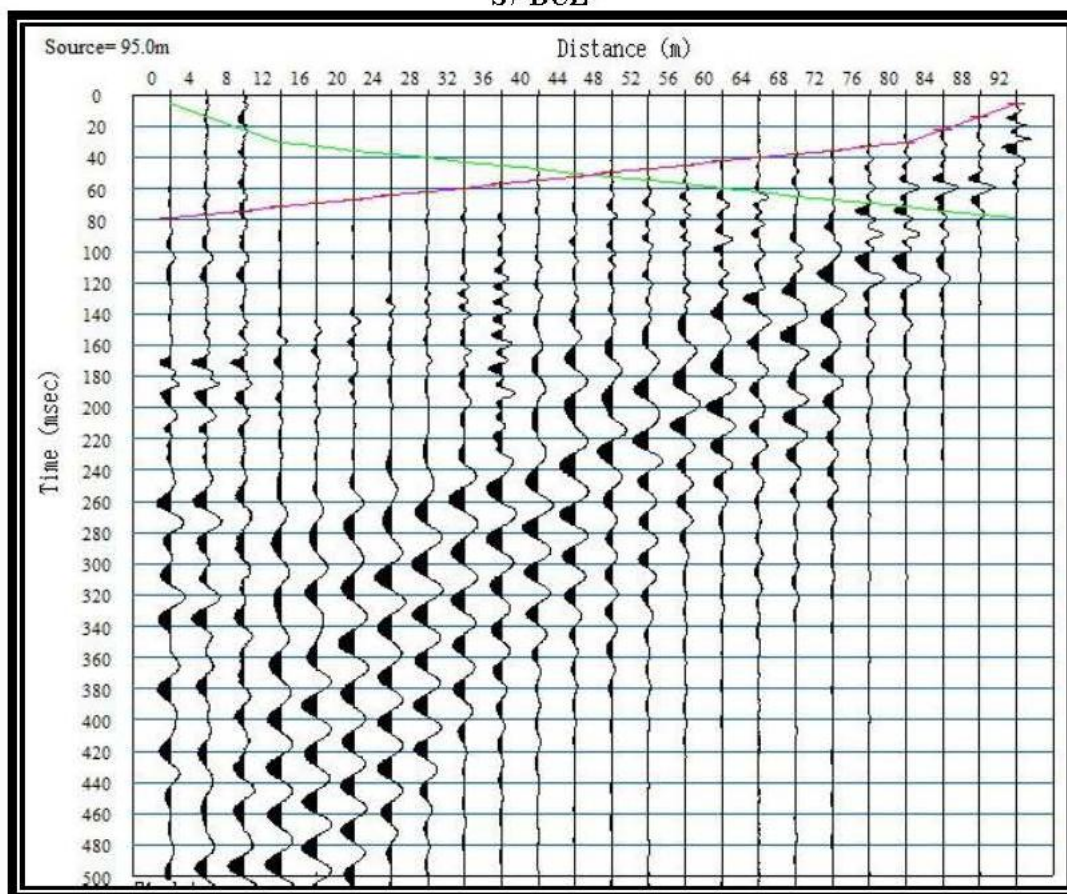


P7-KESİT

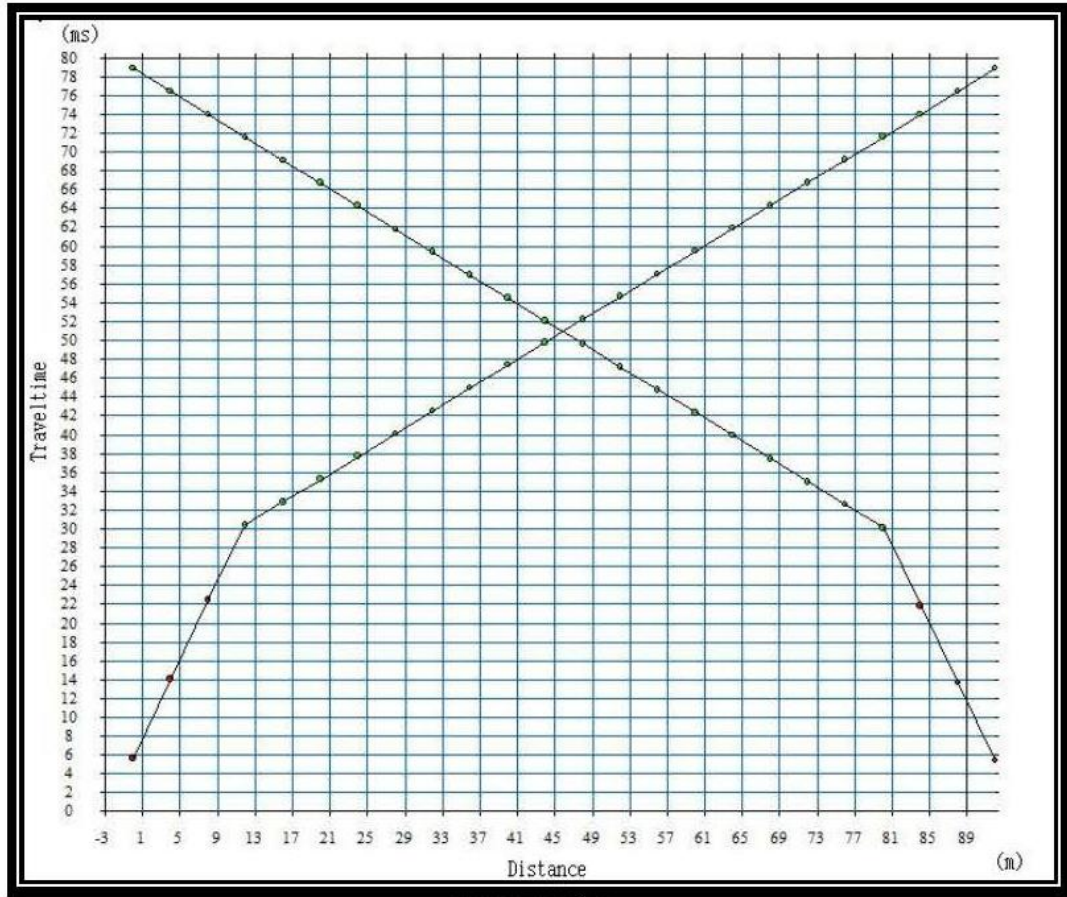




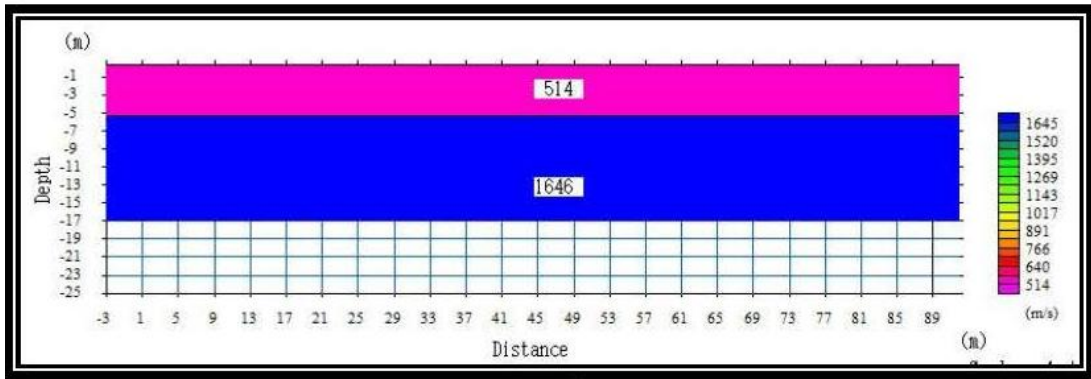
S7-DÜZ



S7-TERS

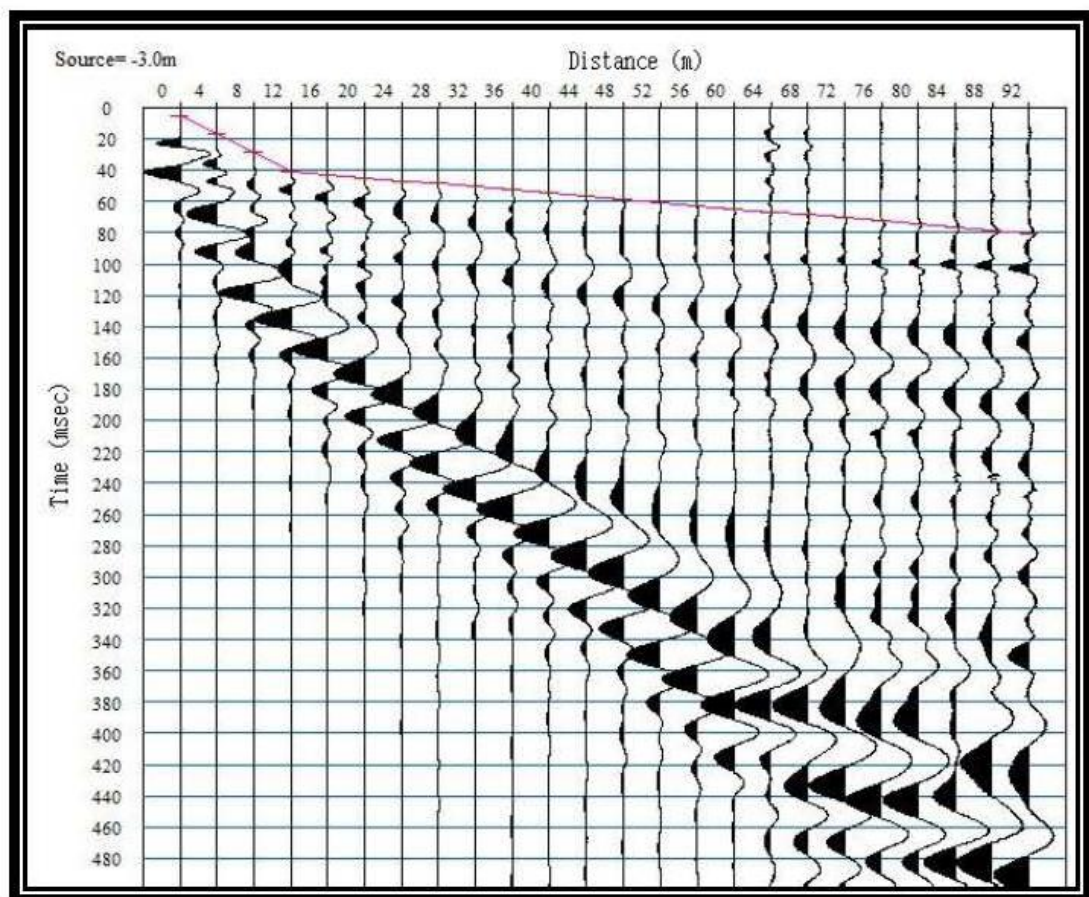


**S7-GRAFIK**

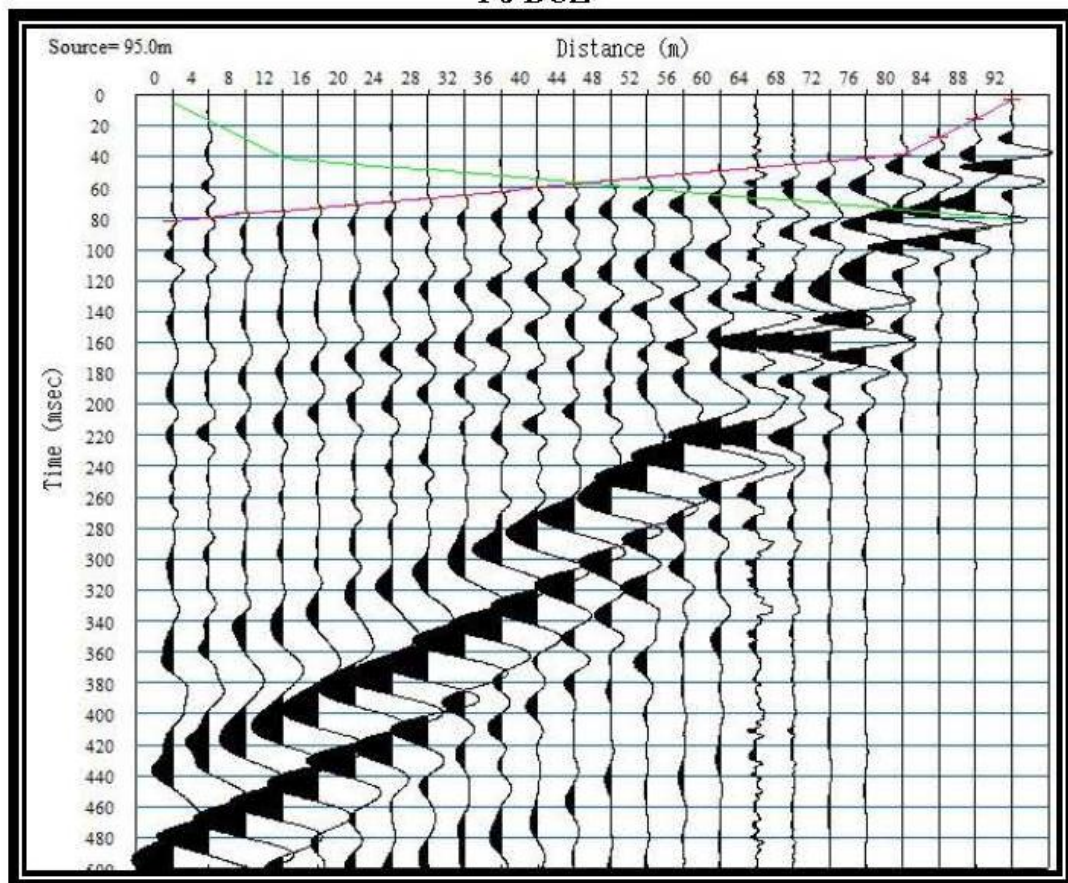


**S7-KESİT**

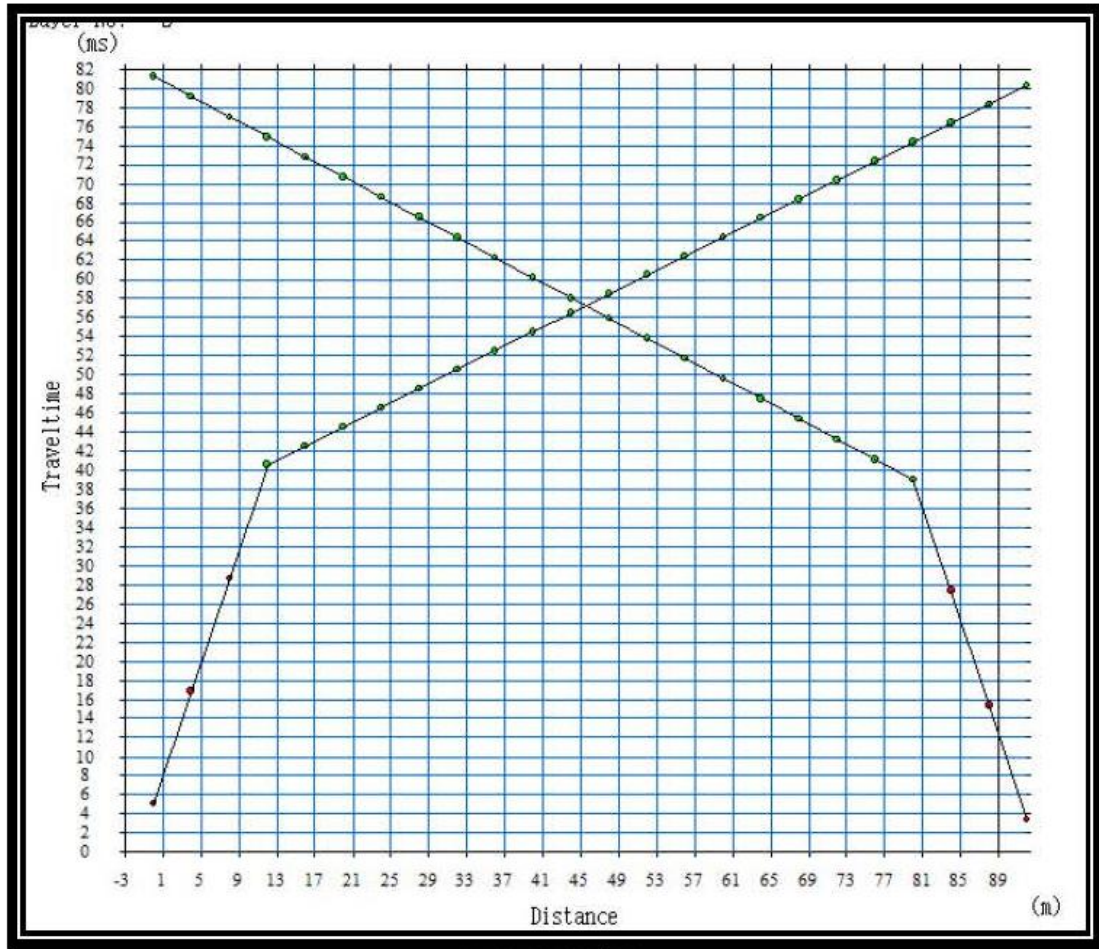




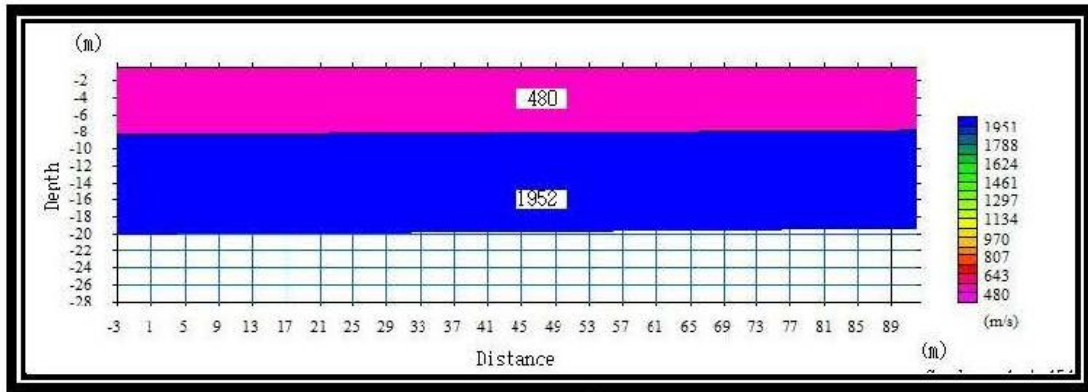
P8-DÜZ



P8-TERS

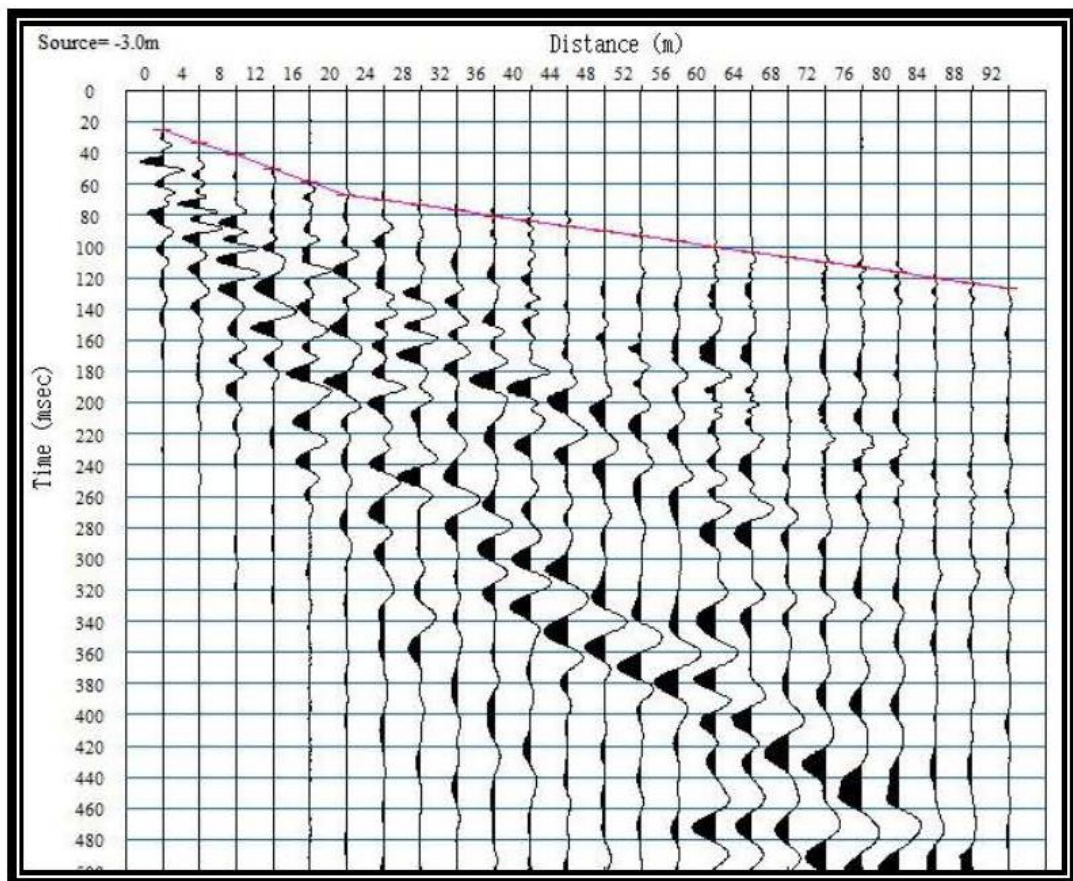


P8-GRAFIK

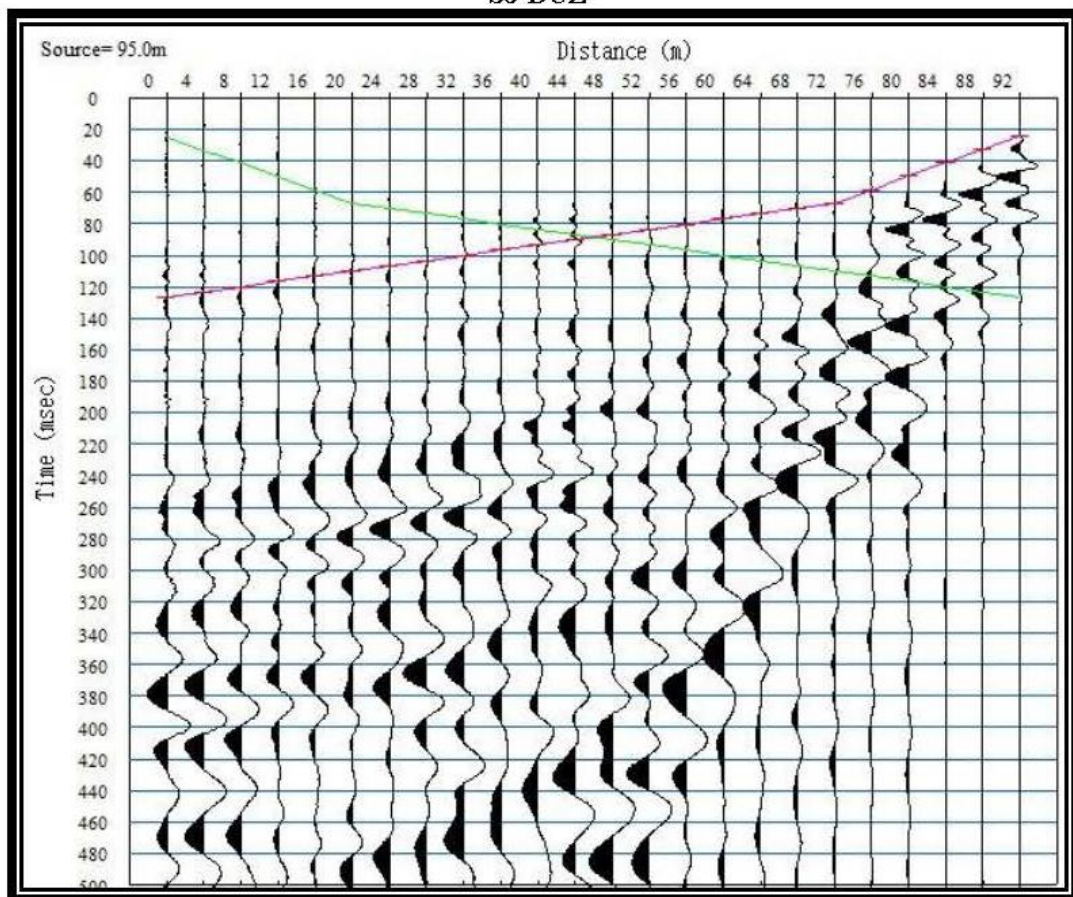


P8-KESİT

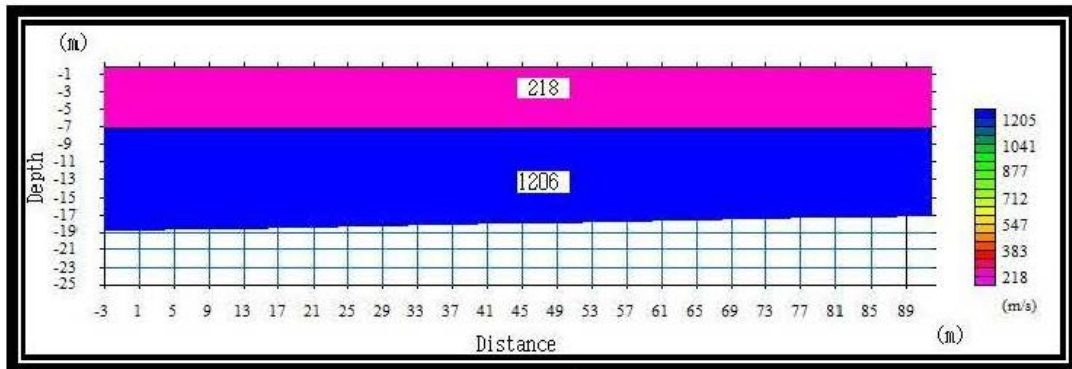
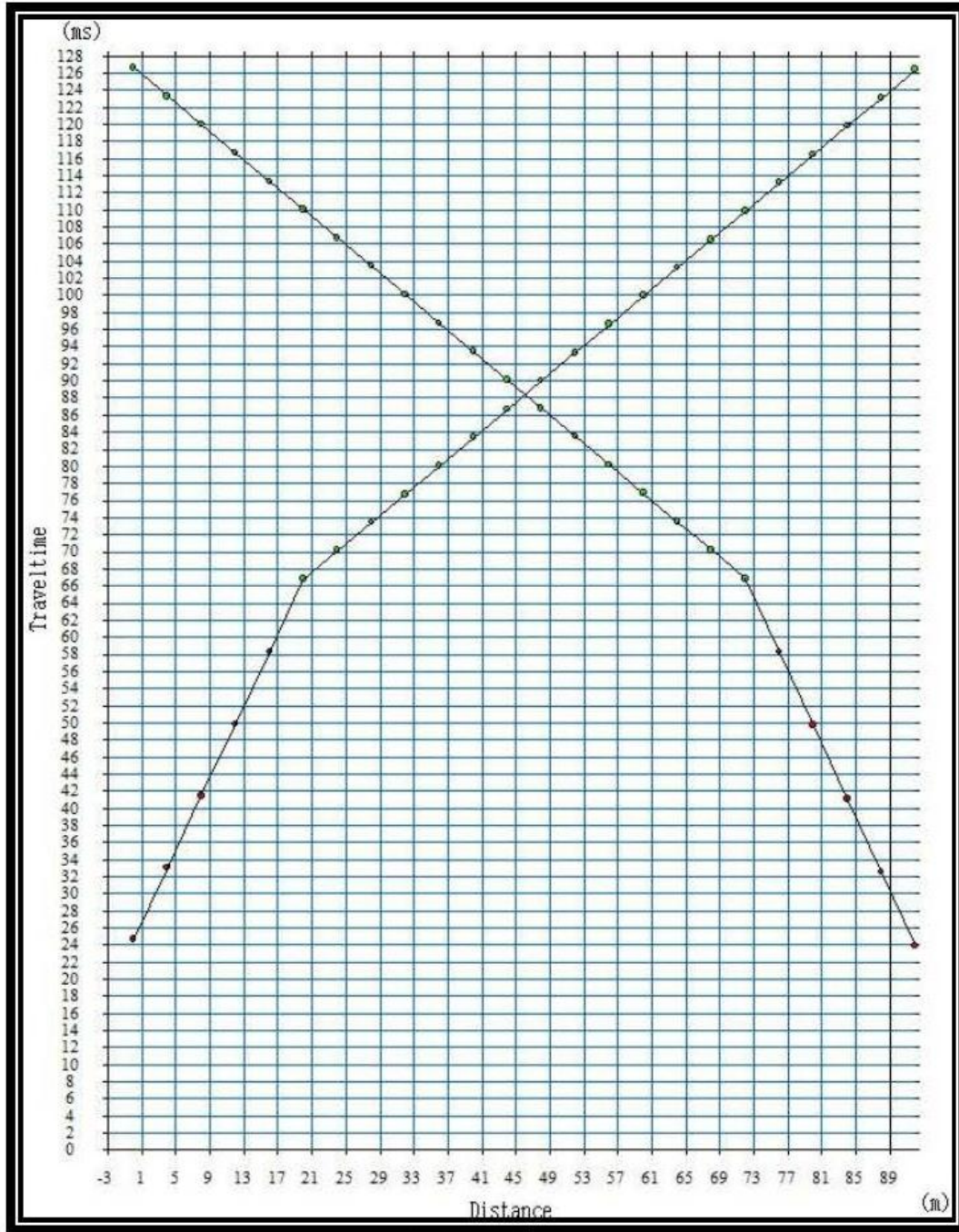




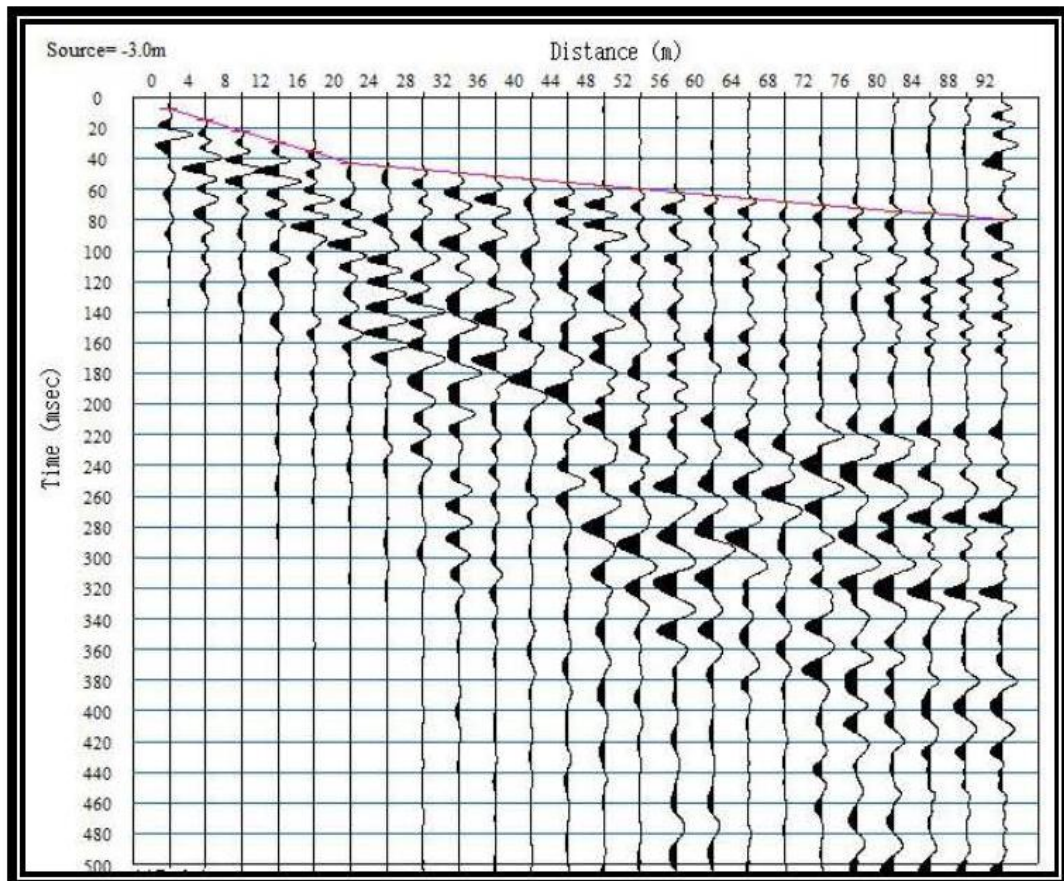
S8-DÜZ



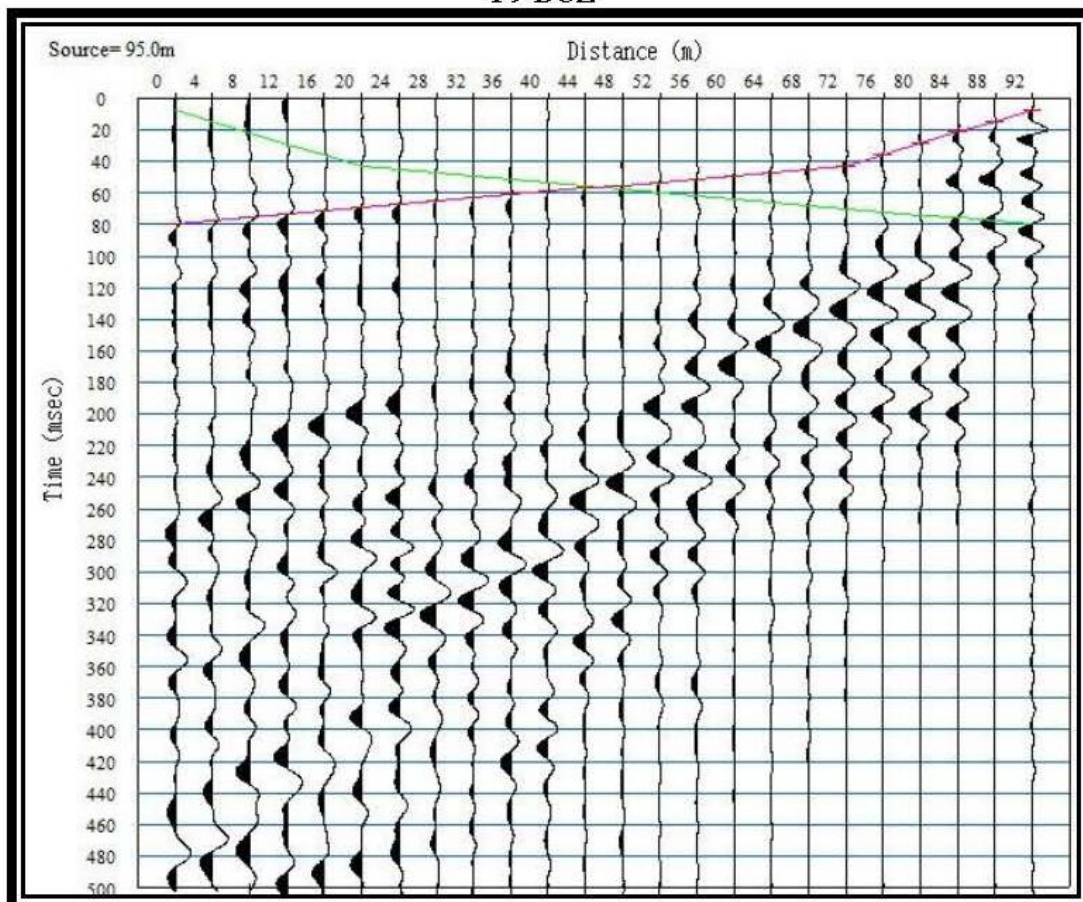
S8-TERS





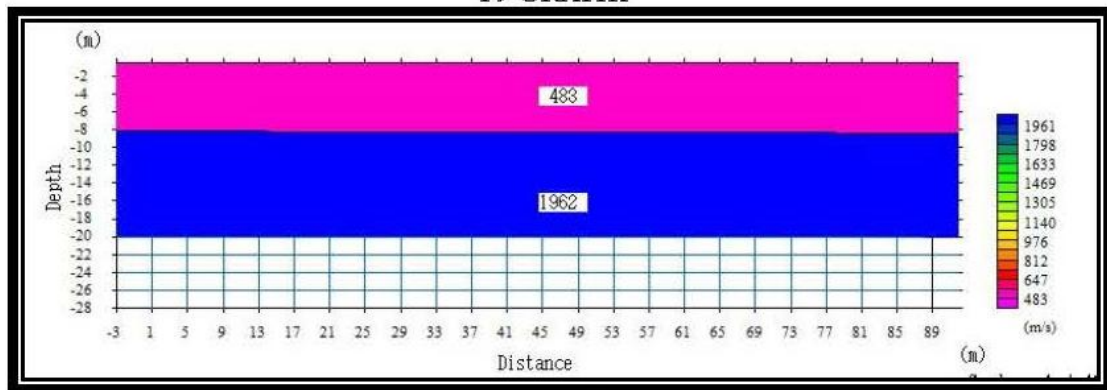
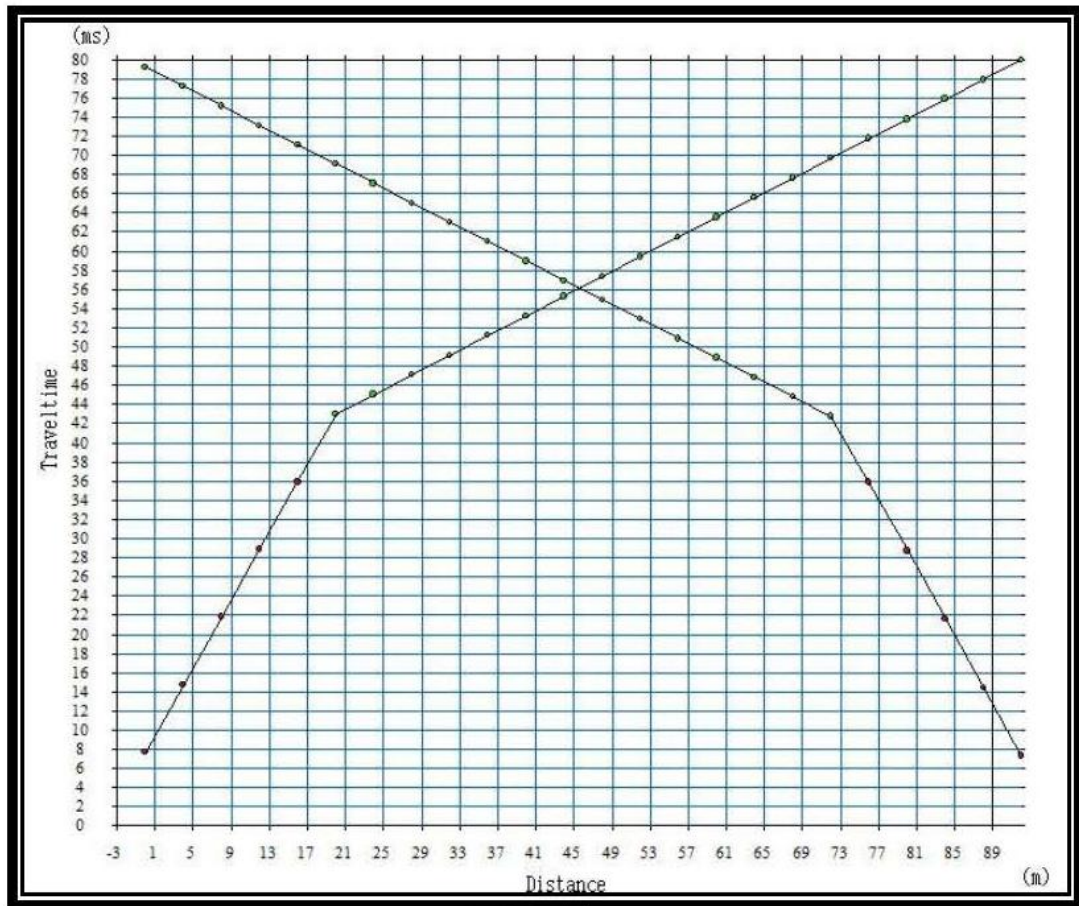


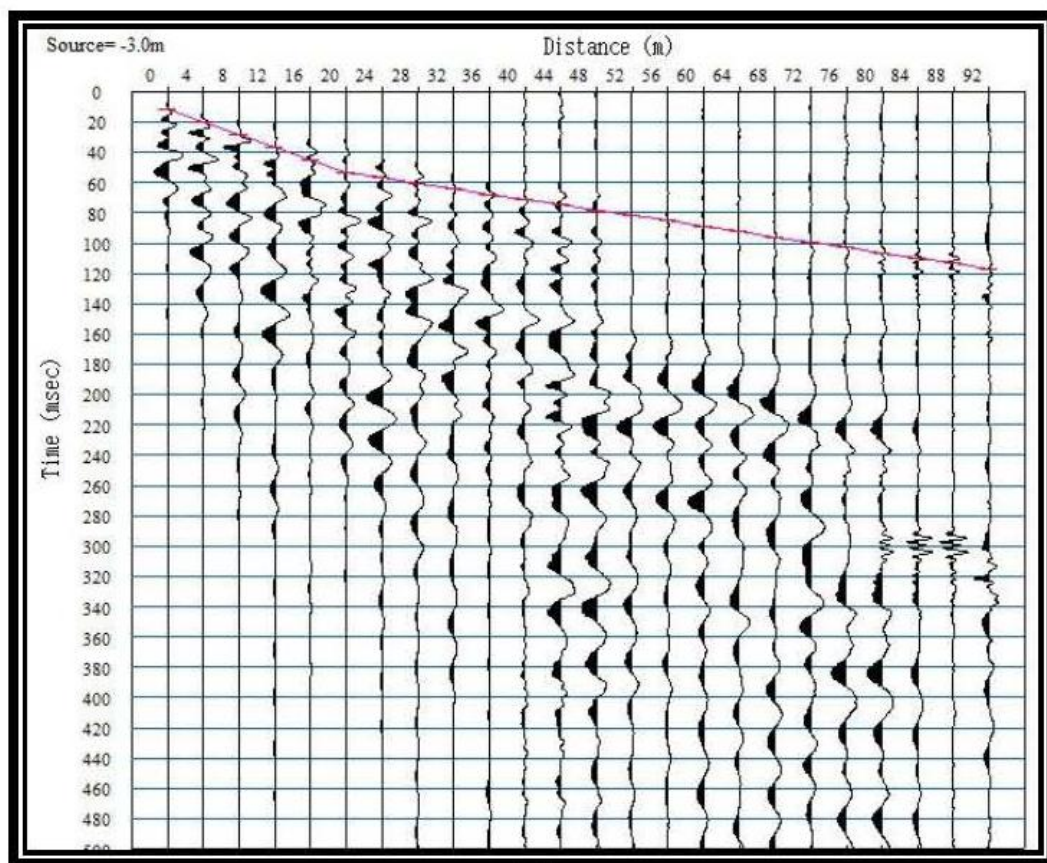
P9-DÜZ



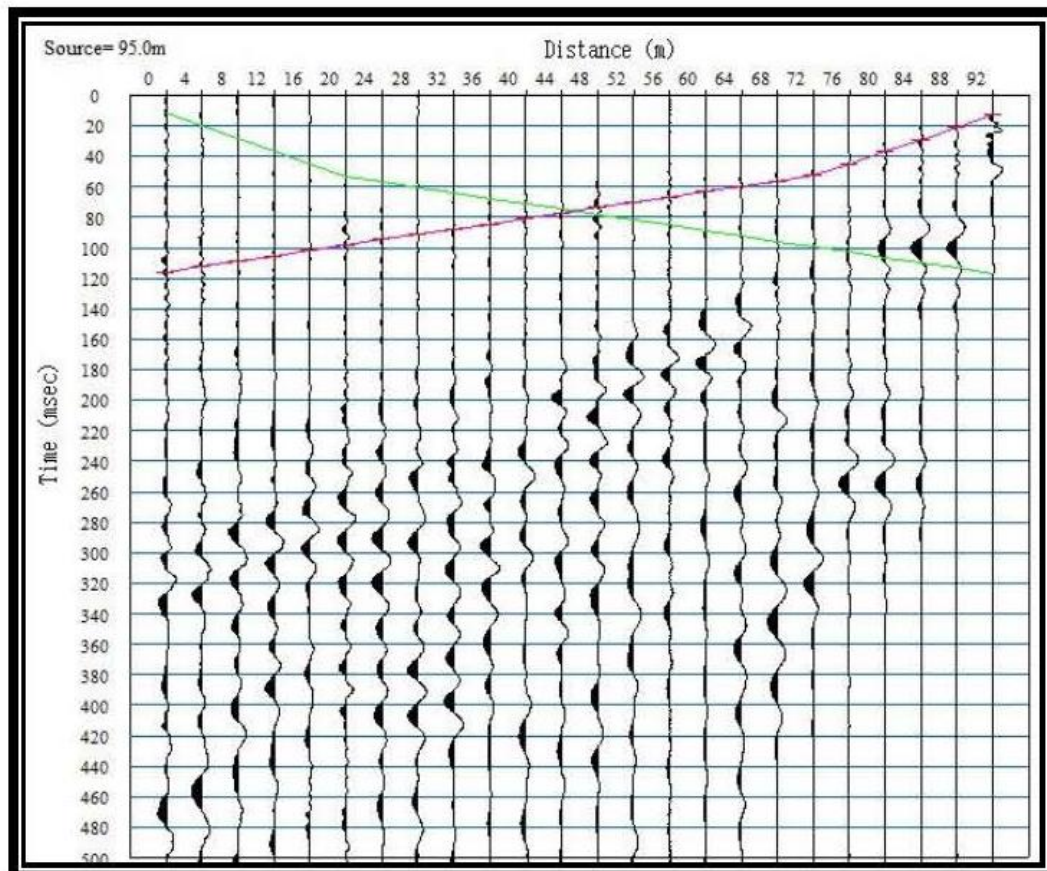
P9-TERS





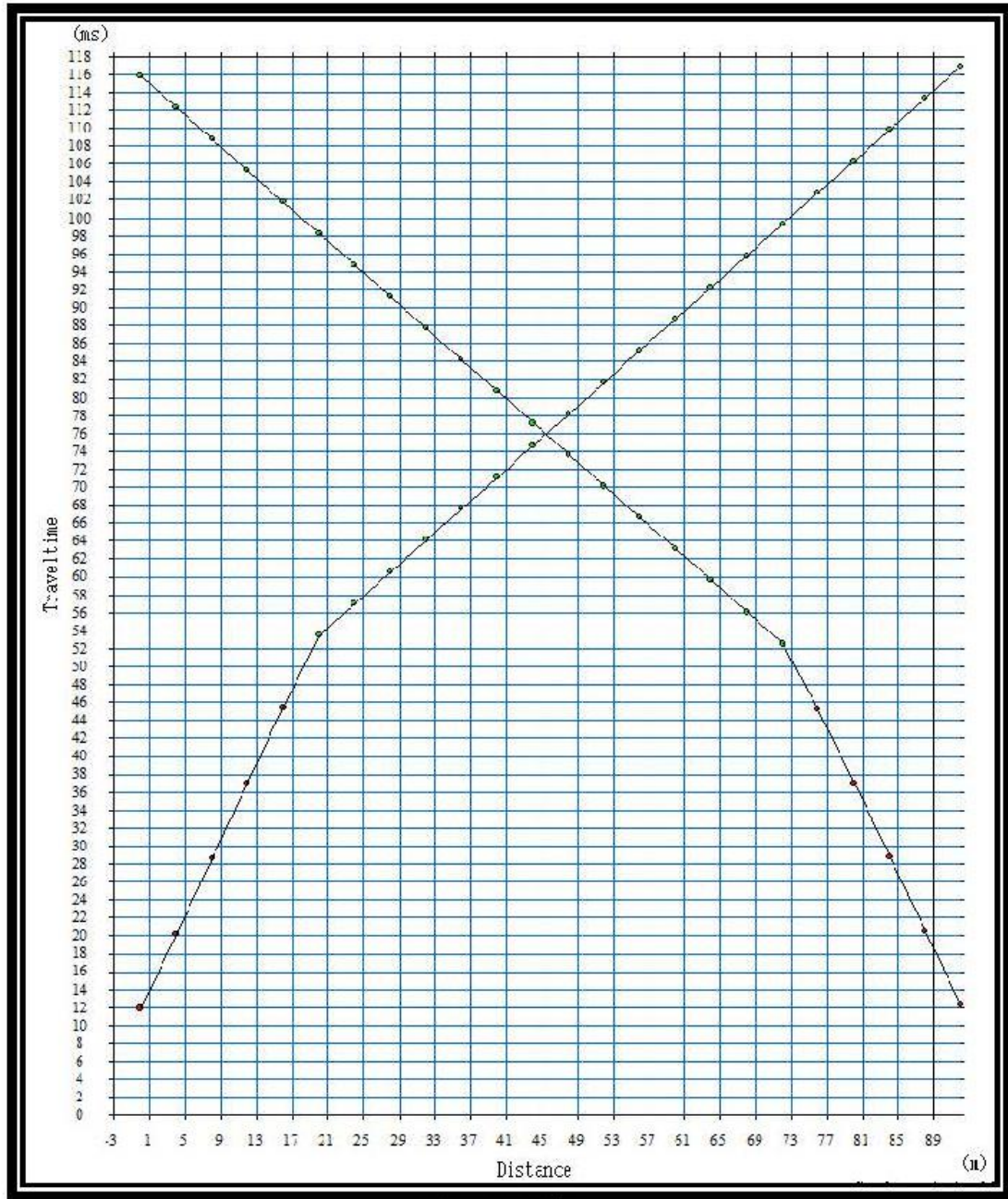


S9-DÜZ

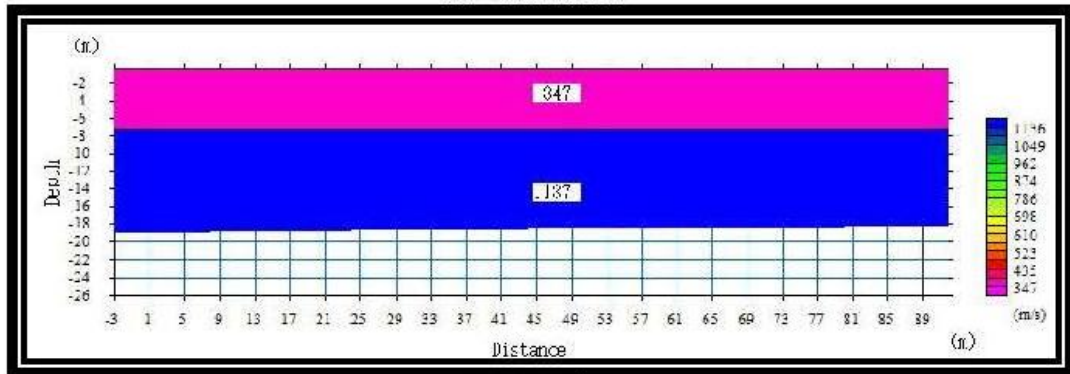


S9-TERS

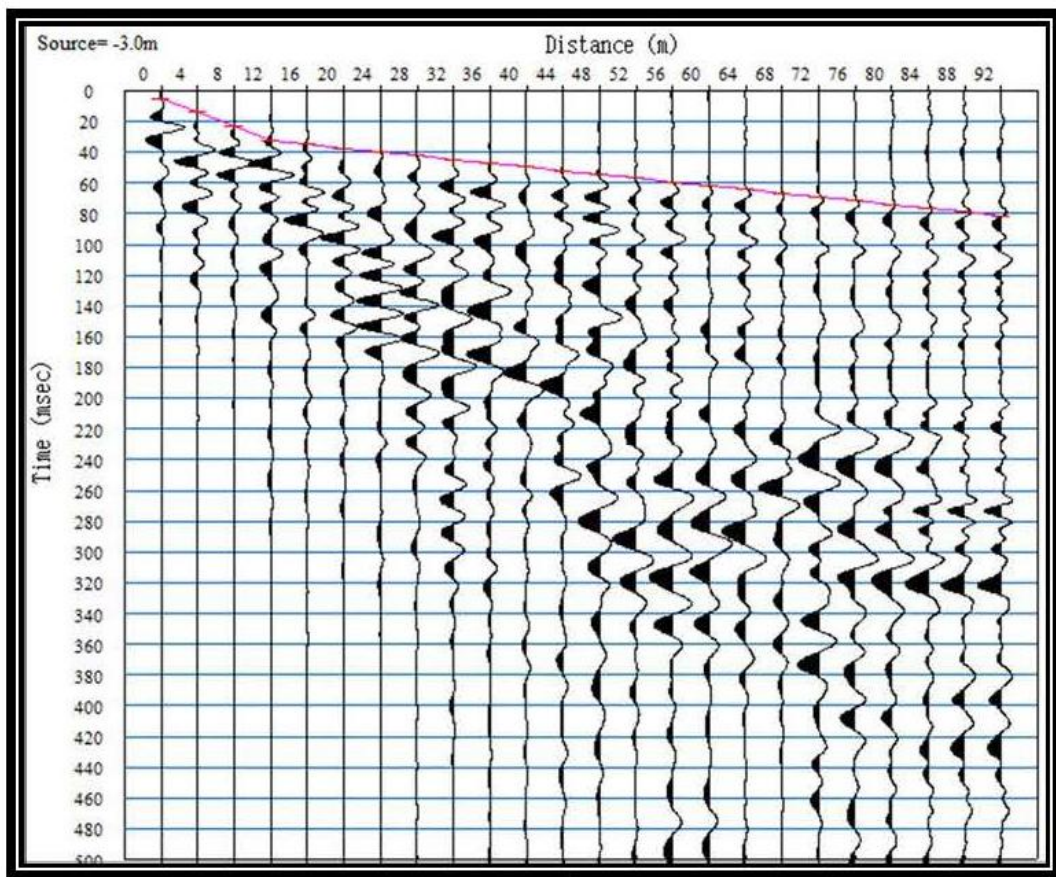




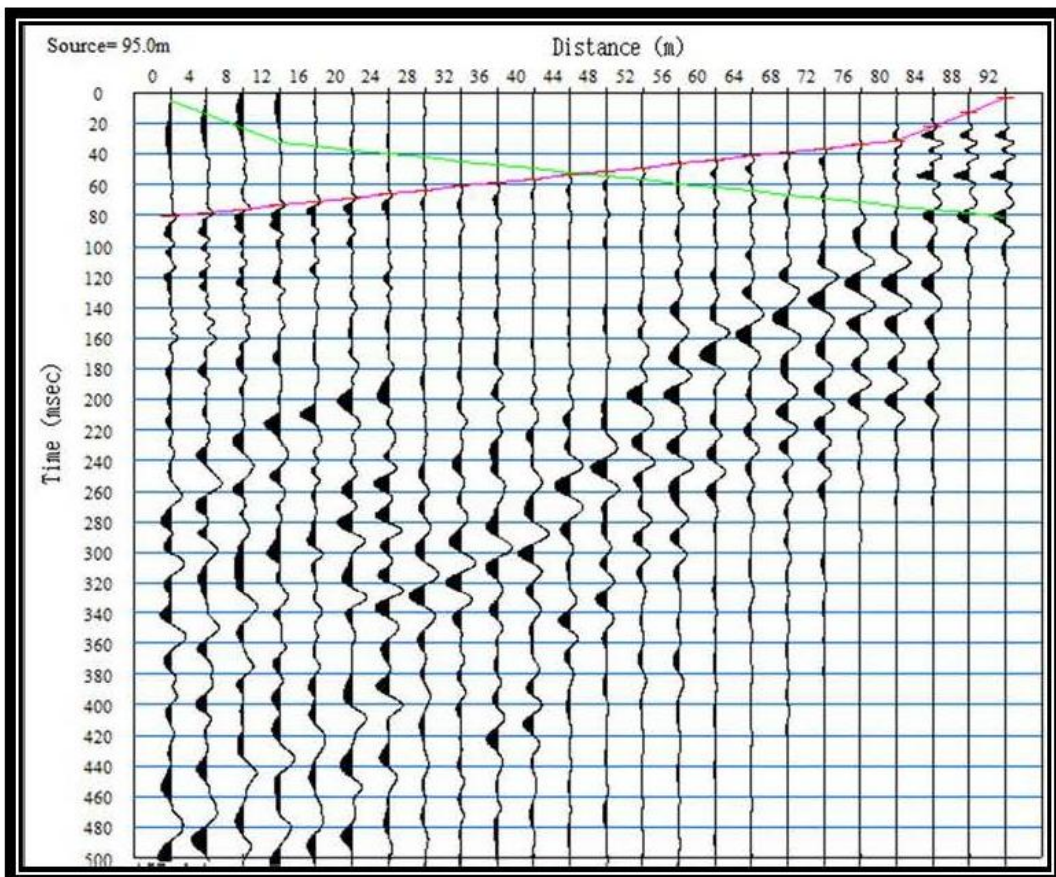
S9-GRAFIK



S9-KESİT

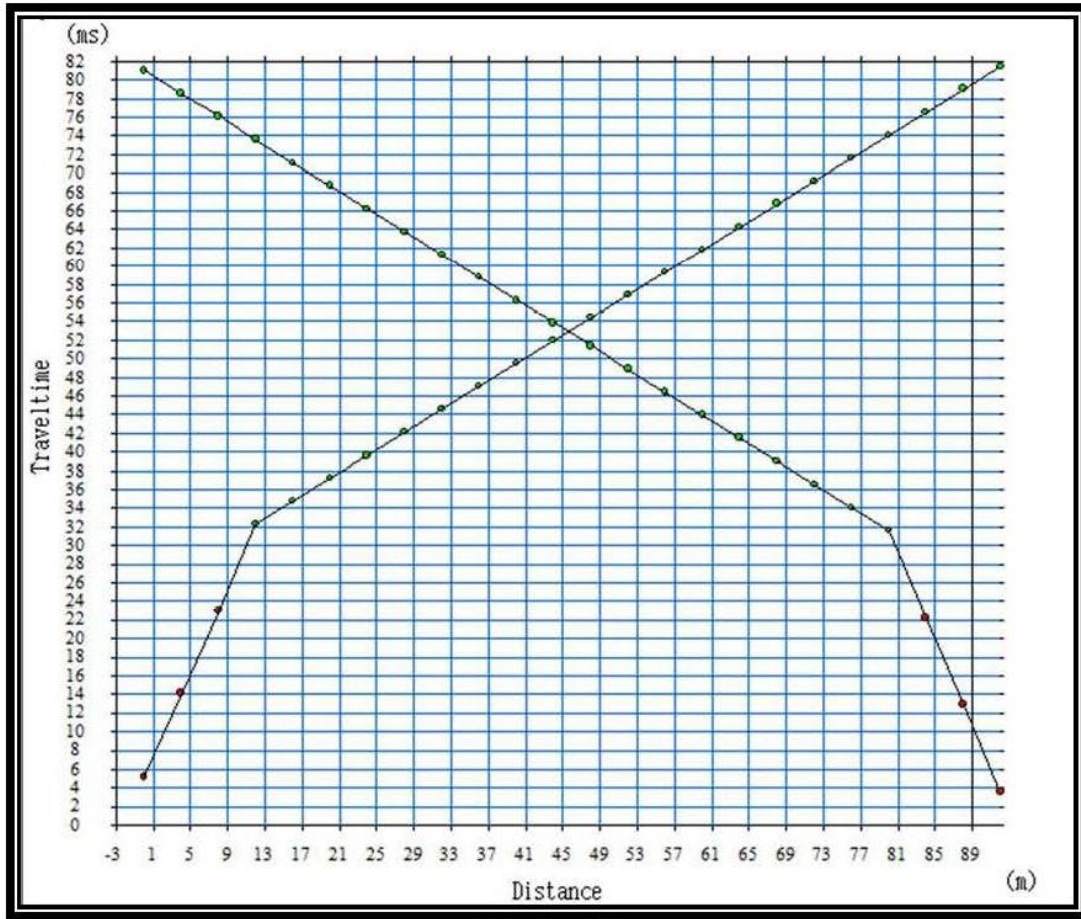


P10-DÜZ

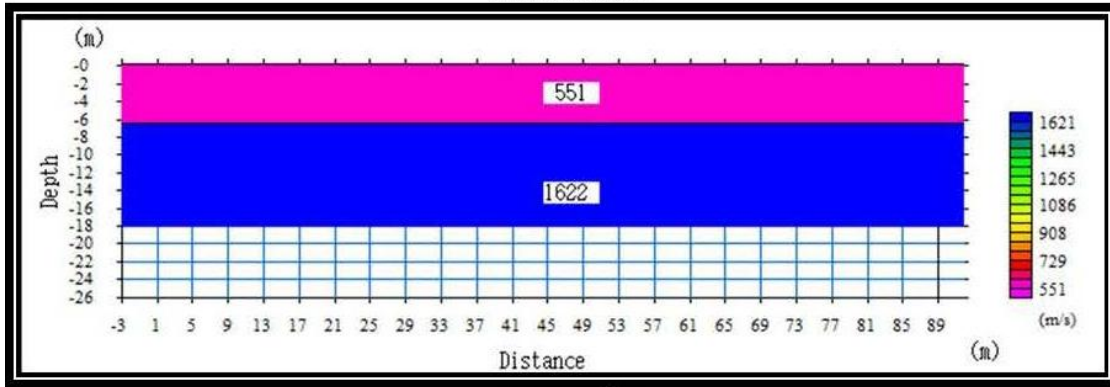


P10-TERS

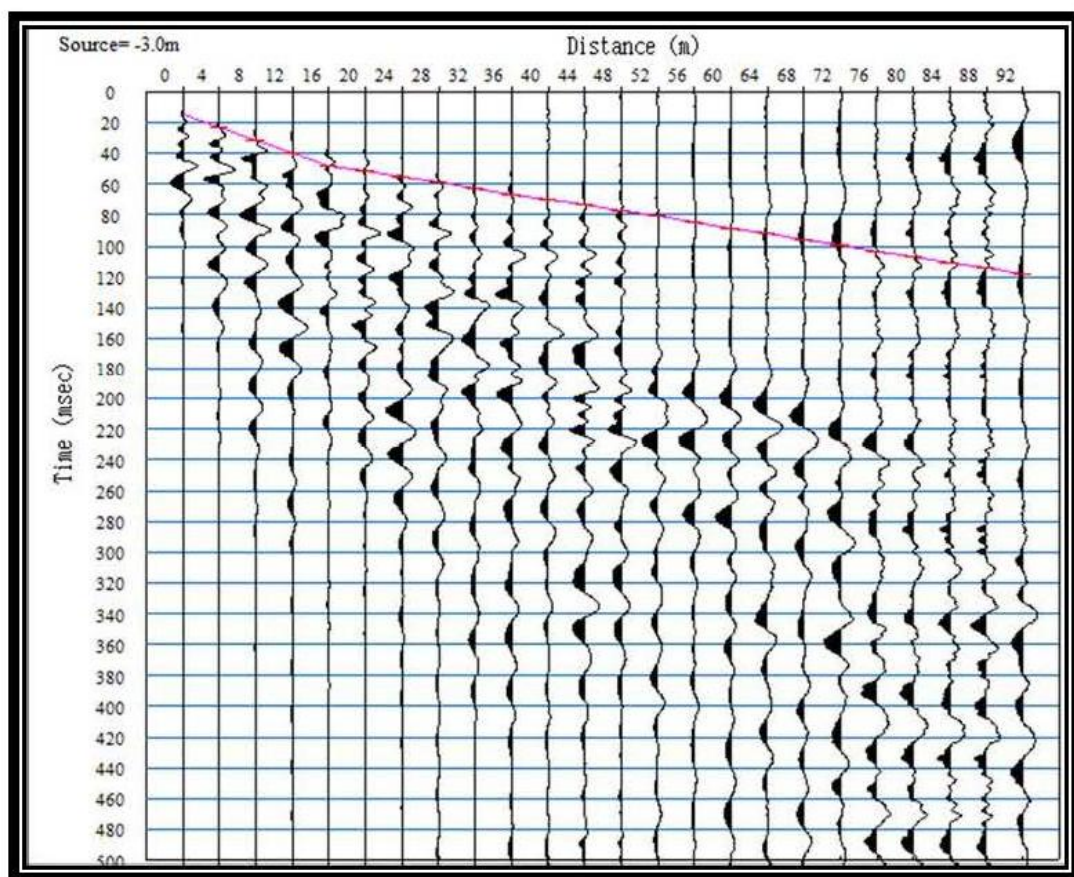




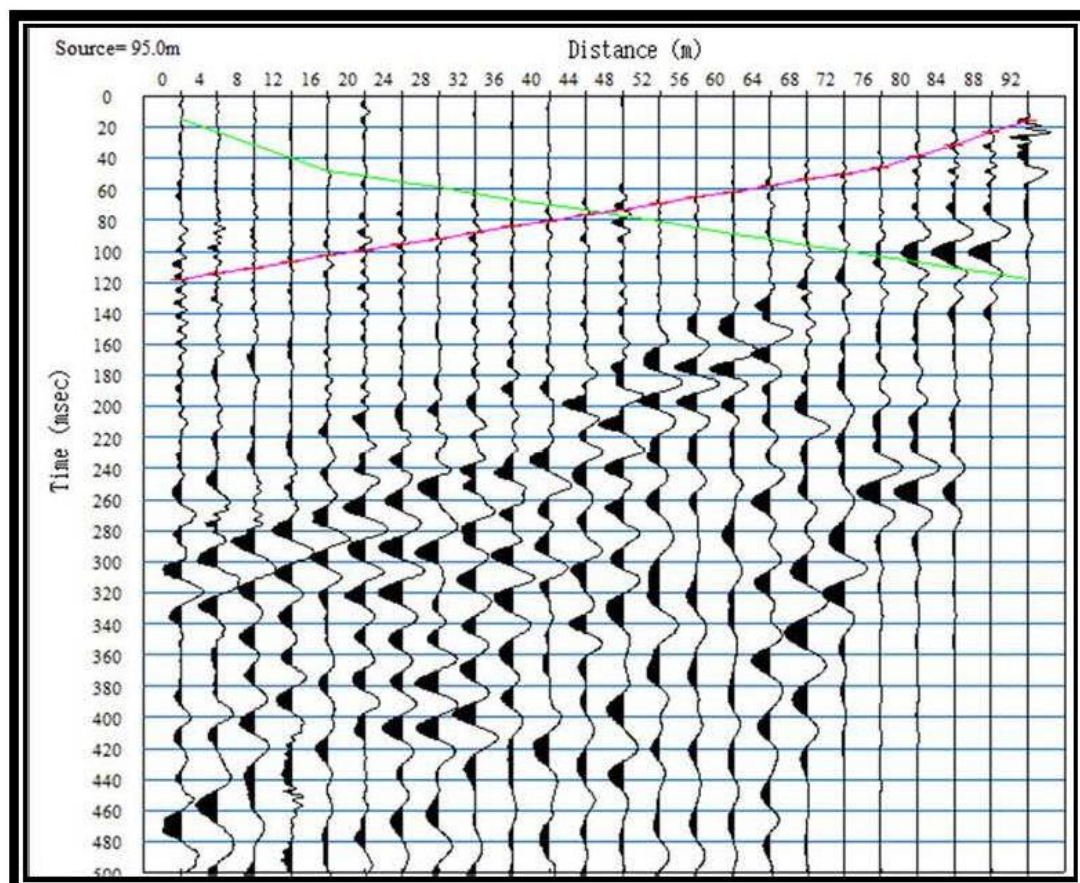
P10-GRAFIK



P10-KESİT

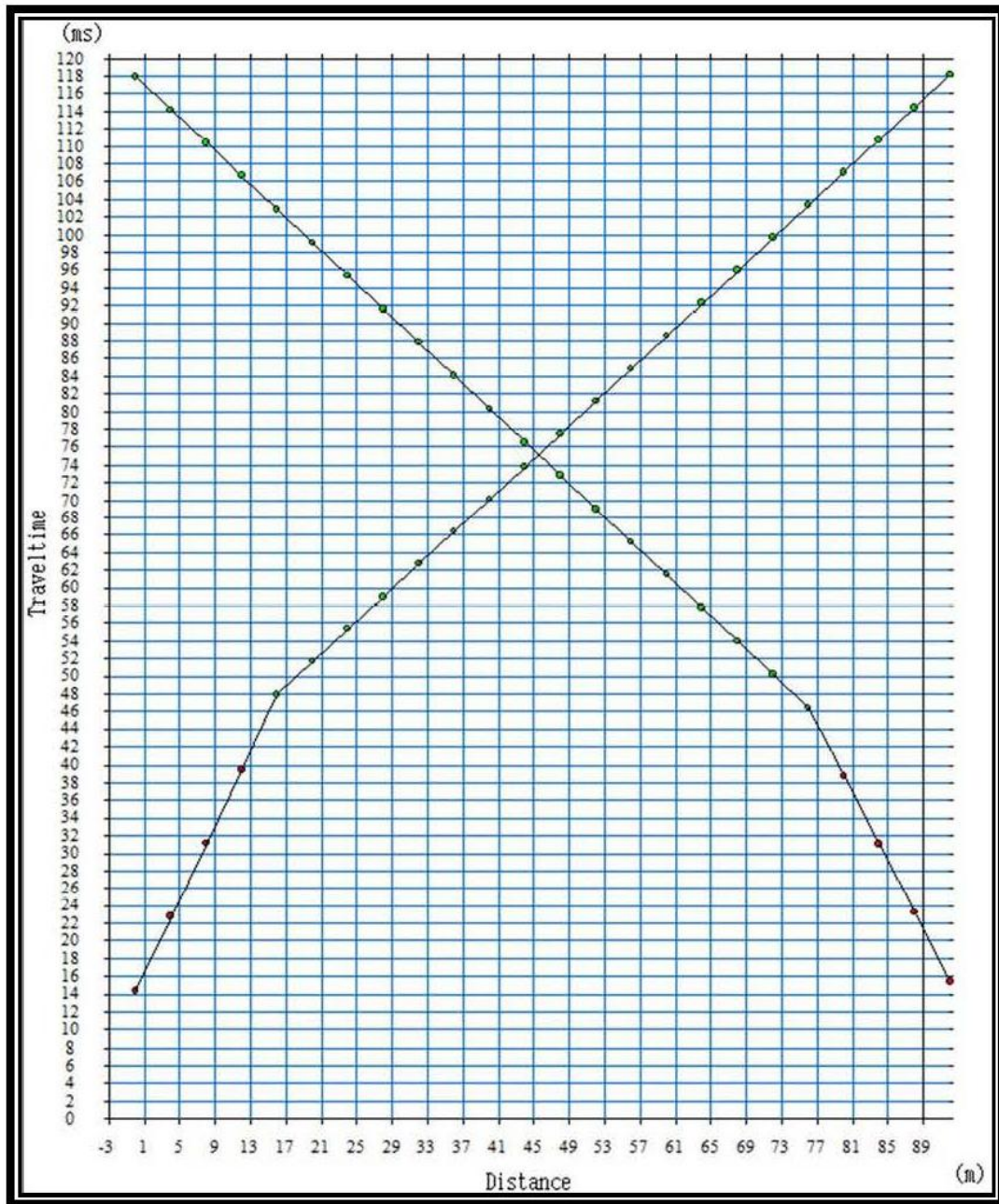


S10-DÜZ

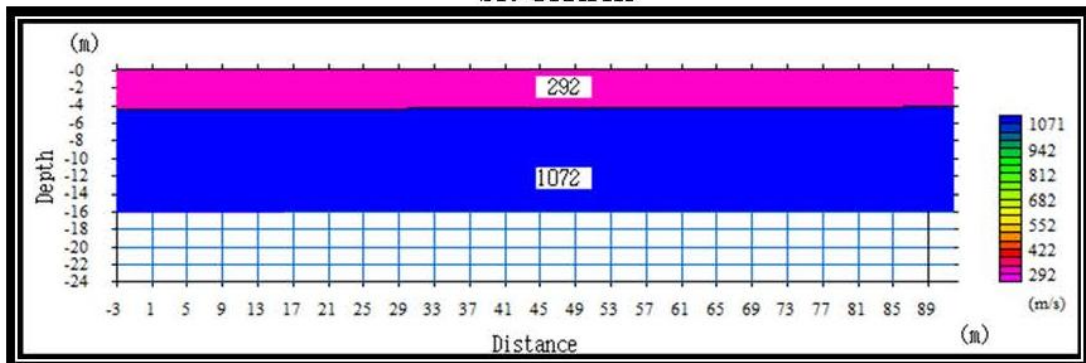


S10-TERS

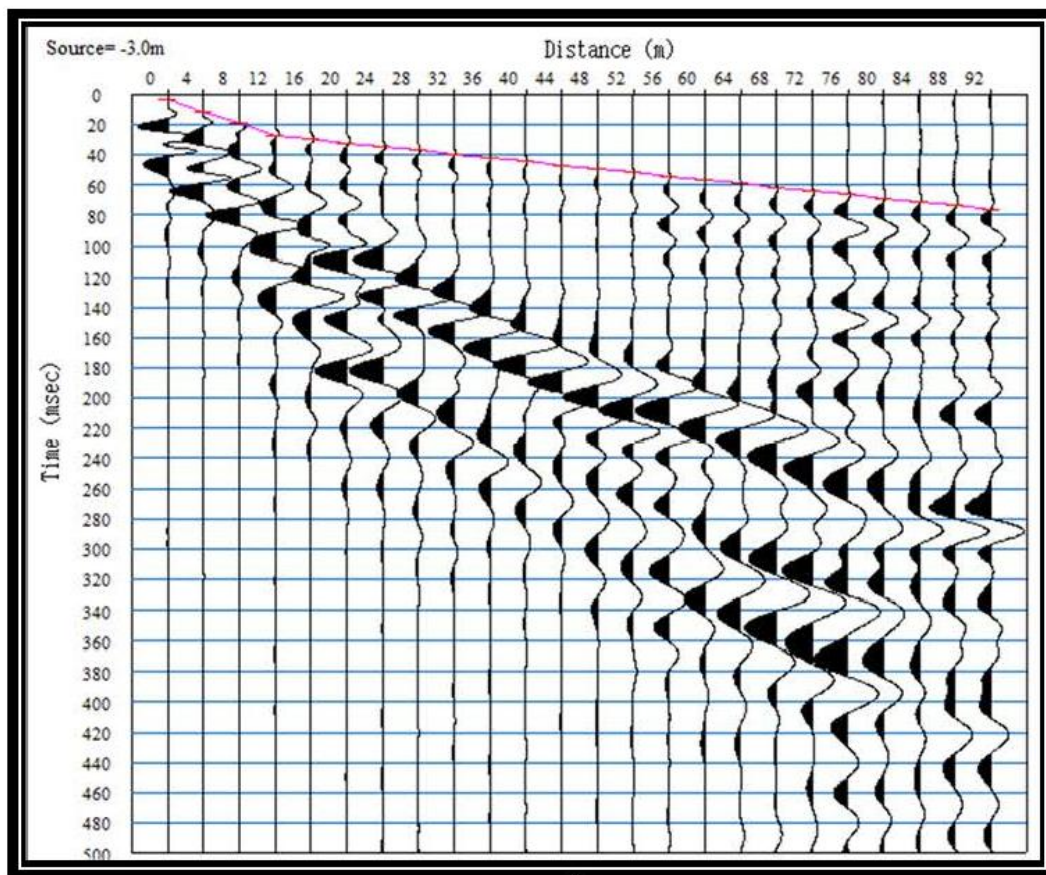




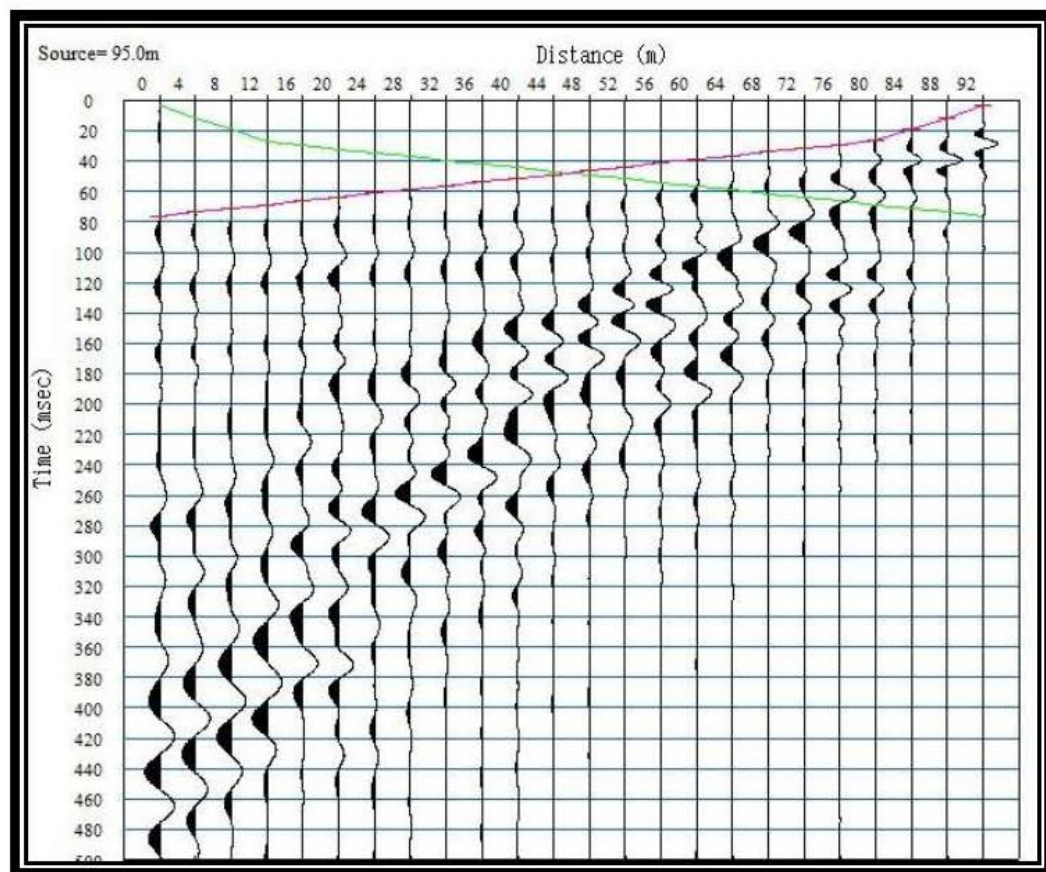
S10-GRAFIK



S10-KESİT

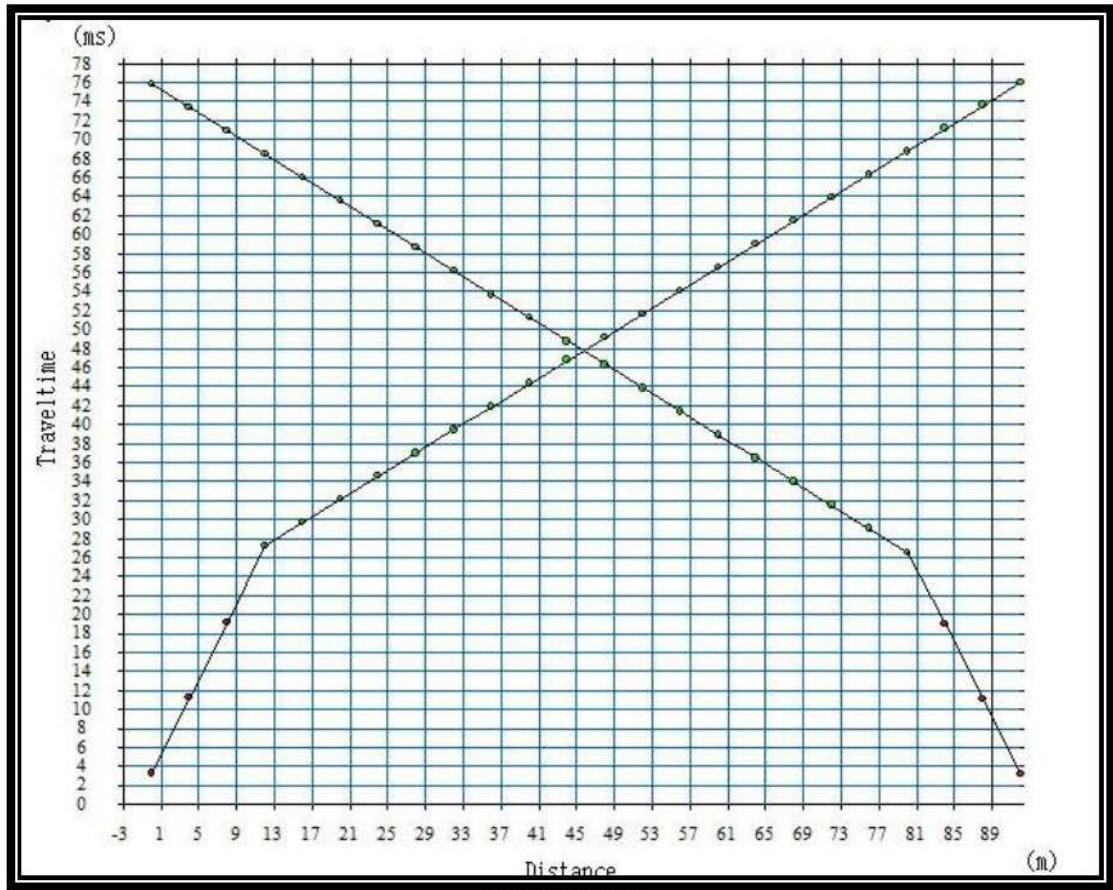


P11-DÜZ

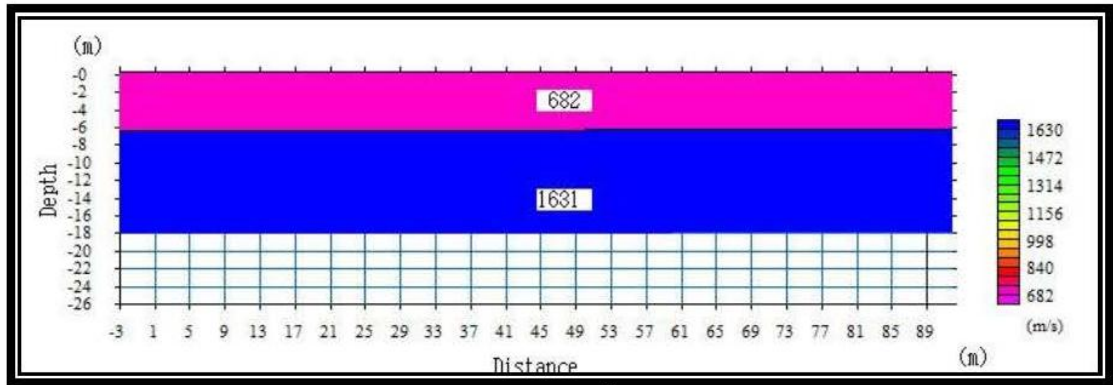


P11-TERS

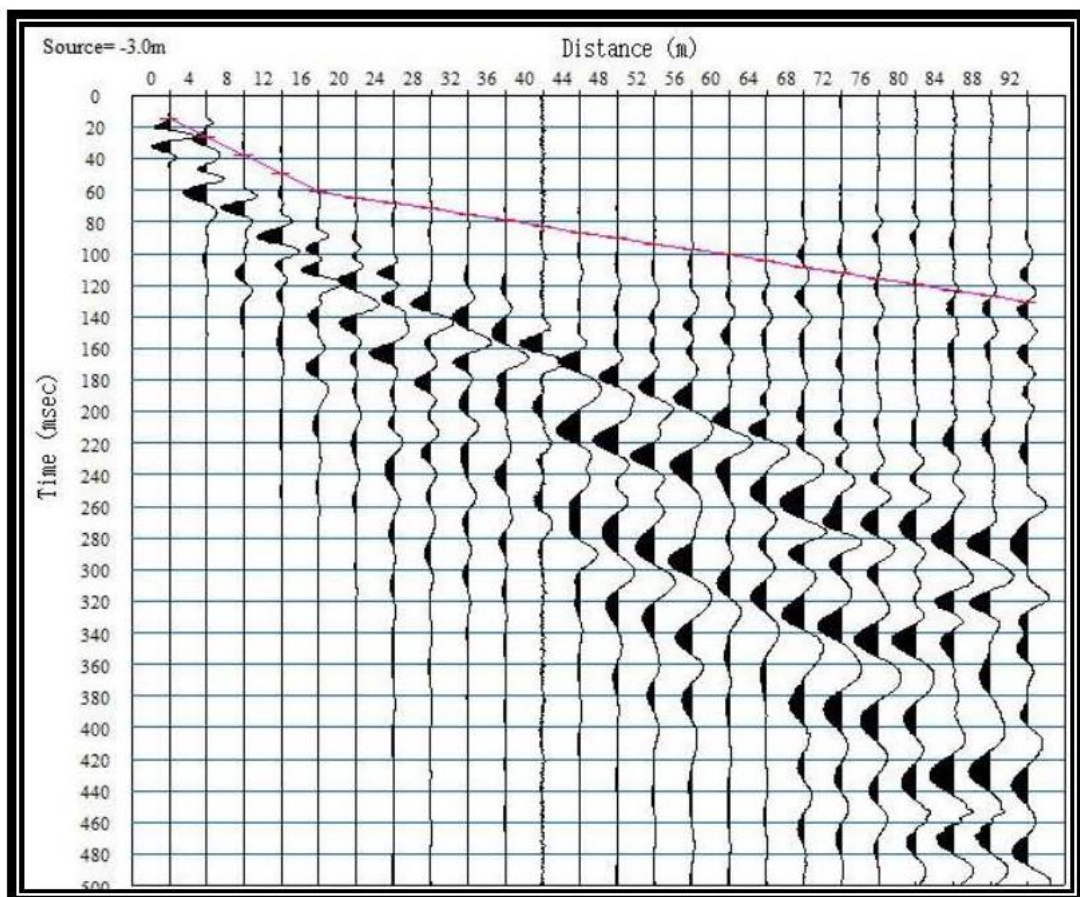




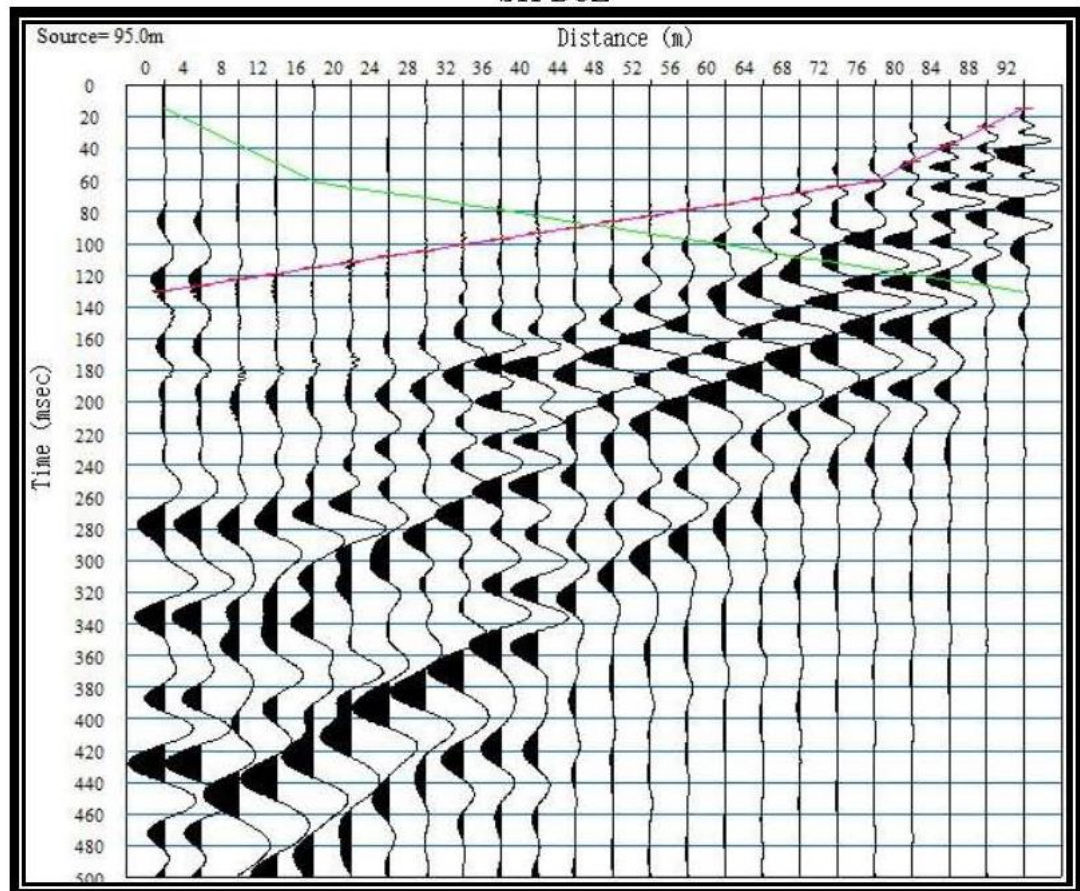
P11-GRAFIK



P11-KESİT

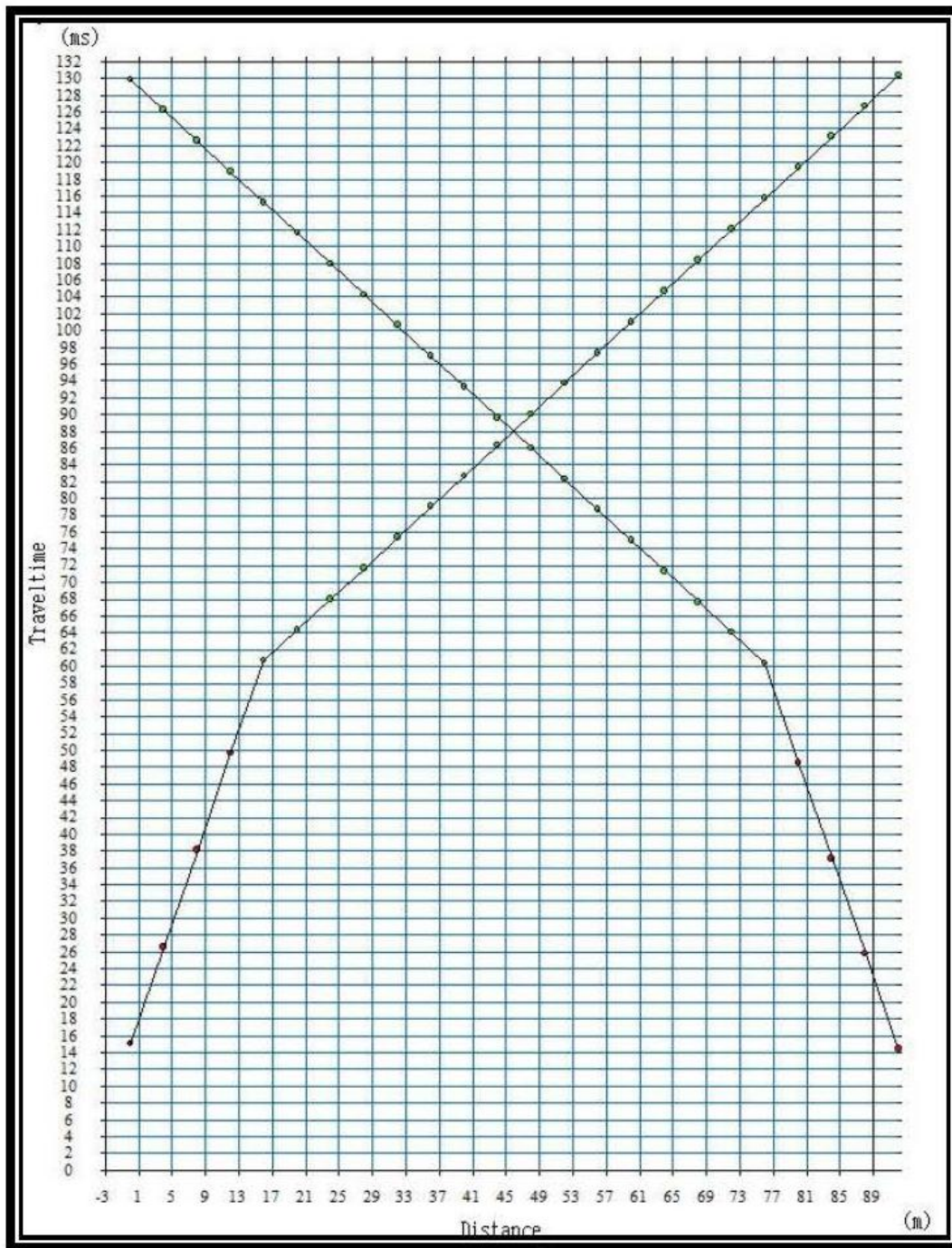


S11-DÜZ

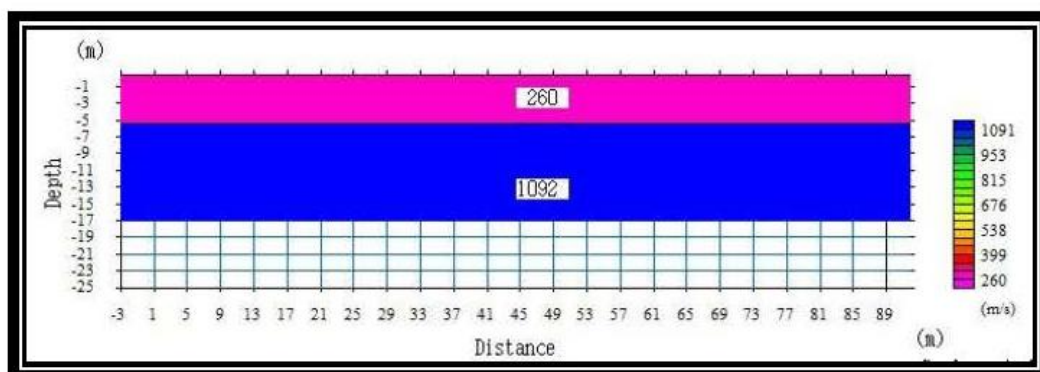


S11-TERS

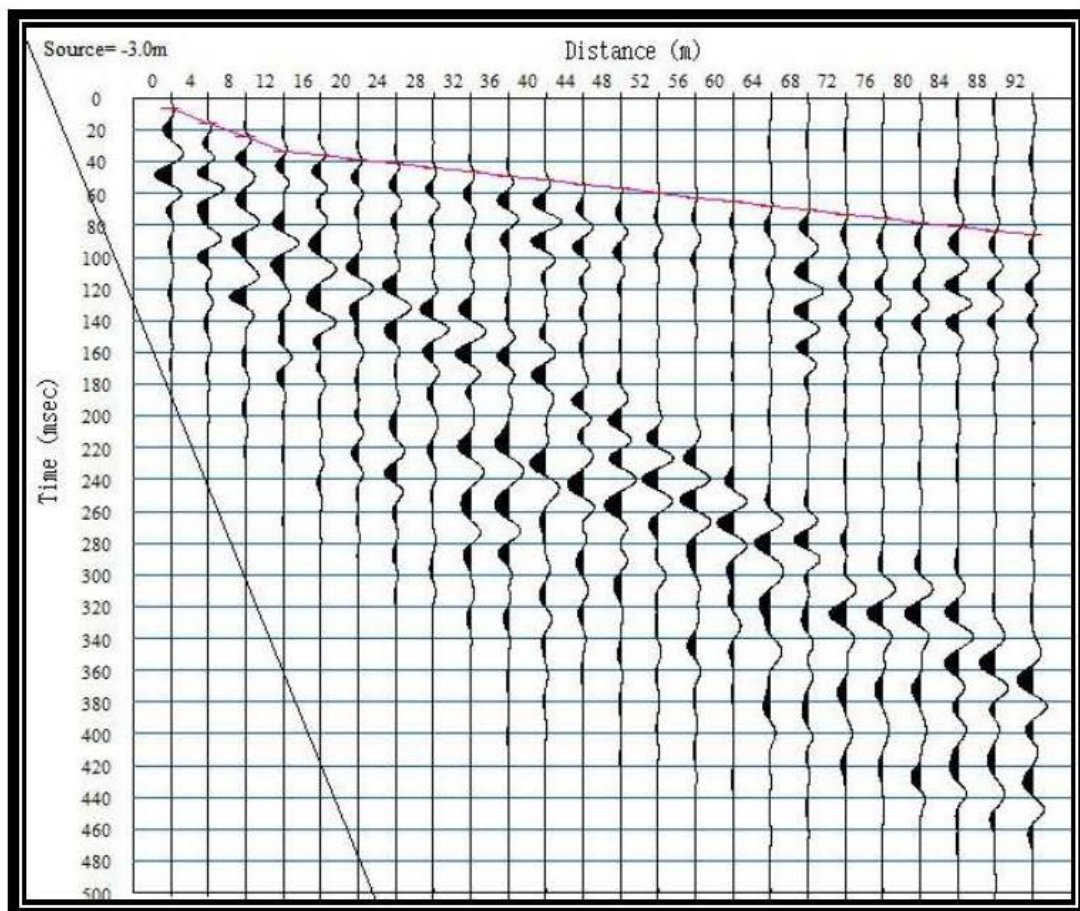




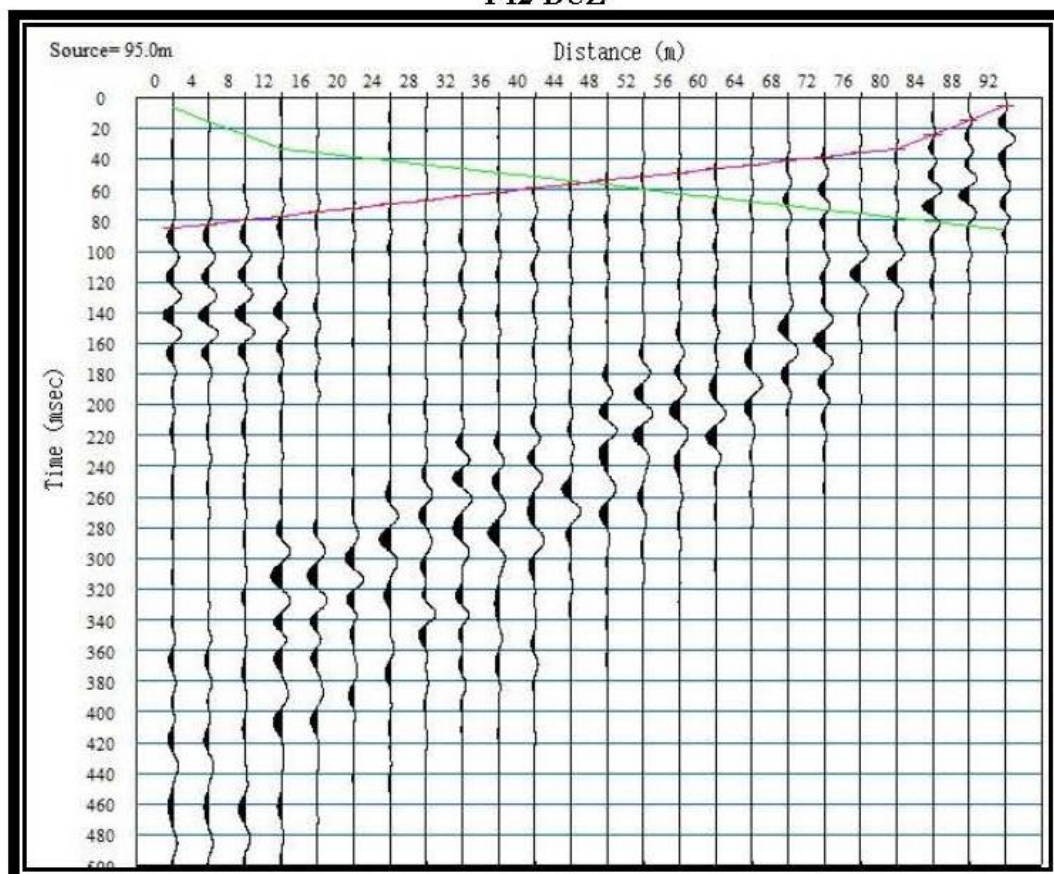
S11-GRAFİK



S11-KESİT

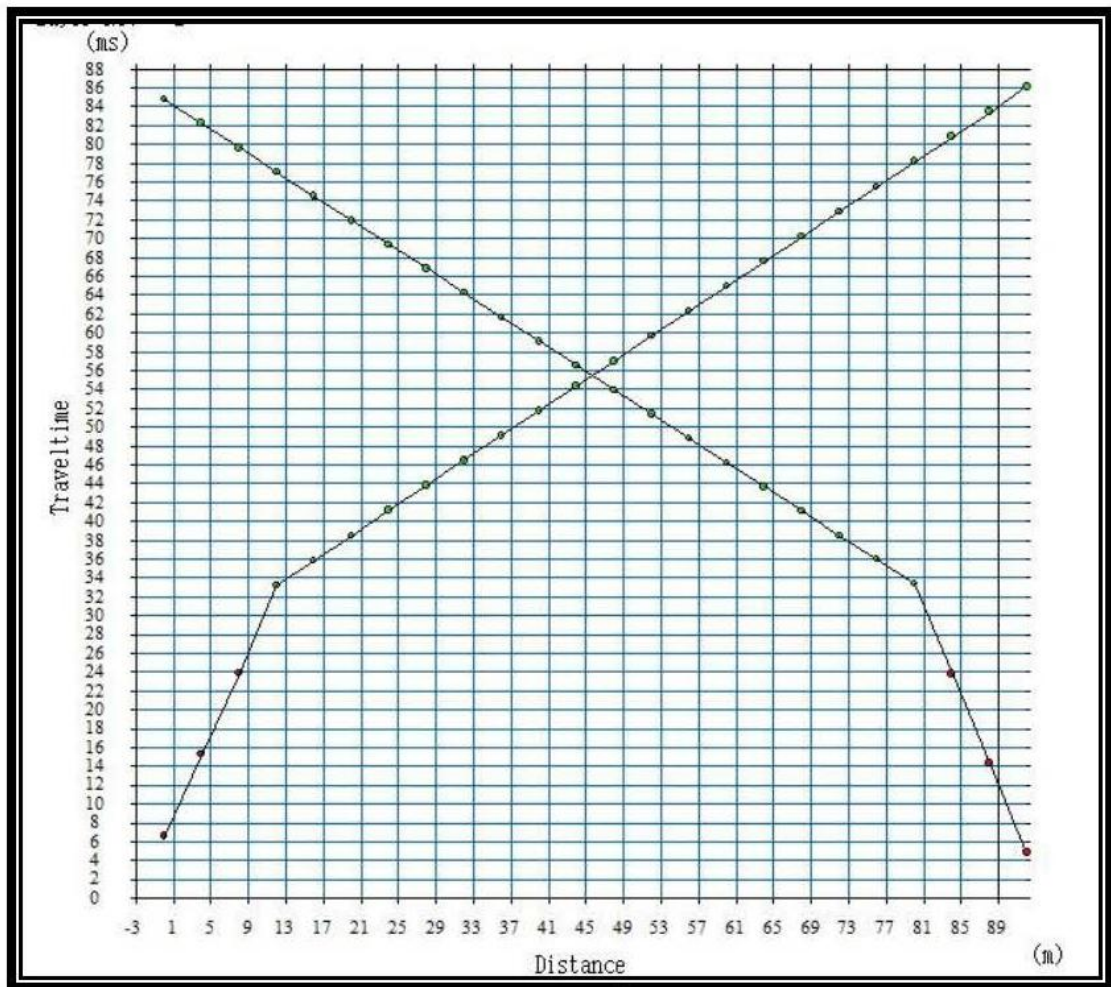


P12-DÜZ

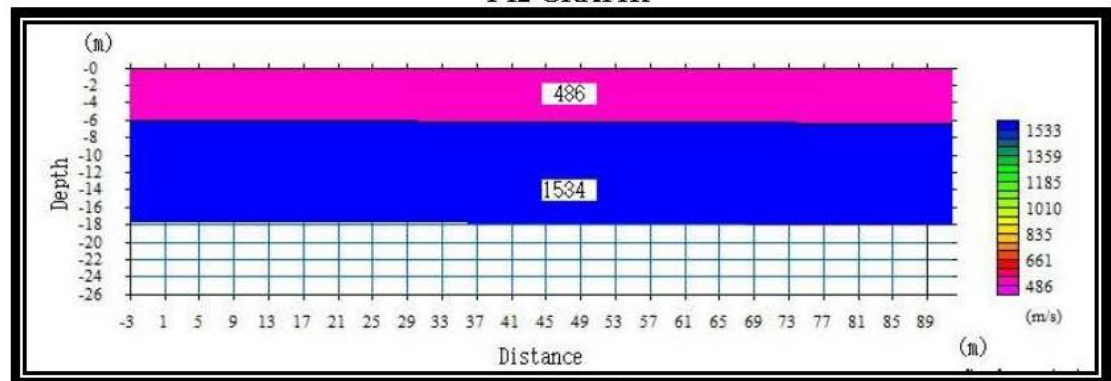


P12-TERS

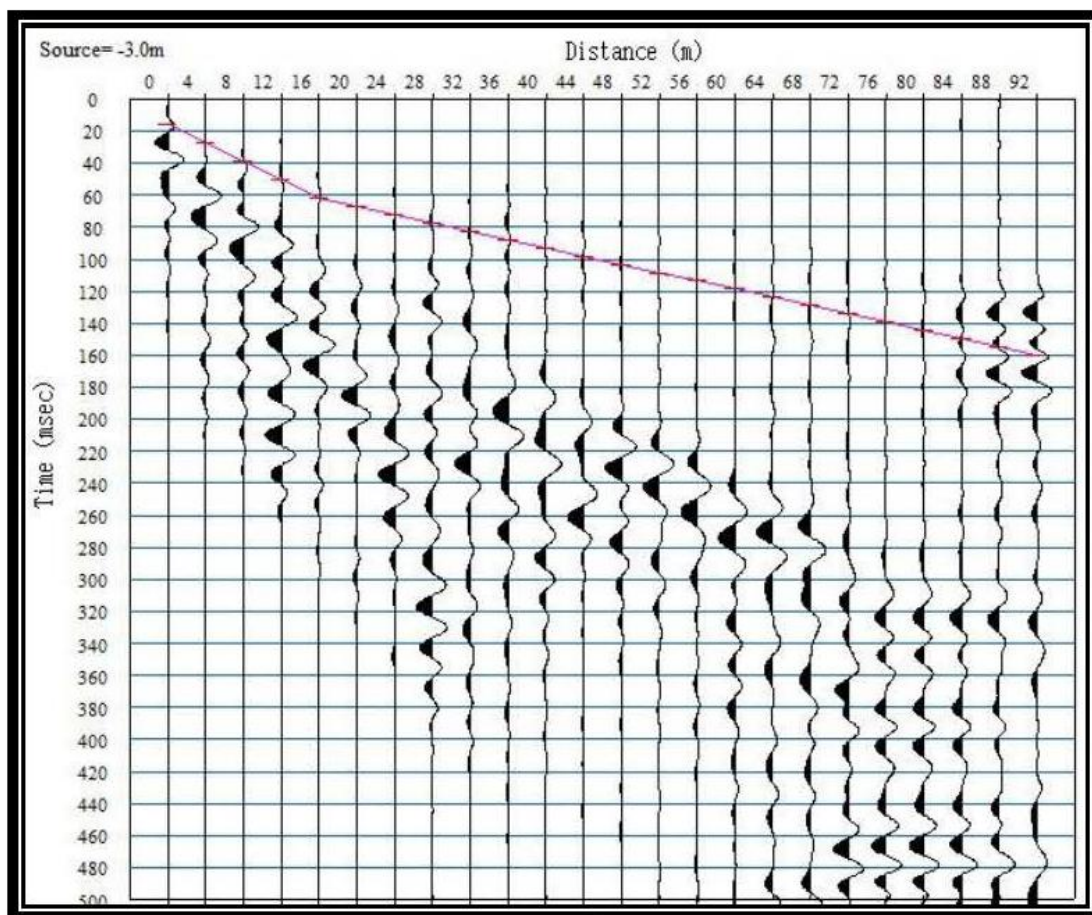




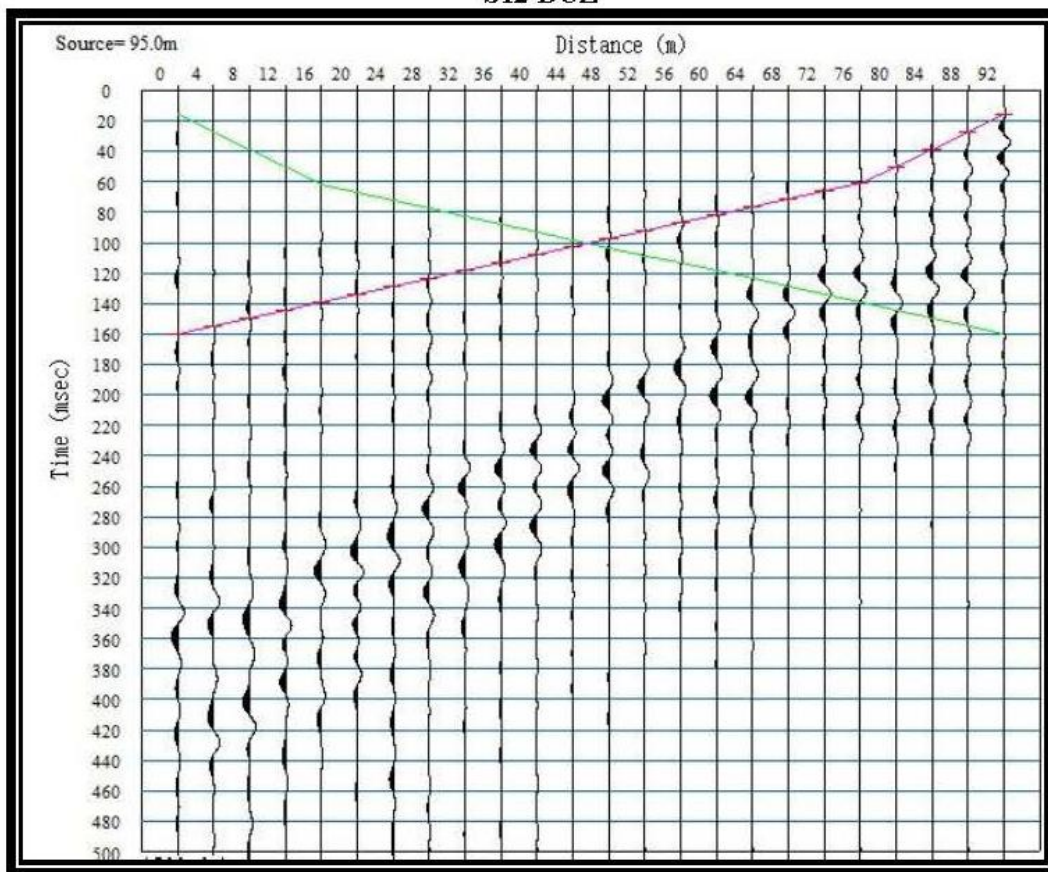
P12-GRAFIK



P12-KESİT

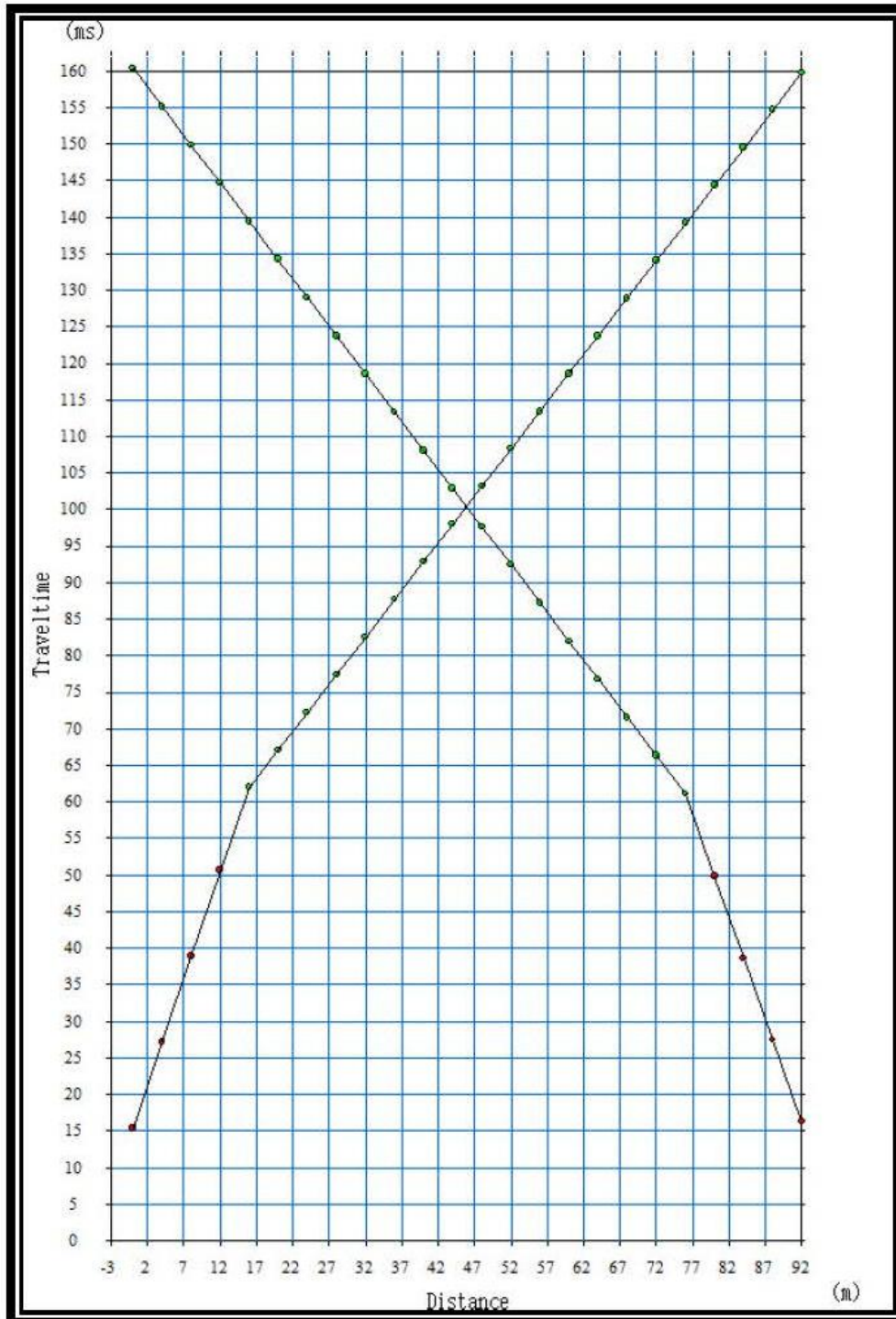


S12-DÜZ

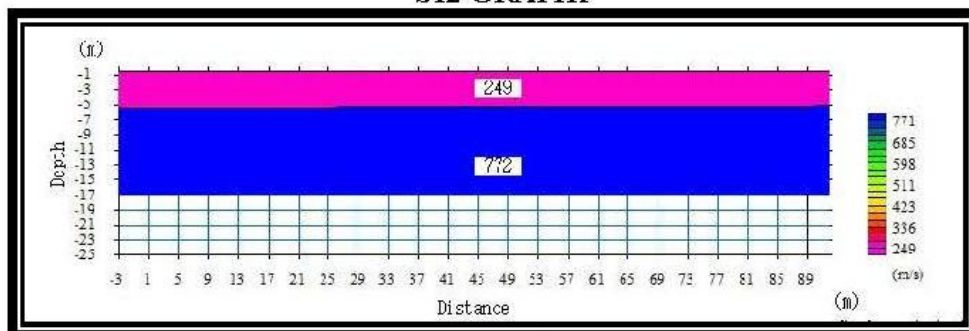


S12-TERS

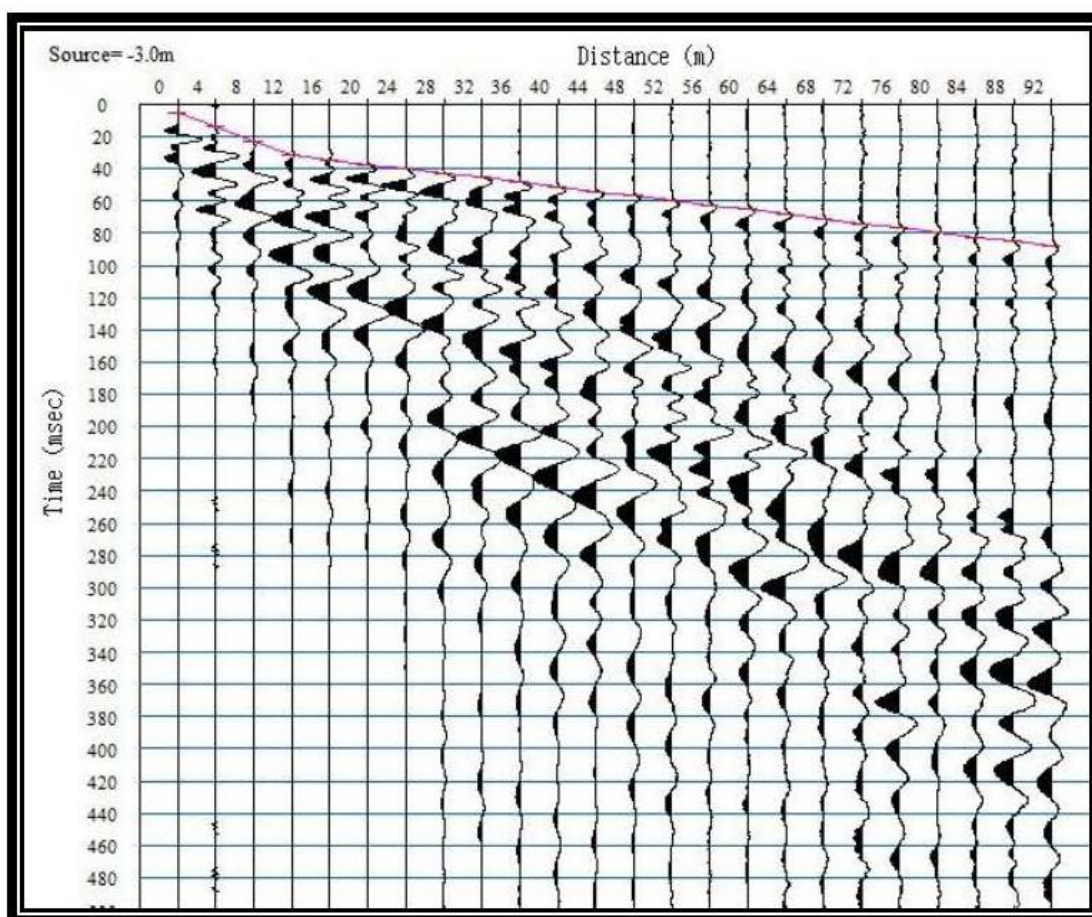




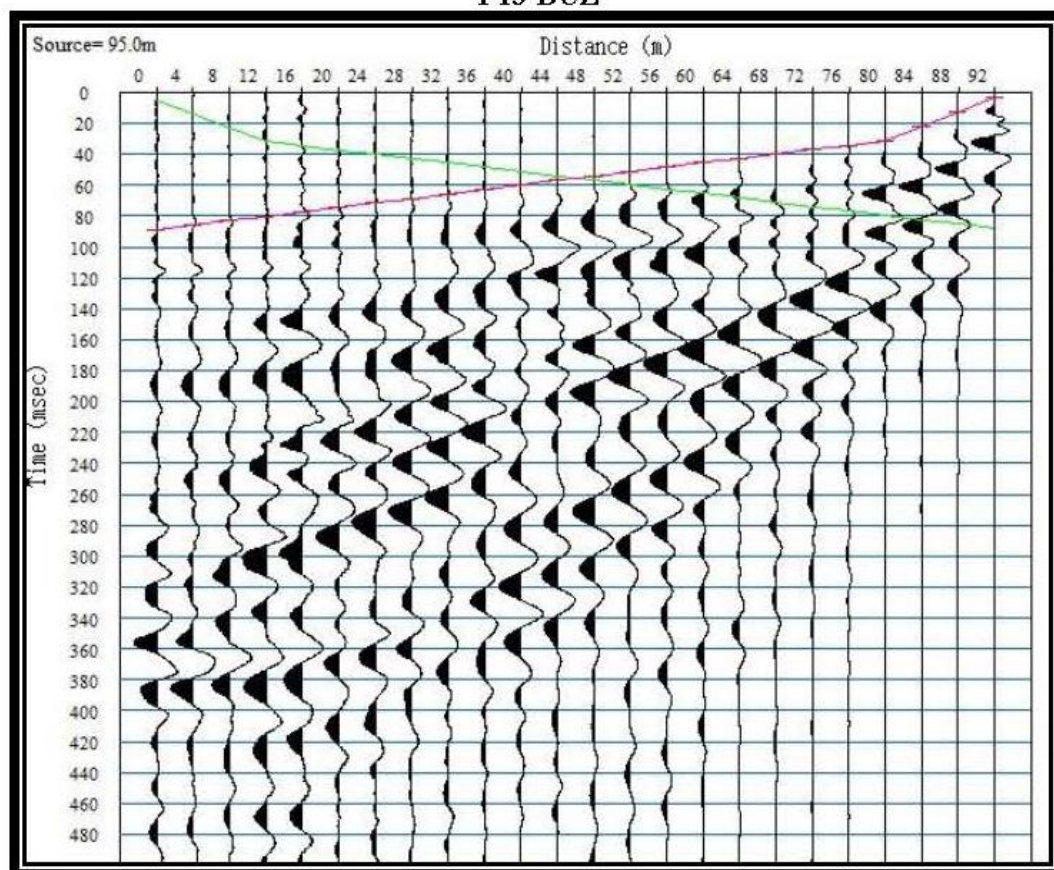
**S12-GRAFIK**



**S12-KESİT**

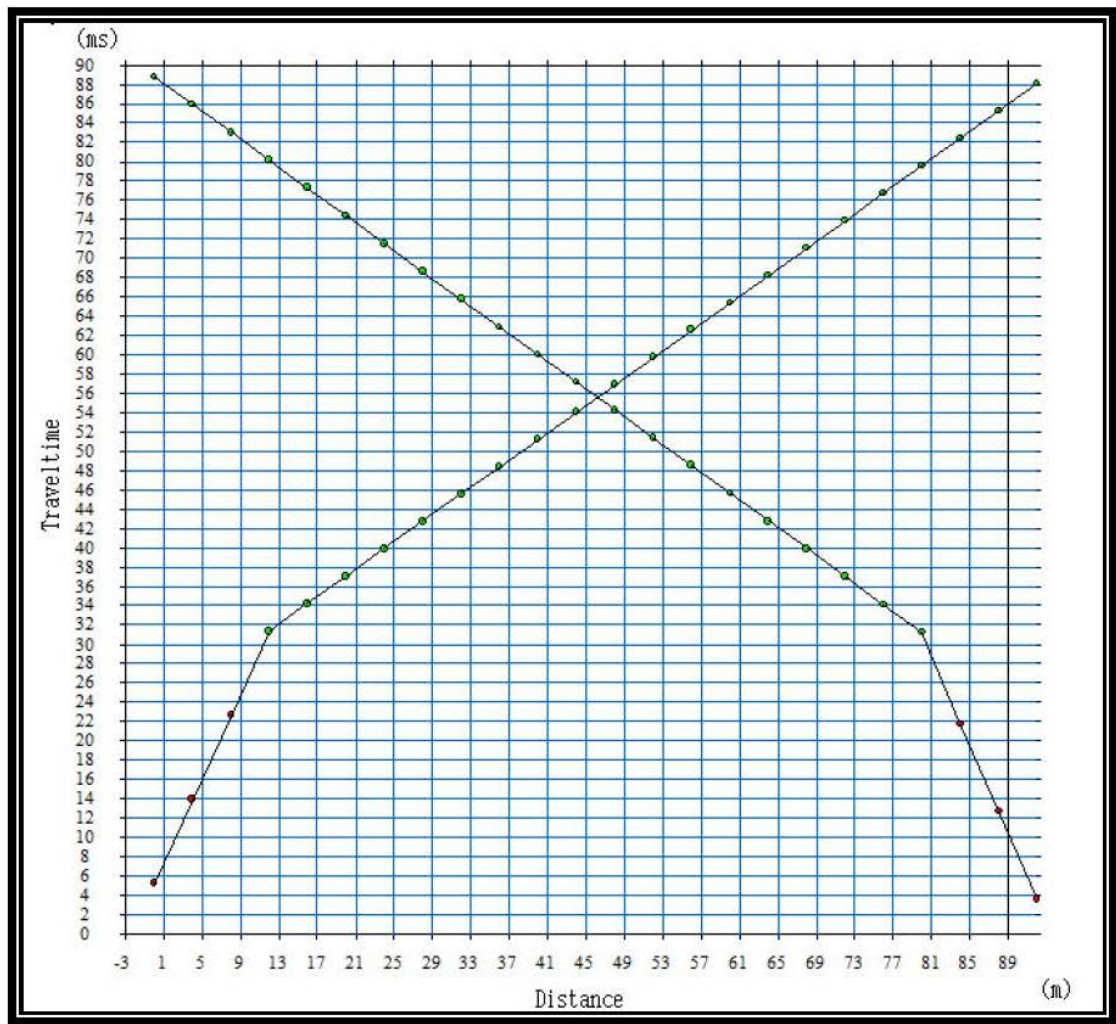


P13-DÜZ



P13-TES

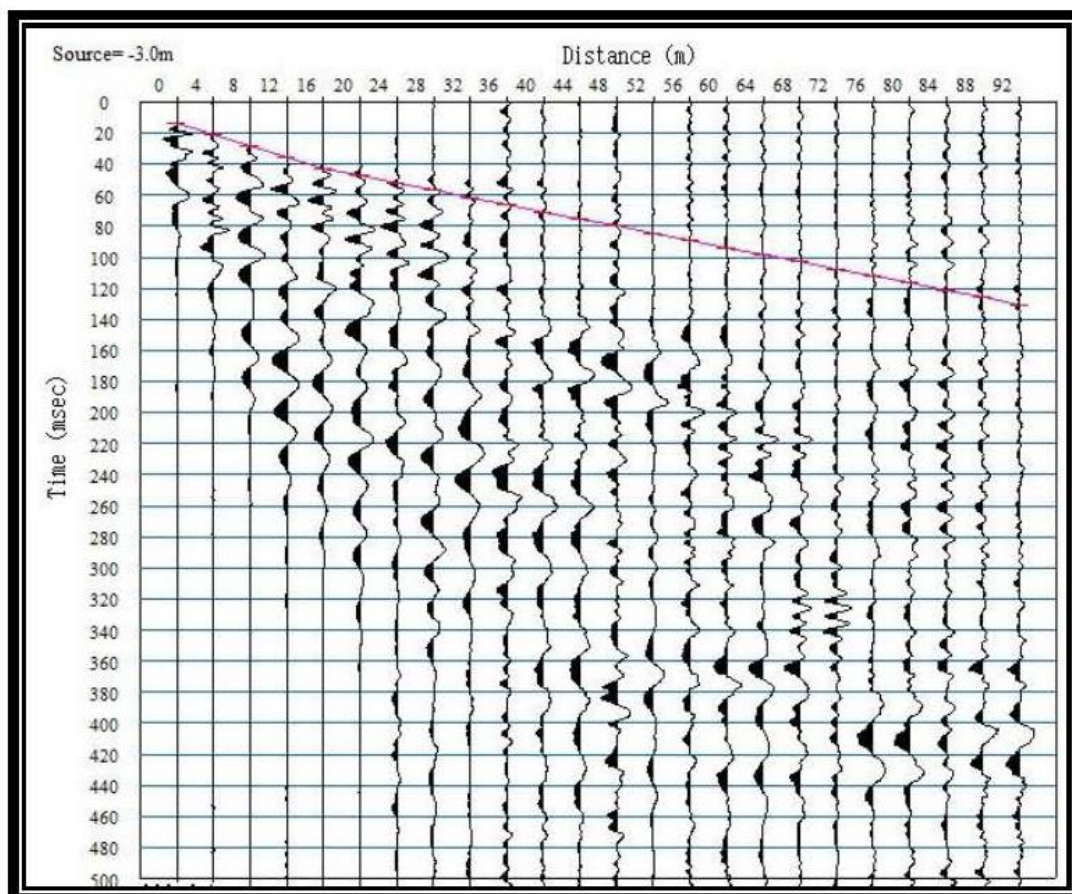




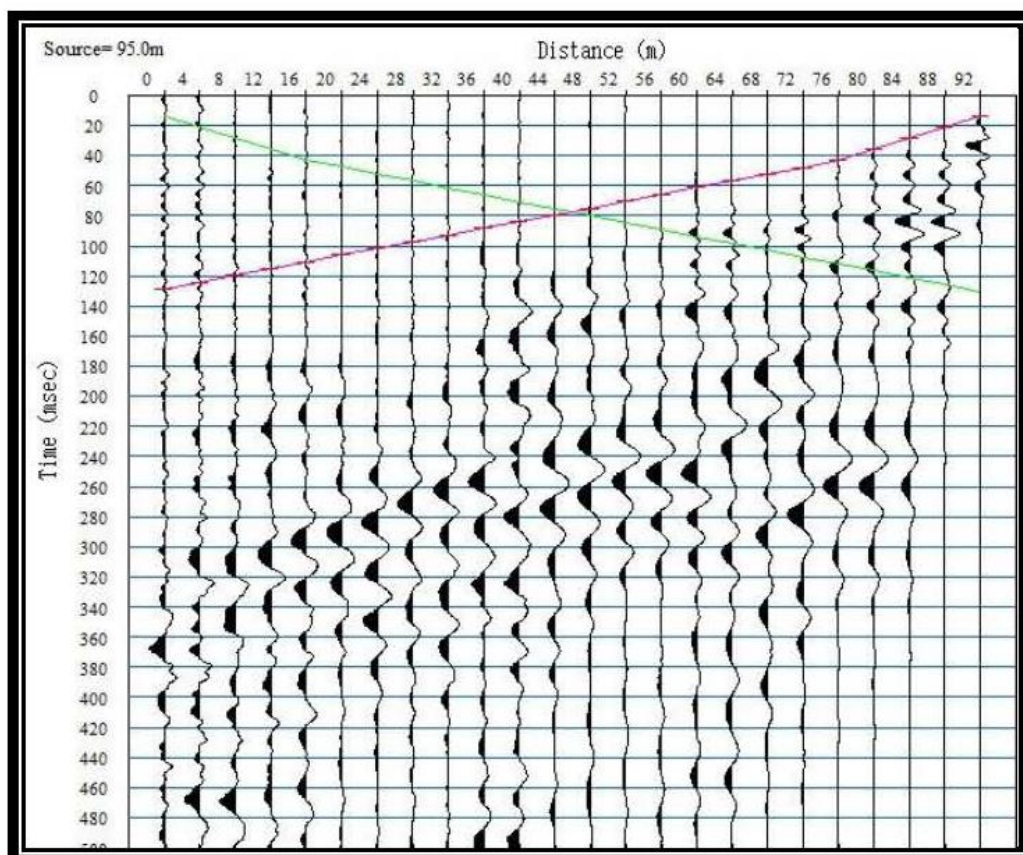
P13-GRAFIK



P13-KESİT

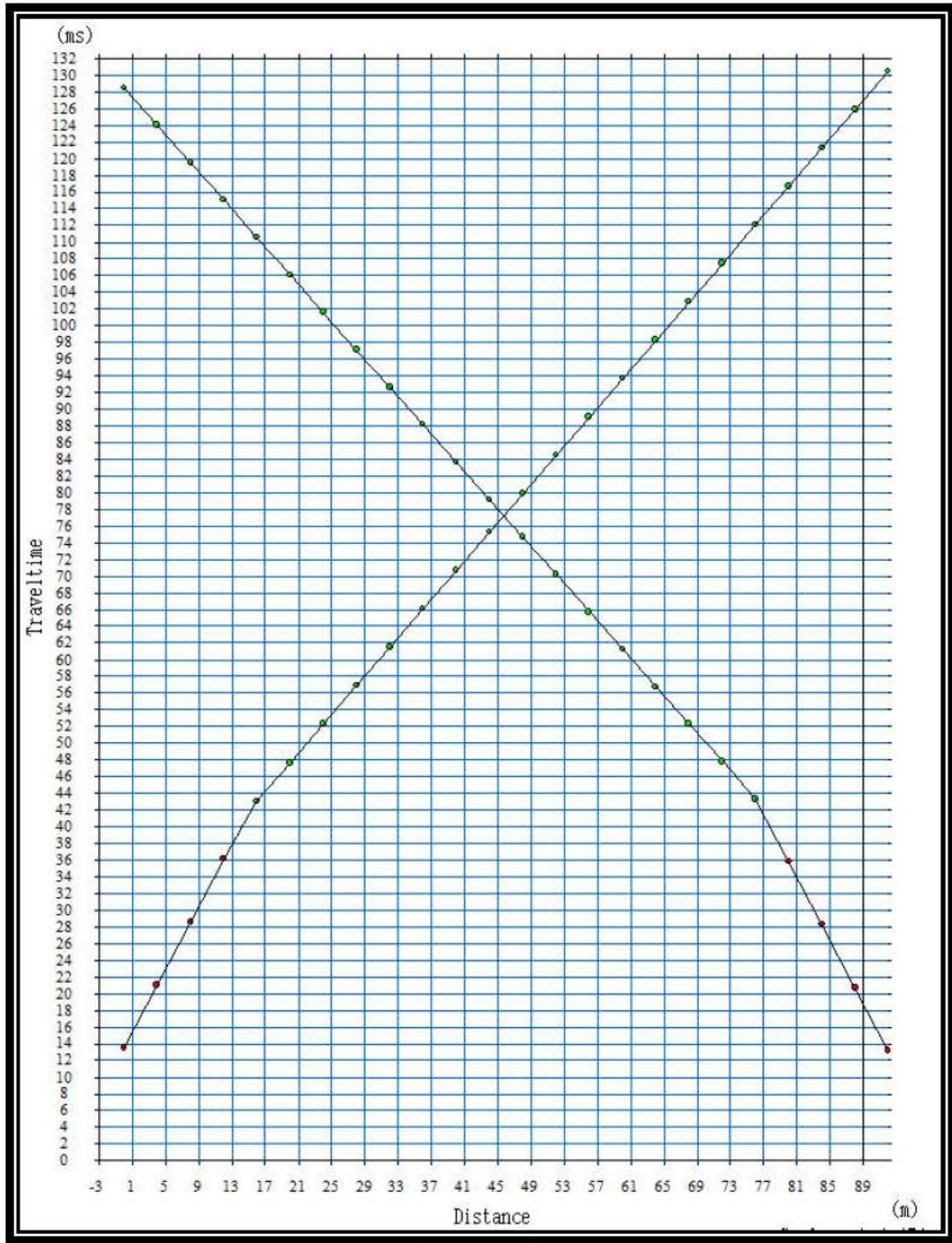


S13-DÜZ

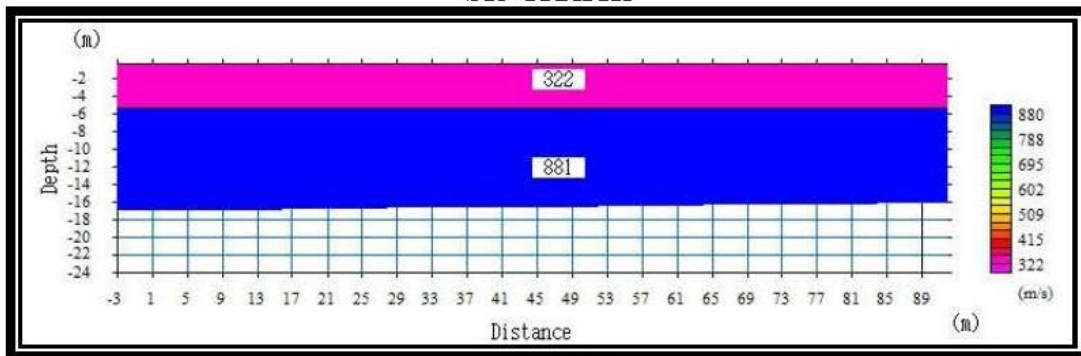


S13-TERS



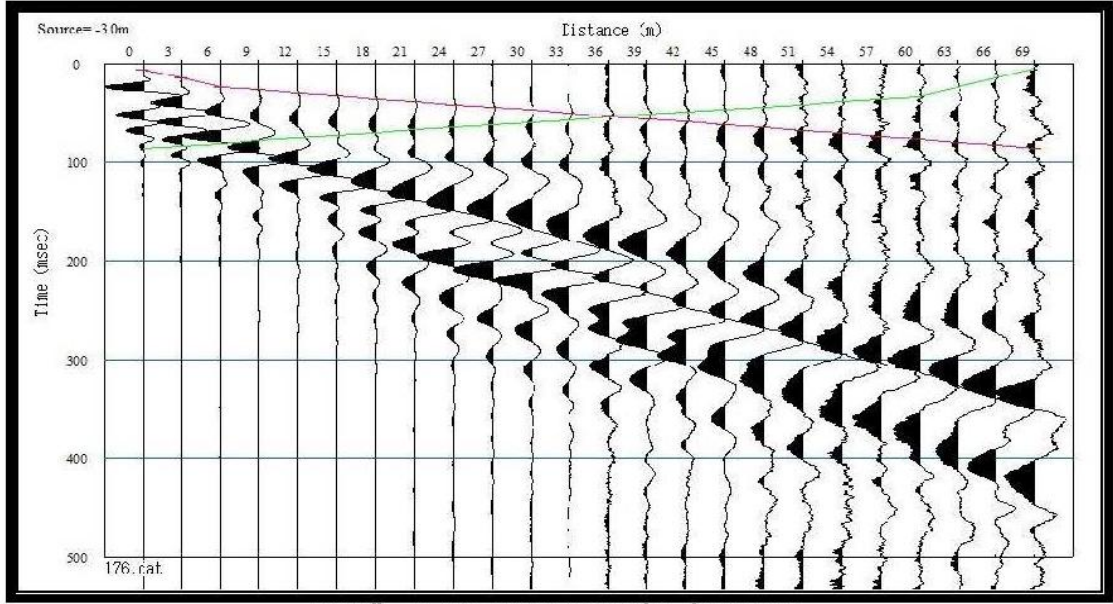


S13-GRAFİK

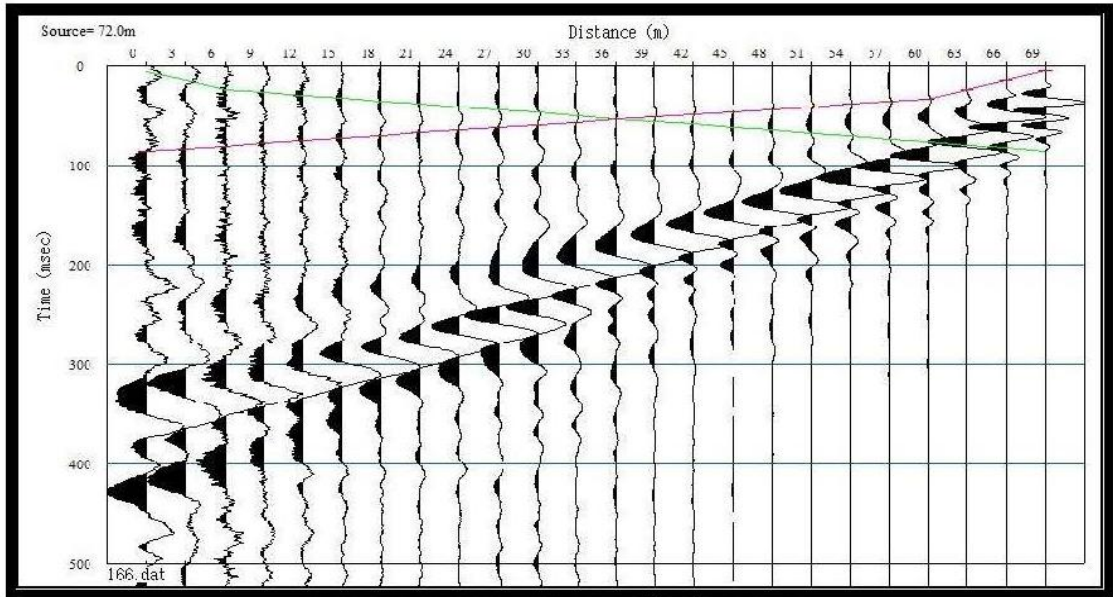


S13-KESİT

### EK-3 Çok Kanallı Yüzey Dalgası (MASW)

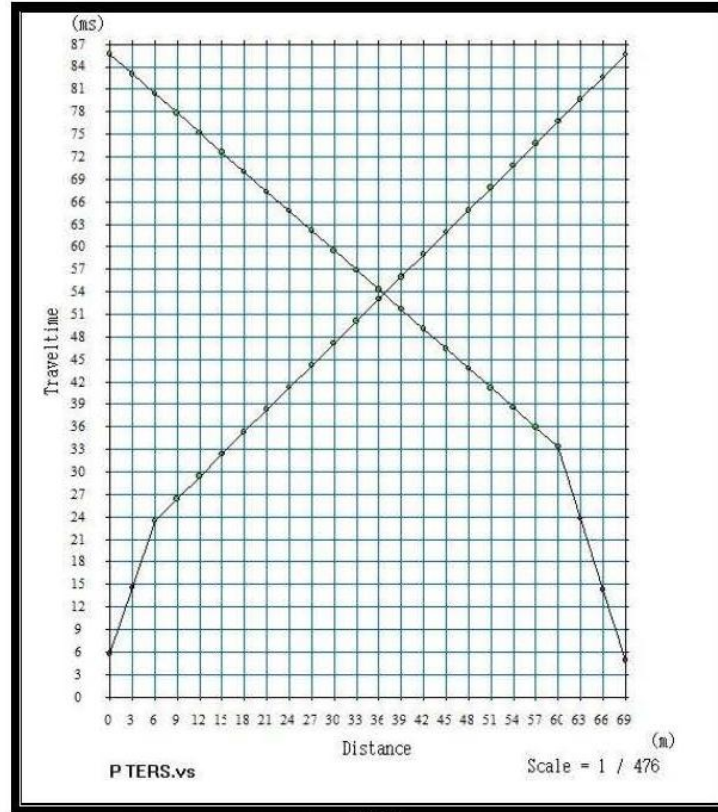


*P1 DÜZ ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT*

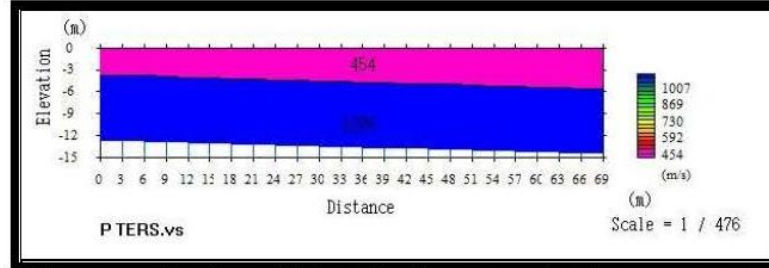


*P1 TERS ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT*

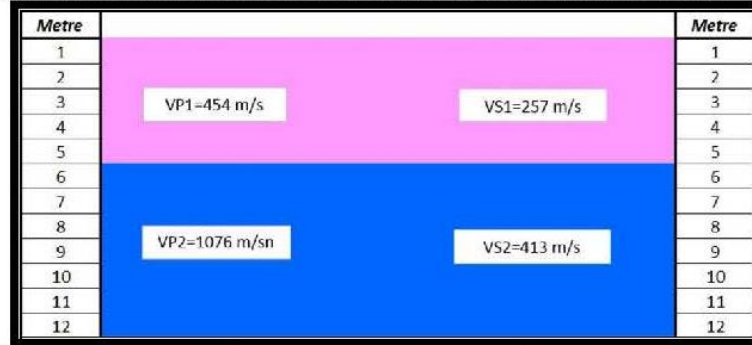




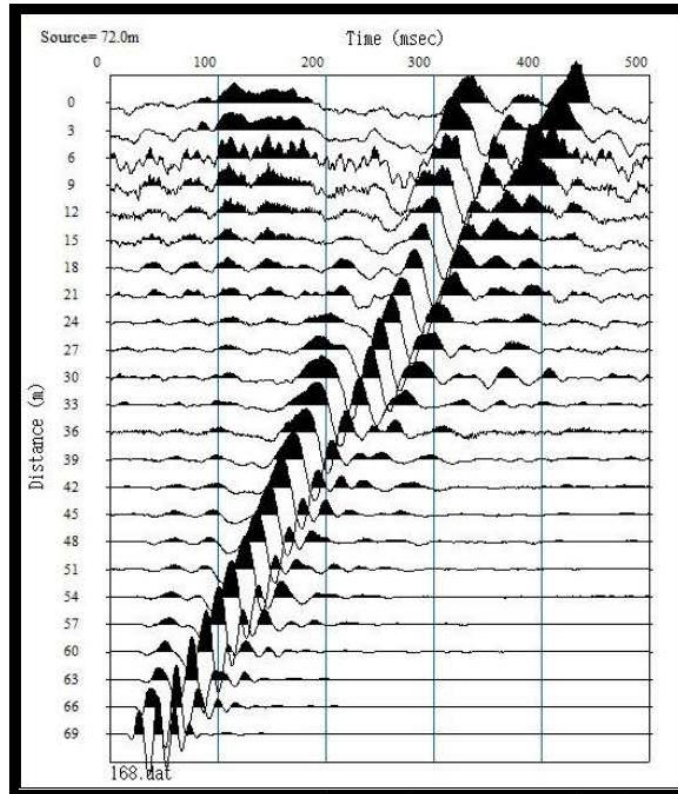
**P1 DALGASI YOL ZAMAN GRAFİĞİ İTERASYON SONRASI MODELİ**



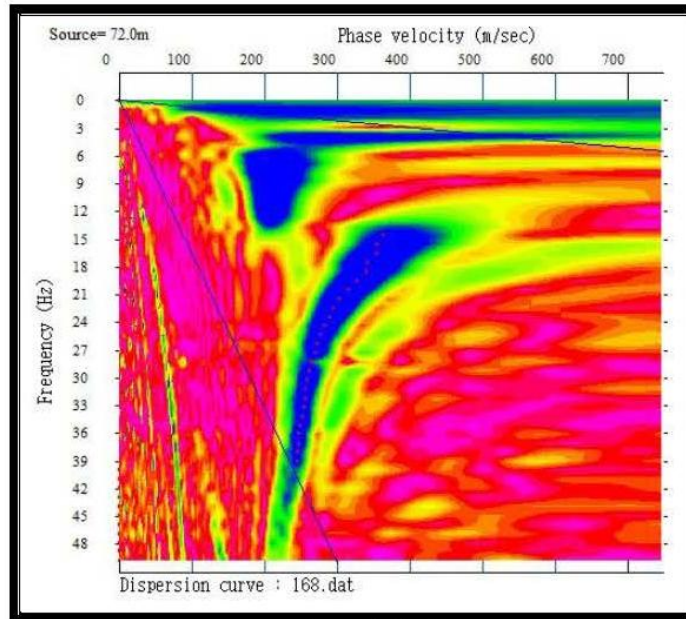
**P1 TİPİ HIZ-DERİNLİK DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN SİSMİK KIRILMA KESİTİ**



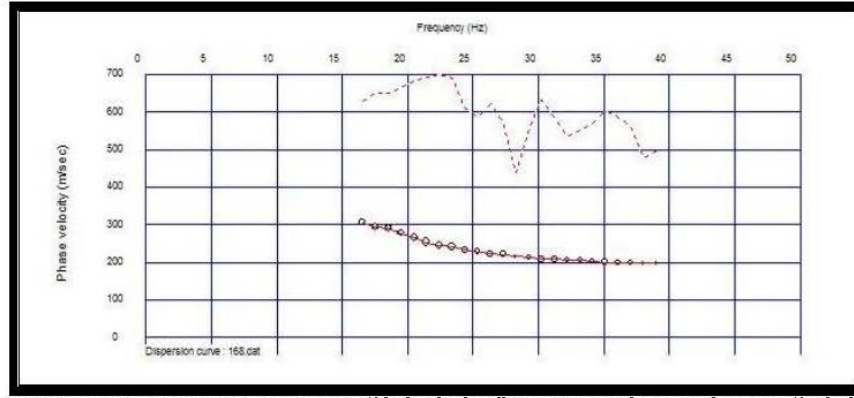
**MASW1 SİSMİK KIRILMA ANALİZİ SONUCUNDA ELDE EDİLEN P VE S DALGA HIZLARI VE BU HIZLARA BAĞLI HESAPLANAN DİNAMİK PARAMETRELER**



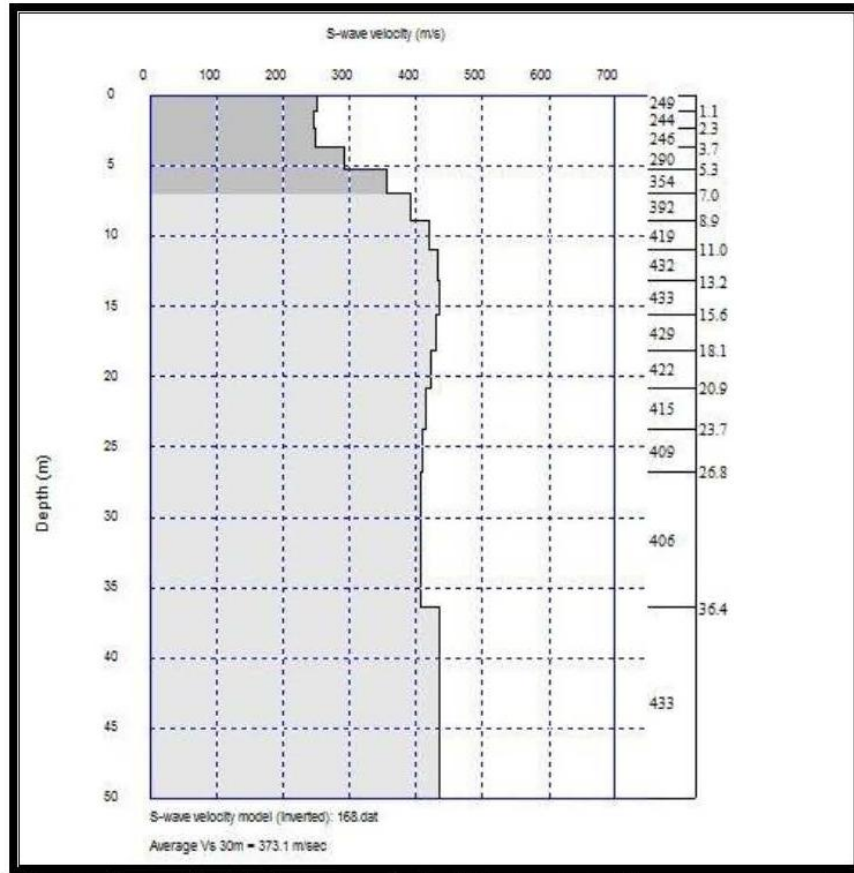
**MASW 4-40 HIZ BAND-PASS FİLTRELİ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



**MASW SİSMİK KAYITTA MEVCUT RAYLEIGH TİPİ YÜZEY DALGALARININ FAZ HIZ/FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON SPEKTRUMU**

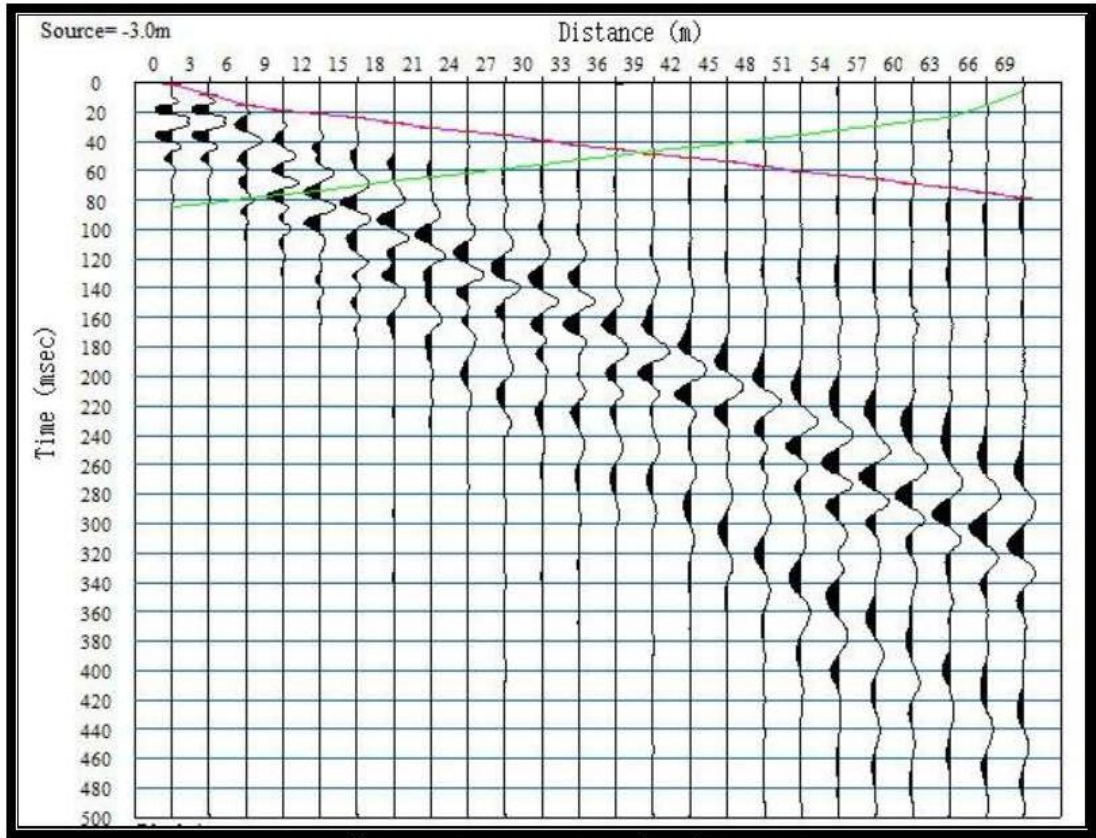


**MASWI FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON EĞRİSİ**

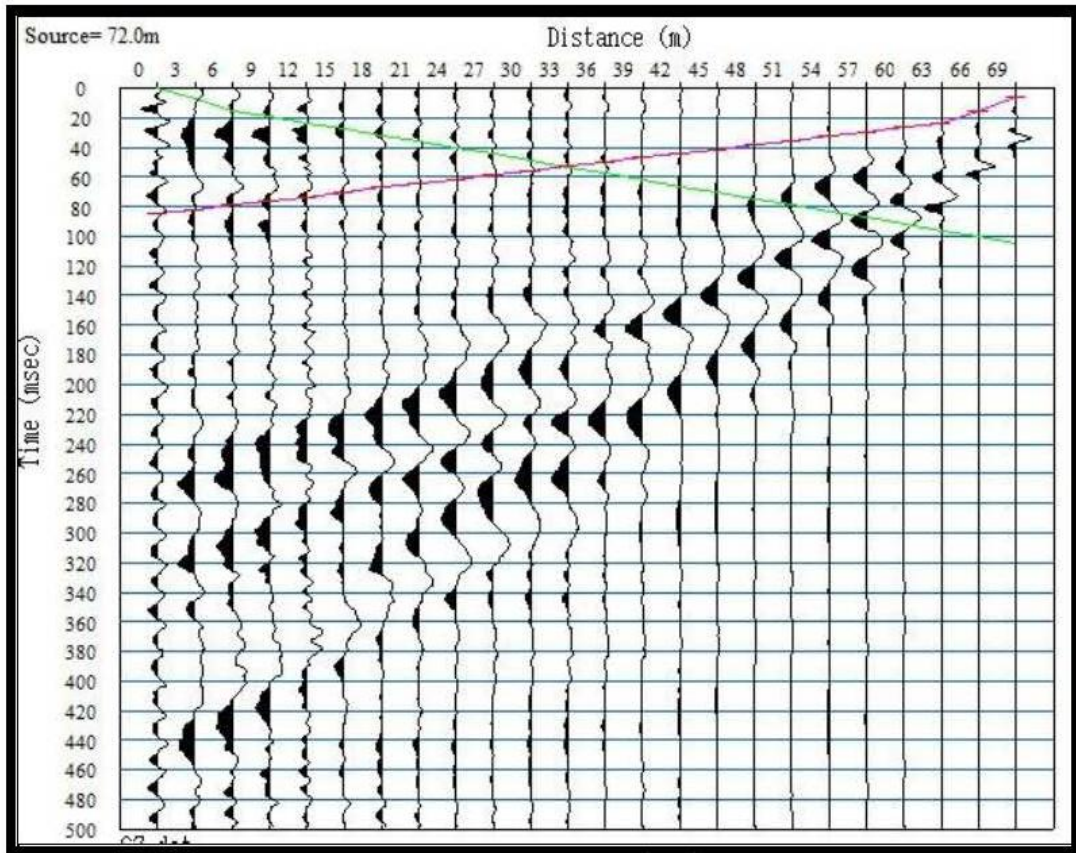


**MASWI DİSPERSİYON EĞRİSİNİN TERS ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN 15 TABAKALI S-TİPİ HIZ-  
DERİNLİK FONKSİYONU**

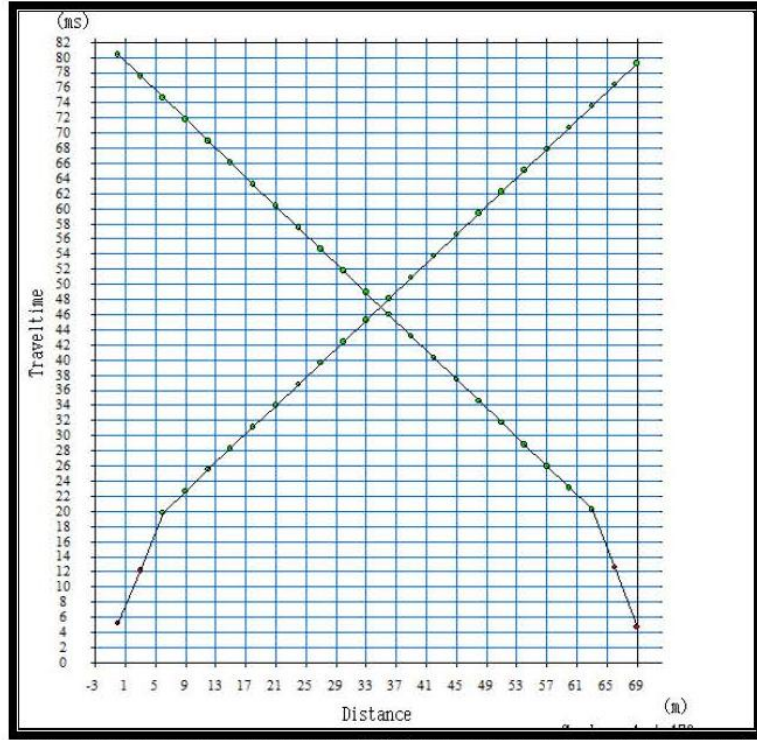




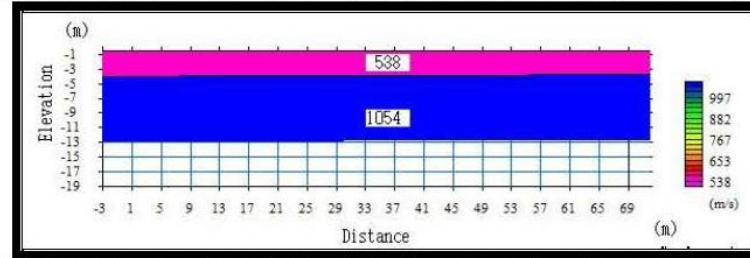
*P2 DÜZ ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT*



*P2 TERS ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT*



**P2 DALGASI YOL ZAMAN GRAFİĞİ İTERASYON SONRASI MODELİ**

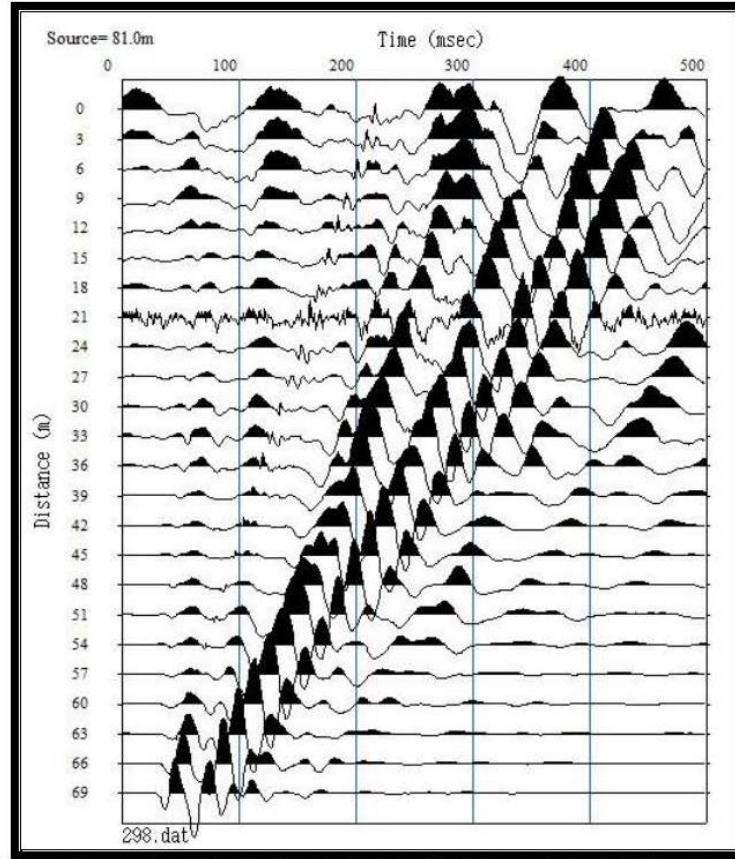


**P2 TİPİ HIZ-DERİNLİK DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN SİSMİK KIRILMA KESİTİ**

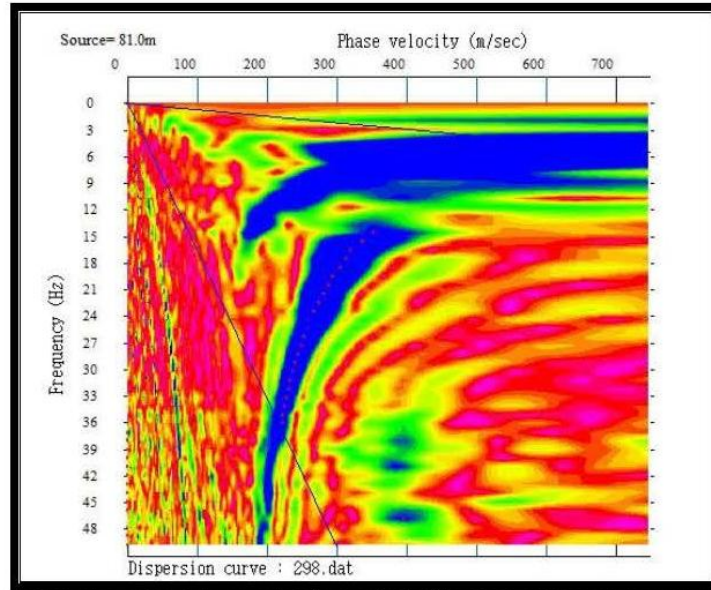
| Metre |              | Metre |
|-------|--------------|-------|
| 1     |              | 1     |
| 2     |              | 2     |
| 3     | VP1=538 m/s  | 3     |
| 4     |              | 4     |
| 5     |              | 5     |
| 6     |              | 6     |
| 7     |              | 7     |
| 8     |              | 8     |
| 9     | VP2=1054 m/s | 9     |
| 10    |              | 10    |
| 11    |              | 11    |
| 12    |              | 12    |

**MASW2 SİSMİK KIRILMA ANALİZİ SONUCUNDA ELDE EDİLEN P VE S DALGA HIZLARI VE BU HIZLARA BAĞLI HESAPLANAN DİNAMİK PARAMETRELER**

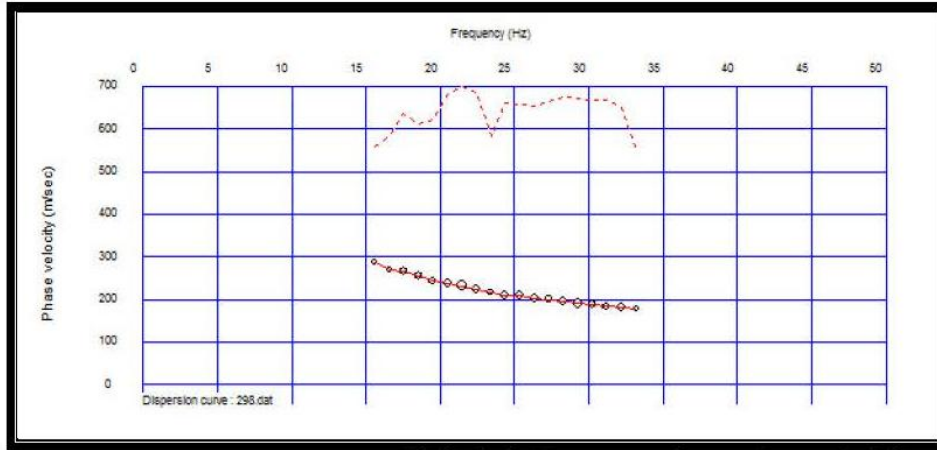




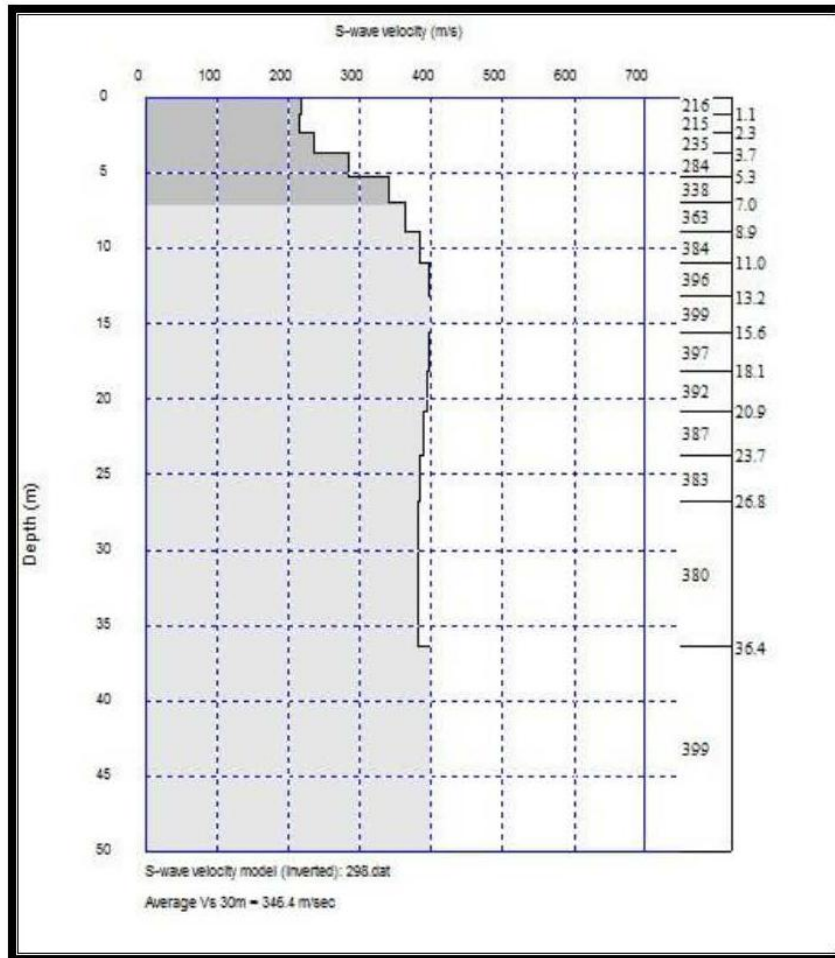
**MASW2 4-40 HIZ BAND-PASS FİLTRELİ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



**MASW2 SİSMİK KAYITTA MEVCUT RAYLEİGH TİPİ YÜZEY DALGALARININ FAZ HIZ/FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON SPEKTRUMU**

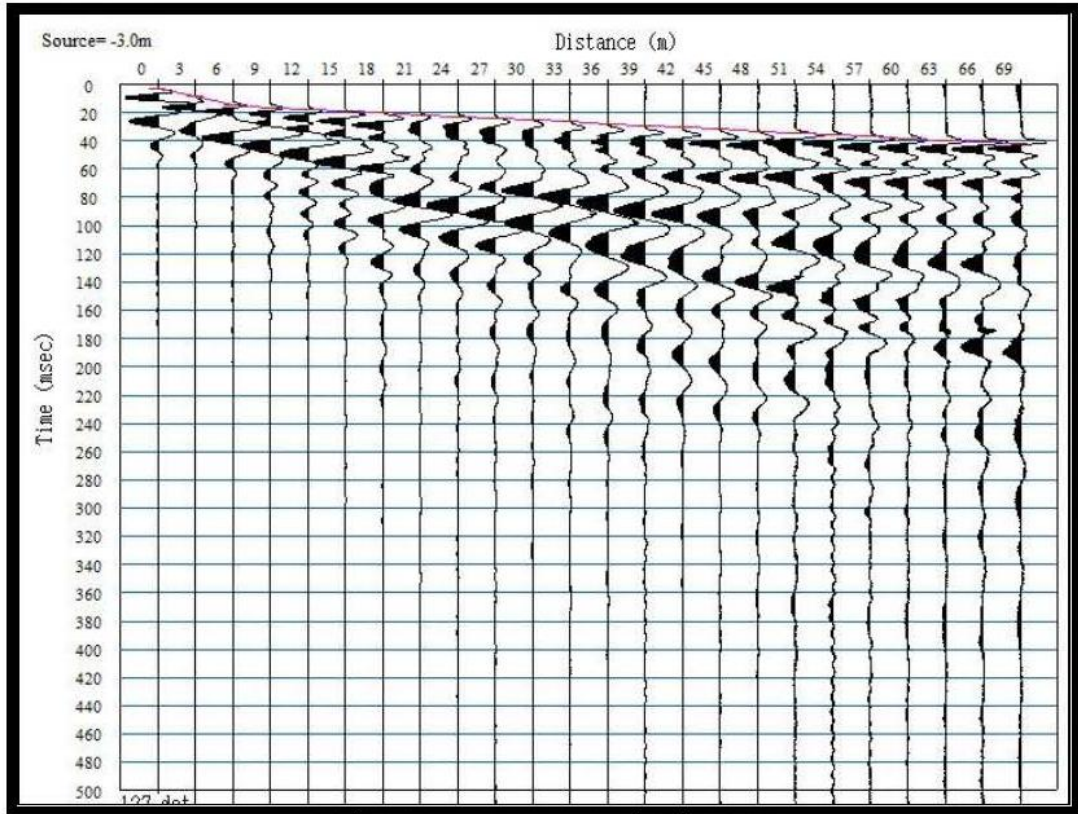


**MASW2 FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON EĞRİSİ**

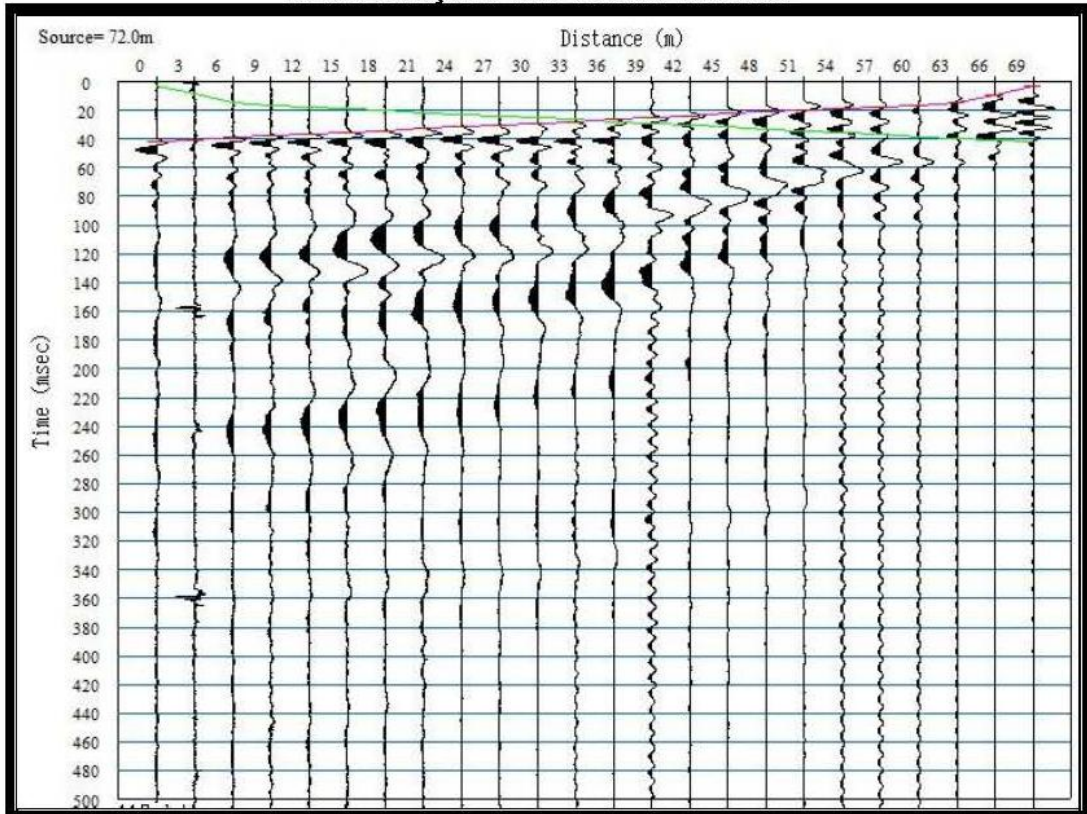


**MASW2 DİSPERSİYON EĞRİSİNİN TERS ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN 15 TABAKALI S-TİPİ HIZ-  
DERİNLİK FONKSİYONU**



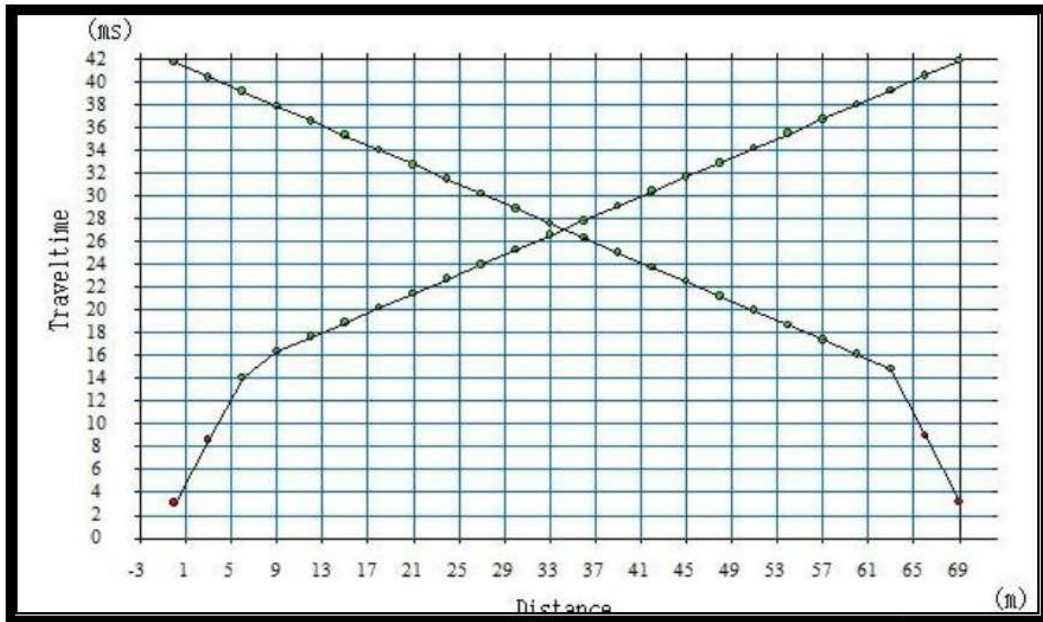


**P3 DÜZ ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**

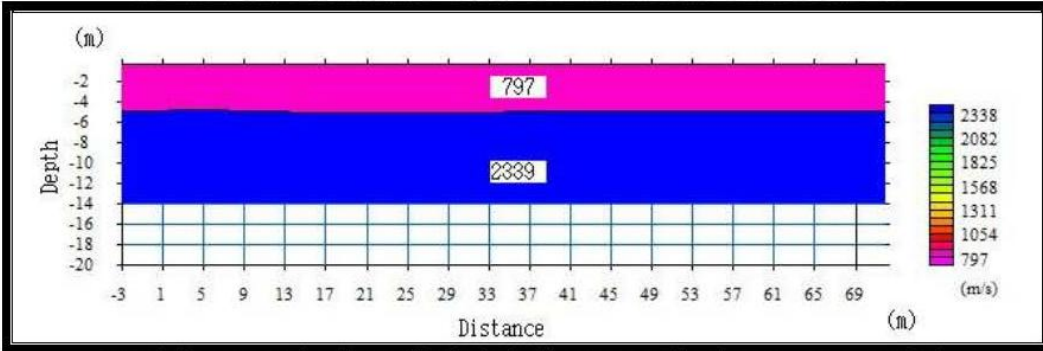


**P3 TERS ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**





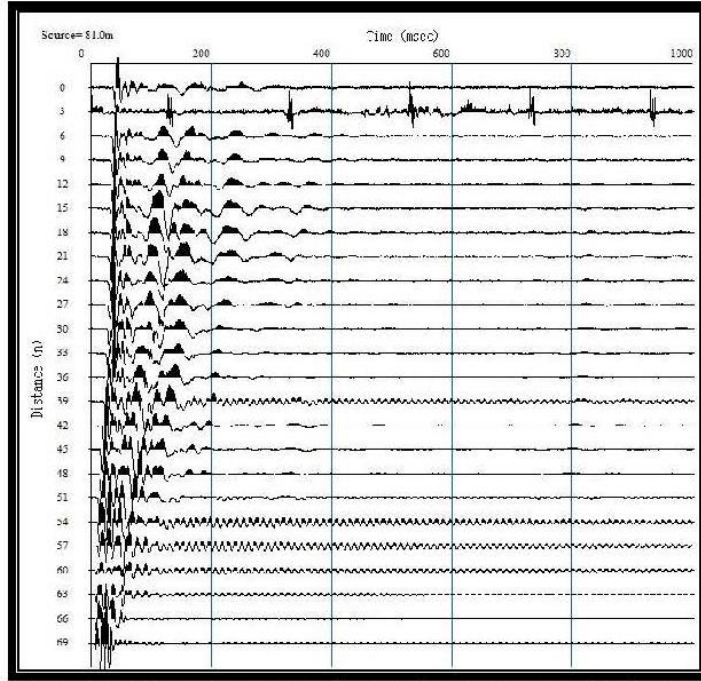
**P3 DALGASI YOL ZAMAN GRAFİĞİ İTERASYON SONRASI MODELİ**



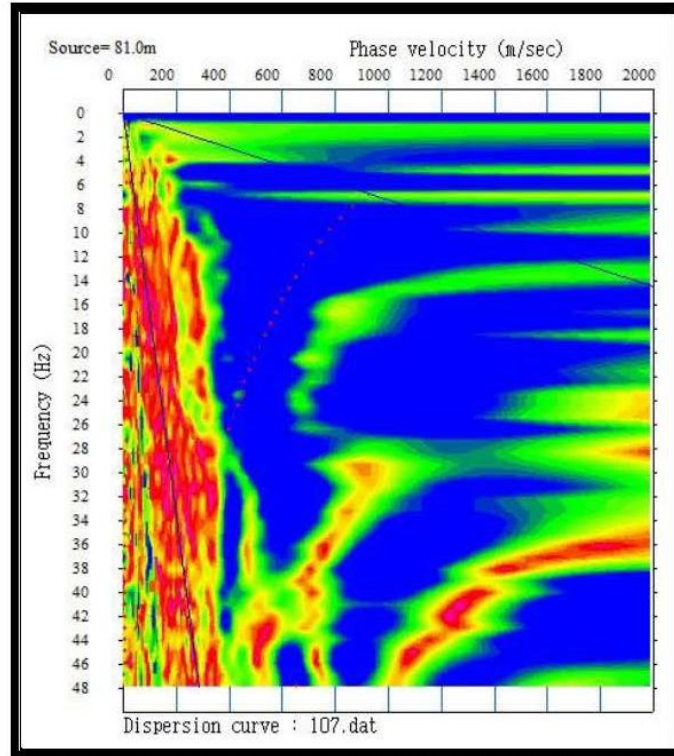
**P3 TİPİ HIZ-DERİNLİK DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN SİSMİK KIRILMA KESİTİ**

| Metre |               | Metre |
|-------|---------------|-------|
| 1     | VP1=797 m/s   | 1     |
| 2     |               | 2     |
| 3     |               | 3     |
| 4     |               | 4     |
| 5     |               | 5     |
| 6     | VP2=2339 m/sn | 6     |
| 7     |               | 7     |
| 8     |               | 8     |
| 9     |               | 9     |
| 10    |               | 10    |
| 11    |               | 11    |
| 12    |               | 12    |
|       | VS1=362 m/s   |       |
|       |               |       |
|       |               |       |
|       |               |       |
|       |               |       |
|       |               |       |
|       |               |       |
|       | VS2=691 m/s   |       |
|       |               |       |
|       |               |       |
|       |               |       |
|       |               |       |
|       |               |       |
|       |               |       |

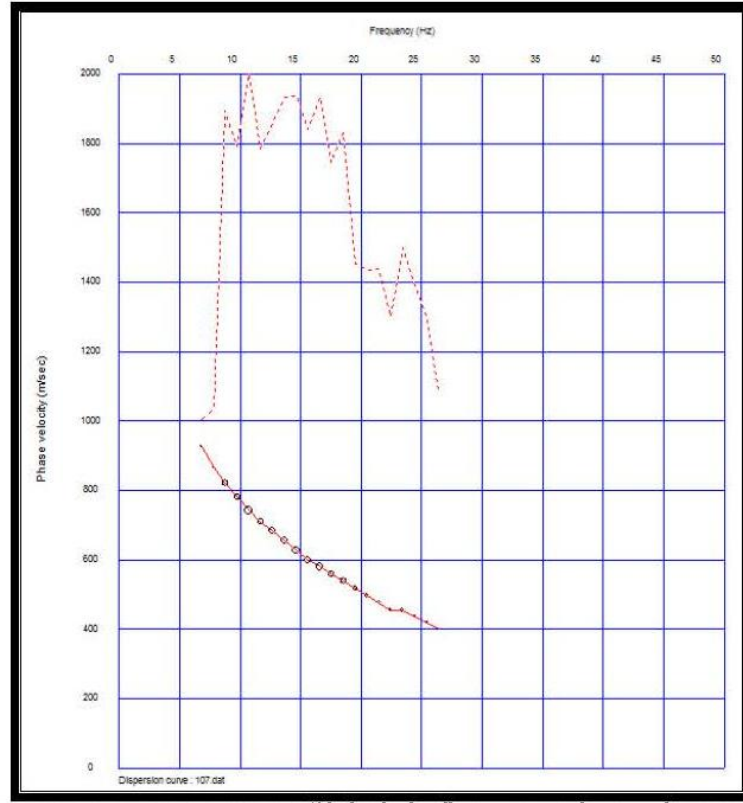
**MASW3 SİSMİK KIRILMA ANALİZİ SONUCUNDA ELDE EDİLEN P VE S DALGA HIZLARI VE BU HIZLARA BAĞLI HESAPLANAN DİNAMİK PARAMETRELER**



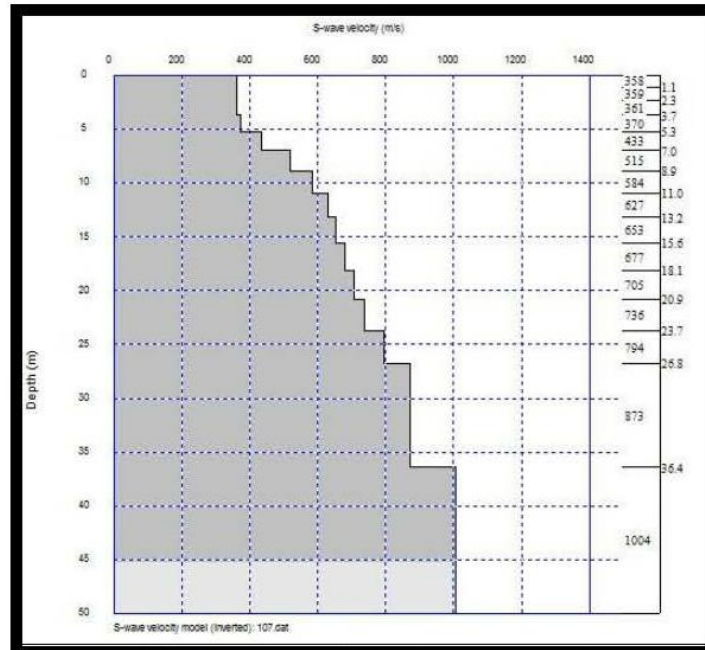
**MASW3 4-40 HIZ BAND-PASS FİLTRELİ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



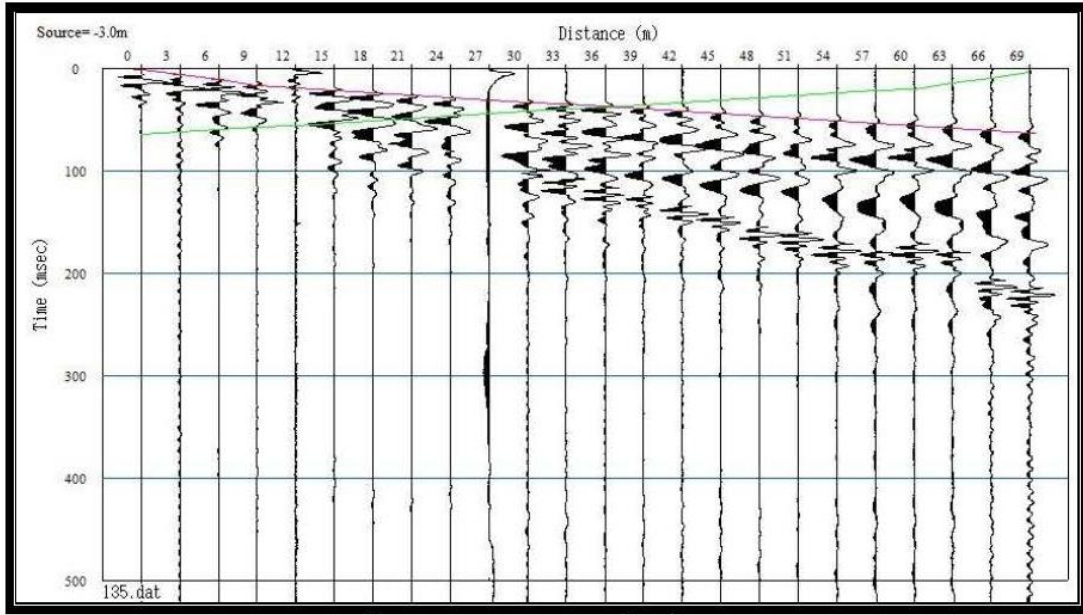
**MASW3 SİSMİK KAYITTA MEVCUT RAYLEİGH TİPİ YÜZEY DALGALARININ FAZ HIZ/FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON SPEKTRUMU**



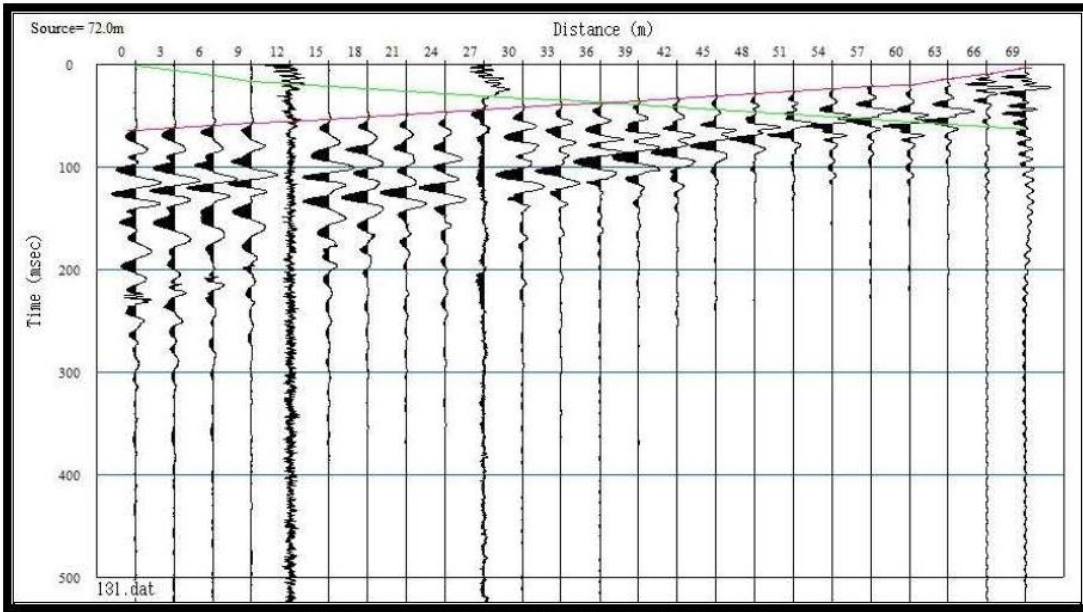
**MASW3 FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON EĞRİSİ**



**MASW3 DİSPERSİYON EĞRİSİNİN TERS ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN 15 TABAKALININ HIZ-  
DERİNLİK FONKSİYONU**

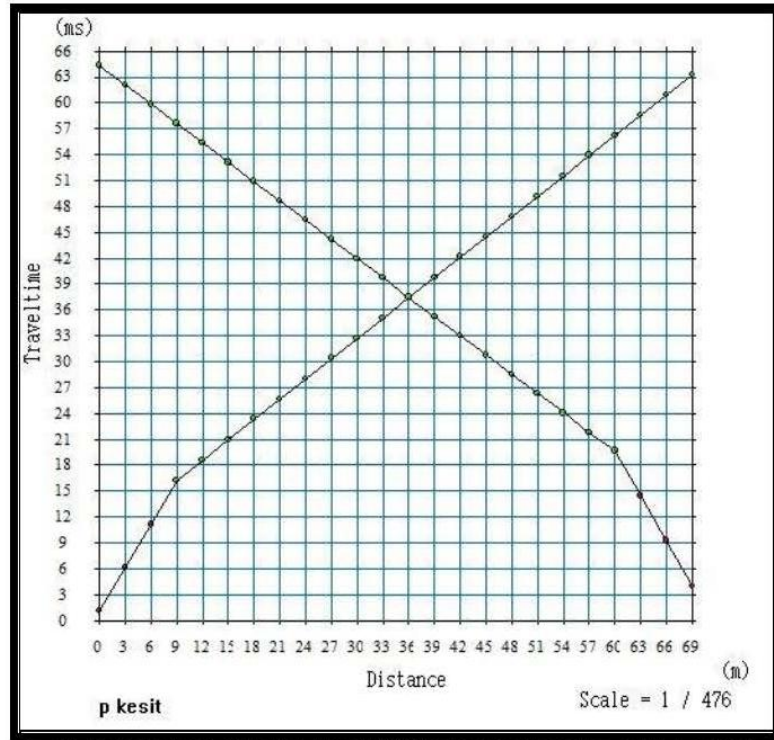


*P4 DÜZ ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT*

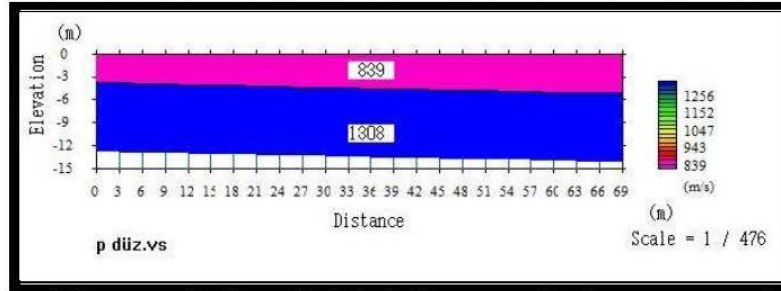


*P4 TERS ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT*

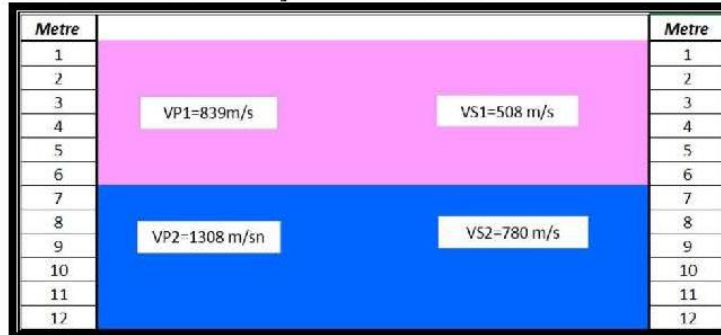




**P4 DALGASI YOL ZAMAN GRAFİĞİ İTERASYON SONRASI MODELİ**

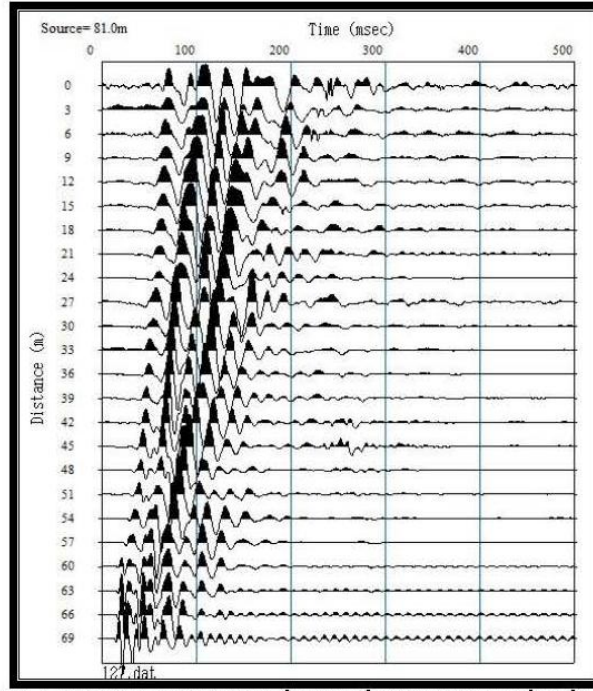


**P4 TİPİ HIZ-DERİNLİK DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN SİSMİK KIRILMA KESİTİ**

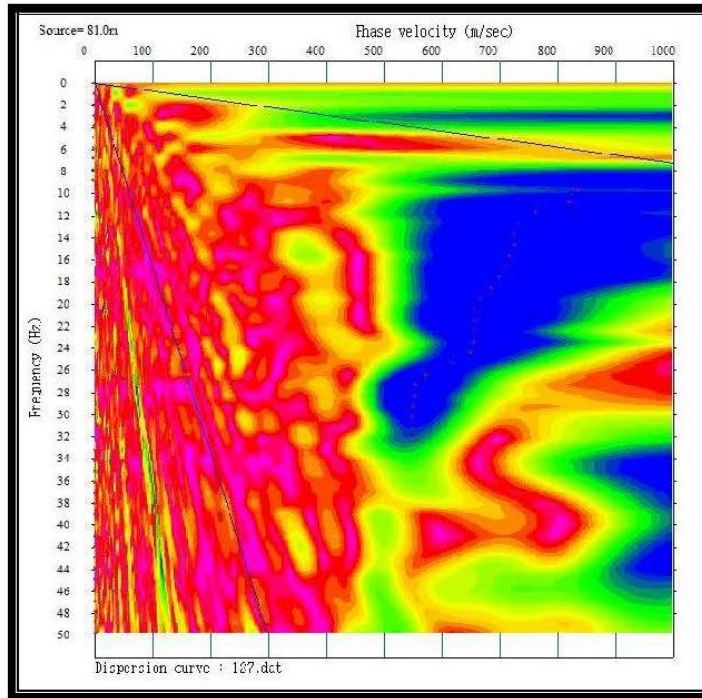


**MASW4 SİSMİK KIRILMA ANALİZİ SONUCUNDA ELDE EDİLEN P VE S DALGA HIZLARI VE BU HIZLARA BAĞLI HESAPLANAN DİNAMİK PARAMETRELER**

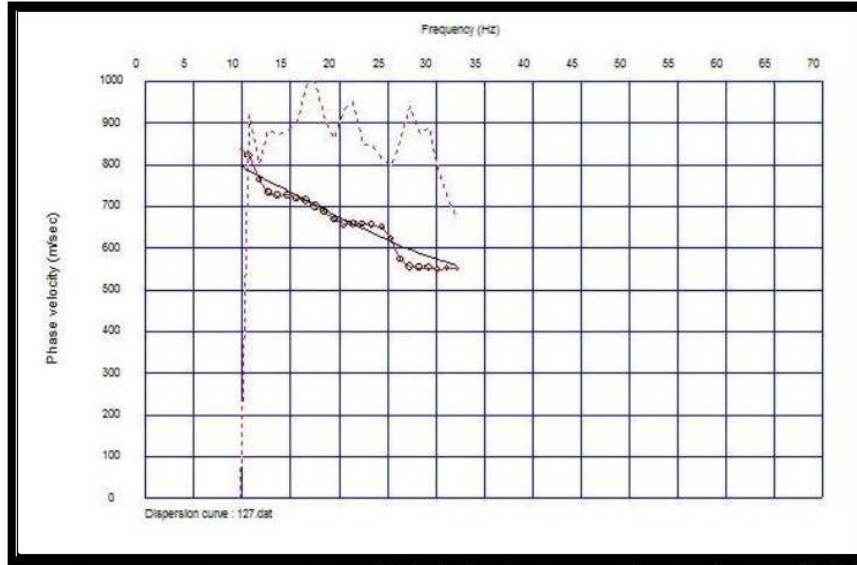




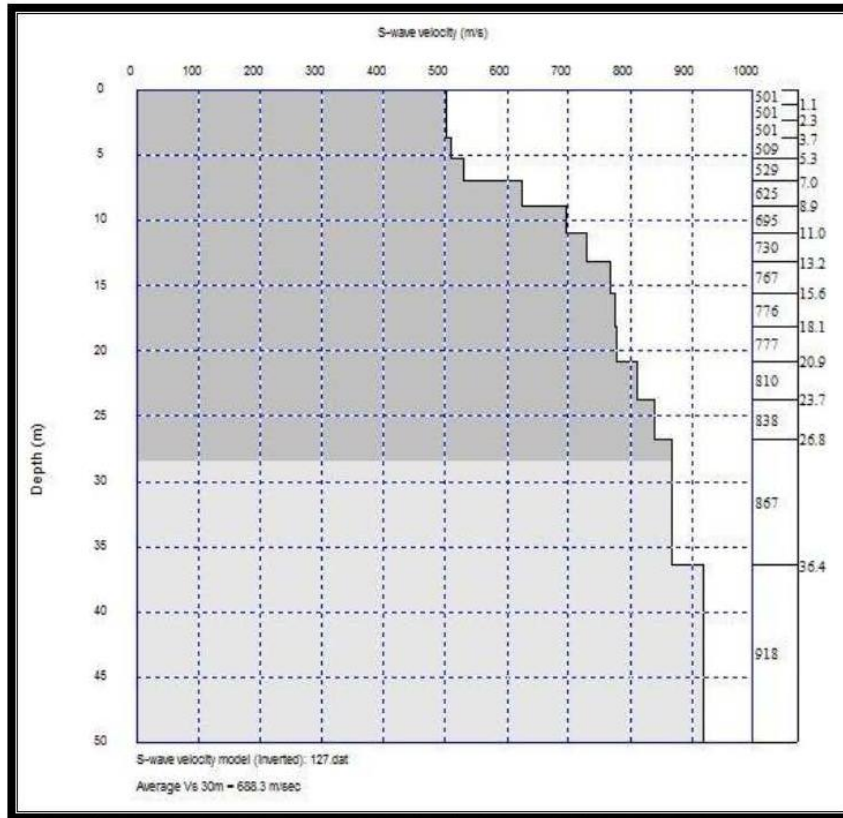
**MASW4 4-40 HIZ BAND-PASS FİLTRELİ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



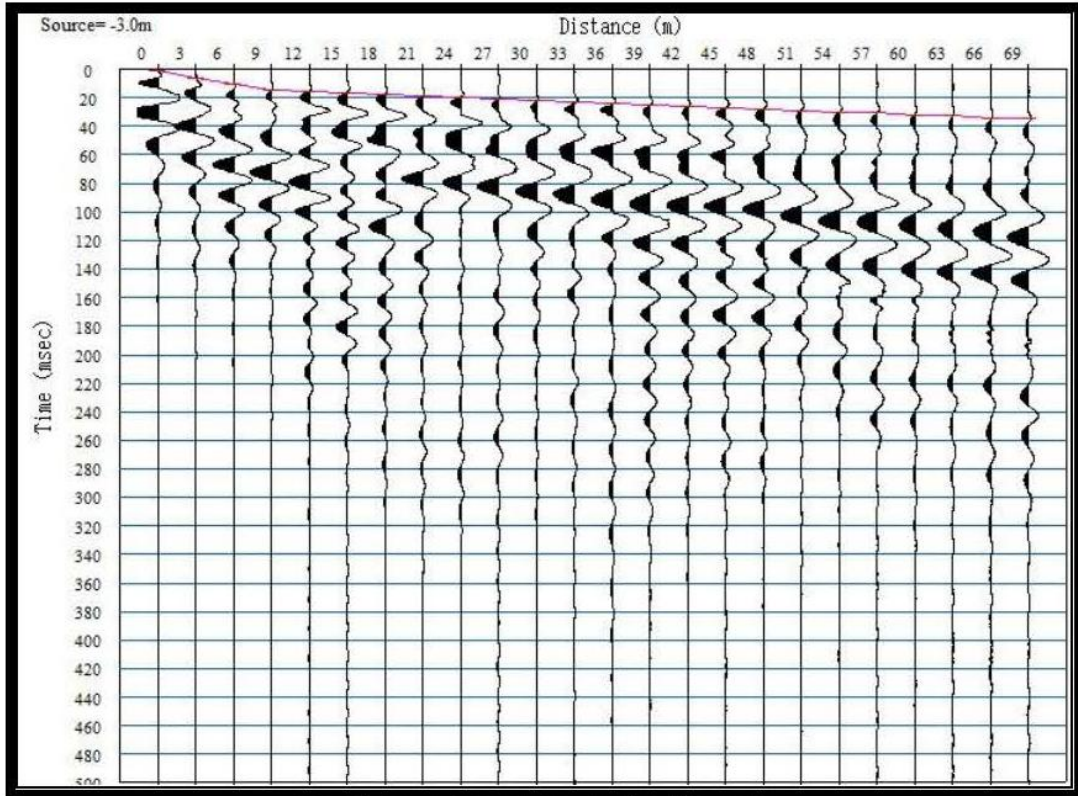
**MASW4 SİSMİK KAYITTA MEVCUT RAYLEİGH TİPİ YÜZEY DALGALARININ FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON SPEKTRUMU**



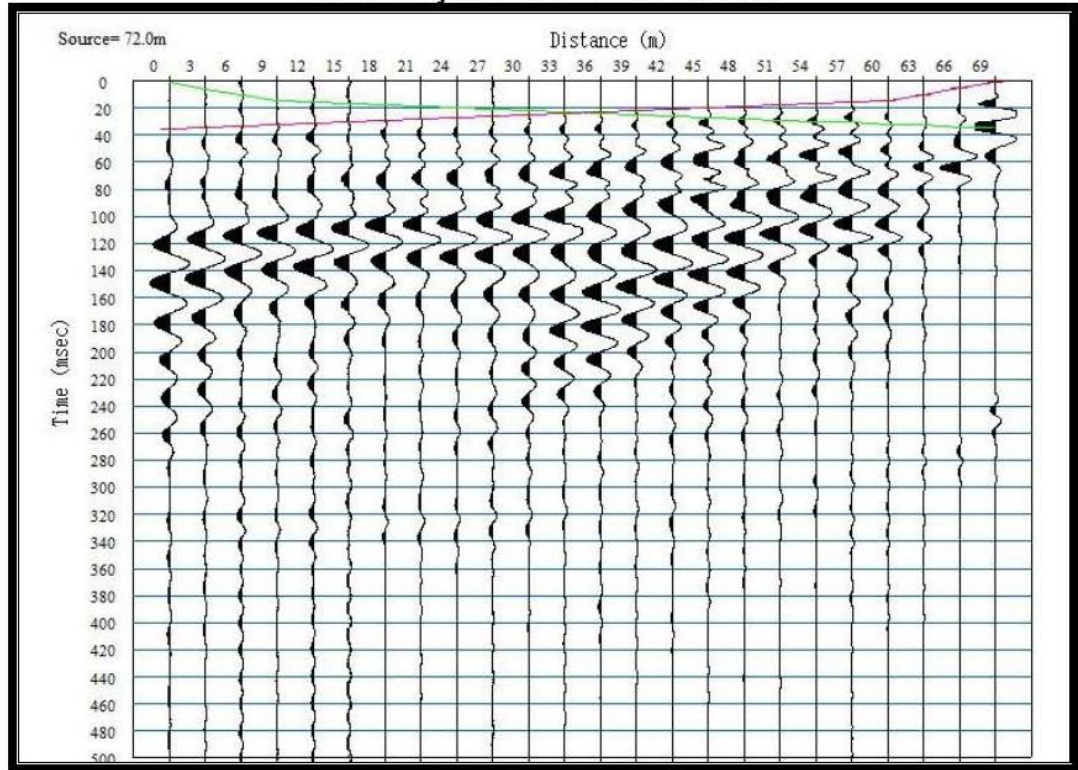
**MASW4 FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON EĞRİSİ**



**MASW4 DİSPERSİYON EĞRİSİNİN TERS ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN 15 TABAKALI S-TİPİ HIZ-  
DERİNLİK FONKSİYONU**

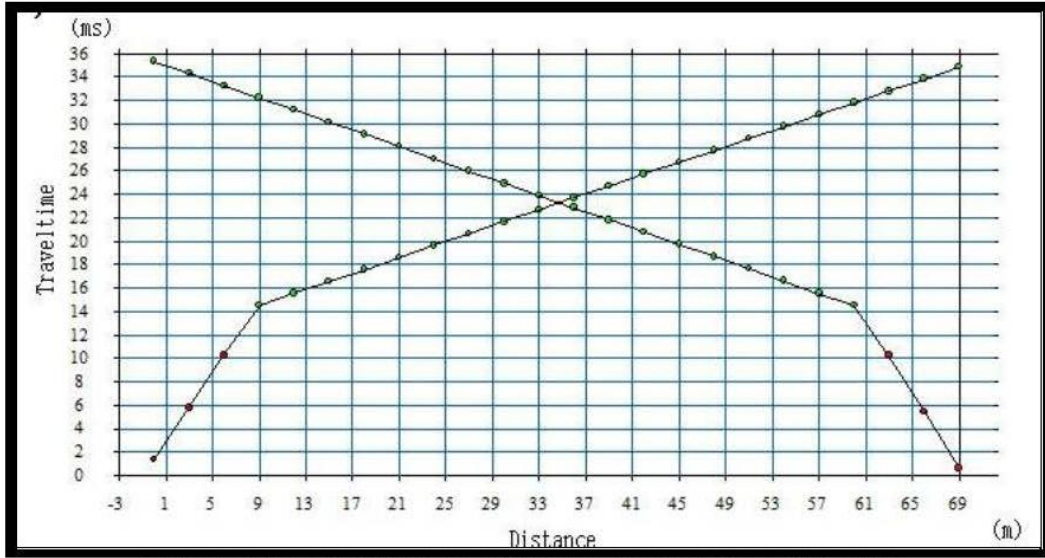


*P5 DÜZ ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT*

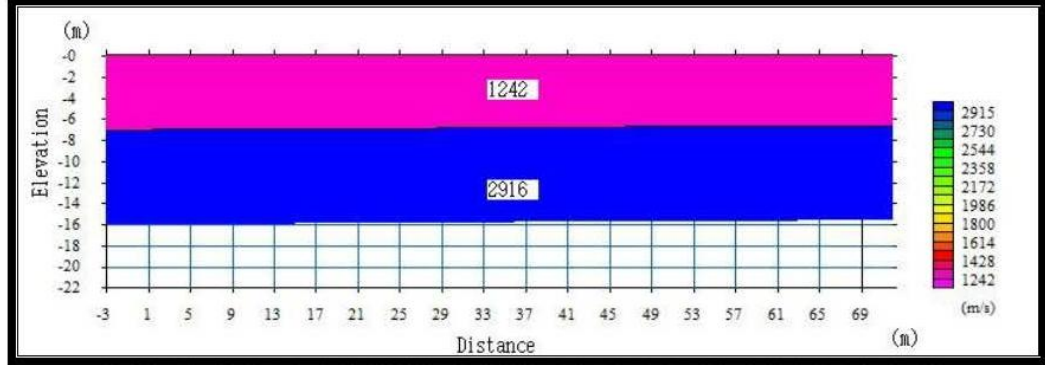


*P5 TERS ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT*





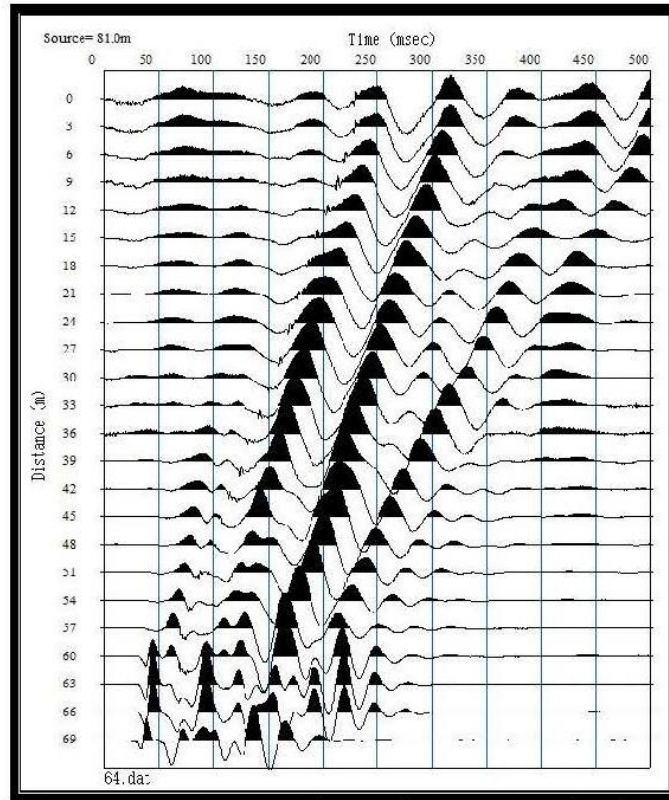
**P5 DALGASI YOL ZAMAN GRAFİĞİ İTERASYON SONRASI MODELİ**



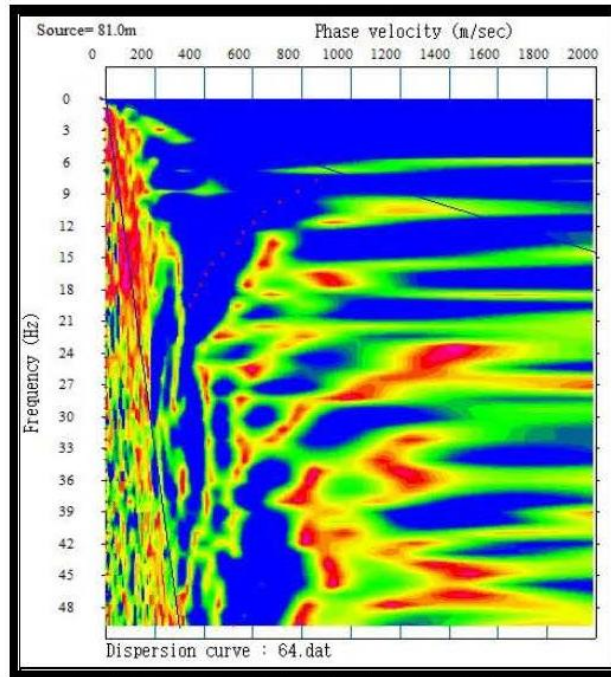
**P5 TİPİ HIZ-DERİNLİK DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN SİSMİK KIRILMA KESİTİ**

| Metre |               | Metre |
|-------|---------------|-------|
| 1     |               | 1     |
| 2     |               | 2     |
| 3     |               | 3     |
| 4     | VP1=1242 m/s  | 4     |
| 5     |               | 5     |
| 6     |               | 6     |
| 7     |               | 7     |
| 8     |               | 8     |
| 9     | VP2=2916 m/sn | 9     |
| 10    |               | 10    |
| 11    |               | 11    |
| 12    |               | 12    |

**MASW5 SİSMİK KIRILMA ANALİZİ SONUCUNDA ELDE EDİLEN P VE S DALGA HIZLARI VE BU HIZLARA BAĞLI HESAPLANAN DİNAMİK PARAMETRELER**

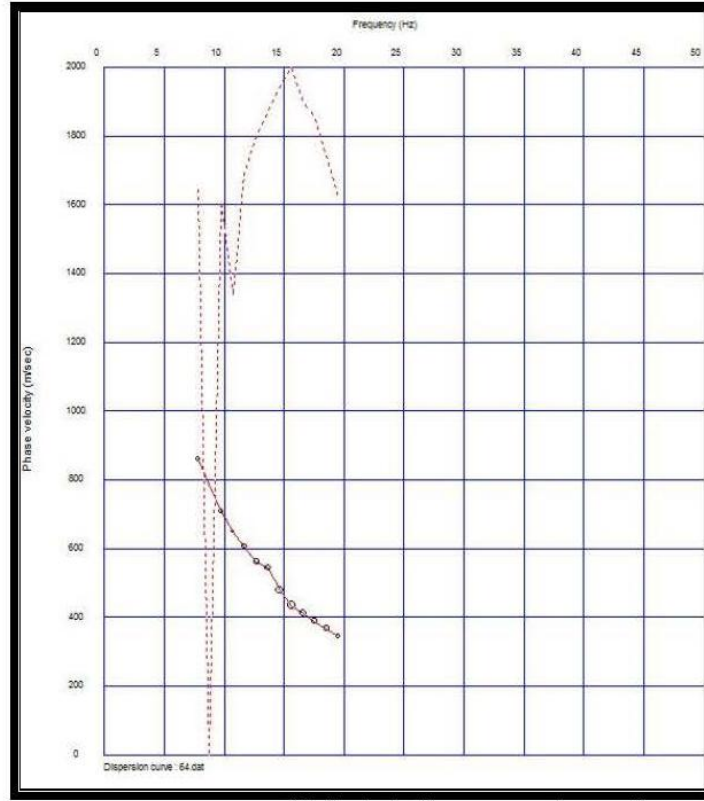


**MASW 4-40 HIZ BAND-PASS FİLTRELİ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



**MASW SİSMİK KAYITTA MEVCUT RAYLEİGH TİPİ YÜZEY DALGALARININ FAZ HIZ/FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON SPEKTRUMU**

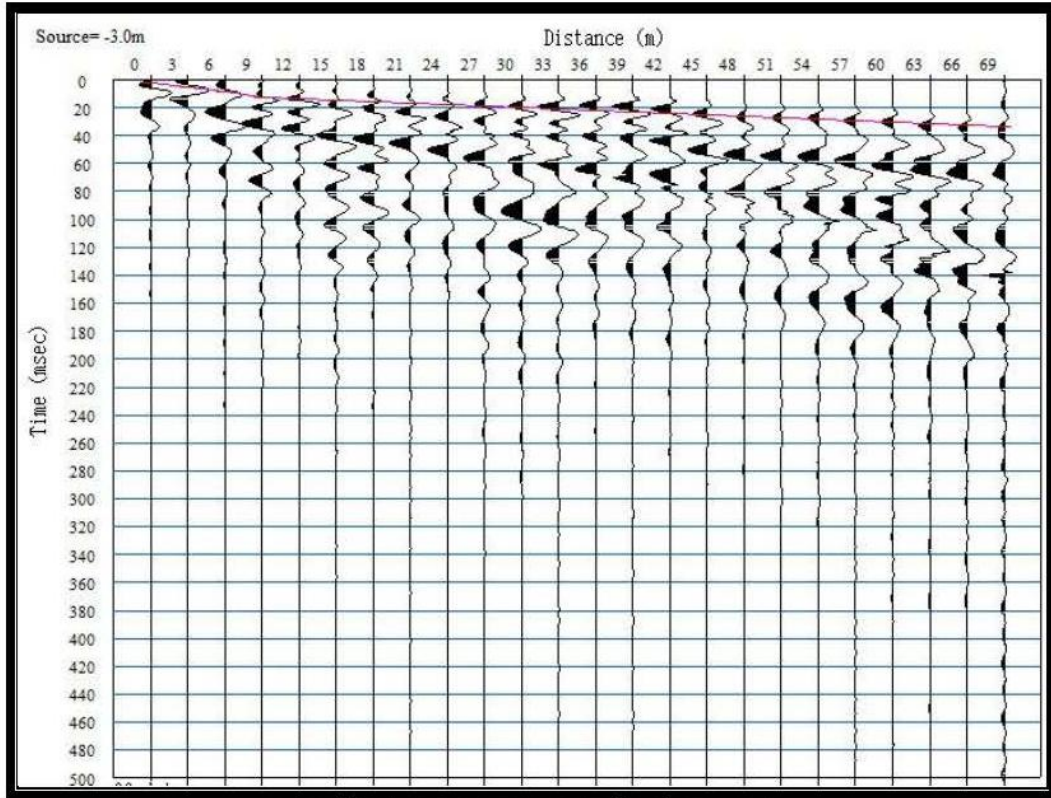




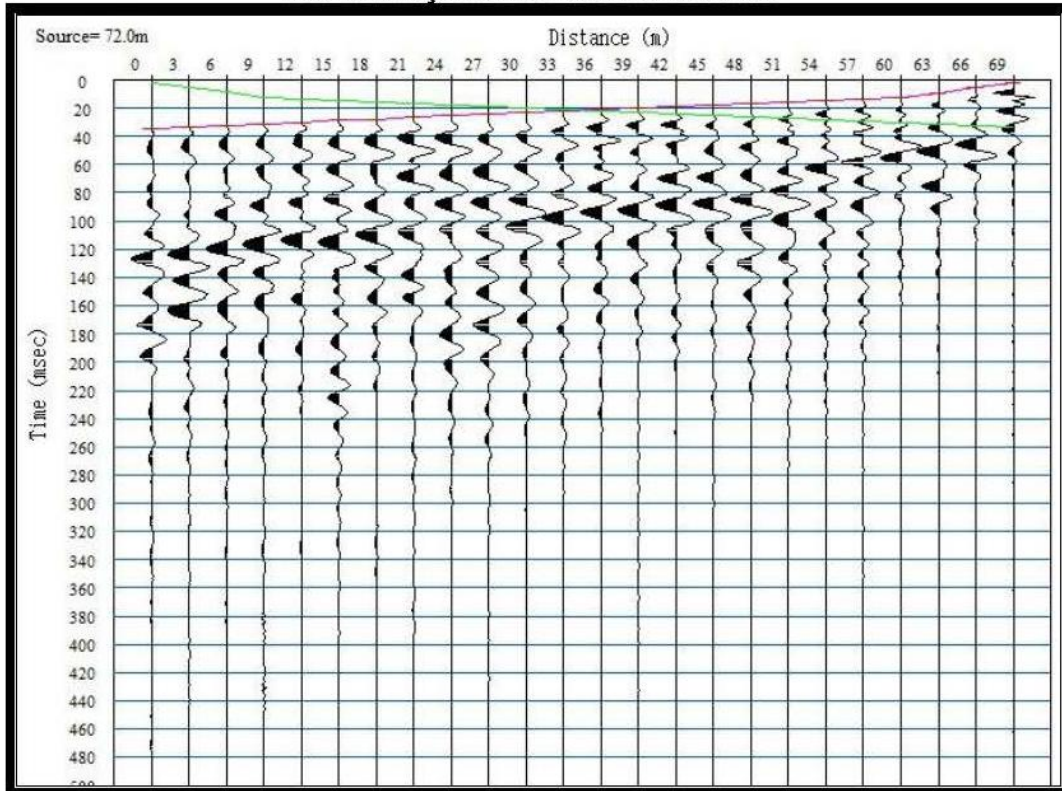
**MASW FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON EĞRİSİ**



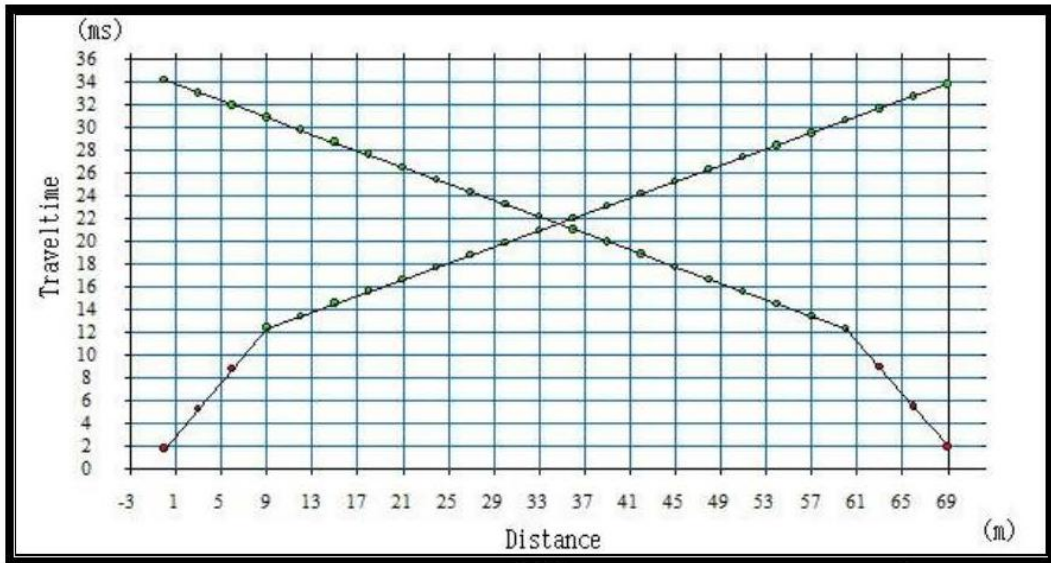
**MASW DİSPERSİYON EĞRİSİNİN TERS ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN 15 TABAKALIS-TİPİ HIZ-  
DERİNLİK FONKSİYONU**



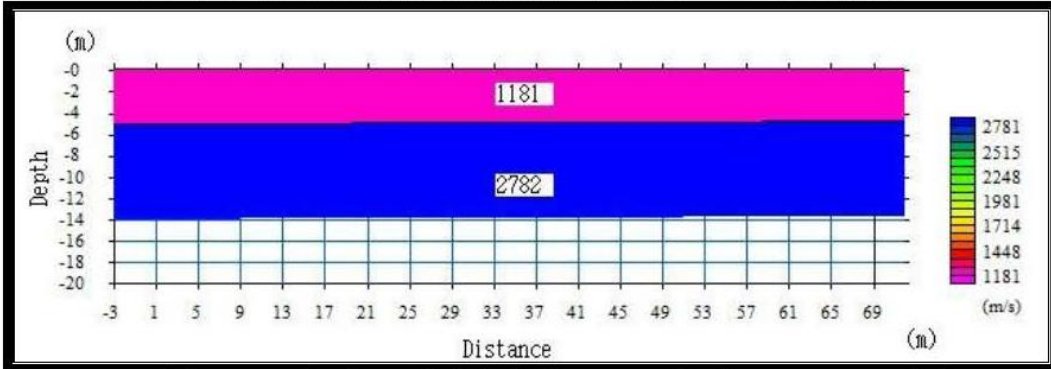
**P6 DÜZ ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



**P6 TERS ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



**P6 DALGASI YOL ZAMAN GRAFIĞI İTERASYON SONRASI MODELİ**

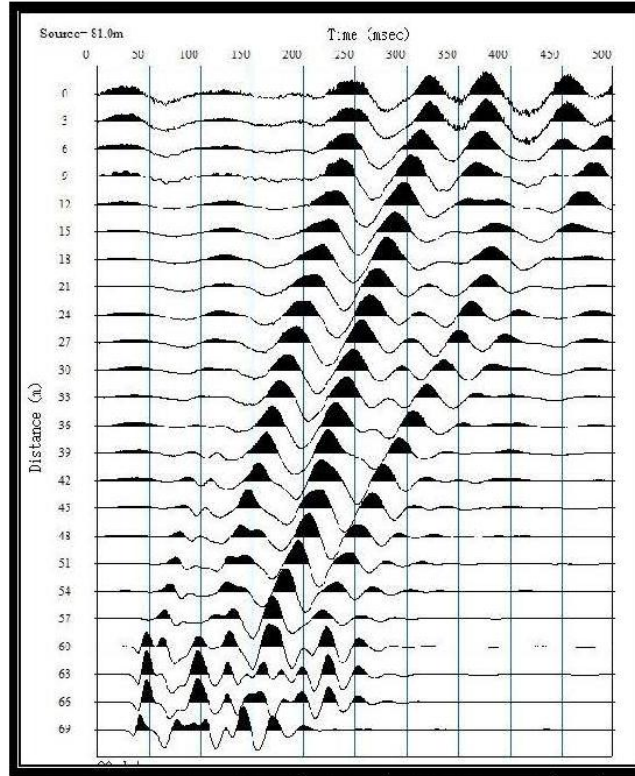


**P6 TİPİ HIZ-DERİNLİK DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN SİSMİK KIRILMA KESİTİ**

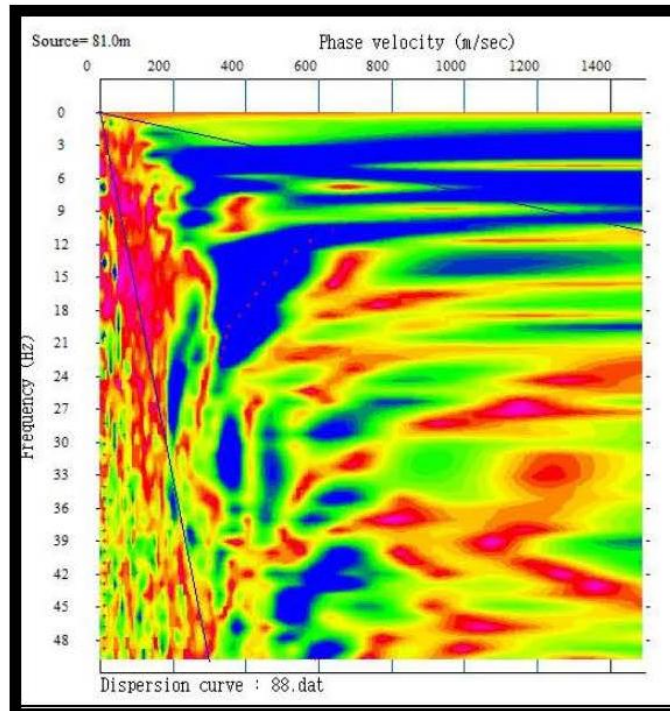
| Metre |               | Metre |
|-------|---------------|-------|
| 1     |               | 1     |
| 2     |               | 2     |
| 3     | VP1=1181 m/s  | 3     |
| 4     |               | 4     |
| 5     |               | 5     |
| 6     |               | 6     |
| 7     |               | 7     |
| 8     | VP2=2782 m/sn | 8     |
| 9     |               | 9     |
| 10    |               | 10    |
| 11    |               | 11    |
| 12    |               | 12    |

**MASW6 SİSMİK KIRILMA ANALİZİ SONUCUNDA ELDE EDİLEN P VE S DALGA HIZLARI VE BU HIZLARA BAĞLI HESAPLANAN DİNAMİK PARAMETRELER**

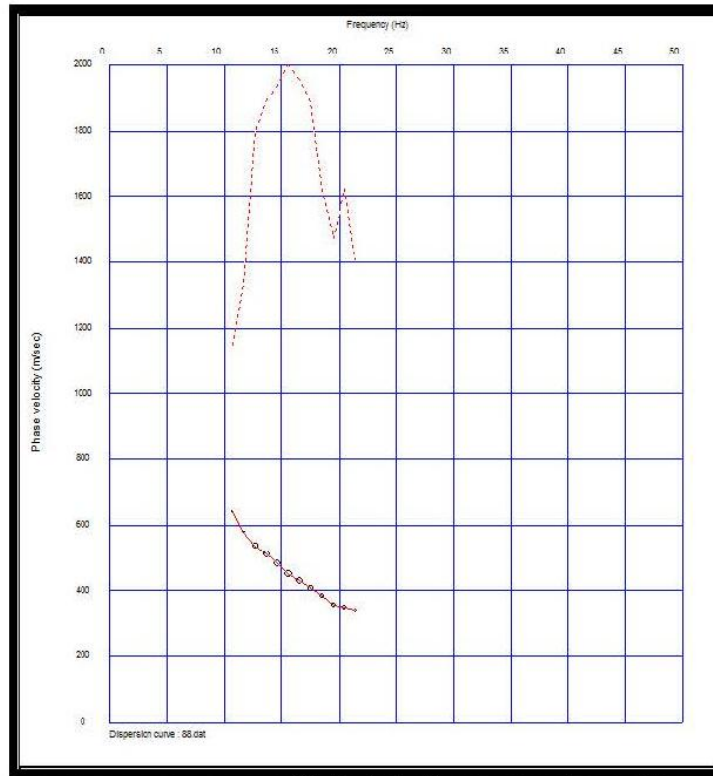




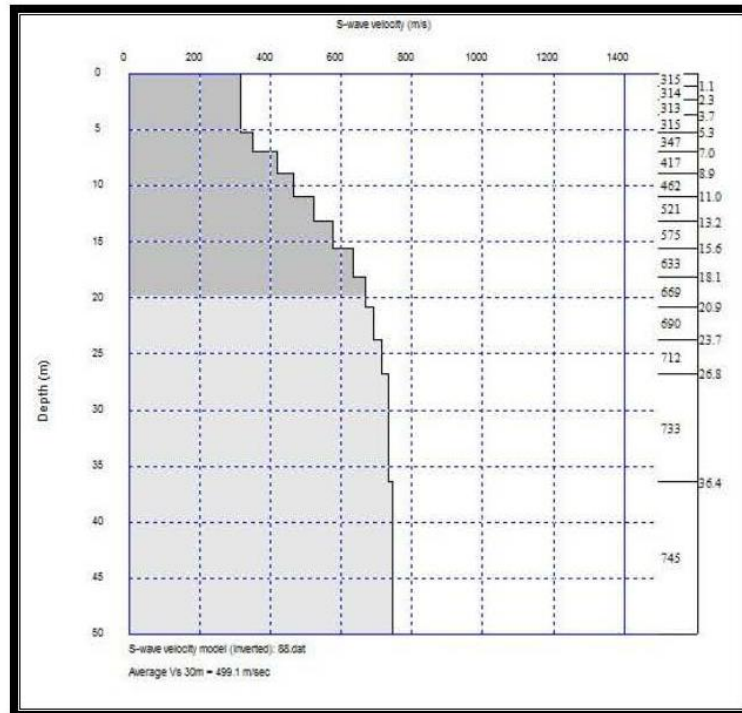
**MASW 4-40 HIZ BAND-PASS FİLTRELİ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



**MASW SİSMİK KAYITTA MEVCUT RAYLEİGH TİPİ YÜZEY DALGALARININ FAZ HIZ/FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON SPEKTRUMU**

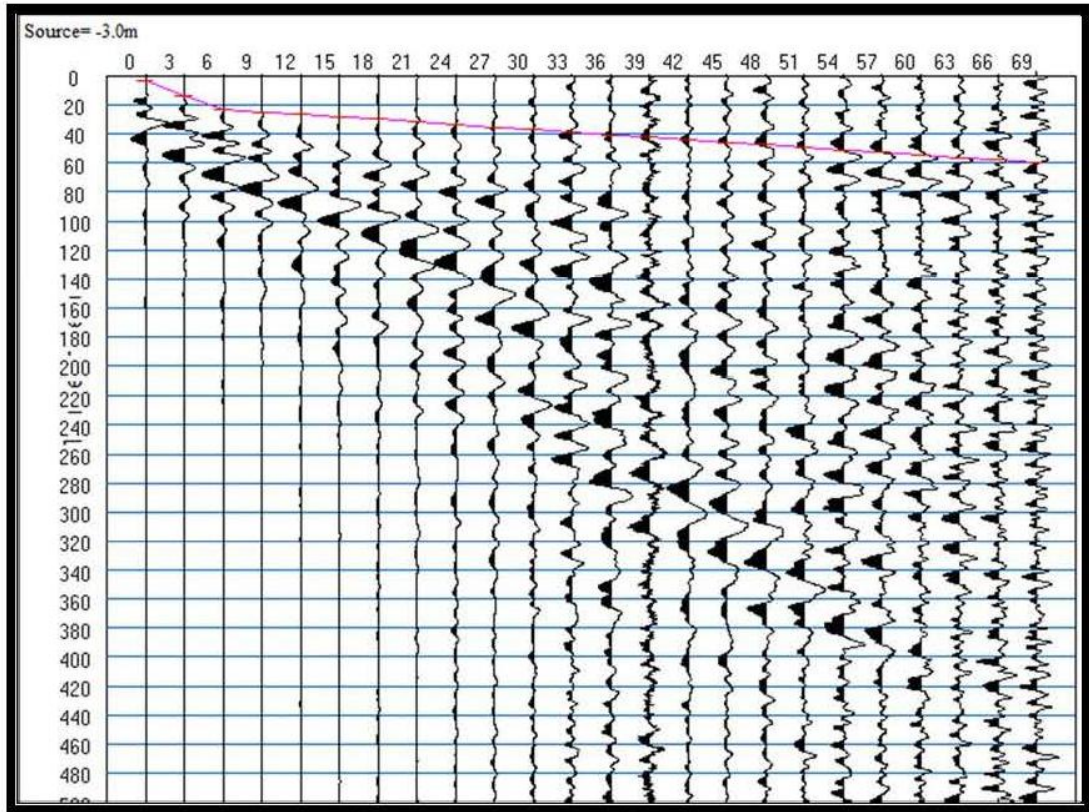


**MASW6 FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON EĞRİSİ**

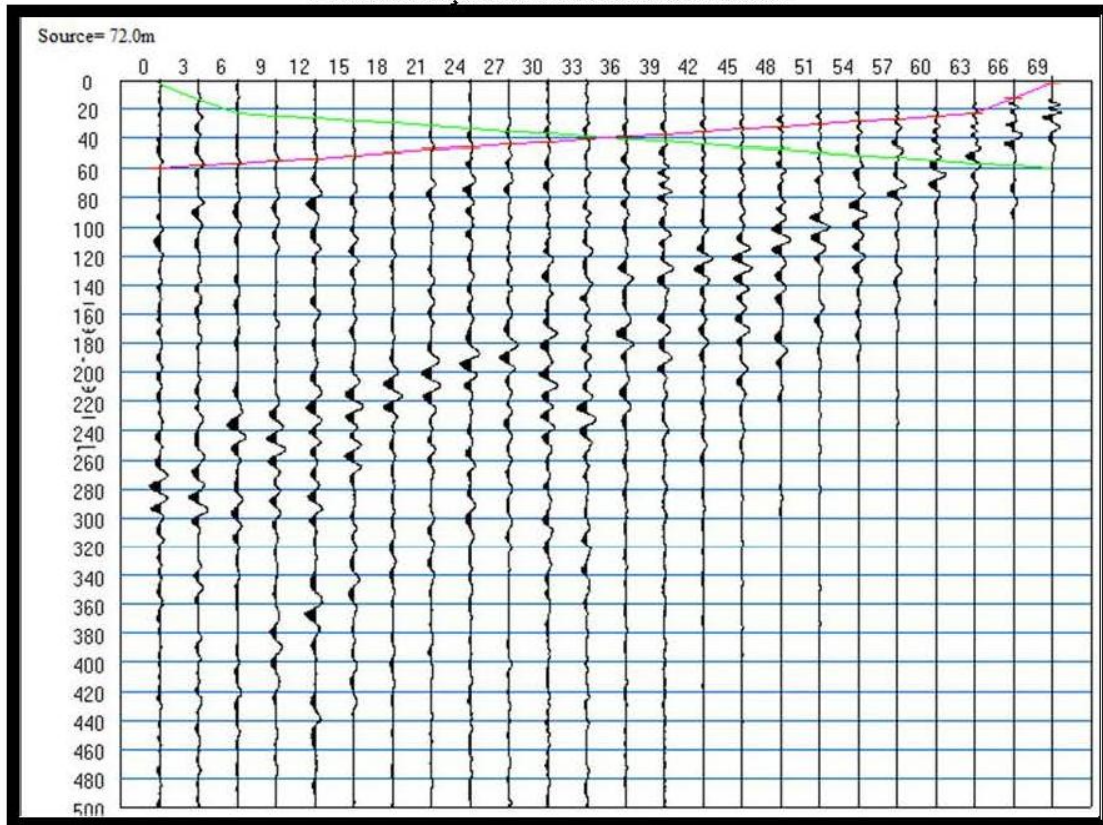


**MASW6 DİSPERSİYON EĞRİSİNİN TERS ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN 15 TABAKALI S-TİPİ HIZ-  
DERİNLİK FONKSİYONU**

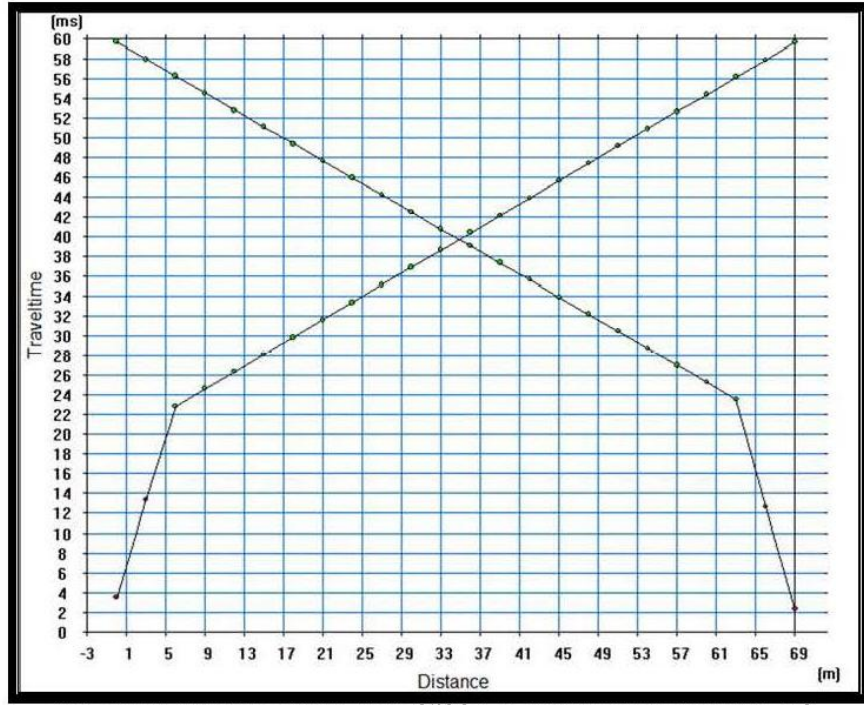




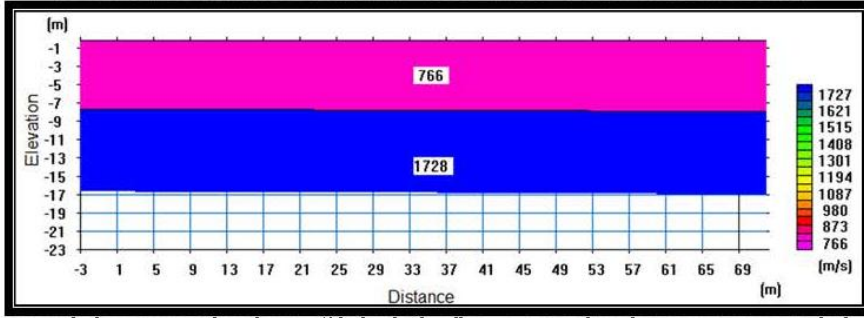
*P7 DÜZ ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT*



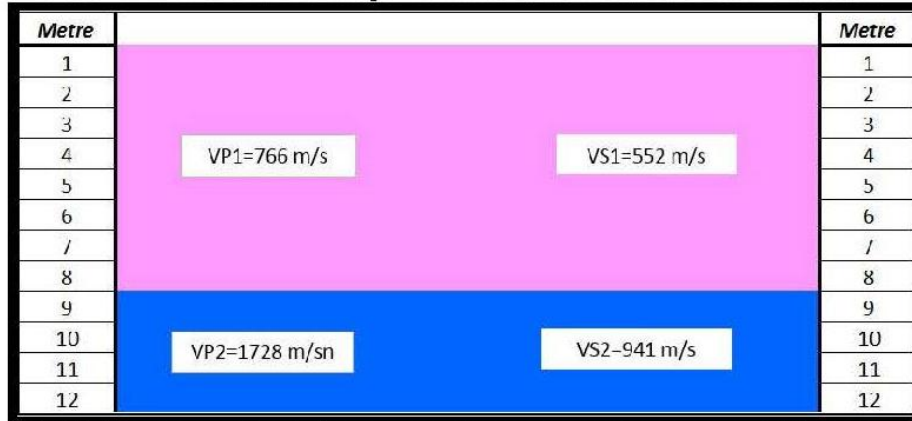
*P7 TERS ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT*



**P7 DALGASI YOL ZAMAN GRAFİĞİ İTERASYON SONRASI MODELİ**

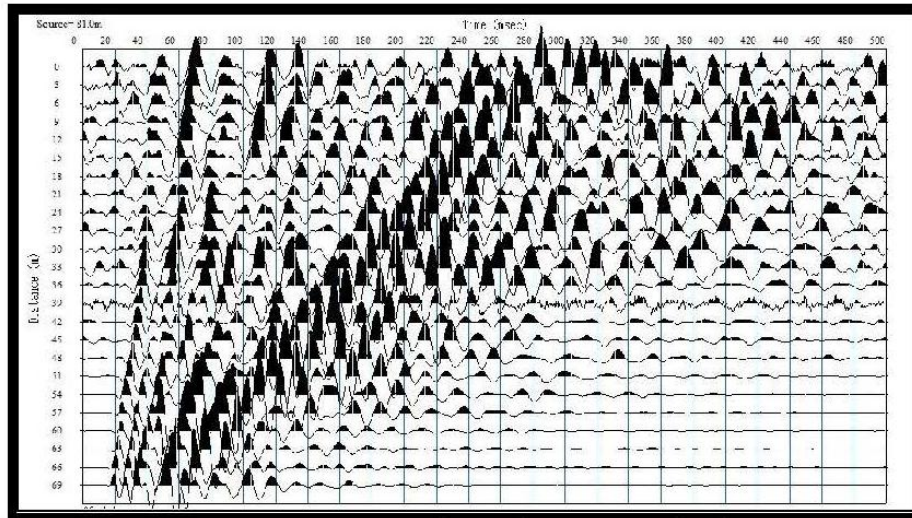


**P7 TİPİ HIZ-DERİNLİK DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN SİSMİK KIRILMA KESİTİ**

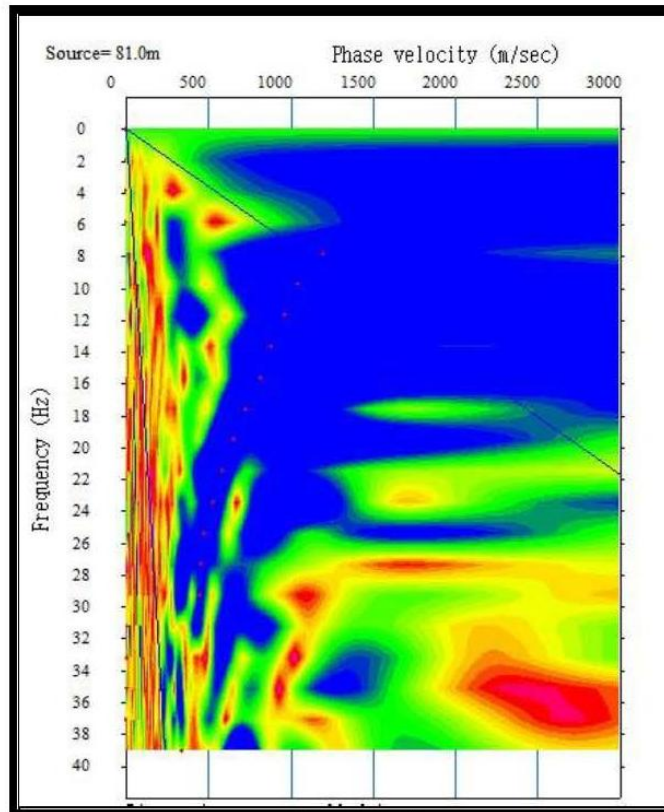


**MASW7 SİSMİK KIRILMA ANALİZİ SONUCUNDA ELDE EDİLEN P VE S DALGA HIZLARI VE BU HIZLARA BAĞLI HESAPLANAN DİNAMİK PARAMETRELER**

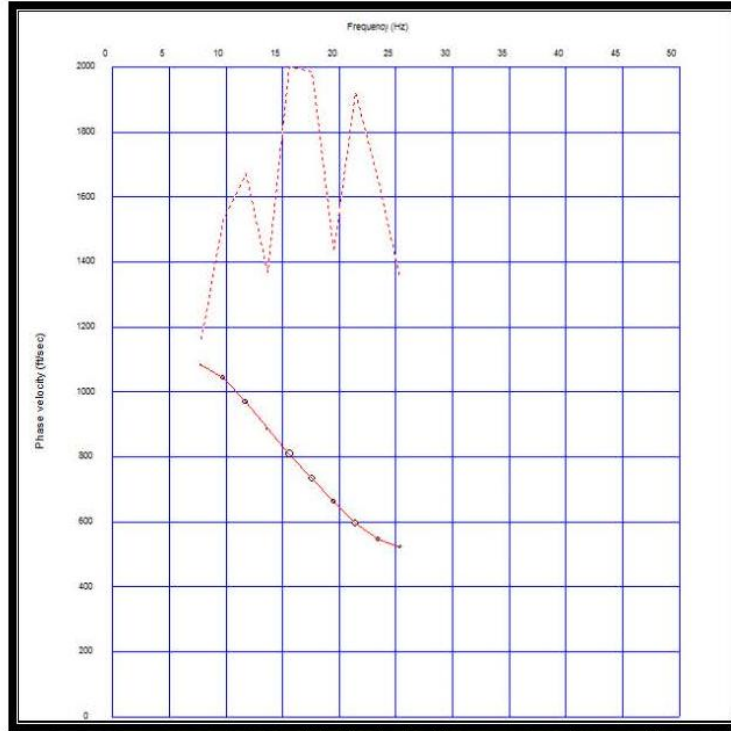




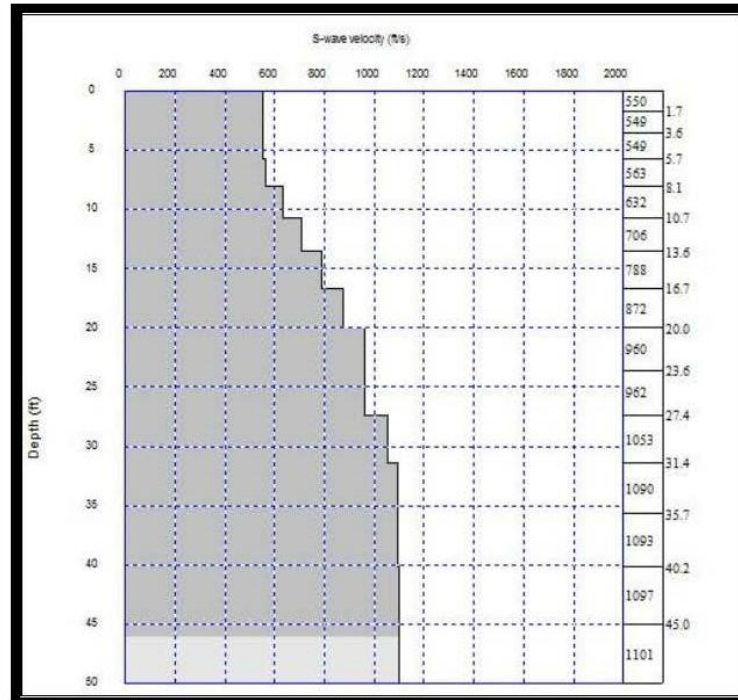
**MASW 4-40 HIZ BAND-PASS FİLTRELİ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



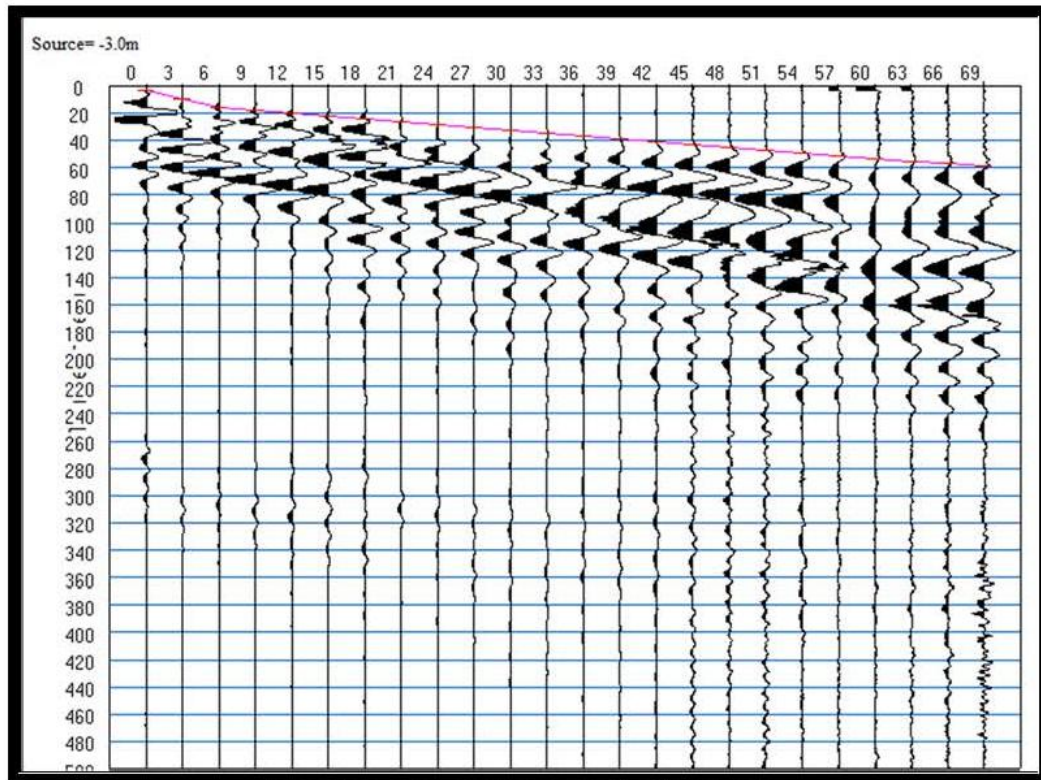
**MASW SİSMİK KAYITTA MEVCUT RAYLEİGH TİPİ YÜZEY DALGALARININ FAZ HIZIFREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON SPEKTRUMU**



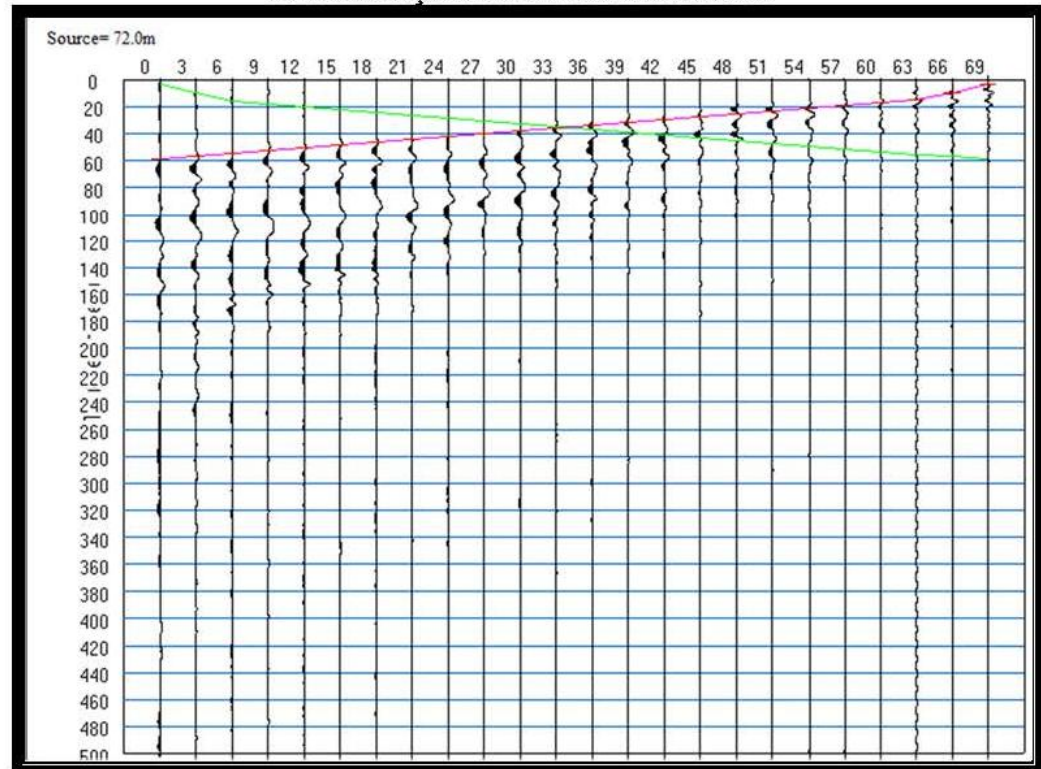
**MASW7 FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON EĞRİSİ**



**MASW7 DİSPERSİYON EĞRİSİNİN TERS ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN 15 TABAKALI S-TİPİ HIZ-  
DERİNLİK FONKSİYONU**

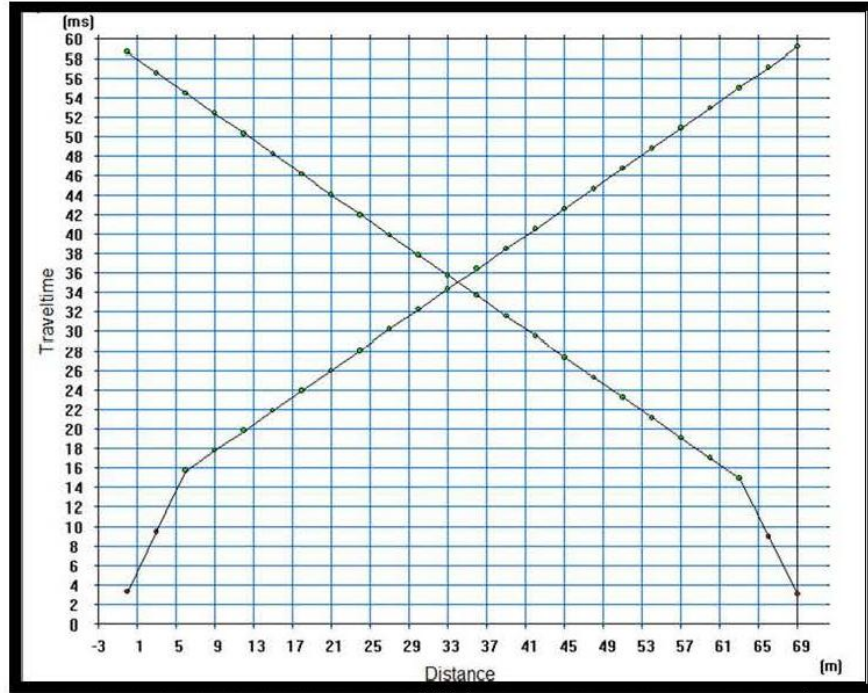


**P8 DÜZ ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**

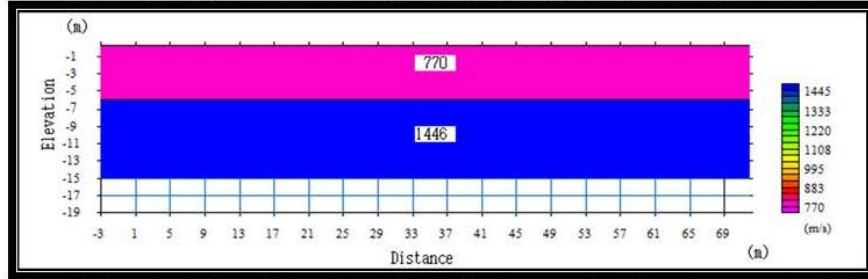


**P8 TERS ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**





**P8 DALGASI YOL ZAMAN GRAFİĞİ İTERASYON SONRASI MODELİ**



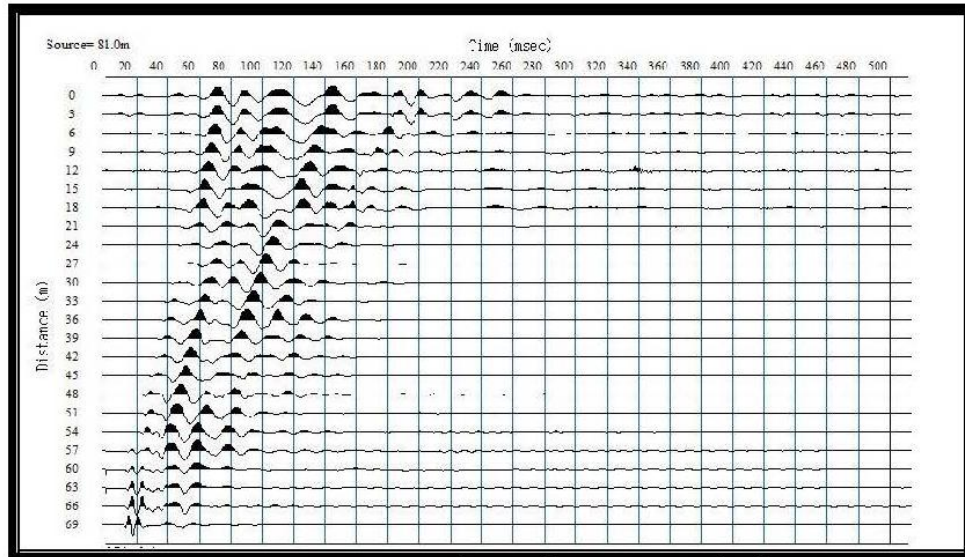
**P8 TİPİ HIZ-DERİNLİK DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN SİSMİK KIRILMA KESİTİ**

| Metre |              | Metre |
|-------|--------------|-------|
| 1     |              | 1     |
| 2     |              | 2     |
| 3     |              | 3     |
| 4     | VP1=770 m/s  | 4     |
| 5     |              | 5     |
| 6     |              | 6     |
| 7     |              | 7     |
| 8     |              | 8     |
| 9     |              | 9     |
| 10    | VP2=1446 m/s | 10    |
| 11    |              | 11    |
| 12    |              | 12    |

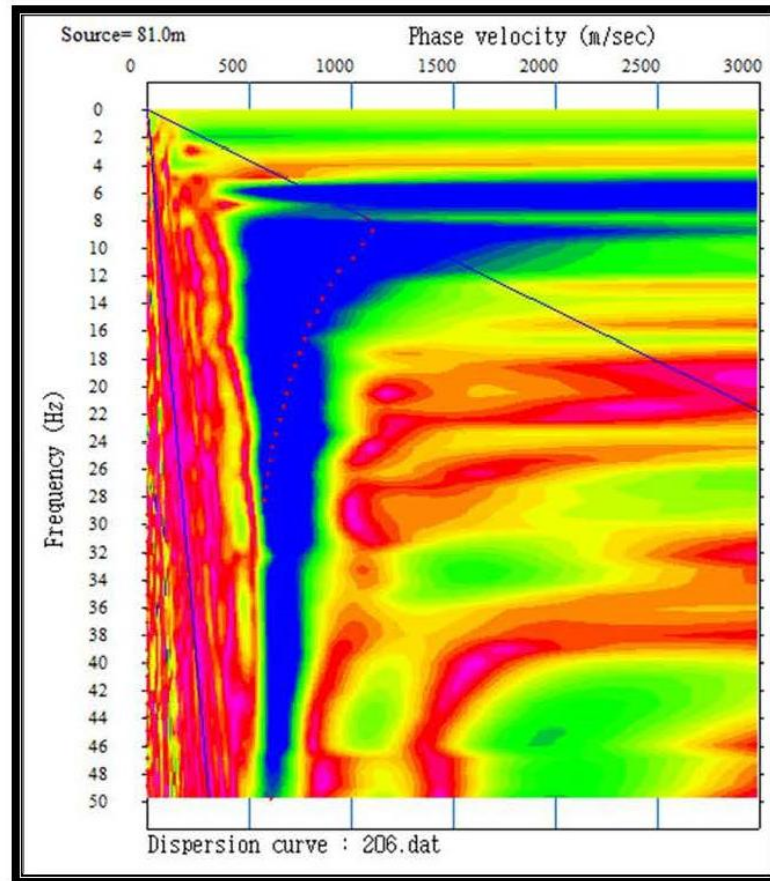
VS1=593 m/s

VS2=853 m/s

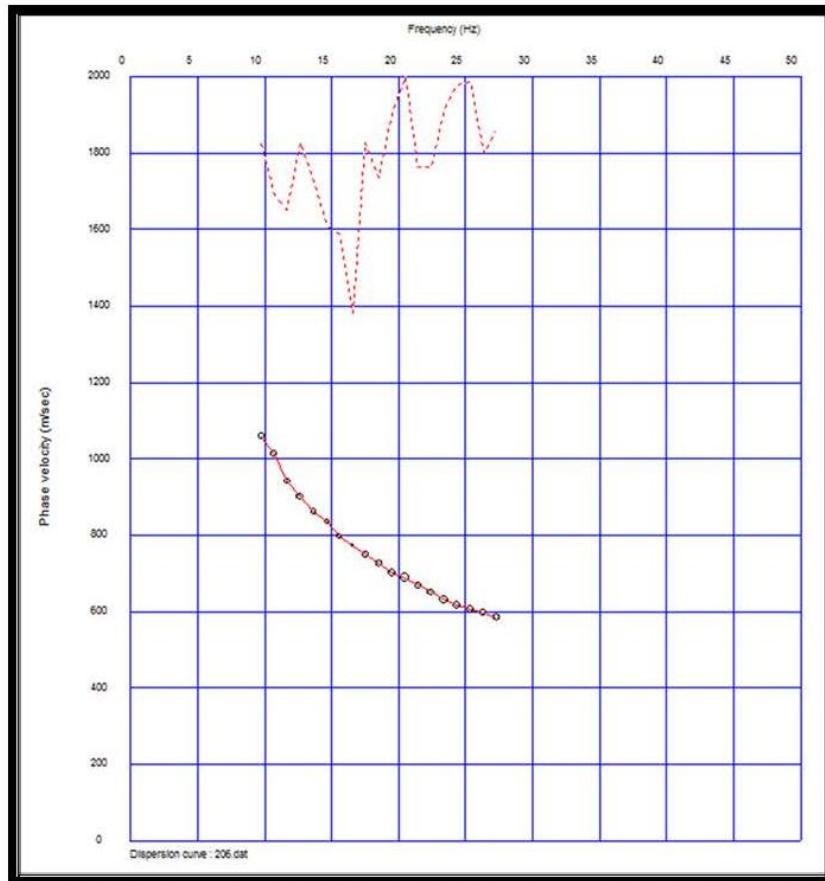
**MASW8 SİSMİK KIRILMA ANALİZİ SONUCUNDA ELDE EDİLEN P VE S DALGA HIZLARI VE BU HIZLARA BAĞLI HESAPLANAN DİNAMİK PARAMETRELER**



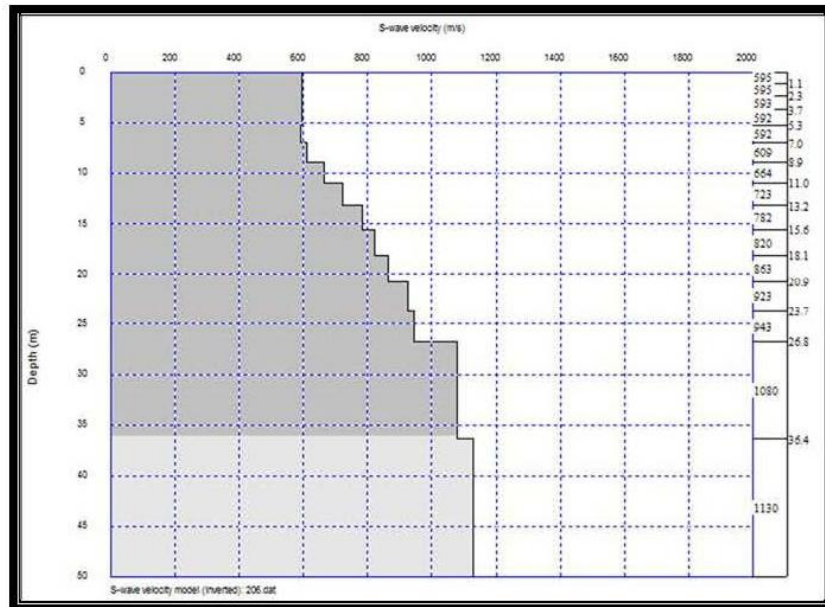
**MASW 4-40 HIZ BAND-PASS FİLTRELİ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



**MASW8 SİSMİK KAYITTA MEVCUT RAYLEİGH TİPİ YÜZEY DALGALARININ FAZ HIZIFREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON SPEKTRUMU**

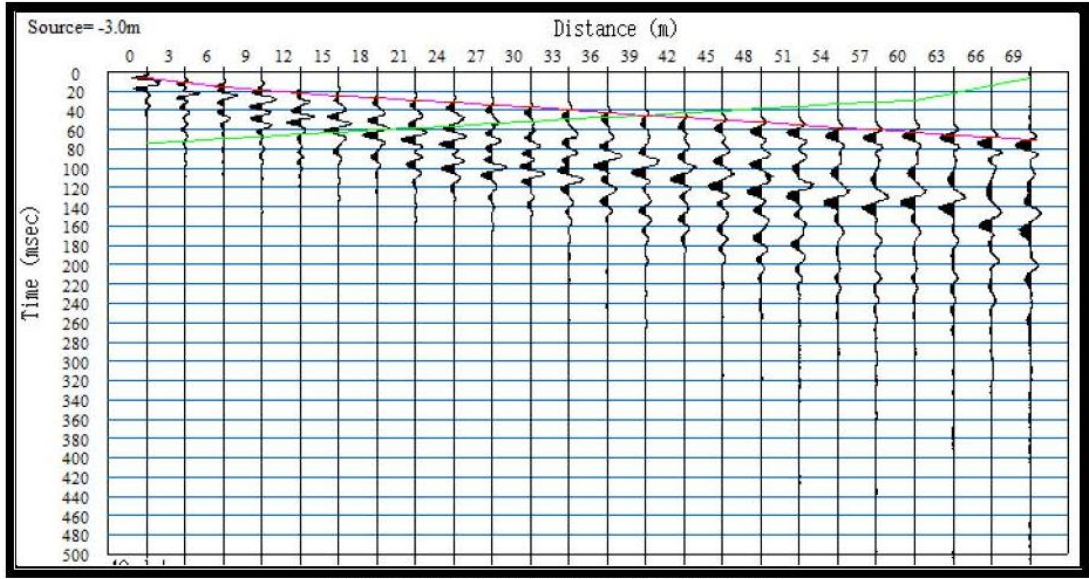


**MASW8 FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON EĞRİSİ**

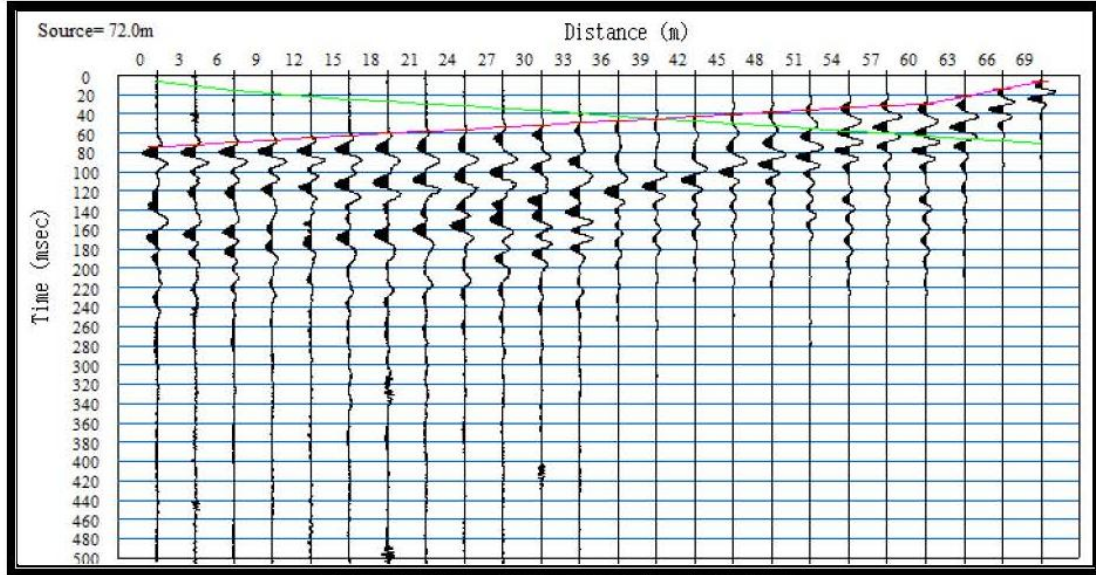


**MASW8 DİSPERSİYON EĞRİSİNİN TERS ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN 15 TABAKALI S-TİPİ HIZ-  
DERİNLİK FONKSİYONU**

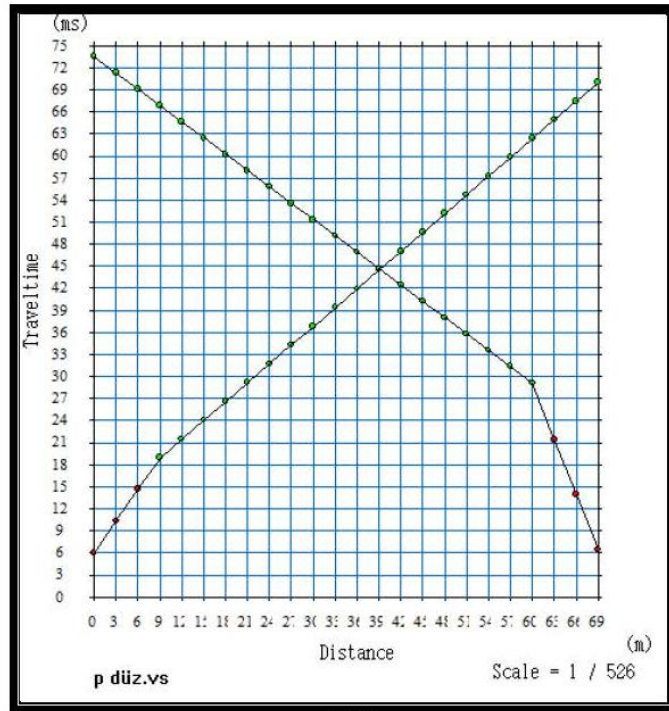




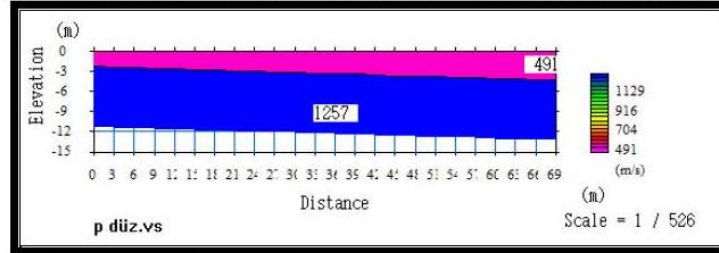
*P9 DÜZ ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT*



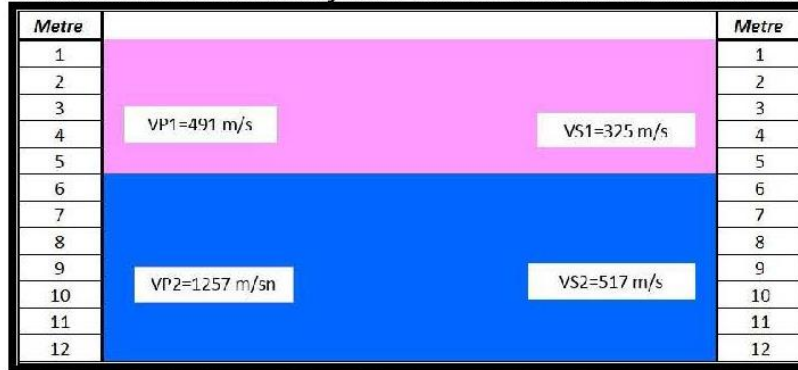
*P9 TERS ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT*



**P9 DALGASI YOL ZAMAN GRAFİĞİ İTERASYON SONRASI MODELİ**

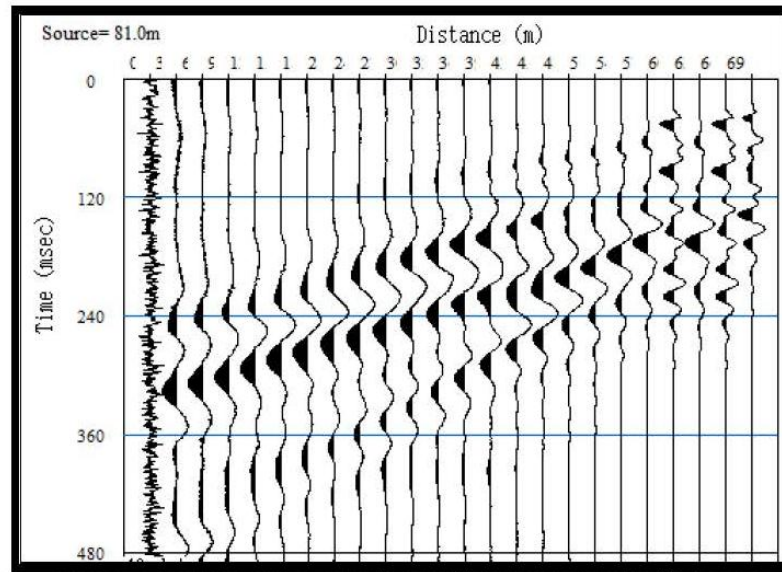


**P9- TİPİ HIZ-DERİNLİK DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN SİSMİK KIRILMA KESİTİ**

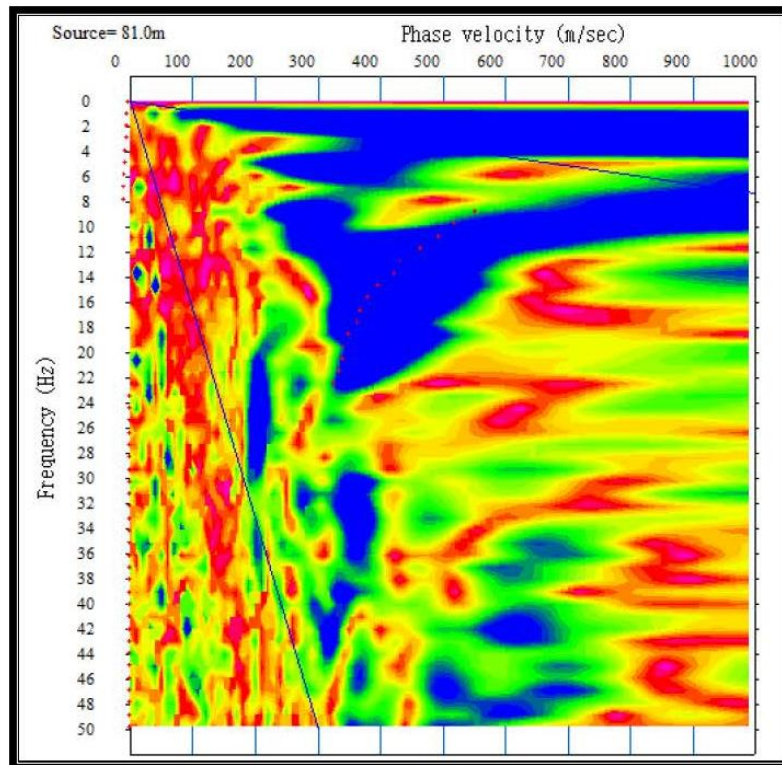


**MASW9 SİSMİK KIRILMA ANALİZİ SONUCUNDA ELDE EDİLEN P VE S DALGA HIZLARI VE BU HIZLARA BAĞLI HESAPLANAN DİNAMİK PARAMETRELER**

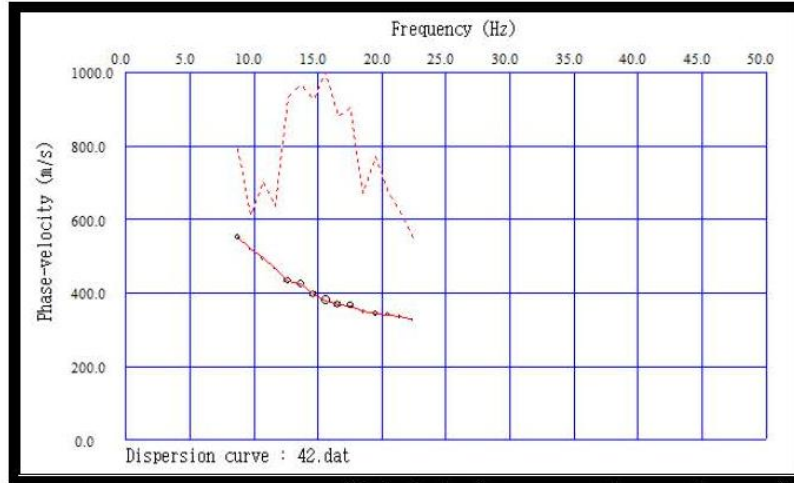




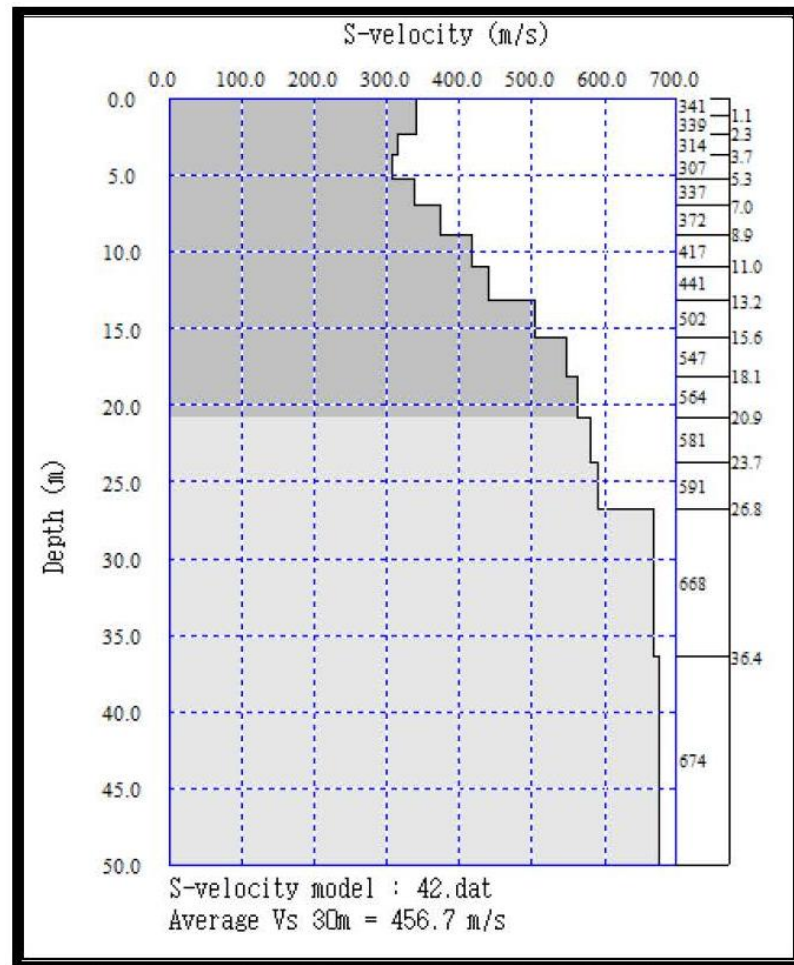
**MASW9 4-40 HIZ BAND-PASS FİLTRELİ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



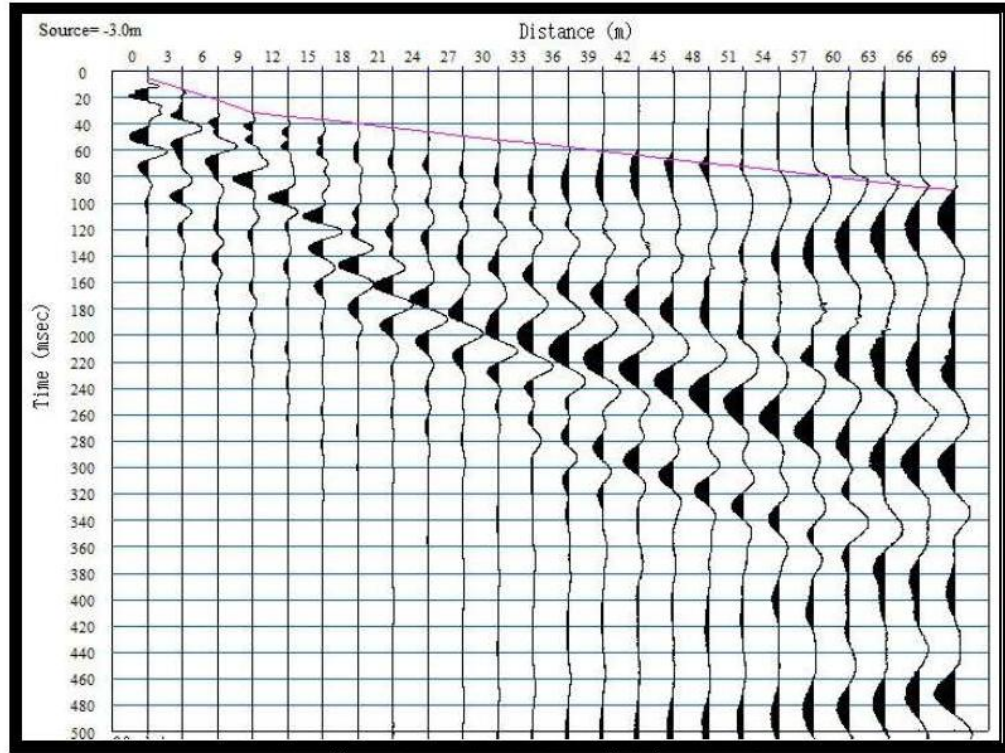
**MASW9 SİSMİK KAYITTA MEVCUT RAYLEİGH TİPİ YÜZEY DALGALARININ FAZ HIZ/FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON SPEKTRUMU**



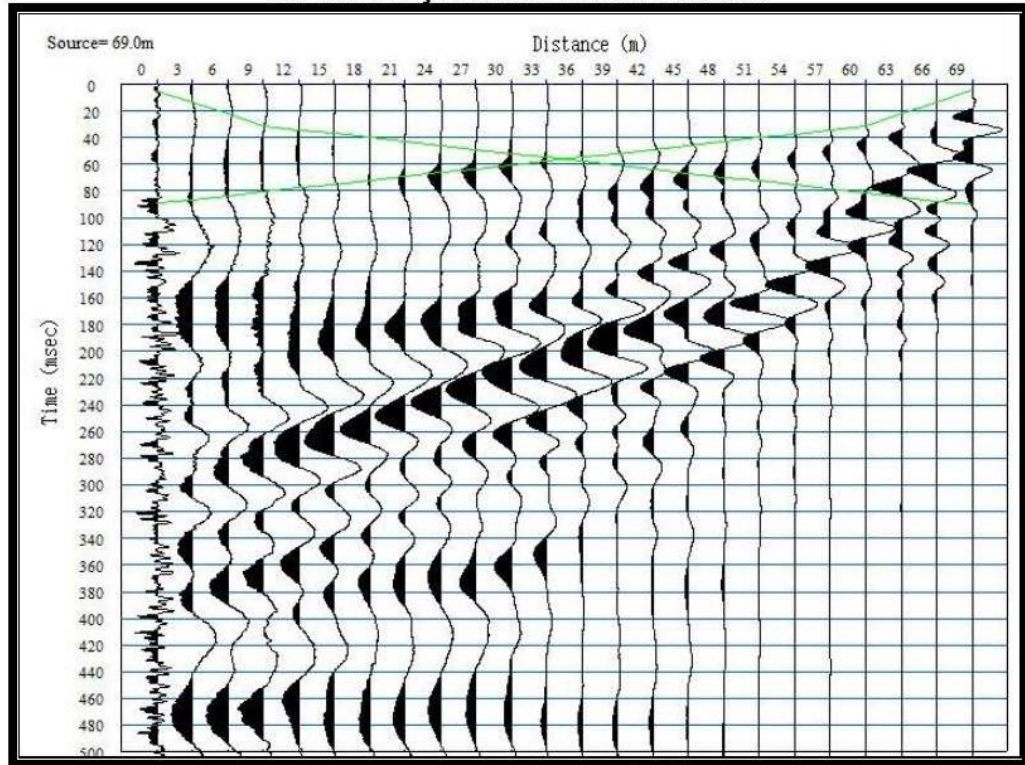
**MASW9 FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON EĞRİSİ**



**MASW9 DİSPERSİYON EĞRİSİNİN TERS ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN 15 TABAKALIS-TİPİ HIZ-  
DERİNLİK FONKSİYONU**

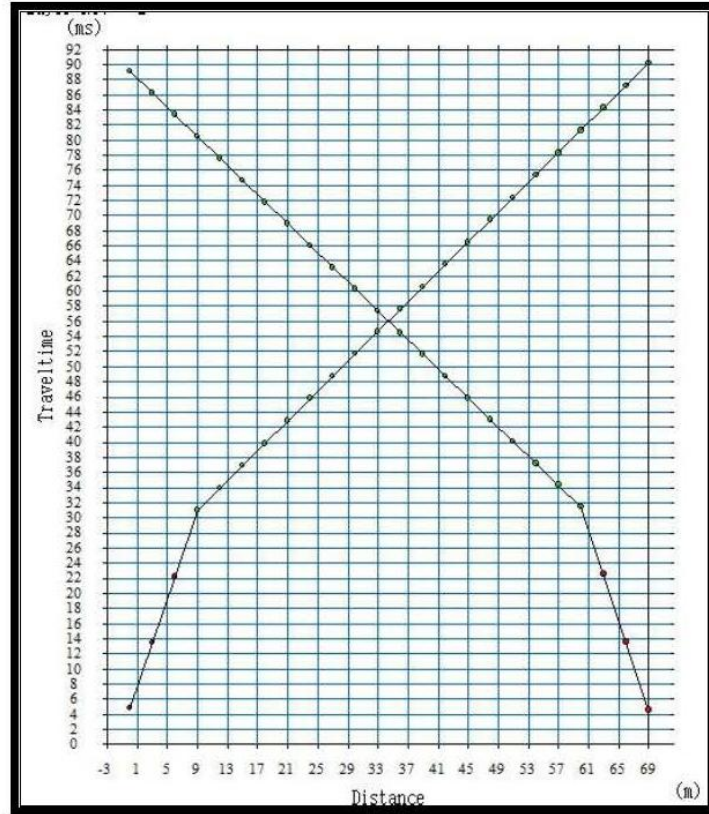


**P10 DÜZ ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**

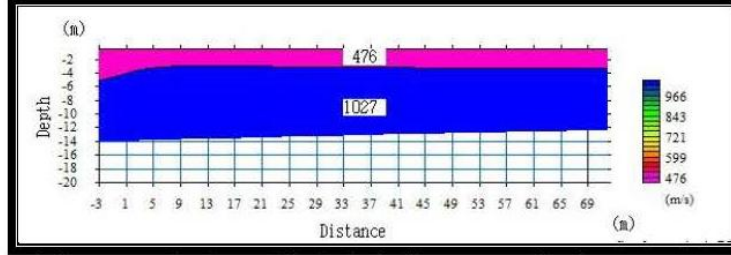


**P10 TERS ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**





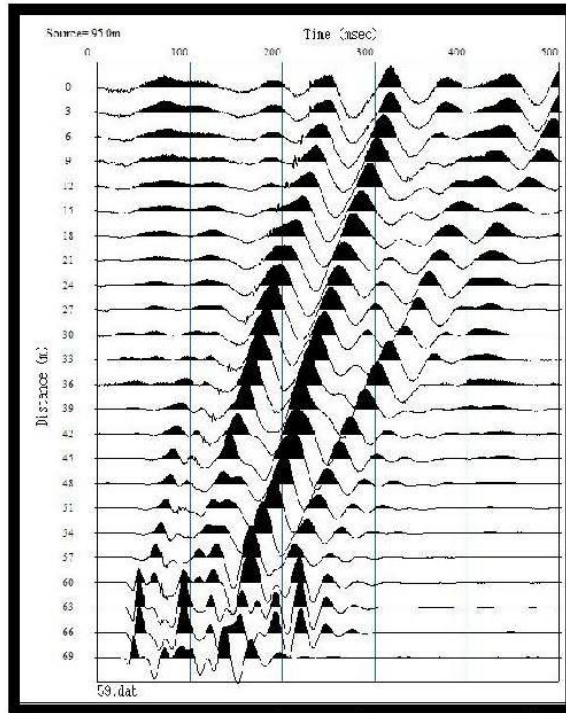
**P10 DALGASI YOL ZAMAN GRAFİĞİ İTERASYON SONRASI MODELİ**



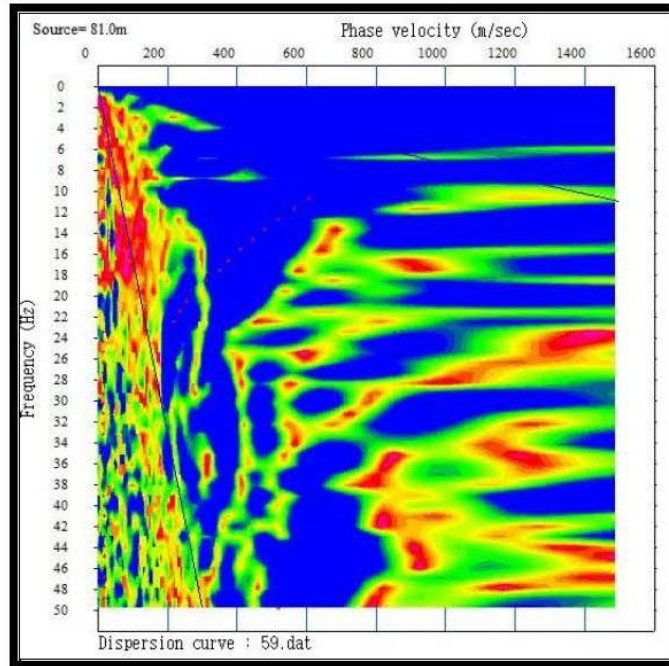
**P10 TİPİ HIZ-DERİNLİK DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN SİSMİK KIRILMA KESİTİ**

| Metre |              | Metre |
|-------|--------------|-------|
| 1     |              | 1     |
| 2     |              | 2     |
| 3     | VP1-476 m/s  | 3     |
| 4     |              | 4     |
| 5     |              | 5     |
| 6     |              | 6     |
| 7     |              | 7     |
| 8     | VP2-1027 m/s | 8     |
| 9     |              | 9     |
| 10    |              | 10    |
| 11    |              | 11    |
| 12    |              | 12    |

**MASW10 SİSMİK KIRILMA ANALİZİ SONUCUNDA ELDE EDİLEN P VE S DALGA HIZLARI VE BU HIZLARA BAĞLI HESAPLANAN DİNAMİK PARAMETRELER**

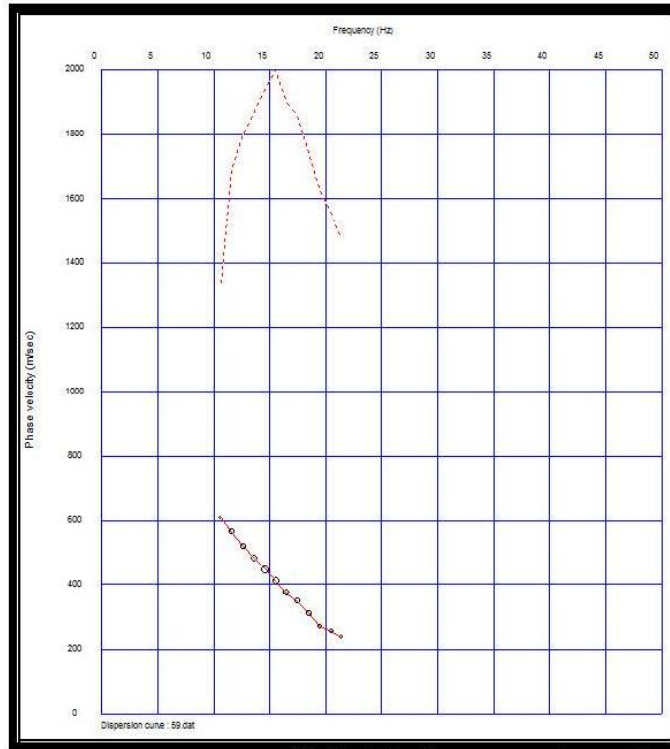


**MASW10 4-40 HIZ BAND-PASS FİLTRELİ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**

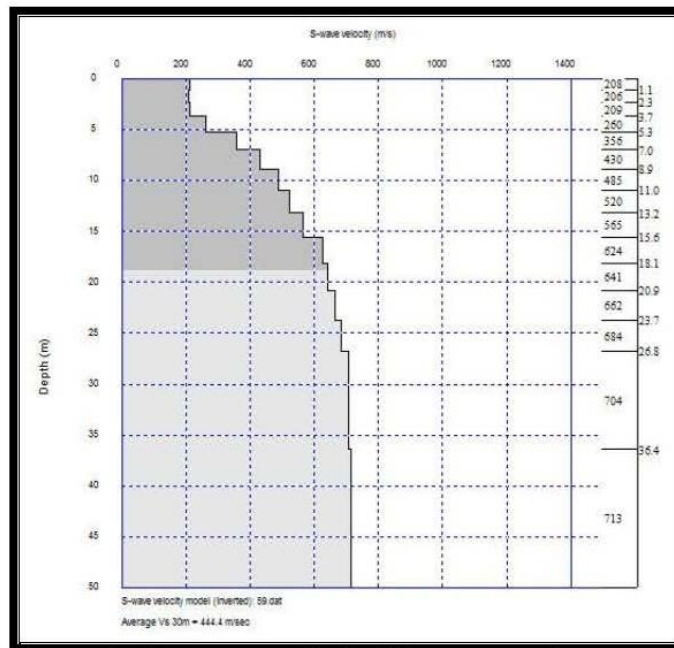


**MASW10 SİSMİK KAYITTA MEVCUT RAYLEIGH TİPİ YÜZEY DALGALARININ FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON SPEKTRUMU**

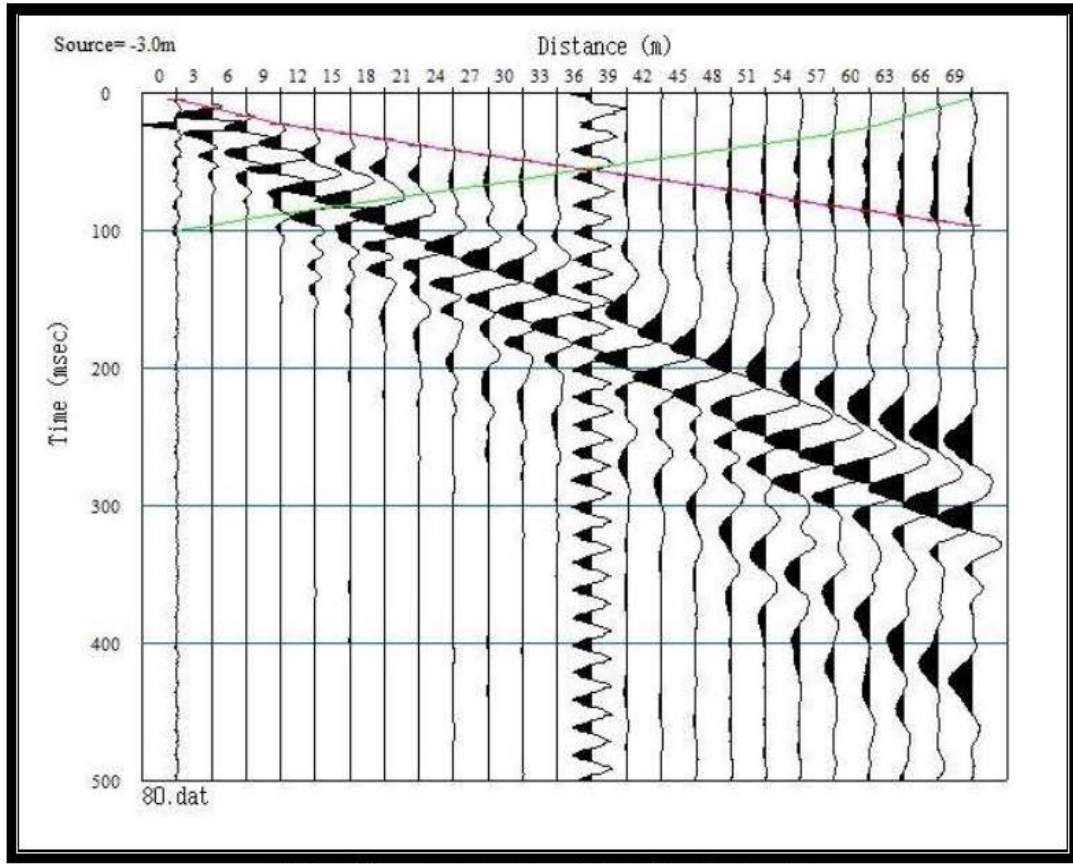




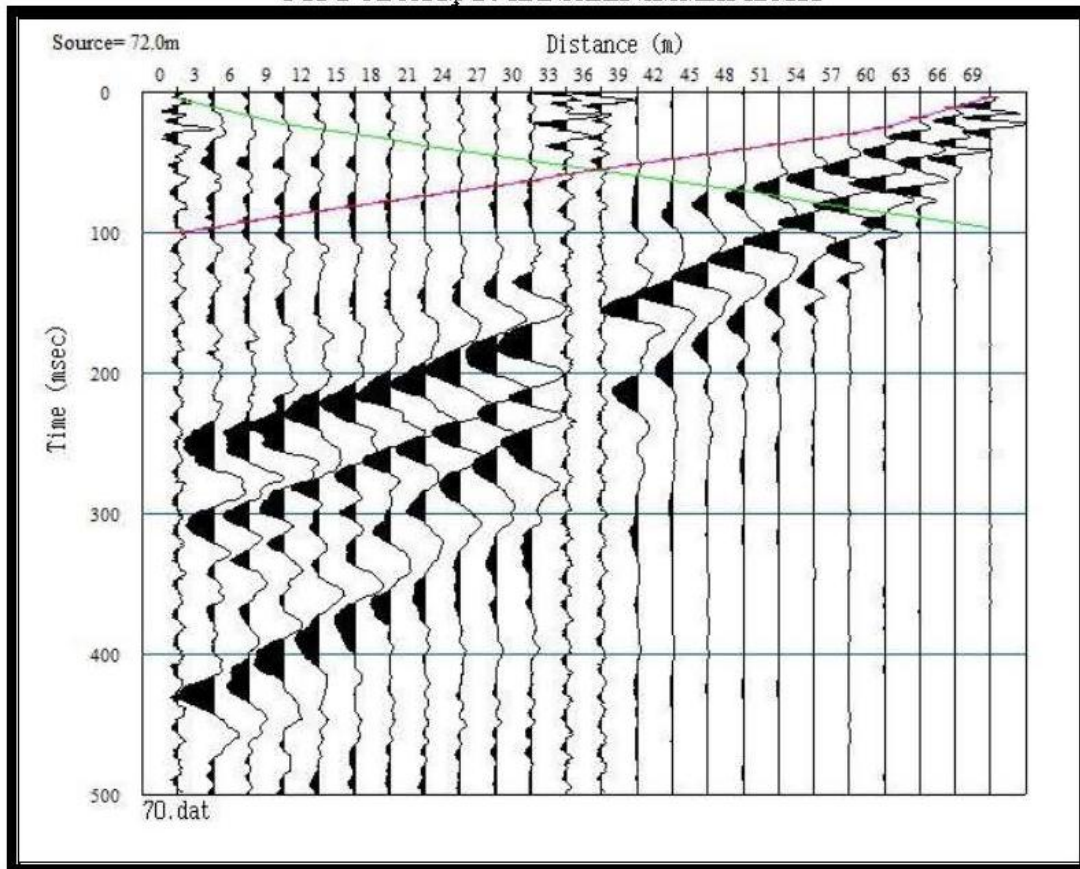
**MASW10 FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON EĞRİSİ**



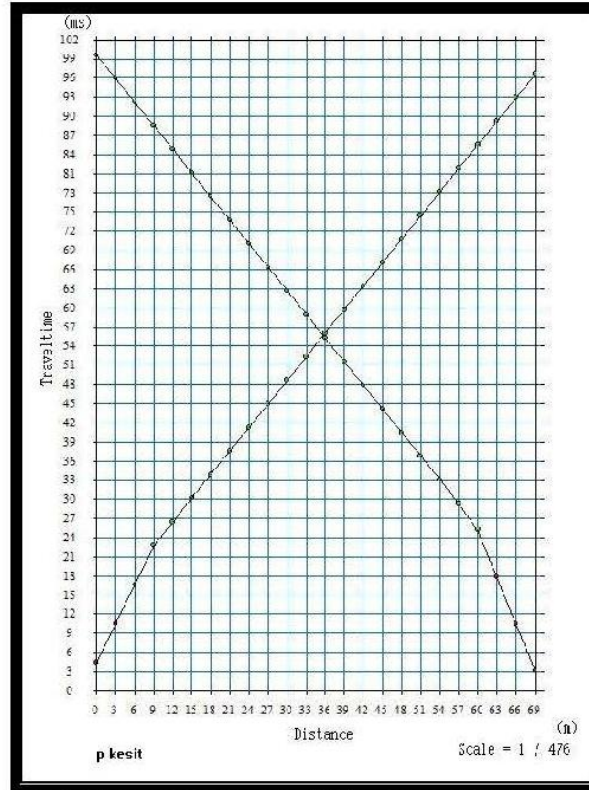
**MASW10 DİSPERSİYON EĞRİSİNİN TERS ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN 15 TABAKALI S-TİPİ HIZ-  
DERİNLİK FONKSİYONU**



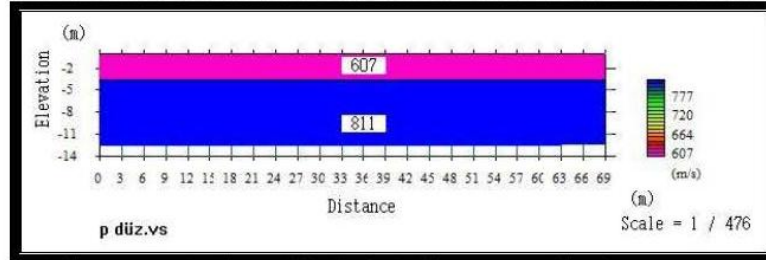
**P11 DÜZ ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



**P11 TERS ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



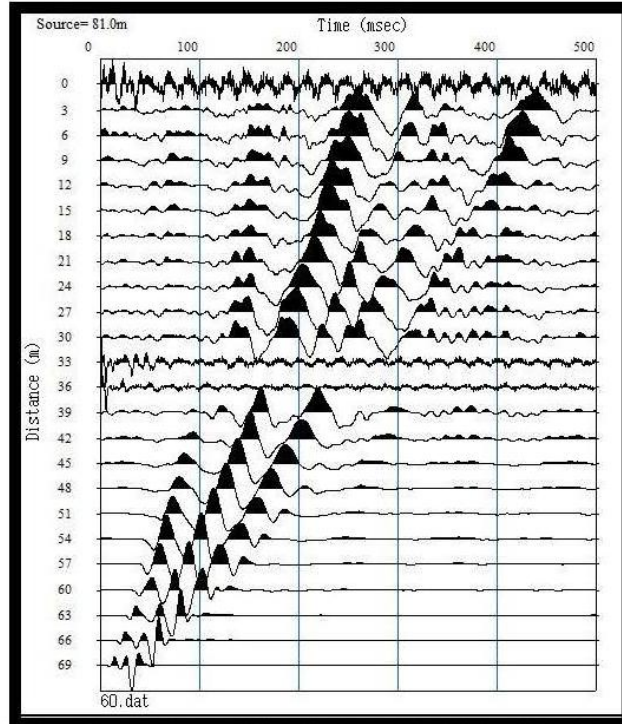
**P11 DALGASI YOL ZAMAN GRAFİĞİ İTERASYON SONRASI MODELİ**



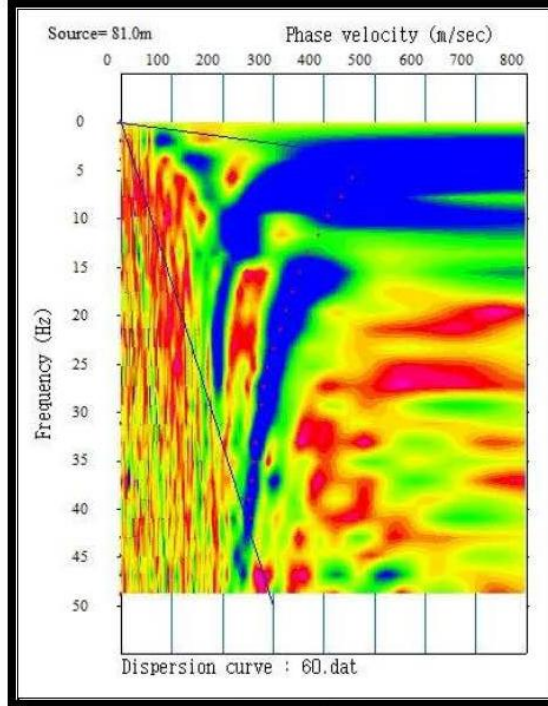
**P11 TİPİ HIZ-DERİNLİK DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN SİSMİK KIRILMA KESİTİ**

| Metre |              | Metre       |
|-------|--------------|-------------|
| 1     |              | 1           |
| 2     |              | 2           |
| 3     |              | 3           |
| 4     | VP1=607 m/s  | VS1=258 m/s |
| 5     |              | 5           |
| 6     |              | 6           |
| 7     |              | 7           |
| 8     |              | 8           |
| 9     | VP2=811 m/sn | VS2=439 m/s |
| 10    |              | 10          |
| 11    |              | 11          |
| 12    |              | 12          |

**MASW11 SİSMİK KIRILMA ANALİZİ SONUCUNDA ELDE EDİLEN P VE S DALGA HIZLARI VE BU HIZLARA BAĞLI HESAPLANAN DİNAMİK PARAMETRELER**

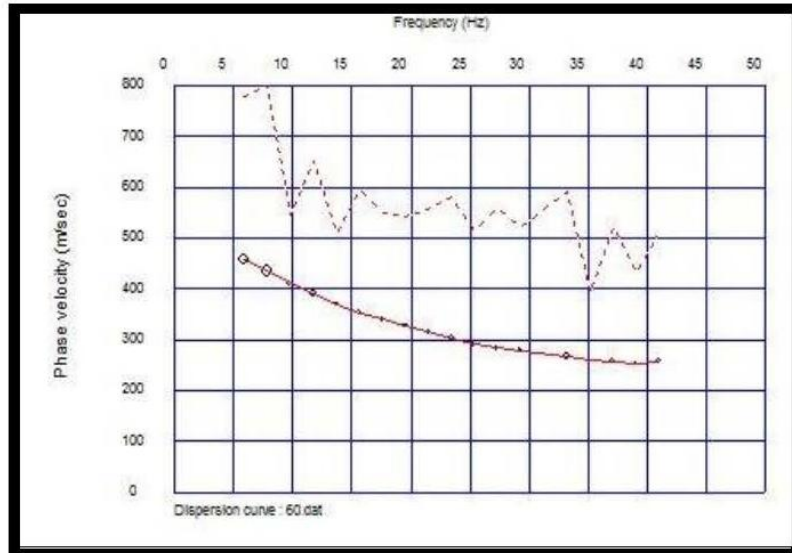


**MASW11 4-40 HIZ BAND-PASS FİLTRELİ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**

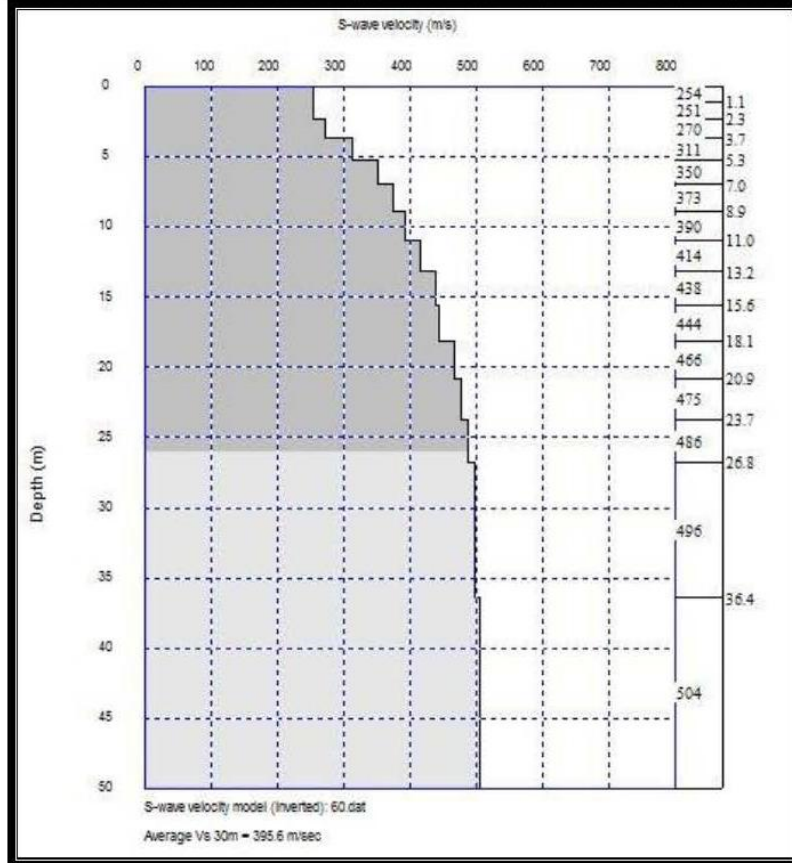


**MASW11 SİSMİK KAYITTA MEVCUT RAYLEİGH TİPİ YÜZEY DALGALARININ FAZ HIZ/FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON SPEKTRUMU**



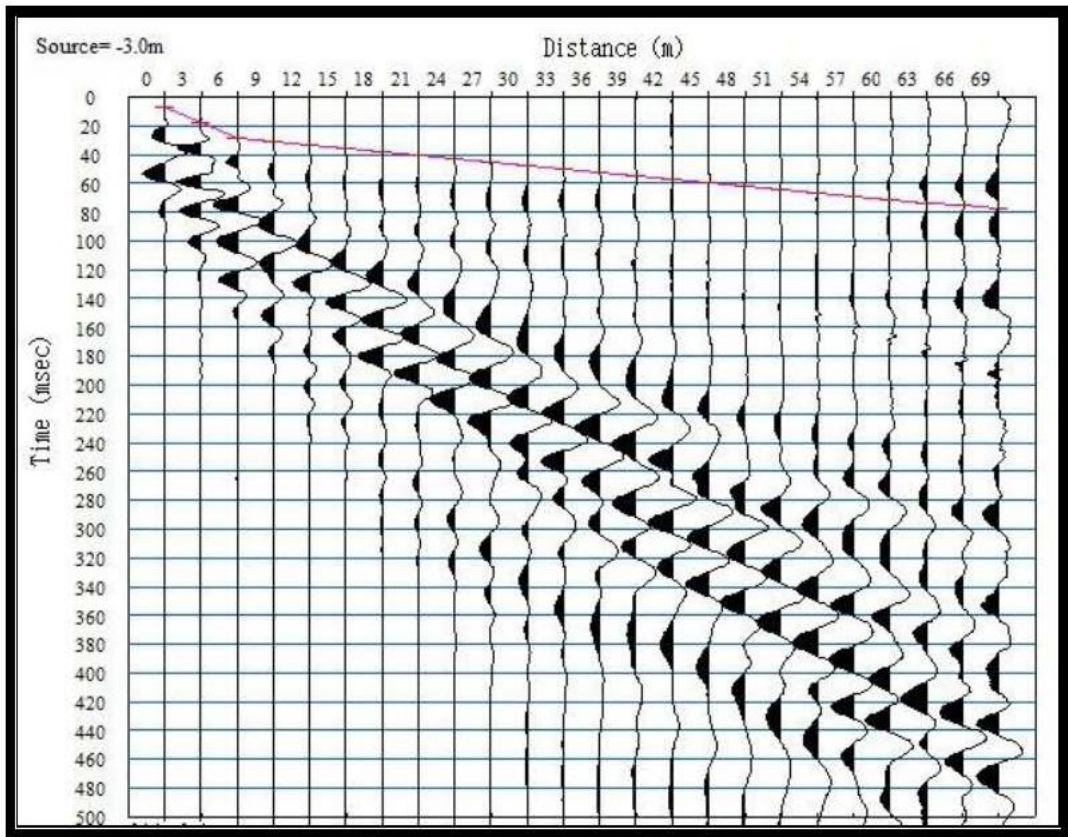


**MASW11 FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON EĞRİSİ**

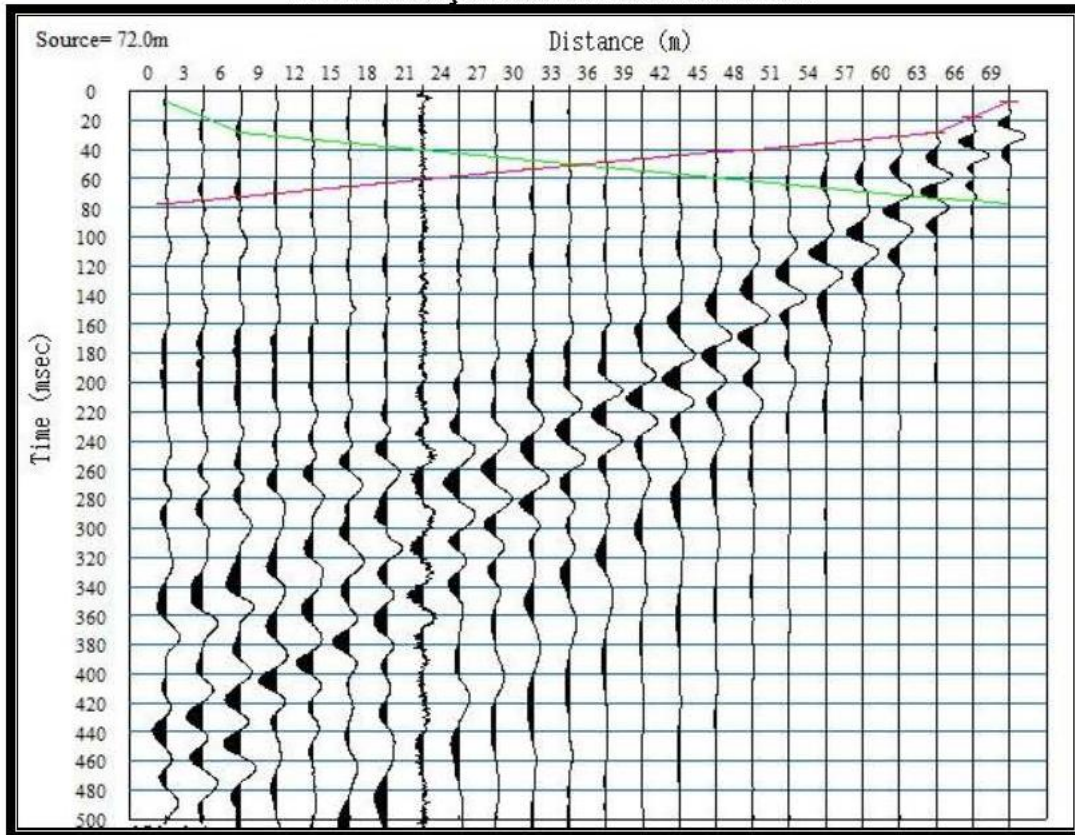


**MASW11 DİSPERSİYON EĞRİSİNİN TERS ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN 15 TABAKALI S-TİPİ HIZ-  
DERİNLİK FONKSİYONU**

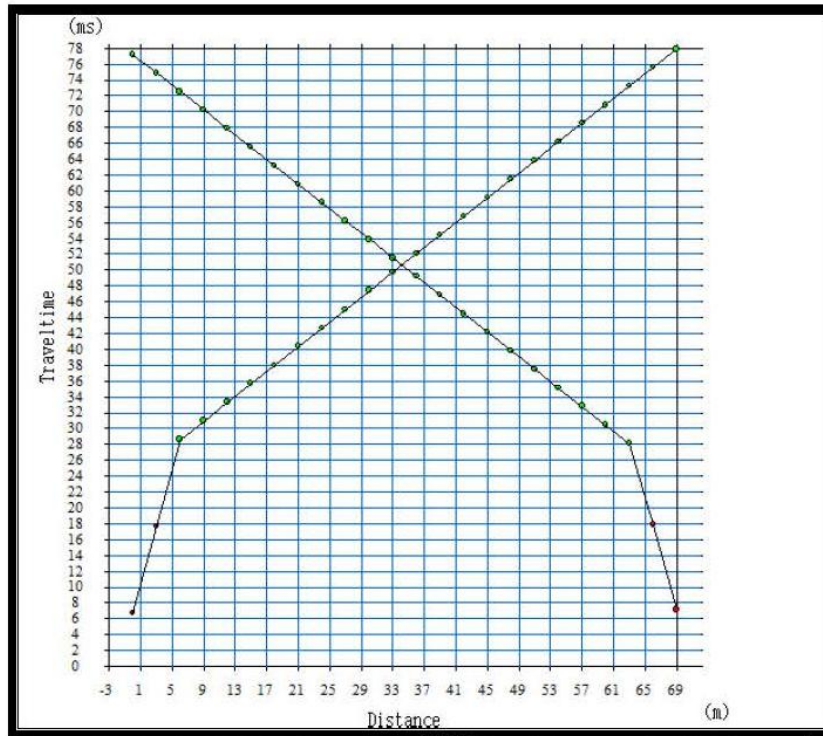




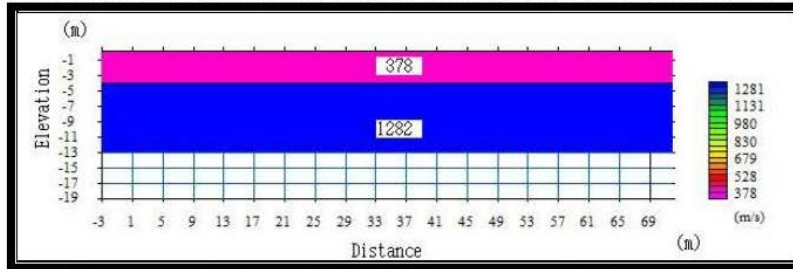
**P12 DÜZ ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



**P12 TERS ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



**P12 DALGASI YOL ZAMAN GRAFİĞİ İTERASYON SONRASI MODELİ**

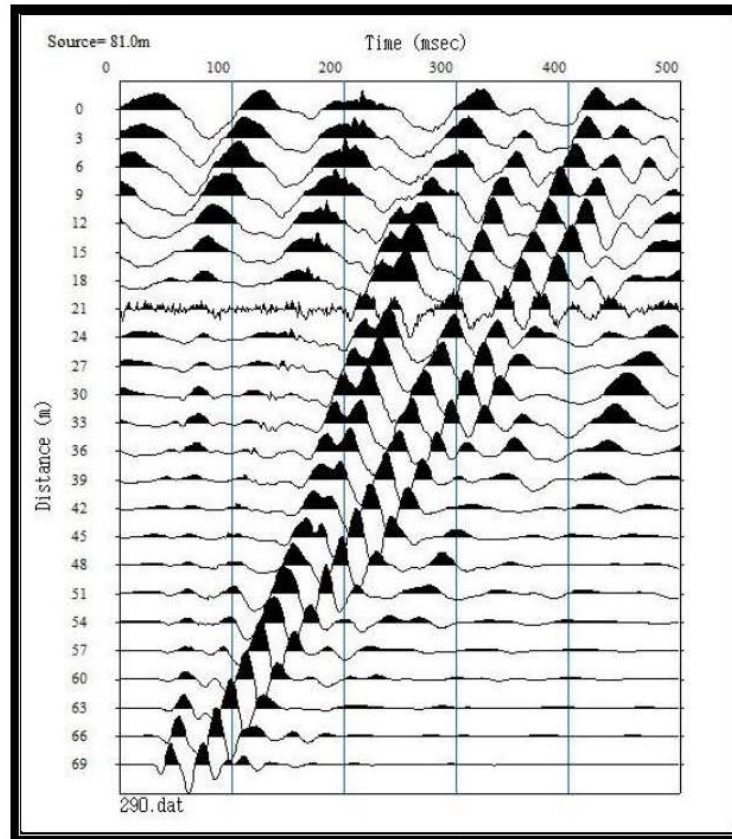


**P12 TİPİ HIZ-DERİNLİK DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN SİSMİK KIRILMA KESİTİ**

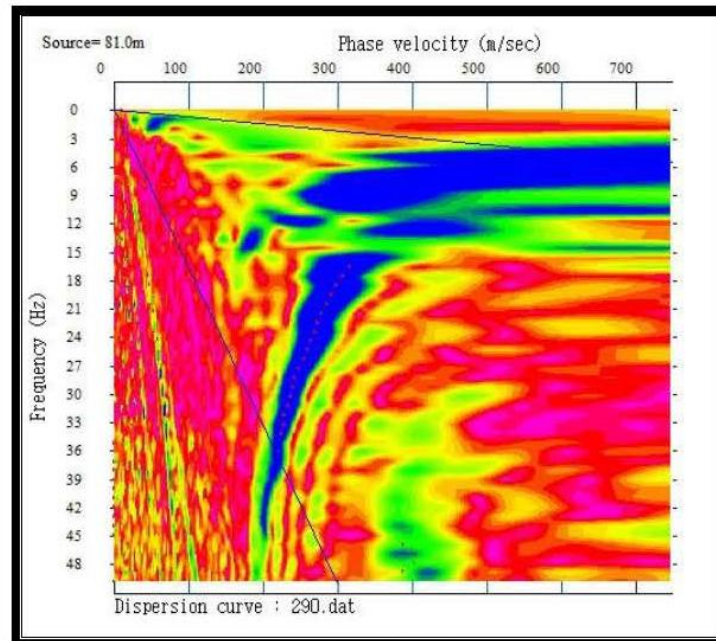
| Metre |                           | Metre |
|-------|---------------------------|-------|
| 1     | VP1=378 m/s VS1=221 m/s   | 1     |
| 2     |                           | 2     |
| 3     |                           | 3     |
| 4     |                           | 4     |
| 5     | VP2=1282 m/sn VS2=343 m/s | 5     |
| 6     |                           | 6     |
| 7     |                           | 7     |
| 8     |                           | 8     |
| 9     |                           | 9     |
| 10    |                           | 10    |
| 11    |                           | 11    |
| 12    |                           | 12    |

**MASW12 SİSMİK KIRILMA ANALİZİ SONUCUNDA ELDE EDİLEN P VE S DALGA HIZLARI VE BU HIZLARA BAĞLI HESAPLANAN DİNAMİK PARAMETRELER**

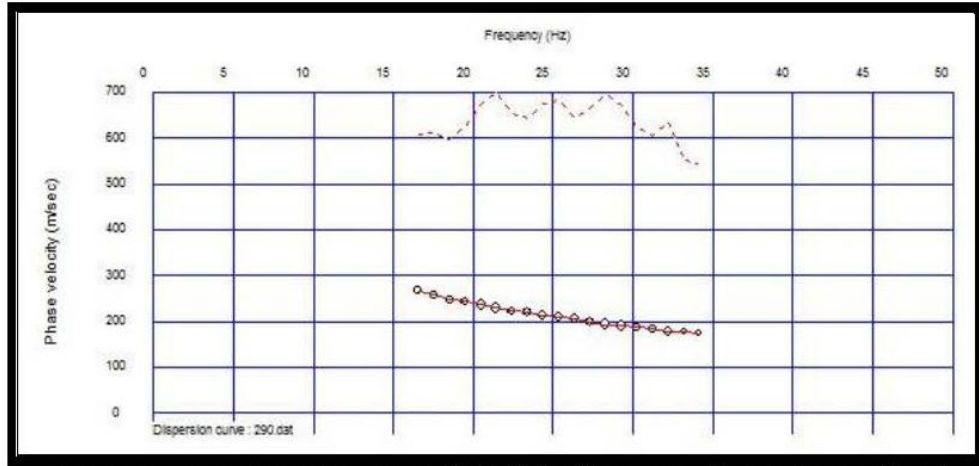




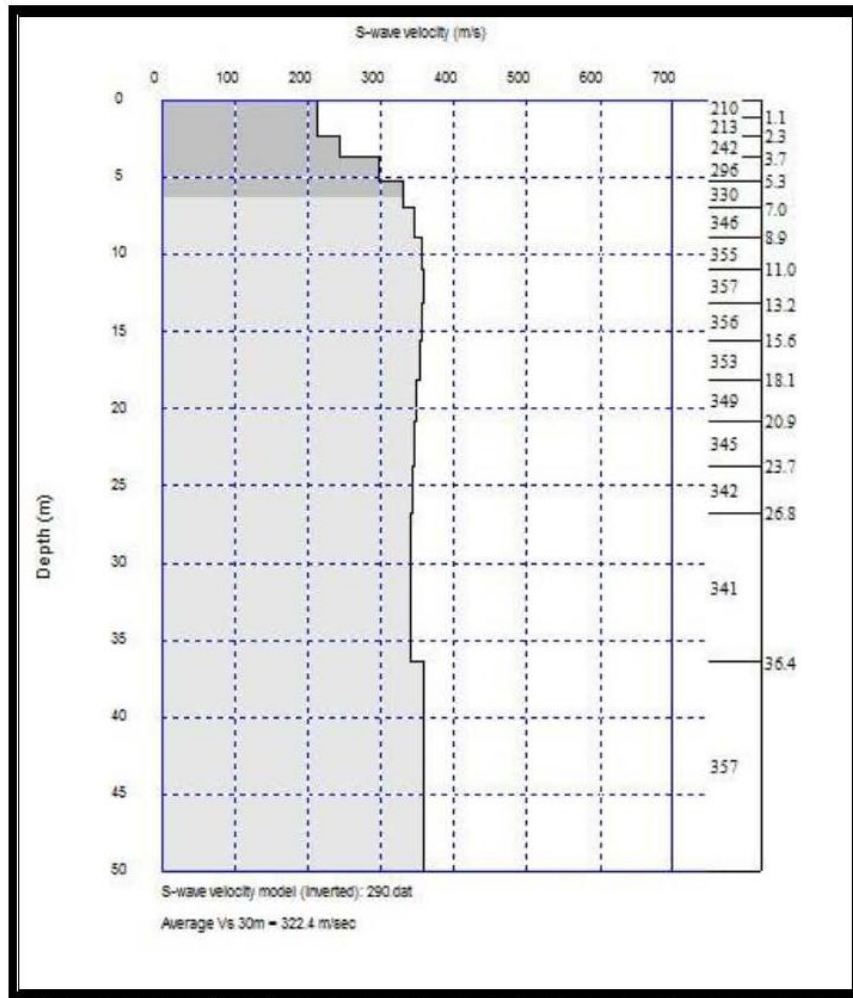
**MASW12 4-40 HIZ BAND-PASS FİLTRELİ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



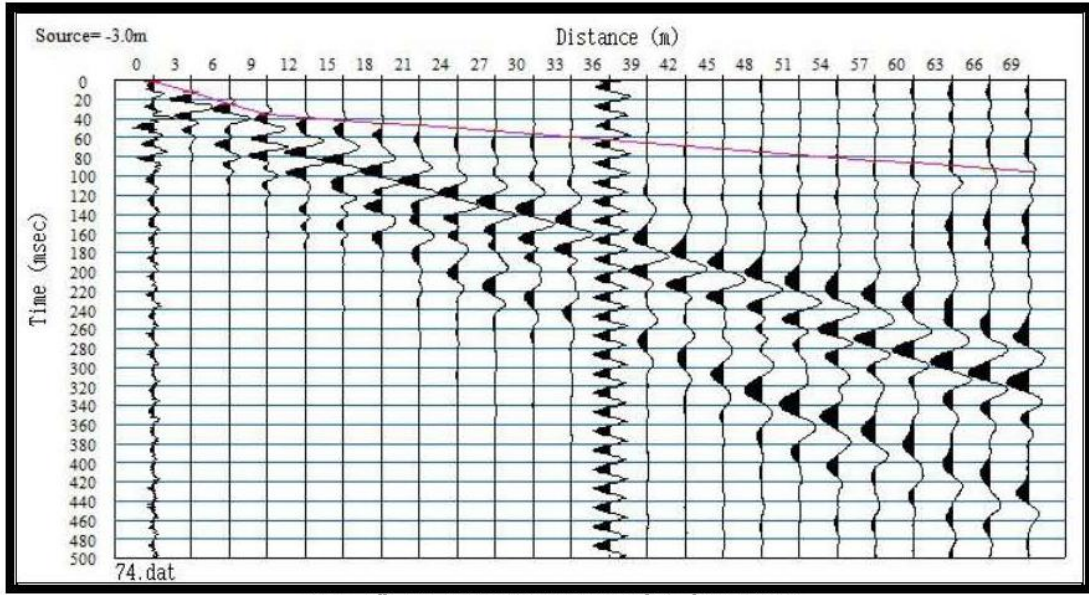
**MASW12 SİSMİK KAYITTA MEVCUT RAYLEİGH TİPİ YÜZEY DALGALARININ FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON SPEKTRUMU**



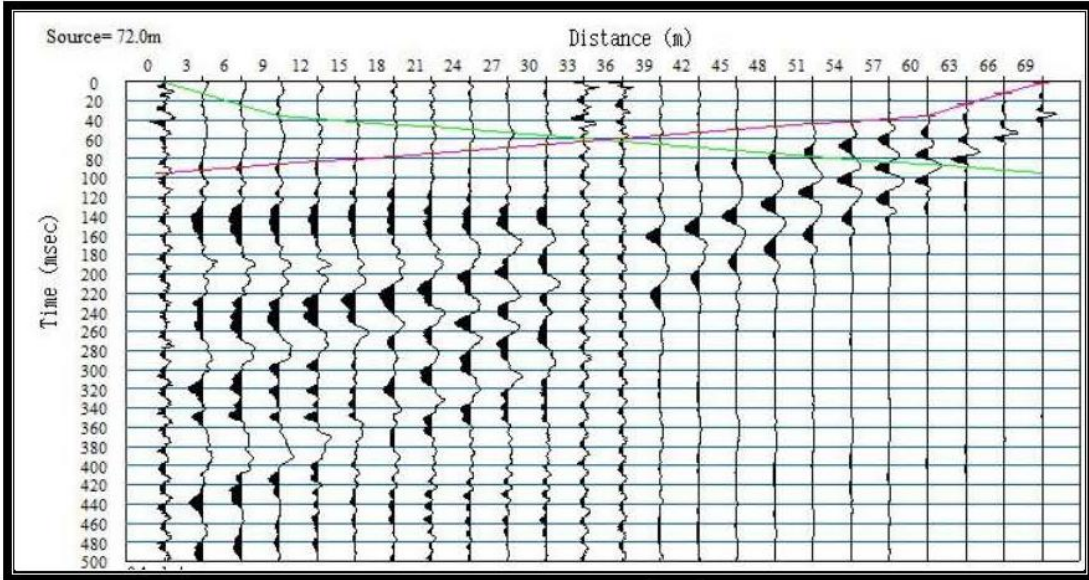
**MASW12 FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON EĞRİSİ**



**MASW12 DİSPERSİYON EĞRİSİNİN TERS ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN 15 TABAKALI HIZ-  
DERİNLİK FONKSİYONU**

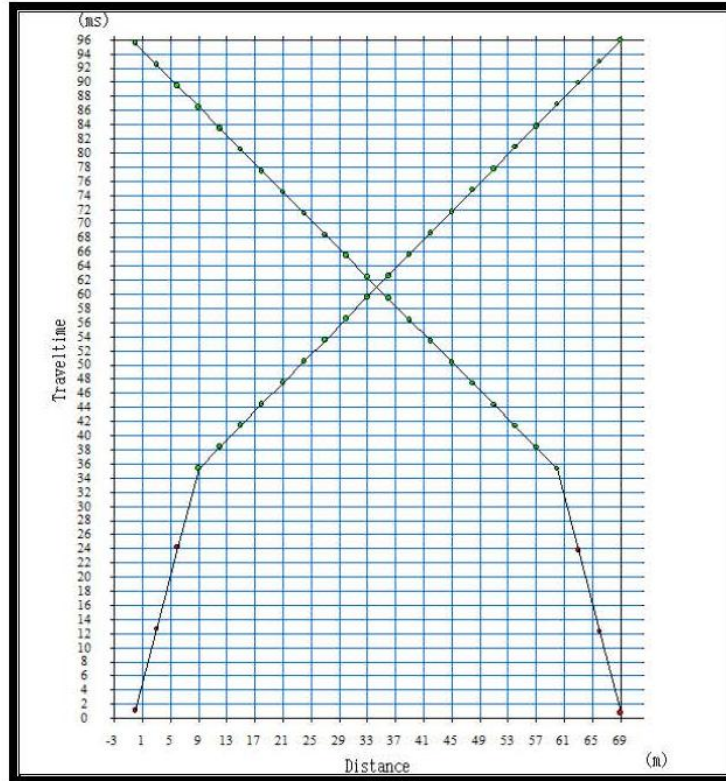


*P13 DÜZ ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT*

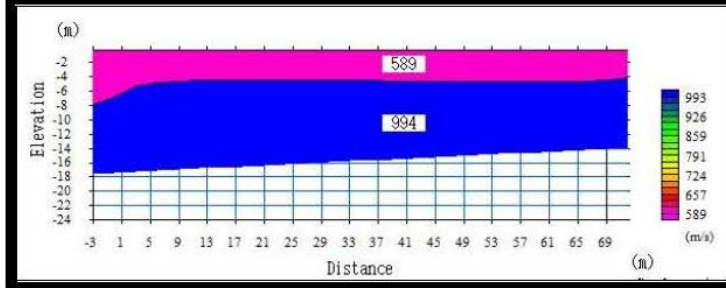


*P13 TERS ATIŞ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT*





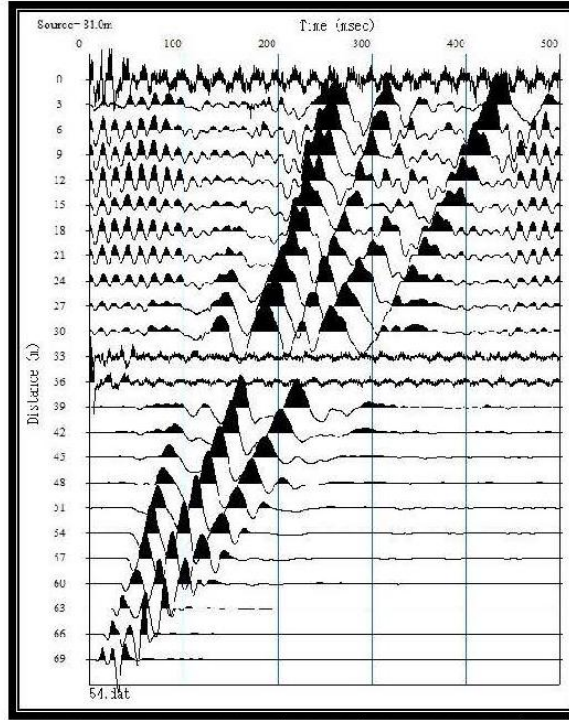
**P13 DALGASI YOL ZAMAN GRAFİĞİ İTERASYON SONRASI MODELİ**



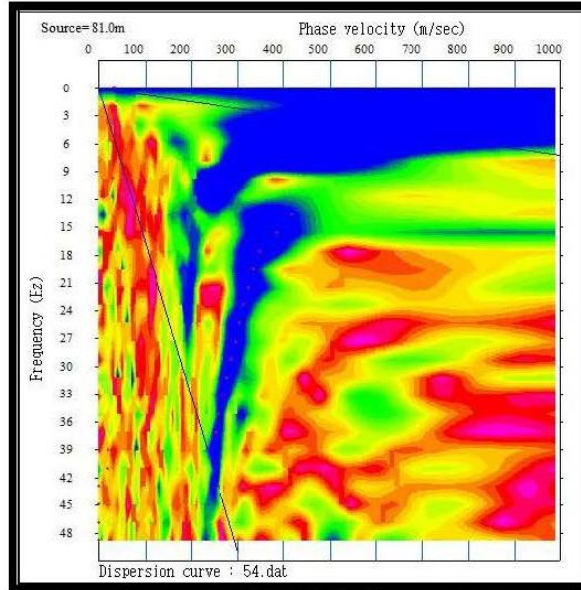
**P13 TİPİ HIZ-DERİNLİK DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN SİSMİK KIRILMA KESİTİ**

| Metre |              | Metre |
|-------|--------------|-------|
| 1     |              | 1     |
| 2     |              | 2     |
| 3     | VP1=589 m/s  | 3     |
| 4     |              | 4     |
| 5     |              | 5     |
| 6     |              | 6     |
| 7     |              | 7     |
| 8     |              | 8     |
| 9     | VP2=994 m/sn | 9     |
| 10    |              | 10    |
| 11    |              | 11    |
| 12    |              | 12    |

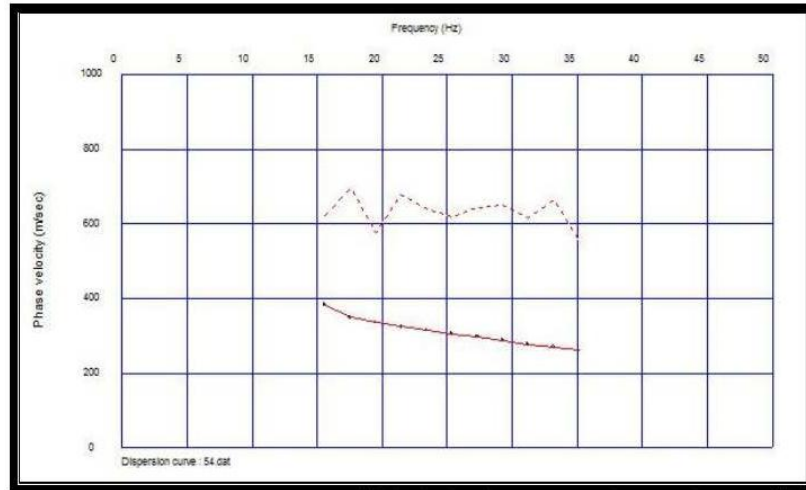
**MASW13 SİSMİK KIRILMA ANALİZİ SONUCUNDA ELDE EDİLEN P VE S DALGA HIZLARI VE BU HIZLARA BAĞLI HESAPLANAN DİNAMİK PARAMETRELER**



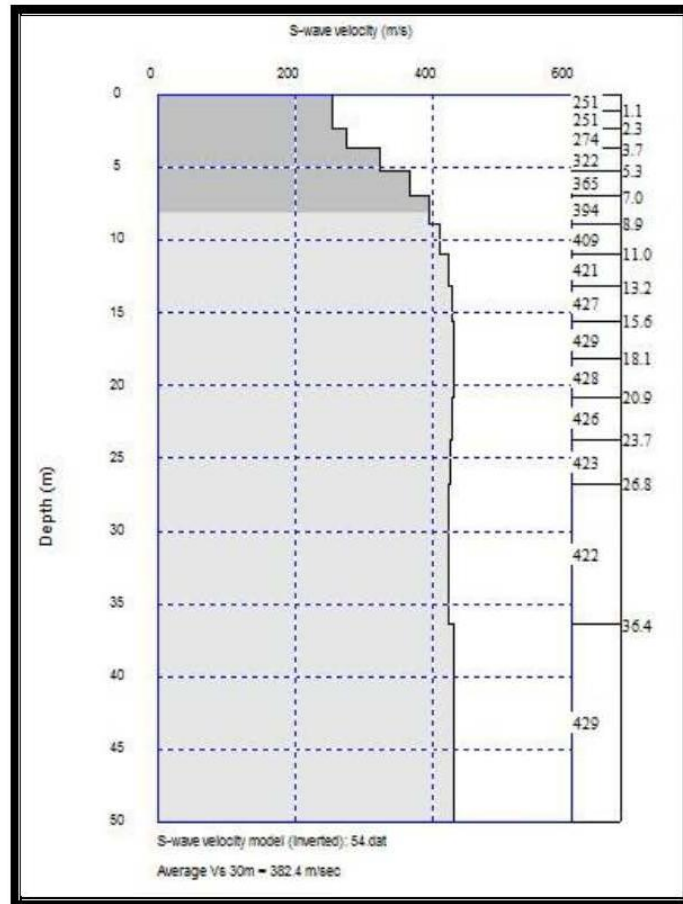
**MASW13 4-40 HIZ BAND-PASS FİLTRELİ 24 KANALLI SİSMİK KAYIT**



**MASW13 SİSMİK KAYITTA MEVCUT RAYLEIGH TİPİ YÜZEY DALGALARININ FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DISPERSİYON SPEKTRUMU**

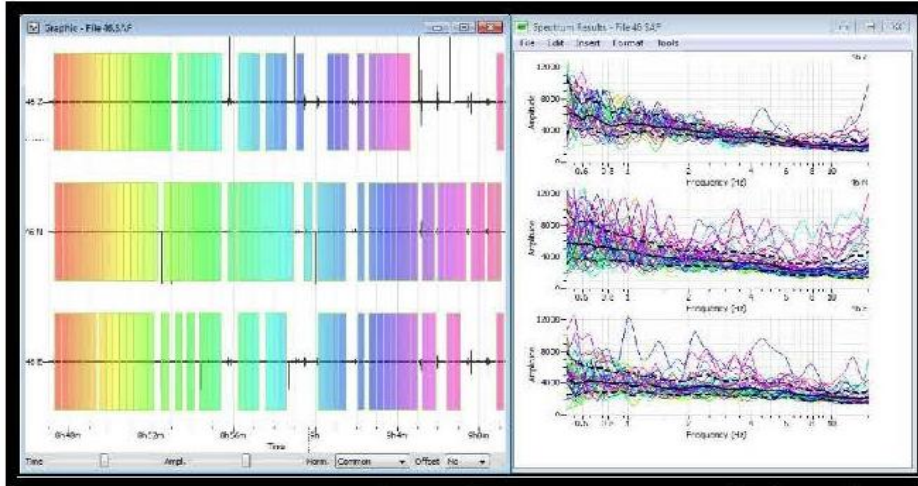


**MASW13 FAZ HIZI-FREKANS DEĞİŞİMİNİ GÖSTEREN DİSPERSİYON EĞRİSİ**

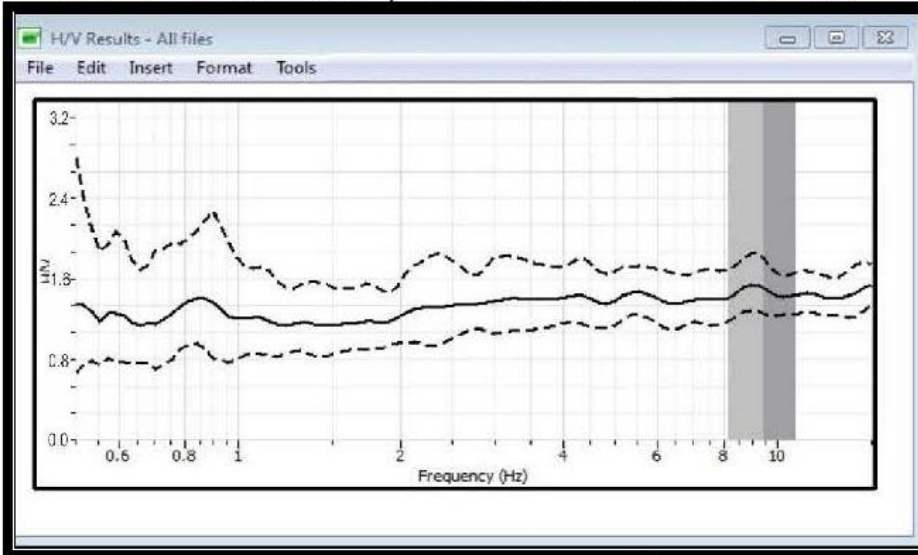


**MASW13 DİSPERSİYON EĞRİSİNİN TERS ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN 15 TABAKALI S-TİPİ HIZ-  
DERİNLİK FONKSİYONU**

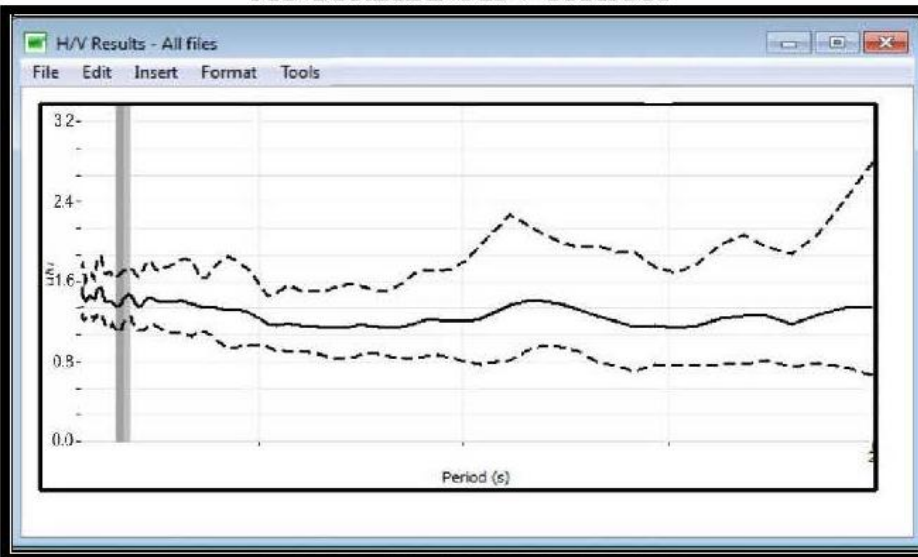
#### EK-4 Mikrotremör Ölçümleri



MT-1 PENCERELENMİŞ VERİ VE SPECTRUM EĞRİLERİ

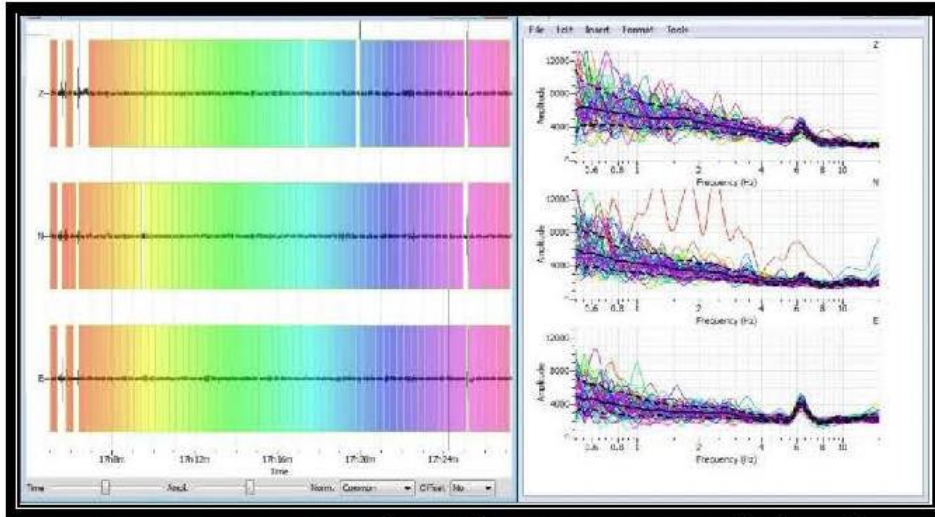


MT-1 FREKANS-H/V GRAFİĞİ

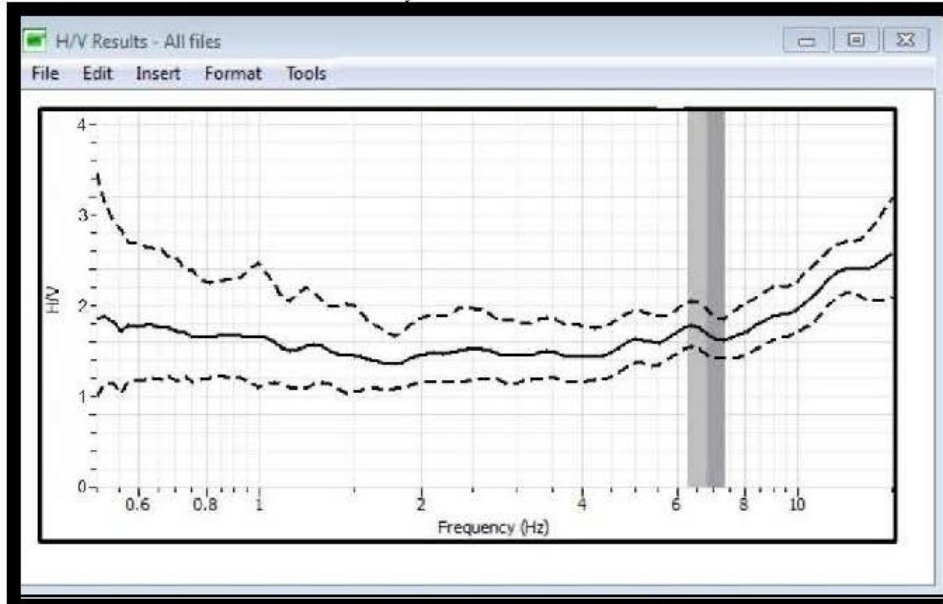


MT-1 PERİOD VE H/V GRAFİĞİ

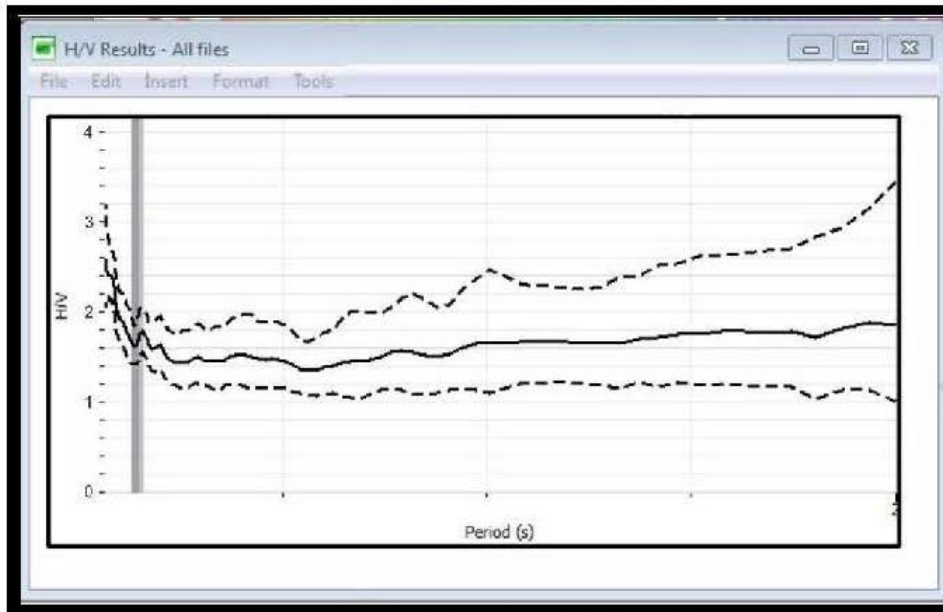




**MT-2 PENCERELENMİŞ VERİ VE SPECTRUM EĞRİLERİ**

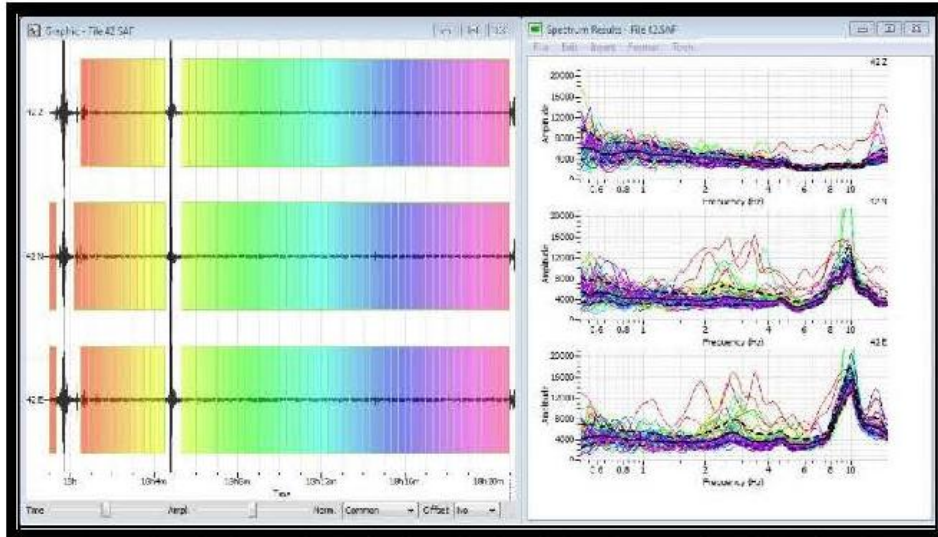


**MT-2 FREKANS H/V GRAFİĞİ**

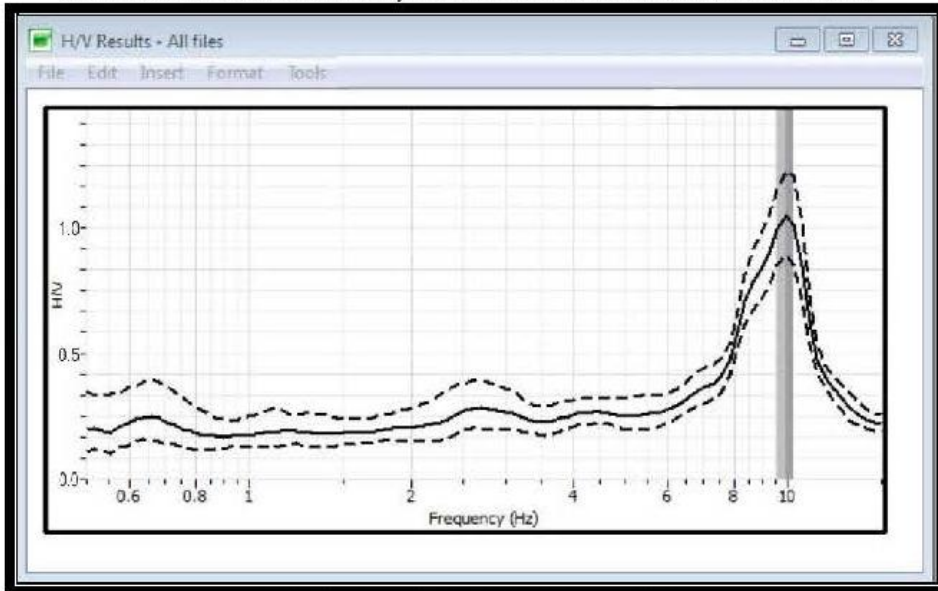


**MT-2 PERİOD VE H/V GRAFİĞİ**

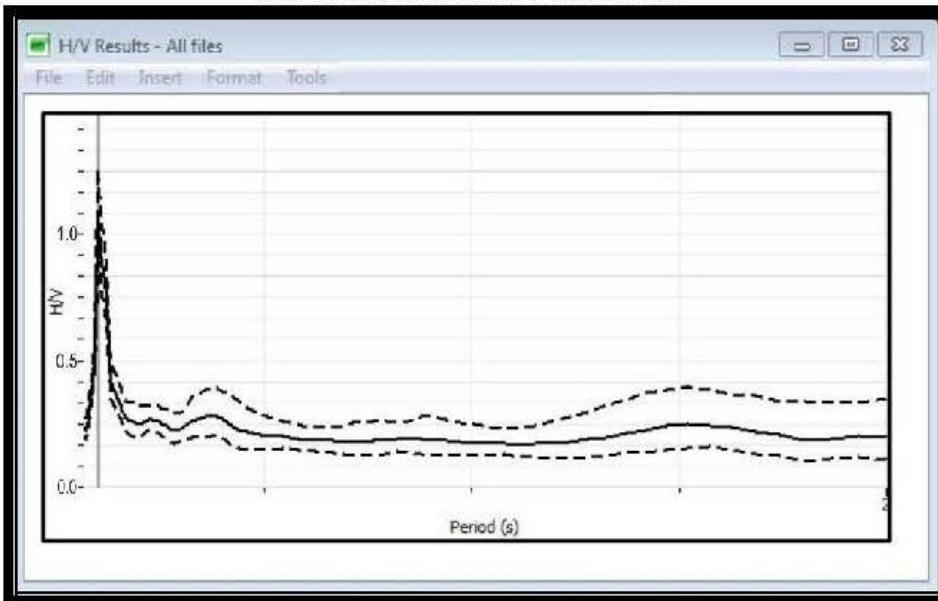




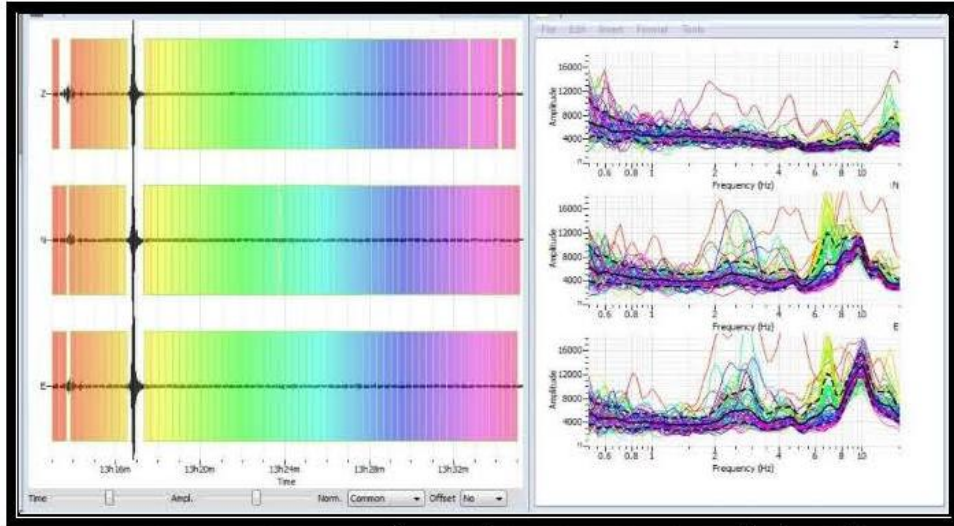
**MT-3 PENCERELENMİŞ VERİ VE SPECTRUM EĞRİLERİ**



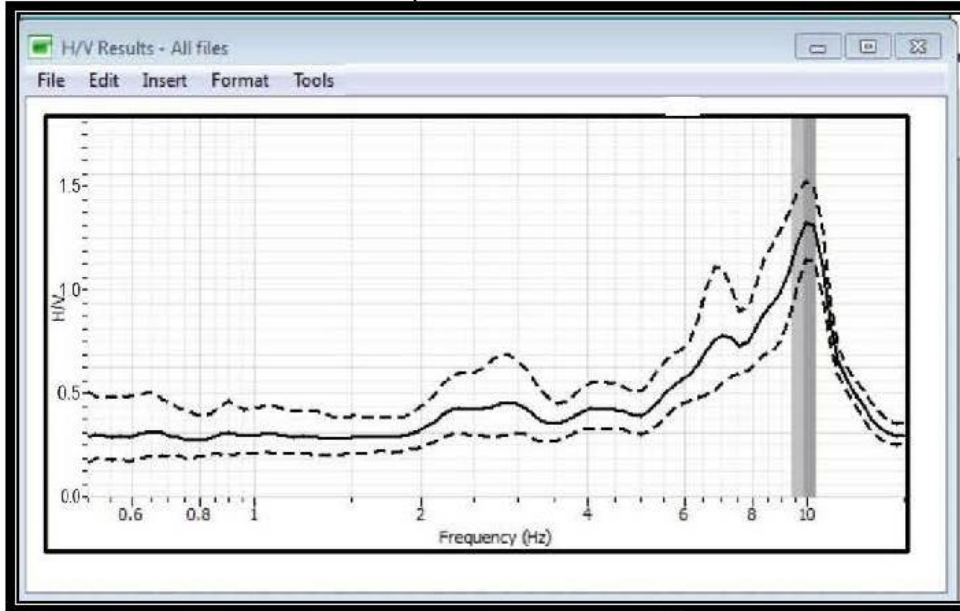
**MT-3 FREKANS-H/V GRAFİĞİ**



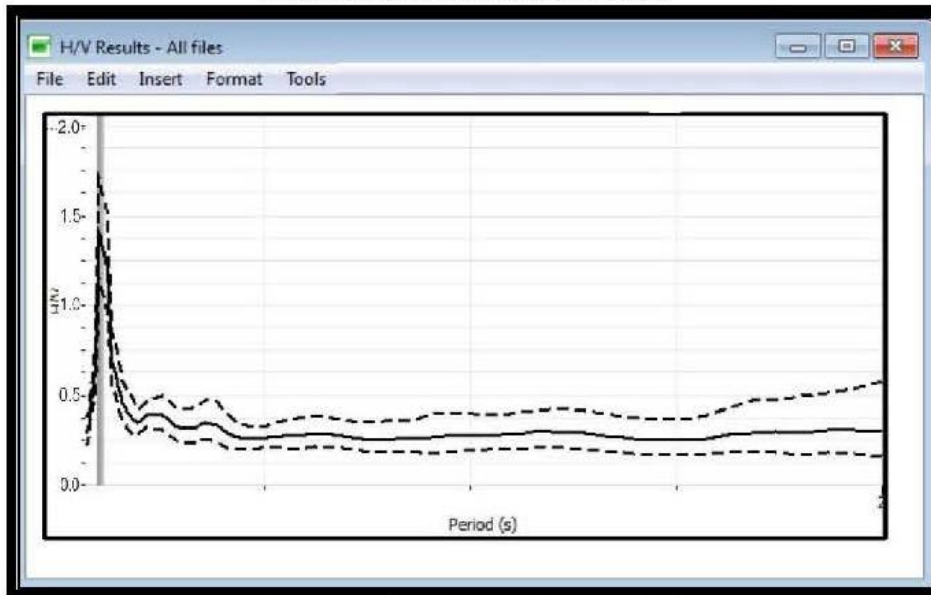
**MT-3 PERİYOD VE H/V GRAFİĞİ**



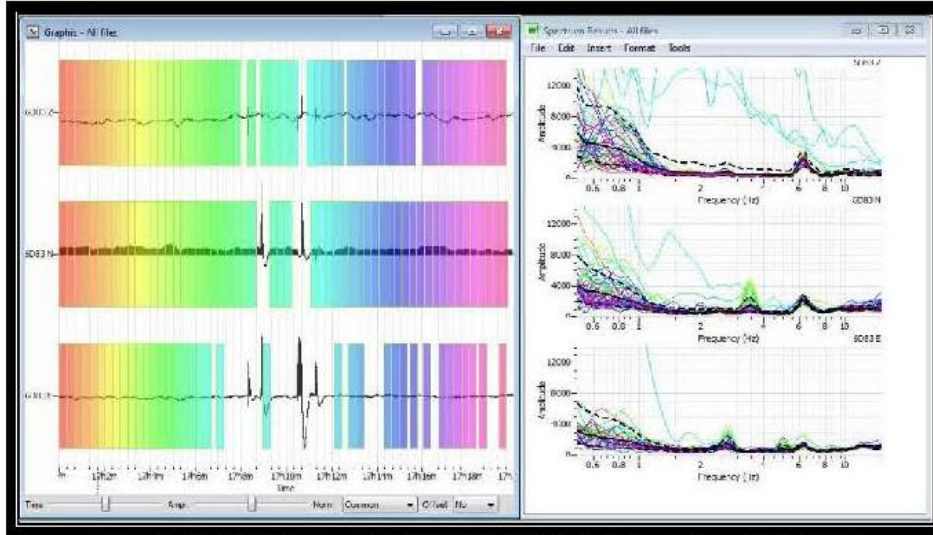
MT-4 PENCERELENMİŞ VERİ VE SPECTRUM EĞRİLERİ



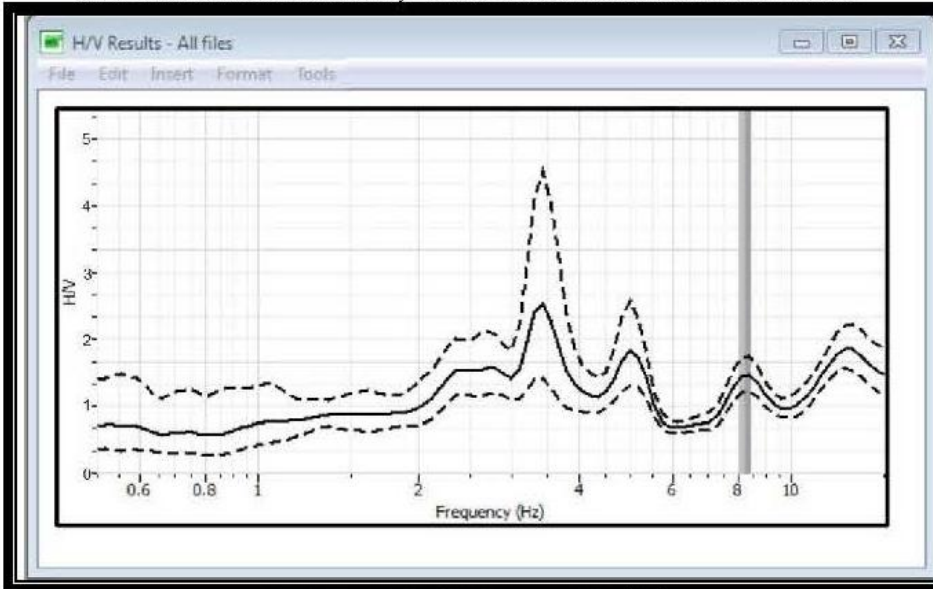
MT-4 FREKANS-H/V GRAFİĞİ



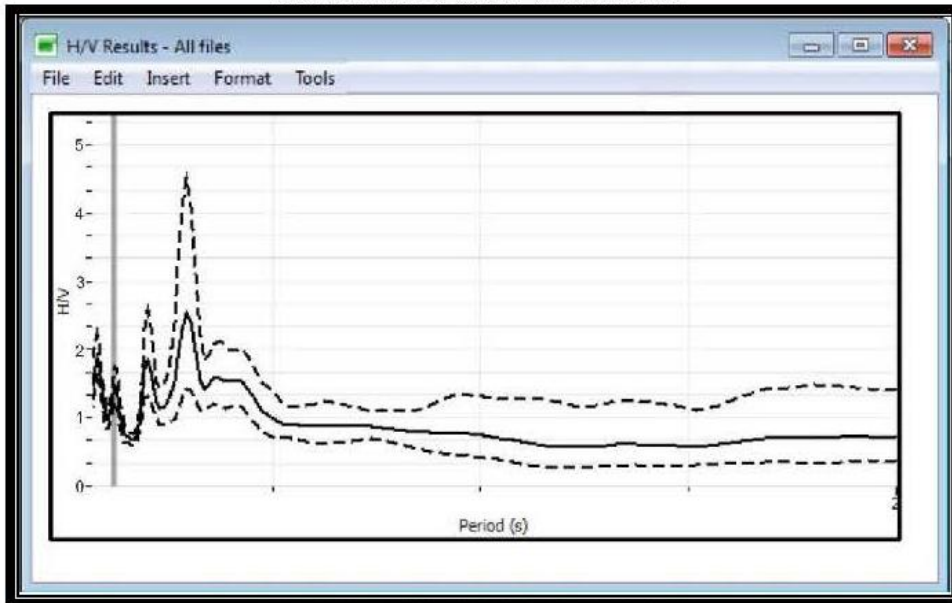
MT-4 PERİOD VE H/V GRAFİĞİ



**MT-5 PENCERELENMİŞ VERİ VE SPECTRUM EĞRİLERİ**

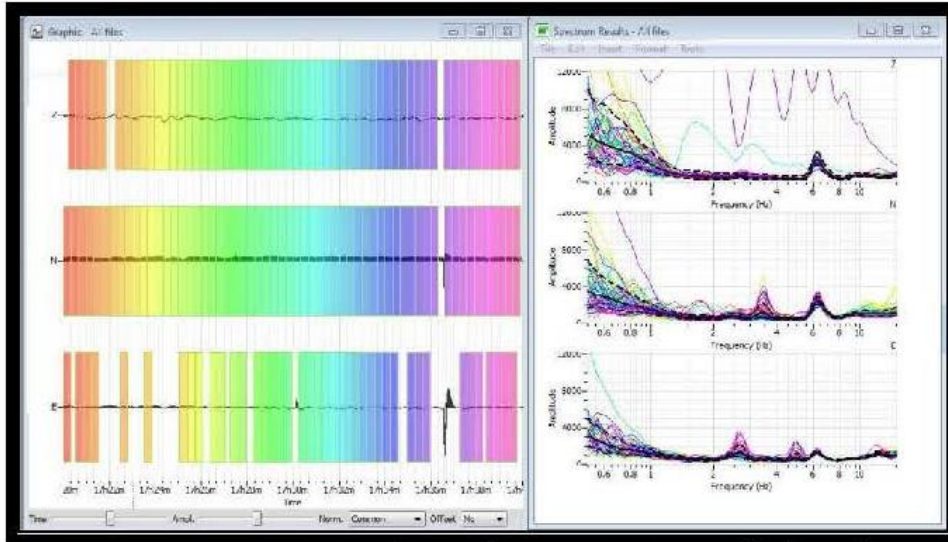


**MT-5 FREKANS-H/V GRAFİĞİ**

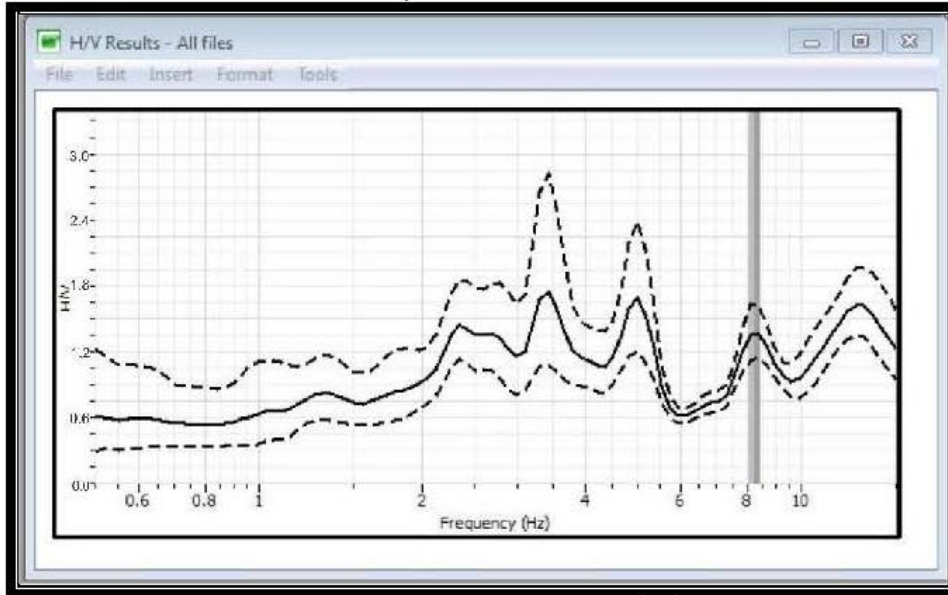


**MT-5 PERİOD VE H/V GRAFİĞİ**





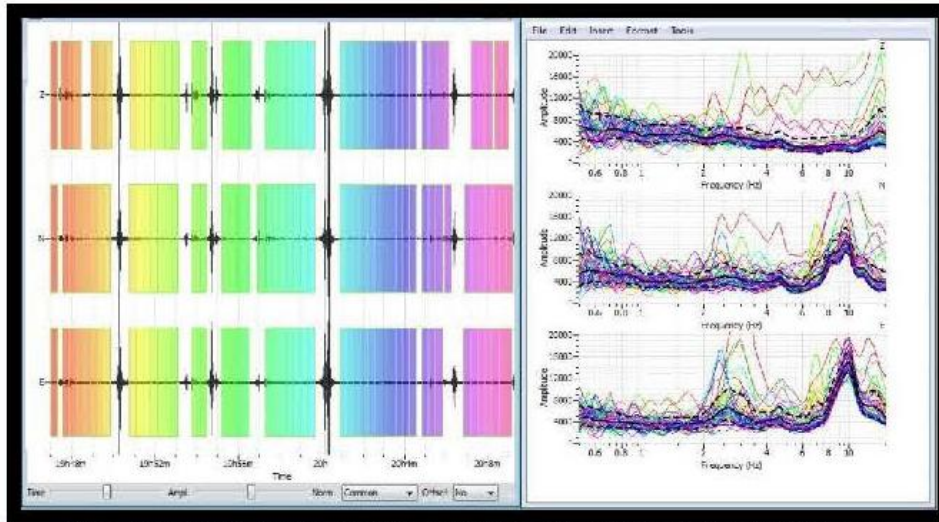
**MT-6 PENCERELENMİŞ VERİ VE SPECTRUM EĞRİLERİ**



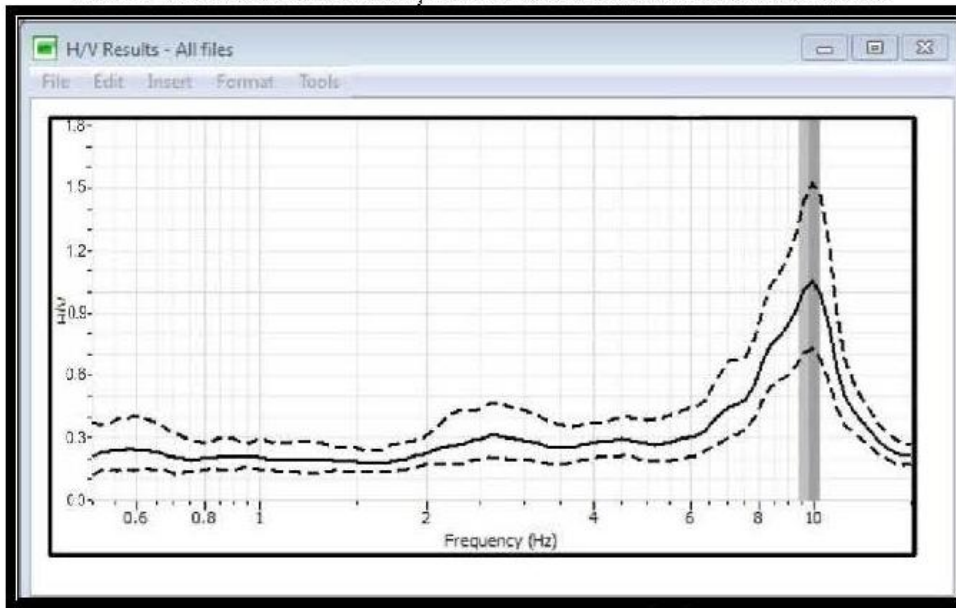
**MT-6 FREKANS-H/V GRAFİĞİ**



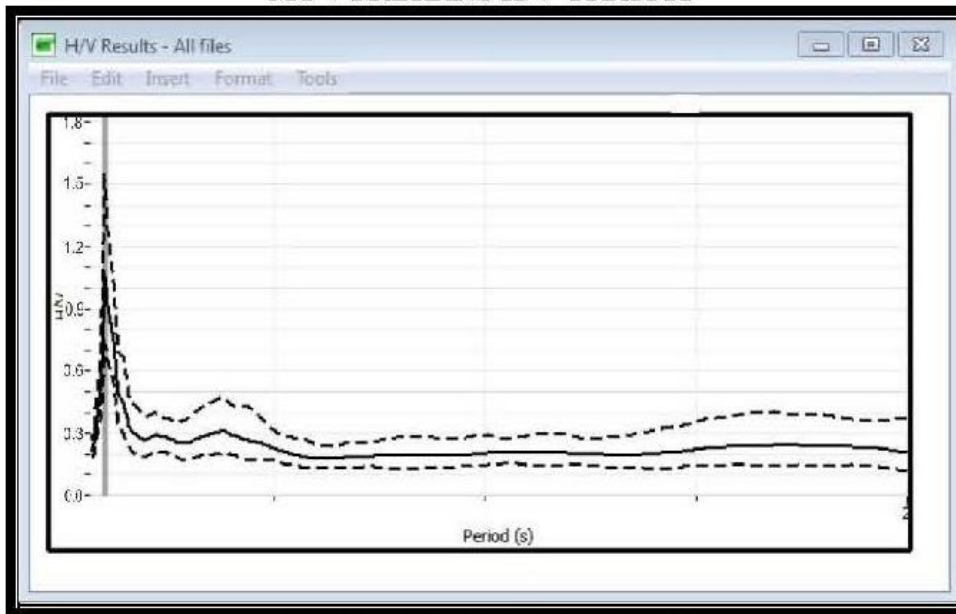
**MT-6 PERİYOD VE H/V GRAFİĞİ**



MT-7 PENCERELENMİŞ VERİ VE SPECTRUM EĞRİLERİ

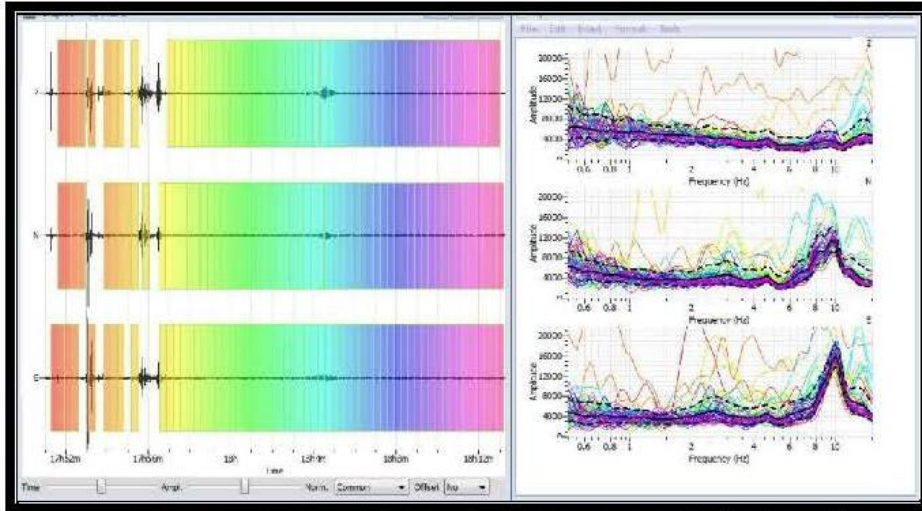


MT-7 FREKANS-H/V GRAFİĞİ

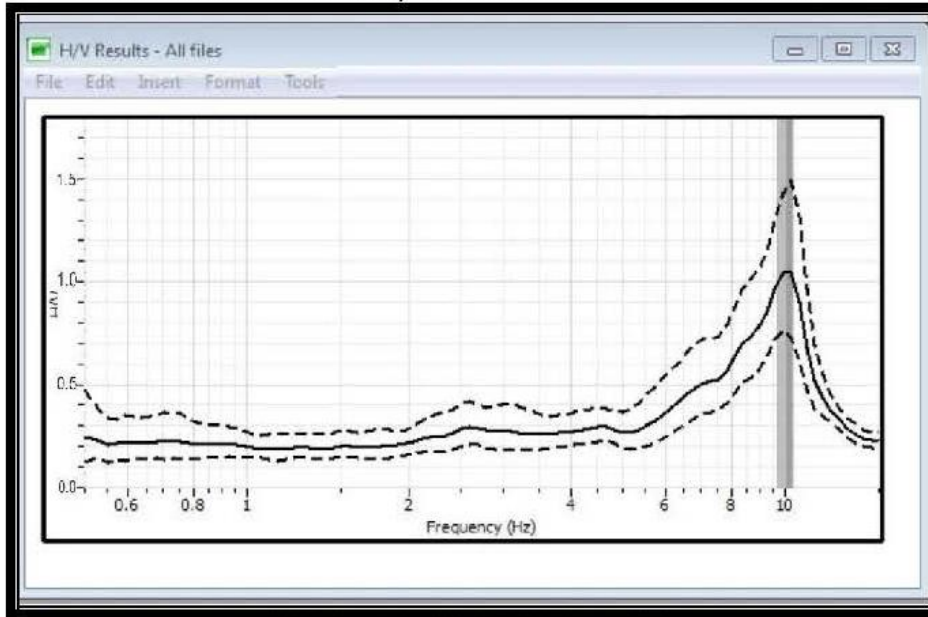


MT-7 PERİOD VE H/V GRAFİĞİ

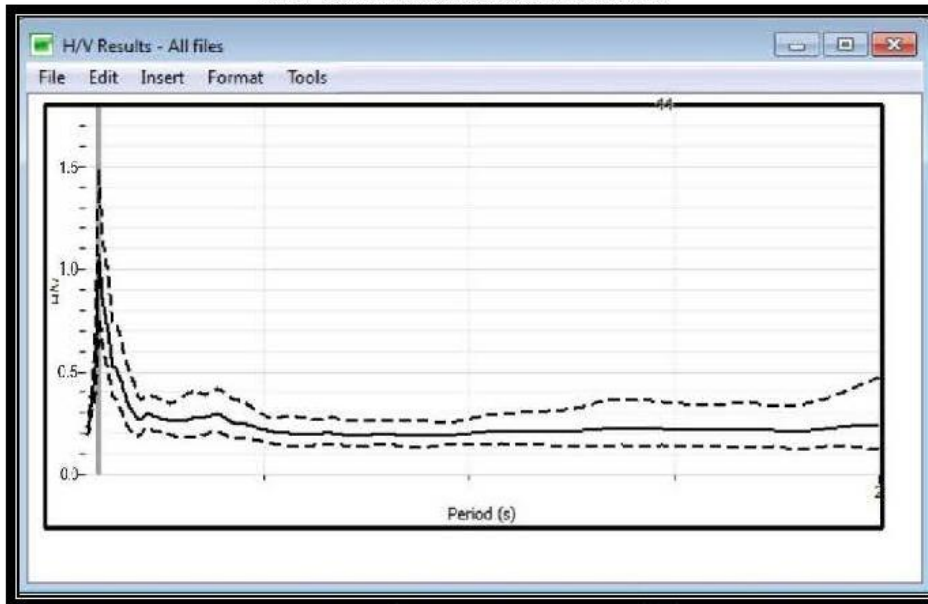




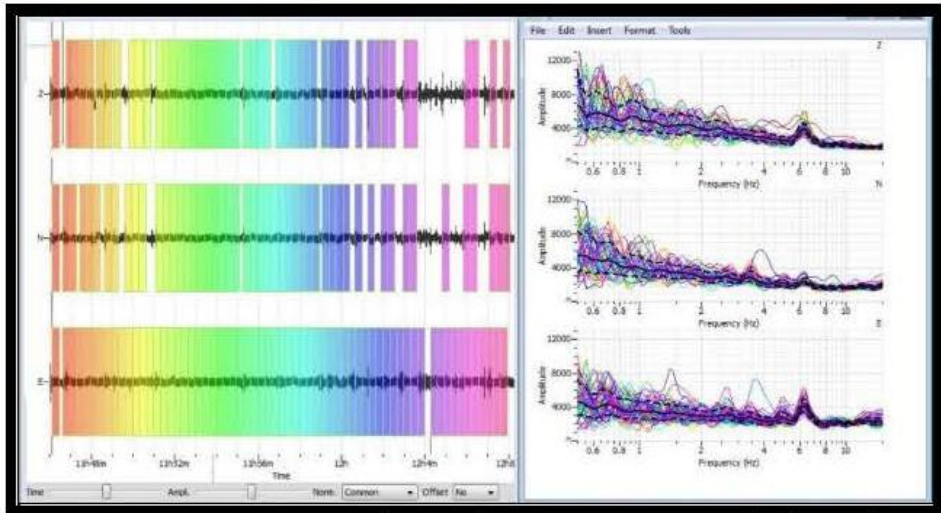
MT-8 PENCERELENMİŞ VERİ VE SPECTRUM EĞRİLERİ



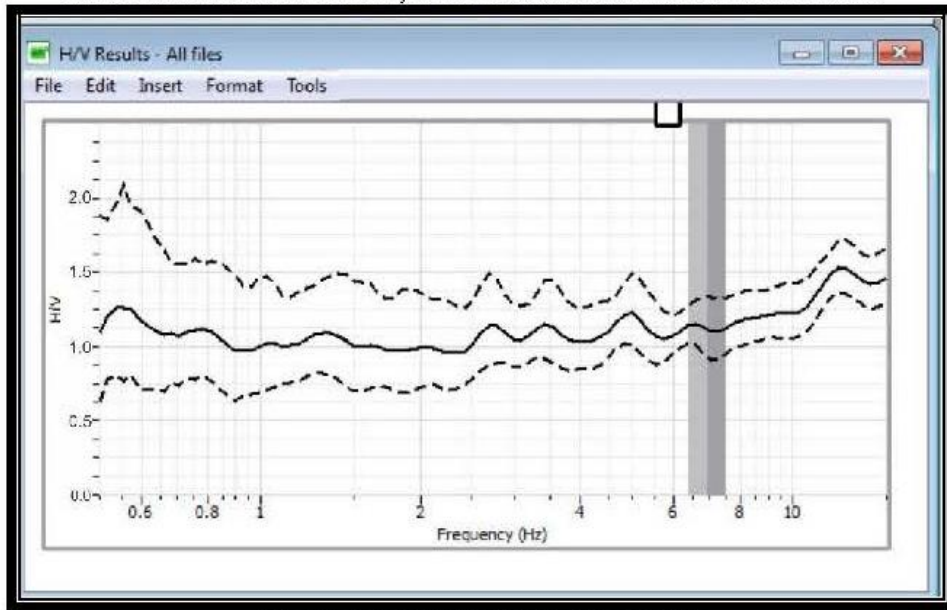
MT-8 FREKANS-H/V GRAFİĞİ



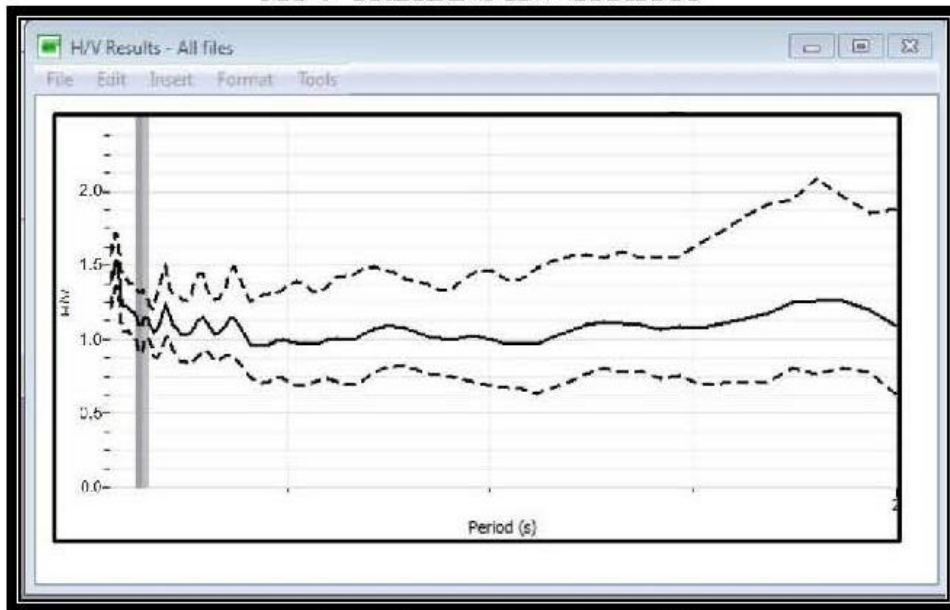
MT-8 PERİOD VE H/V GRAFİĞİ



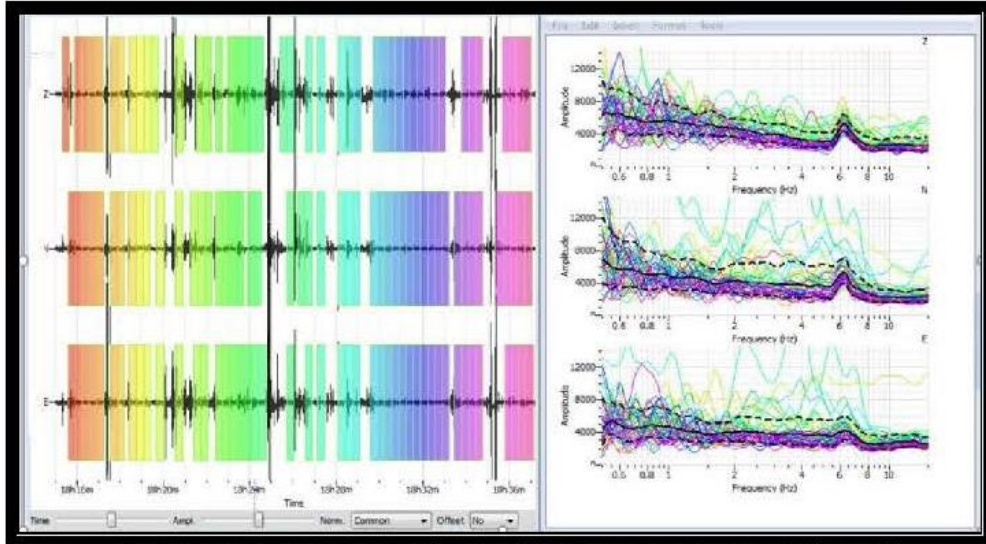
**MT-9 PENCERELENMİŞ VERİ VE SPECTRUM EĞRİLERİ**



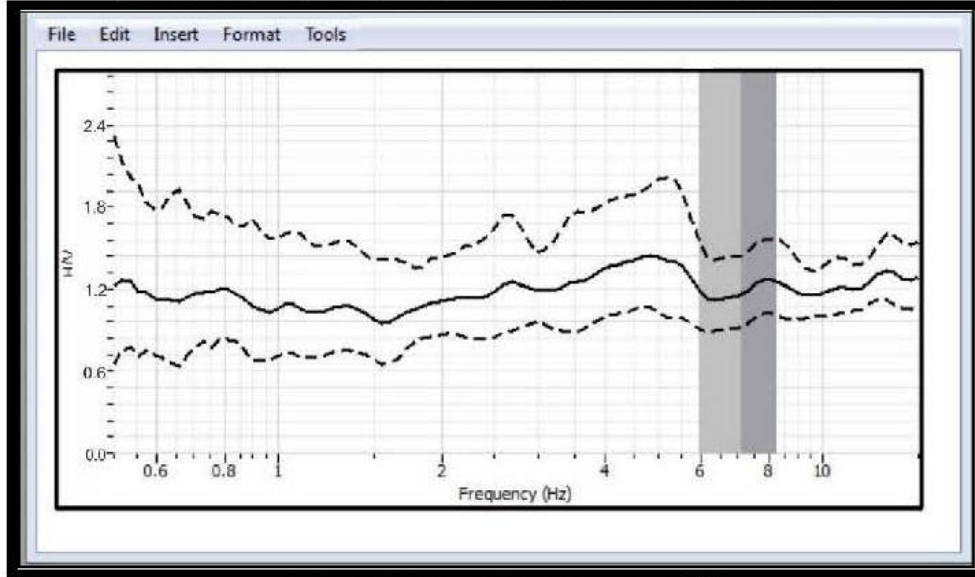
**MT-9 FREKANS-H/V GRAFİĞİ**



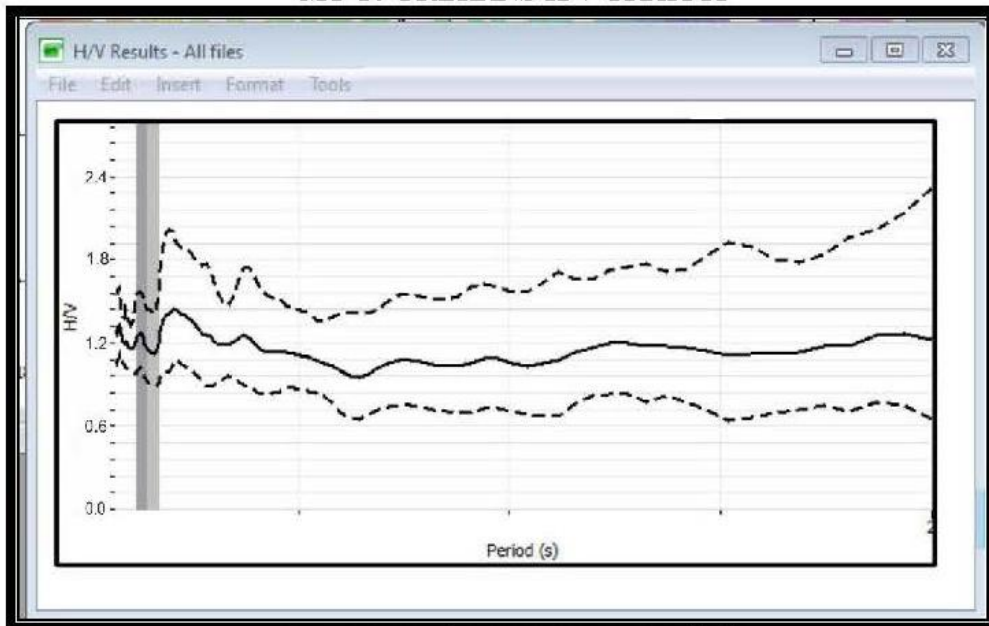
**MT-9 PERİOD VE H/V GRAFİĞİ**



**MT-10 PENCERELENMİŞ VERİ VE SPECTRUM EĞRİLERİ**

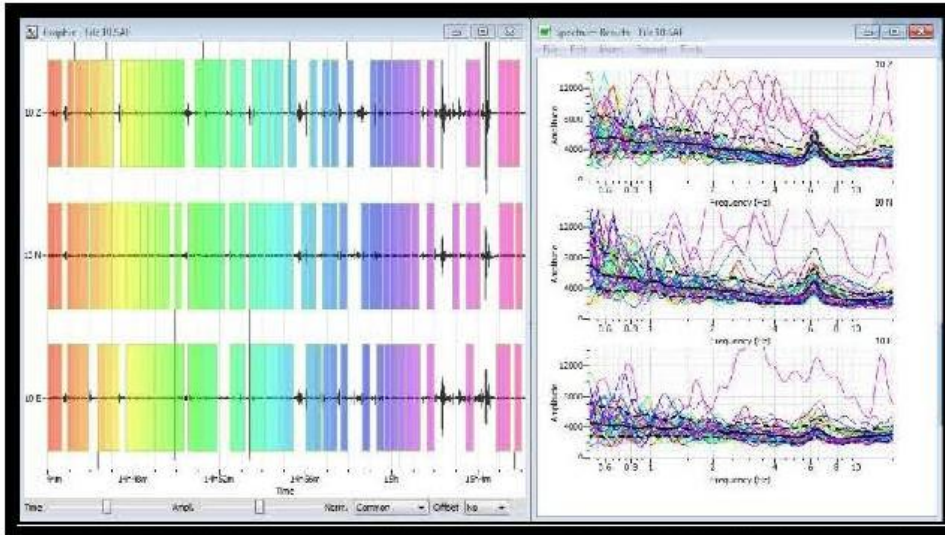


**MT-10 FREKANS-H/V GRAFİĞİ**

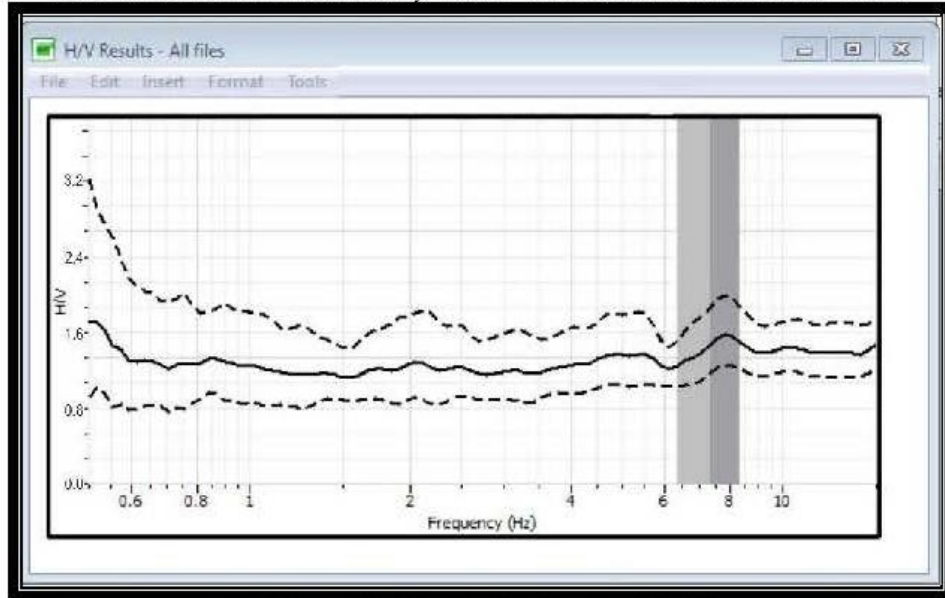


**MT-10 PERİOD VE H/V GRAFİĞİ**

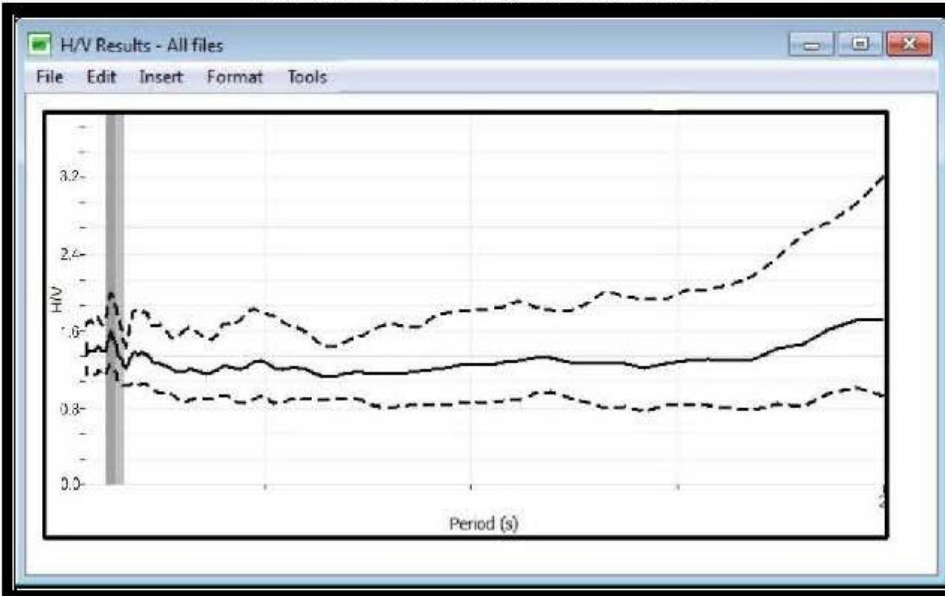




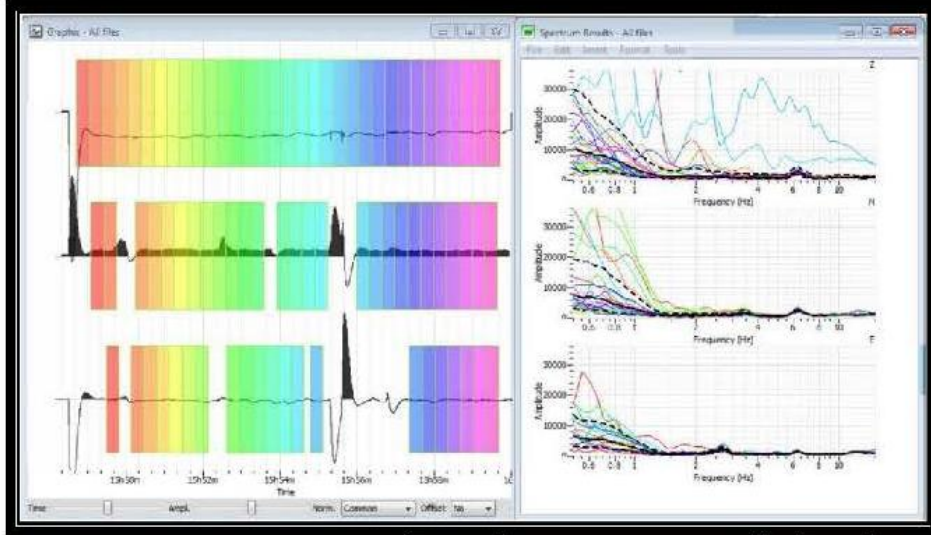
**MT-11 PENCERELENMİŞ VERİ VE SPECTRUM EĞRİLERİ**



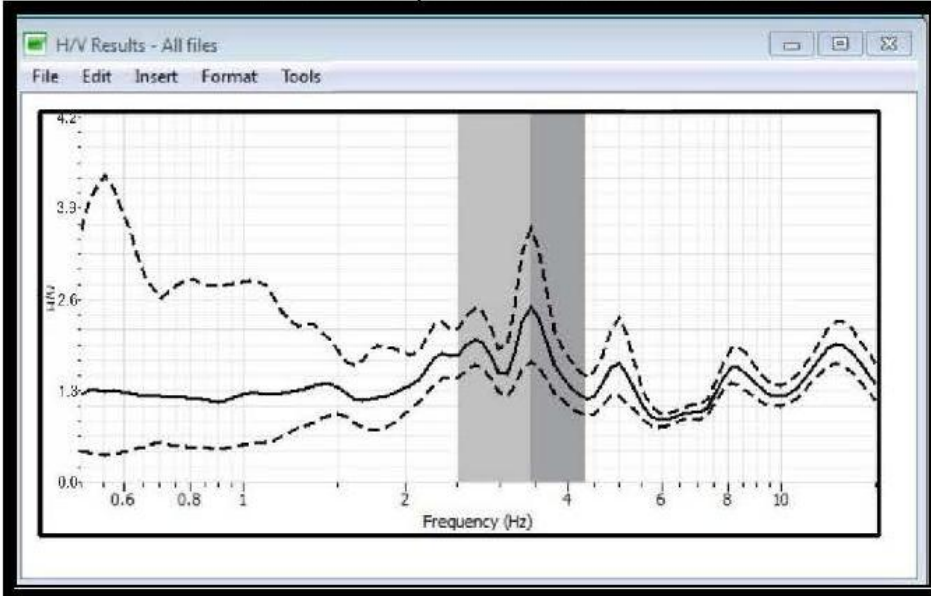
**MT-11 FREKANS-H/V GRAFİĞİ**



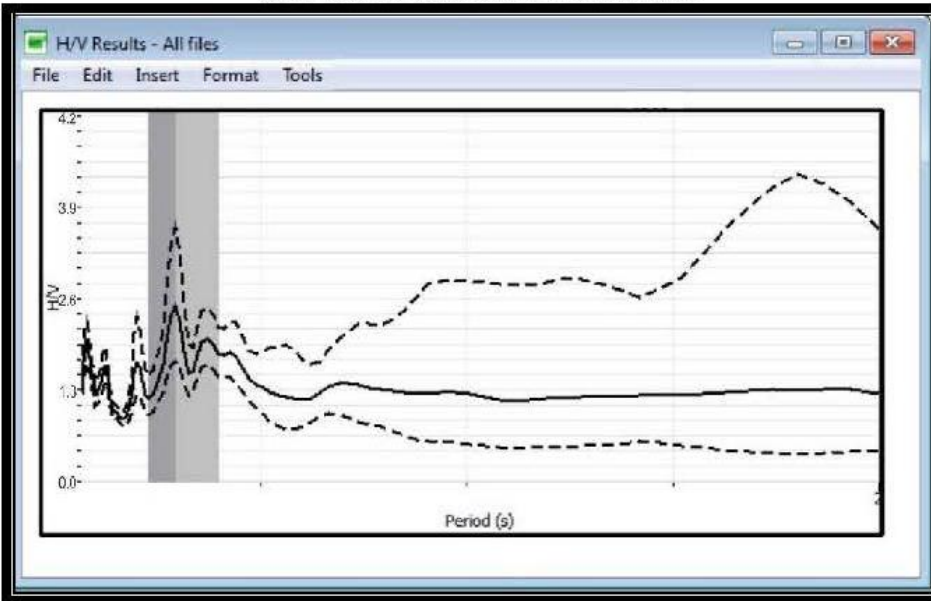
**MT-11 PERİOD VE H/V GRAFİĞİ**



MT-12 PENCERELENMİŞ VERİ VE SPECTRUM EĞRİLERİ

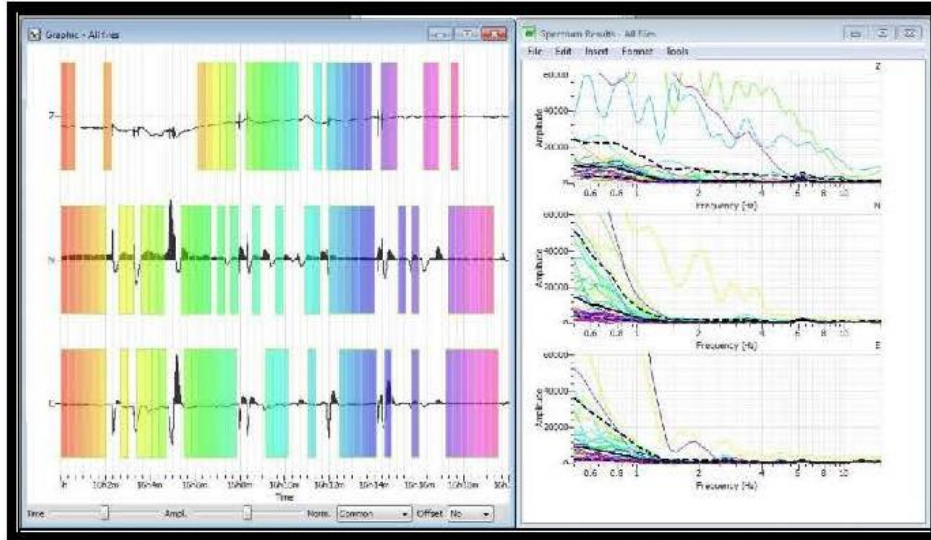


MT-12 FREKANS-H/V GRAFİĞİ

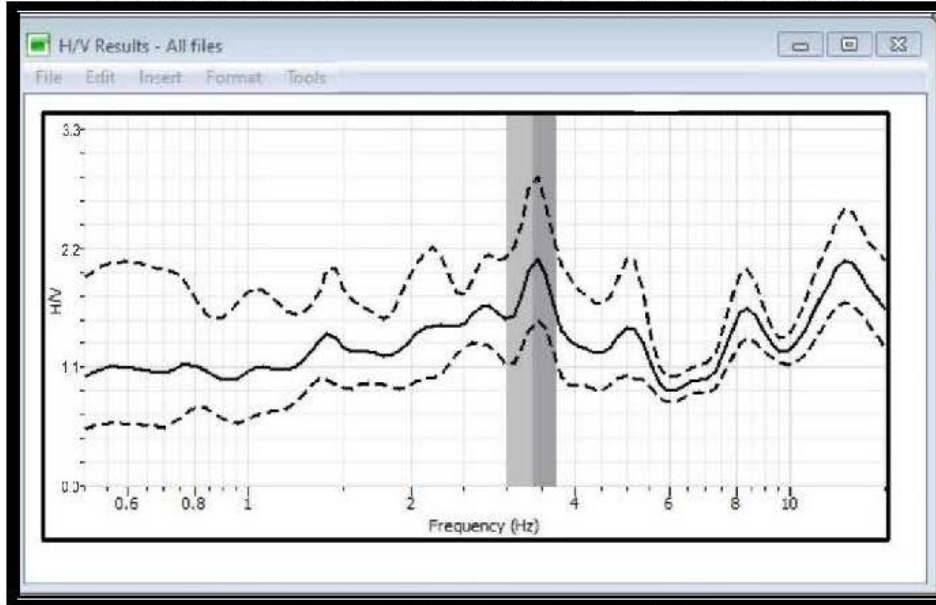


MT-12 PERİOD VE H/V GRAFİĞİ

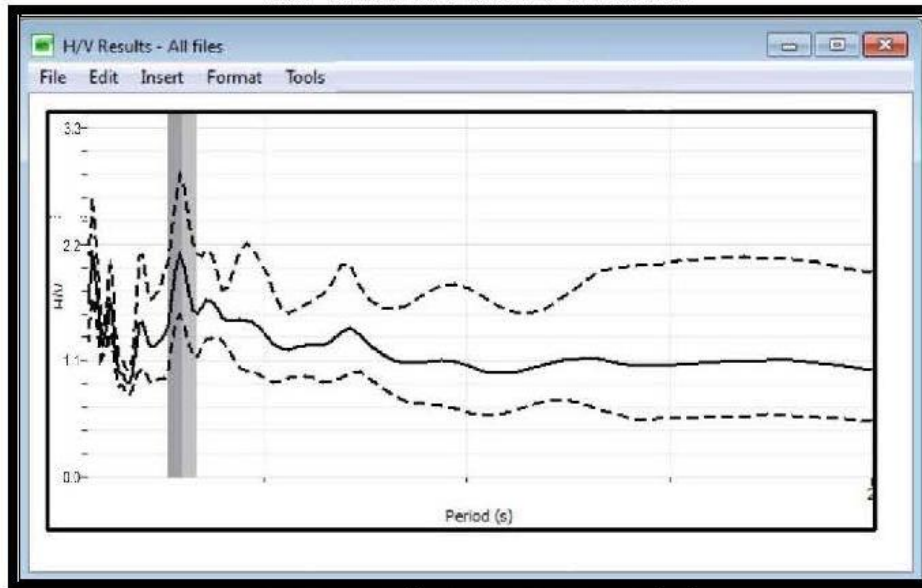




**MT-13 PENCERELENMİŞ VERİ VE SPECTRUM EĞRİLERİ**



**MT-13 FREKANS H/V GRAFİĞİ**



**MT-13 PERİYOD VE H/V GRAFİĞİ**