

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

**KAYMA DİRENÇ PARAMETRELERİNİN SİSMİK HIZLAR İLE  
BELİRLENMESİ**

**Veysel ÇEKMEN**

**Danışman : Yrd.Doç.Dr. Osman UYANIK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI**  
**ISPARTA - 2009**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                    | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| İÇİNDEKİLER .....                                                                  | i     |
| ÖZET .....                                                                         | iii   |
| ABSTRACT .....                                                                     | iv    |
| TEŞEKKÜR.....                                                                      | v     |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                               | vi    |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                            | xi    |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                                                | xii   |
| 1. GİRİŞ .....                                                                     | 1     |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ .....                                                           | 3     |
| 2.1. Giriş.....                                                                    | 3     |
| 2.2. Yerinde Yapılan Deneyler İle İlgili Yapılmış Zemin Dayanımı Çalışmaları ..... | 4     |
| 2.3. Önceden Yapılmış Kuyu Sismiği Çalışmaları .....                               | 7     |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM .....                                                        | 9     |
| 3.1. Yarma ve Numune Çukurları .....                                               | 9     |
| 3.2. Kayma Mukavemeti .....                                                        | 9     |
| 3.2.1. İçsel Sürtünme Açısı .....                                                  | 12    |
| 3.2.2. Kohezyon .....                                                              | 13    |
| 3.3. Mohr Gerilme Dairesi .....                                                    | 13    |
| 3.4. Zemin Sınıflaması .....                                                       | 15    |
| 3.5. Elek Analizi.....                                                             | 15    |
| 3.6. Kıvam Limitleri.....                                                          | 17    |
| 3.6.1. Likit Limit .....                                                           | 18    |
| 3.6.2. Plastik Limit .....                                                         | 19    |
| 3.7. Vane (Kesme) Deneyi .....                                                     | 20    |
| 3.8. Proktor Penetrometresi.....                                                   | 22    |
| 3.9. Dinamik Penetrasyon Deneyi.....                                               | 23    |
| 3.10. Sismik Yöntem.....                                                           | 24    |
| 3.10.1. Dalgalar .....                                                             | 26    |
| 3.10.1.1. Boyuna Dalgalar.....                                                     | 27    |
| 3.10.1.2 Enine Dalgalar.....                                                       | 28    |

|                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.10.1.3. Snell Yasası.....                                                                                   | 29  |
| 3.10.2. Sismik Hızı Etkileyen Faktörler.....                                                                  | 30  |
| 3.10.3. Kuyu Sismiği.....                                                                                     | 31  |
| 3.10.3.1. Up-Hole.....                                                                                        | 31  |
| 3.10.3.2. Down-Hole.....                                                                                      | 32  |
| 3.10.3.3. Cross-Hole. ....                                                                                    | 33  |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....                                                                                  | 36  |
| 4.1. Arazide Yapılan Karşıt-Kuyu(Cross-Hole) Çalışmaları .....                                                | 36  |
| 4.2. Isparta ve Çevresinde Bulunan Pomzanın Kuyu İçi Sismik Hız Değerleri .....                               | 38  |
| 4.3. Yerinde ve Laboratuarda Yapılan Deney Sonuçları .....                                                    | 38  |
| 4.4. Sismik Hızlar İle Zemin Mekaniği Laboratuar Sonuçları İlişkilendirmeleri ....                            | 54  |
| 4.4.1. Kum Ortamda Zeminin Yüzde Oranları İle Sismik Hızlar Arasındaki İlişki                                 | 54  |
| 4.4.2. Kum Ortamda Likit Limit,Plastik Limit ve Su Muhtevası İle Sismik Hızlar Arasındaki İlişki .....        | 56  |
| 4.4.3. Kil-Silt Ortamda Zeminin Yüzde Oranları İle Sismik Hızlar Arasındaki İlişkiler .....                   | 58  |
| 4.4.4. Kil-Silt Ortamda Likit Limit,Plastik Limit ve Su Muhtevası İle Sismik Hızlar Arasındaki İlişkiler..... | 60  |
| 4.4.5. Düşey Basınç İle Sismik Hızlar Arasındaki İlişki.....                                                  | 63  |
| 4.4.6. Normal Gerilme İle Sismik Hızlar Arasındaki İlişki .....                                               | 66  |
| 4.4.7. Kohezyon İle Sismik Hızlar Arasındaki İlişki .....                                                     | 69  |
| 4.4.8. Kayma Mukavemeti İle Sismik Hızlar Arasındaki İlişki.....                                              | 72  |
| 4.4.9. Sismik Hızlar İle Kayma Direnç Parametreleri Arasındaki Çok Parametrelili İlişkilendirmeler .....      | 77  |
| 4.4.10. Dinamik Penetrasyon Test (DPT) İle Sismik Hızlar Arasındaki İlişki.....                               | 82  |
| 5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....                                                                                    | 86  |
| 6. KAYNAKLAR .....                                                                                            | 89  |
| EKLER.....                                                                                                    | 93  |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                                | 101 |

## **ÖZET**

### **Yüksek Lisans Tezi**

## **KAYMA DİRENÇ PARAMETRELERİNİN SİSMİK HIZLAR İLE BELİRLENMESİ**

**Veysel ÇEKMEN**

**Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Juri: Prof. Dr. Mahmut OKYAR**

**Yrd. Doç. Dr. Ömür ÇİMEN**

**Yrd. Doç. Dr. Osman UYANIK (Danışman)**

Bir deprem esnasında, zeminde meydana gelen titreşimler, mühendislik yapı yüklerinin iletildiği zeminlerde büyük deformasyonlar yapabilir. Bu durum, zeminin dinamik ve stabilite özelliğinin bilinmemesinden kaynaklanır. Zeminin dinamik ve stabilite özelliği doğrudan doğruya ortamın kayma direnci ile ilgilidir. Kayma direnci ile ilgili bilgilerin saptanmasında daha hızlı ve daha pratik çözümlere ulaşmak için yerinde deneylerin (sismik yöntem, vane ve penetrometre) önemi oldukça büyüktür. Bu tez çalışmasında, Isparta, Yalvaç ve Ağlasun bölgelerinde, yapılan arazi uygulamaları ile çalışılan bölgelerdeki zeminlerin kayma direnç parametrelerinin değerini, yerinde vane ve proktor penetrometre deneyleri ile zeminin dinamik özelliklerini sismik yöntemler ile belirlenmiştir. Toplam 11 farklı alanlarda belirlenen yarmalarda, temel çukurlarında ve araştırma çukurlarının içlerinde sismik karşıt kuyu(cross hole), Vane ve Proktor Penetrometre deneyleri yerinde uygulanmıştır. Bu deneylerin yapıldığı yerlerden alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneleri kullanarak laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Elde ettiğimiz parametreler arasında ilişkiler arayarak yerinde yapılan deneyler ile daha kısa sürede daha fazla parametre belirlemek amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kayma Direnci, Karşıt-Kuyu, Penetrometre, Vane.

**2009, 101 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **DETERMINATION OF SHEAR RESISTANCE PARAMETERS FROM SEISMIC VELOCITIES**

**Veysel ÇEKMEN**

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

**Thesis Committee: Prof. Dr. Mahmut OKYAR**

**Asst. Prof. Ömür ÇİMEN**

**Asst. Prof. Osman UYANIK (Supervisor)**

During an earthquake, the vibrations occurred on the ground could lead damages in the grounds where engineering loads are conducted. This is because the dynamic and stability properties of the ground are unknown. These properties depend on the skid resistance of the ground. Its important to make in-situ tests for collecting information about shear strength. In this thesis work, the values of skid resistance parameters of some ground near Isparta, Yalvaç, Ağlasun are observed via in-situ vane and penetrometer tests and the dynamic properties of that ground are found via seismic experiments. Cross hole, vane and penetrometer tests are implemented on a total of 11 places including engravings, foundation pits and research pits. The disturbed and undisturbed samples taken from that places are used in laboratory experiments. Searching for relations between the parameters found, it is aimed to find more parameters in a shorter time.

**Key Words:** Shear Strength, Cross-Hole, Penetrometre, Vane.

**2009, 101 pages**

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından 1625-YL-08 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Bu araştırma için beni yönlendiren, çalışmamın her aşamasında bana her türlü imkan ve desteği sağlayarak değerli görüş ve katkılarını esirgemeyen Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Osman UYANIK’a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında çok değerli bilgi ve tecrübeleri ile yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ömür ÇİMEN’e teşekkürlerimi sunarım.

Arazide yürütülen çalışmalarda, sismik cihazı ile yardımlarından dolayı, Jeofizik Mühendisi Hızır YILMAZ’a ve Jeofizik Mühendisi Yasin YEŞİL’e teşekkür ediyorum.

Çalışmalarımın her aşamasında bana göstermiş oldukları anlayış ve verdikleri destekten dolayı çok sevdiğim canım aileme teşekkür ediyorum.

Veysel ÇEKMEN  
ISPARTA, 2009

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1. Mohr-Coulomb Kırılma Hipotezi .....                                                                                    | 11 |
| Şekil 3.2. Kayma Direncine Göre Zeminler.....                                                                                     | 12 |
| Şekil 3.3. Taneler Arası Gerilme Nakli.....                                                                                       | 13 |
| Şekil 3.4. İki Boyutlu Bir Problemde Bir Eleman .....                                                                             | 14 |
| Şekil 3.5. Mohr (gerilme) Dairesi .....                                                                                           | 14 |
| Şekil 3.6. Elek Dizisi.....                                                                                                       | 16 |
| Şekil 3.7. Tane Boyu Dağılım Eğrisi .....                                                                                         | 17 |
| Şekil 3.8. Kohezyonlu Zeminlerde Hacim ve Su Muhtevası İlişkisi ve Kıvam<br>Limitleri .....                                       | 18 |
| Şekil 3.9. Likit Limitin Belirlenmesi .....                                                                                       | 19 |
| Şekil 3.10. Çeşitli Gerilme Durumları .....                                                                                       | 21 |
| Şekil 3.11. Vane Deney Aleti.....                                                                                                 | 22 |
| Şekil 3.12. Dalga Boyu ve Genliklerinin Gösterimi .....                                                                           | 27 |
| Şekil 3.13. Boyuna Dalgaların Üç Boyutlu Gösterimi.....                                                                           | 27 |
| Şekil 3.14. Enine Dalgaların Üç Boyutlu Gösterimi.....                                                                            | 28 |
| Şekil 3.15. Snell Yasasının Şematik Olarak Gösterimi.....                                                                         | 29 |
| Şekil 3.16. a)Up-Hole Tekniğinin Arazi Uygulanışı<br>b)Down-Hole Tekniğinin Arazi Uygulanışı .....                                | 32 |
| Şekil 3.17. Cross-Hole Tekniğinde Dalga Yayılımı .....                                                                            | 33 |
| Şekil 3.18. Kuyu Sismiği İle Elde Edilen Sismik İzler .....                                                                       | 34 |
| Şekil 4.1. Ağlasun Bölgesinde Yapılan Arazi Çalışması Resimleri .....                                                             | 36 |
| Şekil 4.2. Isparta ve Yalvaç Bölgesinde Yapılan Arazi Çalışması Resimleri.....                                                    | 37 |
| Şekil 4.3. I-NÇ1 Araştırma Çukurunun Sismik Karşıt Kuyu,Vane-Penetrometre ve<br>Dinamik Penetrasyon Değerlendirme Sonuçları ..... | 48 |
| Şekil 4.4. I-NÇ2 Araştırma Çukurunun Sismik Karşıt Kuyu,Vane-Penetrometre ve<br>Dinamik Penetrasyon Değerlendirme Sonuçları ..... | 48 |
| Şekil 4.5. I-NÇ3 Araştırma Çukurunun Sismik Karşıt Kuyu,Vane-Penetrometre ve<br>Dinamik Penetrasyon Değerlendirme Sonuçları ..... | 49 |
| Şekil 4.6. I-NÇ4 Araştırma Çukurunun Sismik Karşıt Kuyu,Vane-Penetrometre ve<br>Dinamik Penetrasyon Değerlendirme Sonuçları ..... | 49 |

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.7. I-NÇ5 Araştırma Çukurunun Sismik Karşıt Kuyu,Vane-Penetrometre ve Dinamik Penetrasyon Değerlendirme Sonuçları .....  | 50 |
| Şekil 4.8. I-NÇ6 Araştırma Çukurunun Sismik Karşıt Kuyu,Vane-Penetrometre ve Dinamik Penetrasyon Değerlendirme Sonuçları .....  | 50 |
| Şekil 4.9. I-NÇ7 Araştırma Çukurunun Sismik Karşıt Kuyu,Vane-Penetrometre ve Dinamik Penetrasyon Değerlendirme Sonuçları .....  | 51 |
| Şekil 4.10. I-NÇ8 Araştırma Çukurunun Sismik Karşıt Kuyu,Vane-Penetrometre ve Dinamik Penetrasyon Değerlendirme Sonuçları ..... | 51 |
| Şekil 4.11. Y-NÇ1 Araştırma Çukurunun Sismik Karşıt Kuyu ve Vane-Penetrometre Değerlendirme Sonuçları .....                     | 52 |
| Şekil 4.12. Y-NÇ2 Araştırma Çukurunun Sismik Karşıt Kuyu ve Vane-Penetrometre Değerlendirme Sonuçları .....                     | 52 |
| Şekil 4.13. A-NÇ1 Araştırma Çukurunun Sismik Karşıt Kuyu ve Vane-Penetrometre Değerlendirme Sonuçları .....                     | 53 |
| Şekil 4.14. Kum Ortamda, Zeminin Yüzde Oranları- Boyuna Dalga Hızı İlişkisi ....                                                | 54 |
| Şekil 4.15. Kum Ortamda, Zeminin Yüzde Oranları- Enine Dalga Hızı İlişkisi .....                                                | 55 |
| Şekil 4.16. Kum Ortamda, Zeminin Yüzde Oranları- Sismik Oran İlişkisi.....                                                      | 55 |
| Şekil 4.17. Kum Ortamda, Likit Limit (LL), Plastik Limit (PL), Su Muhtevası (W)- Boyuna Dalga Hızı İlişkisi .....               | 56 |
| Şekil 4.18. Kum Ortamda, Likit Limit (LL), Plastik Limit (PL), Su Muhtevası (W)- Enine Dalga Hızı İlişkisi .....                | 57 |
| Şekil 4.19. Kum Ortamda, Likit Limit (LL), Plastik Limit (PL), Su Muhtevası (W) - Sismik Oran İlişkisi.....                     | 57 |
| Şekil 4.20. Kum Ortamda, Dane Birim Hacim Ağırlığı- Boyuna Dalga Hız İlişkisi                                                   | 58 |
| Şekil 4.21. Kil-Silt Ortamda, Zeminin Yüzde Oranları- Boyuna Dalga Hız İlişkisi                                                 | 59 |
| Şekil 4.22. Kil-Silt Ortamda, Zeminin Yüzde Oranları- Enine Dalga Hız İlişkisi ...                                              | 59 |
| Şekil 4.23. Kil-Silt Ortamda, Zeminin Yüzde Oranları- Sismik Oran İlişkisi.....                                                 | 60 |
| Şekil 4.24. Kil-Silt Ortamda, Likit Limit (LL), Plastik Limit (PL), Su Muhtevası(W)- Boyuna Dalga Hızı İlişkisi .....           | 61 |
| Şekil 4.25. Kil-Silt Ortamda, Likit Limit (LL), Plastik Limit (PL), Su Muhtevası(W)- Enine Dalga Hızı İlişkisi .....            | 62 |

|                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.26. Kil-Silt Ortamda, Likit Limit (LL), Plastik Limit (PL), Su Muhtevası(W)-<br>Sismik Oran İlişkisi.....                                             | 63 |
| Şekil 4.27. Kum Zeminlerin Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızları İle Düşey Basınç<br>Arasındaki İlişkiler.....                                                 | 64 |
| Şekil 4.28. Kil Zeminlerin Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızları İle Düşey<br>Basınç Arasındaki İlişkiler.....                                                 | 65 |
| Şekil 4.29. Karışık Zeminlerin Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızları İle Düşey<br>Basınç Arasındaki İlişkiler.....                                             | 66 |
| Şekil 4.30. Kum Zeminlerin Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızları İle Normal<br>Gerilme Arasındaki İlişkiler.....                                               | 68 |
| Şekil 4.31. Kil Zeminlerin Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızları İle Normal<br>Gerilme Arasındaki İlişkiler.....                                               | 68 |
| Şekil 4.32. Karışık Zeminlerin Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızları İle Normal<br>Gerilme Arasındaki İlişkiler.....                                           | 69 |
| Şekil 4.33. Kum Zeminlerin Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızları İle Kohezyon<br>Arasındaki İlişkiler.....                                                     | 70 |
| Şekil 4.34. Kil Zeminlerin Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızları İle Kohezyon<br>Arasındaki İlişkiler.....                                                     | 71 |
| Şekil 4.35. Karışık Zeminlerin Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızları İle Kohezyon<br>Arasındaki İlişkiler.....                                                 | 71 |
| Şekil 4.36. Kum Zeminlerin Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızları İle Kayma<br>Mukavemeti Arasındaki İlişkiler .....                                            | 73 |
| Şekil 4.37. Kil Zeminlerin Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızları İle Kayma<br>Mukavemeti Arasındaki İlişkiler .....                                            | 74 |
| Şekil 4.38. Karışık Zeminlerin Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızları İle Kayma<br>Mukavemeti Arasındaki İlişkiler .....                                        | 74 |
| Şekil 4.39. Kum Zeminlerin Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızlarından Elde Edilen<br>Sismik Kayma Mukavemeti İle Kayma Mukavemeti Arasındaki<br>İlişkiler ..... | 75 |

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.40. Kil Zeminlerin Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızlarından Elde Edilen Sismik Kayma Mukavemeti İle Kayma Mukavemeti Arasındaki İlişkiler .....     | 76 |
| Şekil 4.41. Karışık Zeminlerin Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızlarından Elde Edilen Sismik Kayma Mukavemeti İle Kayma Mukavemeti Arasındaki İlişkiler ..... | 77 |
| Şekil 4.42. Kum Zeminler için Sismik Hızlarından Elde Edilen Düşey Basıncı İle Düşey Basıncın Karşılaştırılması .....                                       | 79 |
| Şekil 4.43. Kum Zeminler için Sismik Hızlarından Elde Edilen Kayma Mukavemeti İle Kayma Mukavemetinin Karşılaştırılması .....                               | 79 |
| Şekil 4.44. Kum Zeminler için Sismik Hızlarından Elde Edilen Kohezyon İle Kohezyonun Karşılaştırılması .....                                                | 79 |
| Şekil 4.45. Kum Zeminler için Sismik Hızlarından Elde Edilen Normal Gerilme İle Normal Gerilmenin Karşılaştırılması .....                                   | 80 |
| Şekil 4.46. Kil Zeminler için Sismik Hızlarından Elde Edilen Düşey Basıncı İle Düşey Basıncın Karşılaştırılması .....                                       | 80 |
| Şekil 4.47. Kil Zeminler için Sismik Hızlarından Elde Edilen Kayma Mukavemeti İle Kayma Mukavemetinin Karşılaştırılması .....                               | 80 |
| Şekil 4.48. Kil Zeminler için Sismik Hızlarından Elde Edilen Normal Gerilme İle Normal Gerilmenin Karşılaştırılması .....                                   | 81 |
| Şekil 4.49. Kil Zeminler için Sismik Hızlarından Elde Edilen Kohezyon İle Kohezyonun Karşılaştırılması .....                                                | 81 |
| Şekil 4.50. Kil Zeminler için Sismik Hızlarından Elde Edilen İçsel Sürtünme Açısı İle İçsel Sürtünme Açısının Karşılaştırılması .....                       | 81 |
| Şekil 4.51. Pomza'nın Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızları İle Dinamik Penetrasyon Test Arasındaki İlişkiler .....                                          | 84 |
| Şekil 4.52. Pomza İçin Dinamik Penetrasyon İle Sismik Hızlar ve Derinlikler Arasındaki İlişkinin Karşılaştırılması .....                                    | 84 |
| Şekil 4.53. Kum'un Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızları İle Dinamik Penetrasyon Test Arasındaki İlişkiler .....                                             | 84 |

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.54. Kum İçin Dinamik Penetrasyon İle Sismik Hızlar ve Derinlikler          |    |
| Arasındaki İlişkinin Karşılaştırılması .....                                       | 85 |
| Şekil 4.55. Kil'in Sismik Boyuna ve Enine Dalga Hızları İle Dinamik Penetrasyon    |    |
| Test Arasındaki İlişkiler .....                                                    | 85 |
| Şekil 4.56. Kil Zeminler İçin Dinamik Penetrasyon İle Sismik Hızlar ve Derinlikler |    |
| Arasındaki İlişkinin Karşılaştırılması .....                                       | 85 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.1. Pomza'nın Sismik Hız Değerleri .....                                                                             | 38 |
| Çizelge 4.2. Arazide Yapılan Kuyu İçi Sismik Deney Sonuçları .....                                                            | 39 |
| Çizelge 4.3. Yerinde Yapılan Penetrometre ve Vane Deney Sonuçları.....                                                        | 42 |
| Çizelge 4.4. Zemin Mekaniği Laboratuar Deney Sonuçları .....                                                                  | 44 |
| Çizelge 4.5. Kum ve Kil İçin Çok Parametrelili Ampirik İlişkiler ve İstatistik<br>Sonuçlar .....                              | 78 |
| Çizelge 4.6. Dinamik Penetrasyon Test, Sismik Hızlar ve Derinlik Arasındaki<br>Ampirik İlişkiler ve İstatistik Sonuçlar ..... | 82 |
| Çizelge 4.7. Pomza, Kum ve Kil'e Ait Dinamik Penetrasyon ve Sismik Hız<br>Sonuçları .....                                     | 83 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                      |                                                          |
|----------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>CPT</b>           | Konik penetrasyon deneyi                                 |
| <b>SPT</b>           | Standart penetrasyon deneyi                              |
| $\tau$               | Vane deneyinden elde edilen kayma mukavemeti             |
| $\sigma$             | Normal gerilme                                           |
| <b>P</b>             | Boyuna dalga                                             |
| <b>S</b>             | Enine dalga                                              |
| <b>V<sub>s</sub></b> | Enine dalga hızı                                         |
| <b>V<sub>p</sub></b> | Boyuna dalga hızı                                        |
| <b>WL</b>            | Likit limit                                              |
| <b>WP</b>            | Plastik limit                                            |
| <b>w<sub>n</sub></b> | Su muhtevası                                             |
| <b>K</b>             | Bulk modülü                                              |
| <b>G</b>             | Kayma modülü, rijidite                                   |
| <b>E</b>             | Elastisite modülü                                        |
| $\nu$                | Poisson oranı                                            |
| <b>SDP</b>           | Sismik Dinamik Penetrasyon                               |
| $\rho$               | Birim hacim ağırlık                                      |
| <b>z</b>             | Derinlik                                                 |
| $\theta$             | İçsel sürtünme açısı                                     |
| <b>c</b>             | Kohezyon                                                 |
| <b>Cu</b>            | Tek biçimlilik katsayısı                                 |
| $\Delta u$           | Boşluk suyu basıncı                                      |
| <b>Sr</b>            | Zeminin doygunluk derecesi                               |
| <b>qu</b>            | Proktor penetrometre ile elde edilen düşey basınç değeri |
| $\lambda$            | Elastik sabiti                                           |
| $\mu$                | Sıkışmazlık modülü                                       |
| <b>ic</b>            | Kritik açı                                               |
| <b>Z</b>             | Tabaka kalınlığı                                         |
| <b>n</b>             | Veri adeti                                               |
| $\gamma_s$           | Dane birim hacim ağırlık                                 |

|            |                                  |
|------------|----------------------------------|
| $\gamma_n$ | Yoğunluk                         |
| $D_{50}$   | Malzemenin %50'sinin geçtiği çap |
| $D_{10}$   | Malzemenin %10'unun geçtiği çap  |
| $D_{60}$   | Malzemenin %60'unun geçtiği çap  |
| $D_{90}$   | Malzemenin %90'unun geçtiği çap  |



## 1. GİRİŞ

Yapılaşma alanı olan bir bölgede meydana gelebilecek bir depremin yaratacağı etkiler belirlenmeye çalışıldığında, bu bölgenin zemin özelliklerinin yapılara nasıl etki edeceği ve bu etkilerin değişiminin bilinmesi çok önem kazanmaktadır. Dolayısıyla deprem sonucunda hasarların azaltılabilmesi için dinamik kuvvetler altında farklı davranış gösterecek bölgelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu dinamik kuvvetler veya yükler altında zeminlerin özelliklerini ve davranışlarını inceleyen anabilim dalına ‘Zemin Mekaniği’ denir.

Zemin Mekaniğinde karşılaşılan problemler iki ana gruba ayrılır. Birinci grup problemler stabilite problemleridir. Stabilite problemlerinde zemin kitlesinin kırılması anındaki durumu ile ilgilenilir. Yüklenen bir temel altındaki zeminin göçmesi (kırılması), şevlerin kayması, bir dayanma duvarının öne kayarak devrilmesi gibi durumlar stabilite problemlerine örnek olarak verilebilir. Stabilite problemlerinde, zemin kitlesinin kırılmasına neden olan yükün (basıncın) belirlenmesine çalışılır. Bunun için, zeminin kayma direnci ile ilgili bilgilerine gereksinme vardır. Zeminin kayma direnci, dayanabileceği en büyük kayma gerilmesi olarak tanımlanır. İkinci grup problemler deformasyon problemleridir. Böyle problemlerde, zemin kitlesinin, kırılma veya göçmeye varılmadan önceki durum ile ilgilenilir. Bu durumdaki yer değiştirme veya gerilmelerin belirlenmesi istenilir. Bir temelin göçme olmaksızın yüklenmesi, deformasyon problemlerine örnek olarak verilebilir (Uzuner, 2001). Zemin kitlesi yüklendiği zaman, burada gerilmeler oluşur. Zemin kitlesinde oluşan kayma gerilmeleri, zeminin kayma direncine vardığı zaman zemin kitlesinde kırılma meydana gelir. Zeminde kırılma, kayma deformasyonu biçiminde olur (Uzuner, 2001).

Kayma direncinin ilk incelemesi Coulomb (1776), tarafından yapılmış ve zeminin kayma direncinin tek parametre ile temsil edilmesi ilkesi getirilmiştir. Daha sonra bir matematikçi olan Mohr (1900), Coulomb’un yaklaşımından çok farklı bir formülasyon getirmiş. Her iki teorisinin göz önüne almadığı efektif gerilme ilkesi

Terzaghi (1943), tarafında geliştirilince konu esasta üç araştırmacının çalışmalarının birleşimi olarak geoteknik de uygulama bulmuştur.

Kayma direnci, araziden numune alınarak laboratuarlarda yapılan deneyler sonucunda belirlenebilir. Ancak, araziden örselenmemiş numune almak oldukça zordur hatta imkansızdır, formasyondan alınan örnek numune laboratuara götürülürken bozunmaya uğrar, bu da deney sonunda formasyonun gerçek mekanik zelliliğini yansıtmaz (Türker, 1991). Türker (1991)'de kayaların kohezyon ve içsel sürtünme açısının saptanmasında daha hızlı ve daha pratik çözümlere ulaşmak için sismik hızlardan yararlanmıştır.

Sismik yöntemle zeminin kayma direnci belirlenirken, gerçek veri elde etmemizi sağlayan karşıt kuyu tekniği kullanılır. Karşıt kuyu yöntemi, bir partikül ortamı içinde sismik dalgalar seyahat ettiği zaman, daha sağlıklı, daha kesin ölçümler yapmamızı sağlar (Wadhawa vd., 2005). Bu yöntemi uygulamak için aralarında belirli bir uzaklık olan iki veya daha fazla sondaj kuyusu aynı derinliğe kadar açılır (Stokoe ve Woods, 1972).

Bu çalışmada, araştırma yapılan bölgelerdeki zeminlerin kayma direnç parametrelerinin değerini, yerinde vane ve penetrometre deneyleri ve zeminin dinamik özellikleri sismik yöntemler ile belirlenmiştir. Açılan araştırma çukurlarının içlerinde sismik karşıt kuyu yöntemi uygulanmıştır. Böylece zeminin kayma dayanım özelliklerini belirlenmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Giriş

Birçok hallerde, yük altında bulunan zeminin davranışında, kayma mukavemeti başlıca etkindir. Gerek yapıların yüzeysel ve kazıklı temellerinde, gerekse yolların alt yapılarında, zeminin nihai taşıma gücü kayma mukavemetine bağlıdır. Toprak kütlelerinin, kaplamalara veya istinat duvarlarına uyguladığı basınç, toprak mukavemeti ile değişiklik gösterir; içsel mukavemeti en küçük olan topraklar, en küçük basıncı uygular. Esas itibarıyla bu gibi incelemeler, ağırlıklar ve sızan suyun meydana getirdiği kuvvetler gibi göçmeyi oluşturan kuvvetler ile kayma mukavemetinin sağladığı direnç kuvvetlerinin karşılaştırılmasıdır.

Bazı yapı çeşitleri tarafından yeraltına dinamik yük uygulanır. Bu yapılar başlıca; barajlar, güç jeneratörleri, nükleer reaktörler ve büyük titreşime neden olan makinelerdir. Dinamik yük altında zemin ortamının yer değiştirmelerin hesaplanması için kullanılan analitik yöntemler ile ilgili birçok araştırmalar gerçekleştirilmiştir (Ambraseys vd., 1967; Sarma, 1967). Zemin davranışını belirlemek için kullanılan yöntemlerin başarısı ancak zemin özelliklerinin doğru olarak dikkate alınmasına bağlıdır (Ambraseys, 1967). Bunlar nispeten geniş bir frekans dizisi içinde titreştikleri zaman, temel blok rezonanstan kaçınacak şekilde planlanmalıdır. Bu yüzden, yapı ile ana kaya arasındaki elastik etkileşimin doğru hesabı dinamik yapıların temelinin planlanması için, önemli bir şarttır. Bu etkileşim çalışması için, genellikle karşıt kuyu, yukarı ve aşağı kuyu logları, sismik kırılma yöntemleri ve bulk yoğunluğu değerlerinden, elde edilen kayma dalga (S) hızlarından hesaplanan, yeraltının dinamik rijitide modülü bilgisine gereksinim vardır (Wadhwa vd., 2005).

Dalga hızı, ortamın sertliğine ve yoğunluğuna bağlıdır. Bu parametreler, zemindeki efektif gerilme ve formasyon tarihi ile ilişkilidir. Efektif gerilmeler ile arasında ilişki olan Young ve Shear modülü denklemleri bazı özel ortamlar için türetilmiştir (Duffy ve Mindlin, 1957; White, 1983). Bu denklemler, dalga yayılım yönünde ve partikül

hareketi yönündeki gerilmenin efektif durumu ilişkilerinin güçlü olduğu zeminlerde, dalga yayılım hızlarının değerlendirilmesine yardımcı olur (Roesler 1979; Stokoe vd., 1991; LoPresti ve O’Niell, 1991; Jardine vd., 2001; Fioravante ve Capoferri, 2001). Heterojen ve anizotrop ortamdaki dalga hızı değerlendirmesi, kurucu modellerin ayarlanması için ters çözüm parametrelerine de olanak sağlar. Yeraltının yüzeye yakın kısımlarında egemen olan hızda belirli oranda değişikliğe neden olduğu için, heterojen gerilmenin neden olduğu ışın eğrisi oldukça önemlidir (Fratta, 1998). Benzer şekilde su oranındaki değişiklikler ile oluşan hızlı değişimler sinyalin geliş zamanını saptamamıza olanak sağlar. Bu yüzden bir dayanım parametresinin belirlenmesinde yerinde alınan ölçüler hem daha pratik bir uygulamadır hem de bilimsel veri olarak daha güvenilirdir (Hartge, 2005).

Penetrasyon direnci ve kayma dayanımı verileri, el ekipmanlarından kolayca elde edilir, çünkü aletler, basit, ucuz ve kolay kalibre edilebilir. Bunlar gerçek yerinde zemin dayanımını ölçmek için kullanılan yöntemdir. Penetrometrelerin, vane’ne göre daha geniş kullanım alanları vardır ve daha kolay uygulanır (Bachmann, 2004).

## **2.2. Yerinde Yapılan Deneyler ile İlgili Yapılmış Zemin Dayanımı Çalışmaları**

Türker (1991), kaya numuneler üzerinde yaptığı basınç deneyleri ve sonik hız ölçümleri arasında üssel ilişkiler belirlemiştir. Bu ilişkiler ile birlikte Mohr daireleri ile Coulomb kırılma kriterlerinden elde edilen bağıntılar kullanılarak sismik hızlarla; kohezyon, içsel sürtünme açısı, normal gerilme, kayma direnci ampirik olarak hesaplamıştır.

Uyanık (1999), ülkemizin değişik bölgelerinden alınan 31 adet kireçtaşı ve 10 ayrı mermer ocağından alınan 19 adet numune üzerinde hem alışlagelen statik yöntem, hem de sismik hızların kullanıldığı dinamik yöntemle numuneye ait kayma direnci ve diğer parametreleri verilmiştir. Ayrıca, tek eksenli basınç çekme direnci ve kayma direnç parametreleri ile sismik hızlar arasında yakın ilişkiler olduğu saptamıştır ve

böylece sismik yöntemle de kayalarda bu parametrelerin doğru olarak, daha kısa sürede ve daha ucuz bir şekilde belirlenebileceği ortaya koymuştur.

Durgunoğlu, (2000), 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi ( $M_w=7.4$ ) sonrasında, Adapazarı'nda seçilen 12 ayrı sahada yüzeysel temellerin ve zemin davranışını detaylı dokümantasyon ve araştırma programı ile incelenmiştir. Bu çalışmada, Statik penetrasyon deneyi (CPT) ile sismik ölçümleri birleştirip, tek bir deneyde gerçekleştirmiştir. Temel zeminlerinin stratigrafik, mukavemet ve dinamik özelliklerinin belirlenmesinde çok hızlı, güvenilir ve ekonomik bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır.

Anagnostopoulos vd., (2003), Yunanistan'da yapmış olduğu bir çalışmada, yerinde yapılan deney (Cross-hole, Sismocone, CPT) sonuçları ve konik penetrasyon test sonuçları ile hesaplanan ilişkileri ve laboratuvar testlerini (sınıflandırma, kayma direnci) sunmuştur. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, sürtünmeden kaynaklanan koni direnci, kohezyonlu zeminlerin direnajsız kayma gerilmesi ile çok iyi bir doğrusal ilişki sergilemektedir. Ayrıca, koni direncinin, SPT değerine oranı, zeminin tanecik boyutu ile ifade edilir. Bu ilişki, Robertson (1983) tarafından önerilen ilişkiye oldukça benzemektedir. Ayrıca zeminlerin tanecik boyutunun logaritmik hızı, ve sürtünme oranı arasında lineer bir ilişki bulunmuştur.

Hartge ve Bechmann (2004), zeminde meydana gelen sıkışma durumunu hesaplamak için basit bir yöntem olan konik sonda uçlu bir penetrometre kullanmayı teklif etmiştir. Sıkışma durumu ile yapılan tahmin başlıca oluşan gerilmelerin kavranmasında kullanılır (Bechmann, 2004). Hartge ve Bechmann (2004)'nın penetrasyon verilerinden zeminin sıkılık durumunu değerlendirmeleri genel fizibilite yaklaşımlarını doğrulamıştır. İki yöntem farklı arazi kullanımlarını ortaya çıkarmak ve zeminde gerilme durumu ile ilgili olarak oluşan kuvvetleri belirlemek için uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Whalley vd., (2004), doymamış tarımsal zeminlerde, zeminin içine doğru gelişen bitki köklerinin oluşturduğu efektif gerilmeyi kullanarak zemin dayanımını ölçmek

istemişlerdir. Çalışmanın asıl amacı, efektif gerilme teorisinin kullanarak zeminin yumuşaklık derecesinin ve bulk yoğunluğunun, doymamış zeminlerinin dayanımına etkilerinin nasıl olduğunu anlamaktır. Efektif gerilme teorisi, zeminin gözeneklerindeki su basıncına göre, zeminin dayanımını açıklamaktadır. Penetrometre basıncı ve efektif gerilme arasında iyi bir ilişkinin olduğu bilinmesine rağmen (Mullins, 1992; Weaich, 1992), bulk yoğunluğu ve zemin yumuşaklık derecesine bağlı olan ilişkilerin nasıl olduğu belirgin değildir. Bu çalışmanın sonucu ile; sıkıştırılabilir zeminlerde, efektif gerilme ve gerilme dayanımı ile penetrometre basıncı arasında zemin tipinden bağımsız ortak bir ilişki olduğunu, ama zeminlerin geniş bir bulk yoğunluğu dizisinde düşünüldüğü zaman, efektif gerilme ve penetrometre basıncı arasında ortak bir ilişkinin olmadığını belirtmişlerdir.

Bachmann vd., (2005), Güney Şili’de volkanik bir bölgede yapmış oldukları çalışma ile, derinliğe bağlı olarak zeminde Penetrasyon direnci ile Vane verilerini kıyaslayarak bu iki metodun güvenilirliğini ispatlamak istemişlerdir. Çalışma alanında, derinliğe bağlı penetrometre ve vane verileri ve bunların standart sapmaları hesaplamış ve derinliğe bağlı veriler istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. İki yöntemin, verilerinden gerilimlerin denk katsayıları hesaplanmıştır (Craig, 1978; Mckeys, 1989). Sonuç olarak, penetrometre ve vane okumalarındaki benzerliği ve uyumu elde etmişlerdir.

Yaman (2007), Kohezyonlu zeminlerin geoteknik özelliklerinin arazi deneyleri ile tahmin edilmesi kapsamında yerel bir veri tabanının değerlendirilmesi hakkında çalışmıştır. Çalışmasında arazi deney sonuçları, söz konusu sahalardan alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deney sonuçları ile birlikte değerlendirilmiştir. Zeminlerin kayma dayanımları, sıkışabilirliği ve deformasyon özelliklerini kapsayan arazi ve laboratuvar deney sonuçları arasındaki korelasyonlar analiz edilmiştir. Çalışma kapsamındaki korelasyonların; başta suya doygunluk olmak üzere zemin özelliklerinin arazi ve laboratuvar koşullarında birbirine benzer olduğu durumlarda, literatürde önerilen yaygın korelasyonlarla genel olarak uyum gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Cha ve Gye (2007), kum zeminlerde yapmış oldukları bir çalışmada, kayma dalga hızı, boşluk oranı ve kayma dayanımını deneysel testler yardımıyla ilişkilendirmişlerdir. Özel bir boşluk oranında hazırlanan her bir boşluk oranı için hücredeki gerilme durumları değiştiği zaman kayma dalga hızlarını ölçmüşler ve boşluk oranı azaldıkça, içsel sürtünme açısının arttığını belirlemişlerdir ve kayma dayanımı hesaplamalarında yerinde yapılan deneylerin oldukça etkili olduğunu göstermişlerdir.

### **2.3. Önceden Yapılmış Kuyu Sismiği Çalışmaları**

Gilbert vd., (1972), yapmış olduğu bir çalışmada, cross-hole hız dağılımını, aynı zamanlı yinelemeli yeniden yapma tekniği kullanılarak hesaplamıştır. Bu teknik, ilk model üzerinde değişiklik yapılması şeklindedir ve tekrarlanan üç adım ile yapılır. Bu adımlar; seyahat zamanları ile modelin ön hesabı, model ve deneysel zamanlar arasındaki farklılıkların hesabı ve karışıklık veya düzeltmelerde hızlara başvurma şeklindedir.

Fitterman (1994), California’da Widway Sunset ‘in yakınında, üretilen 1 den 10’a kadar permeabiliteye sahip konsolide olmayan masif bir konglomera olan Mckittrick bölgesinde yapmış oldukları çalışmada, drenaja maruz kalan ağır bir petrol içeren iki kuyu arasında cross-hole sismik tomografi yapmışlardır. Kuyulardan elde edilen verilere göre, aşağı doğru sokulumun ağır petrolün aşağı doğru hareket etmesini engelleyen hareket halindeki bir fay olduğunu düşünmüşlerdir.

Fratta vd., (2002), yapmış oldukları tomografik izlenim çalışmalarında, heterojen ve anizotrop ortamdaki gerilmelerin durumunu, geliş zamanı verileri ile yorumlamak için bir laboratuvar deneyi ve basit bir sayısal çalışma sunmuşlardır. Yüzeye yakın derinlikte zemin şartlarındaki heterojenliğin etkisini temsil etmek için bir model oluşturmuşlardır. Bu model, diğer araştırmacıların önceden geliştirdiği bir modele benzemektedir (Aloufi, 1995). Yapılan bu model, ortamın eşdeğer bir süreklilik gibi davrandığını temsil eder (Brilouin, 1946; Fratta ve Santamarina, 2002). Çalışma

sonucunda, şevlerin ve barajların yapımı sırasında, temel zeminlerdeki efektif gerilmelerin durumunun değerlendirilmesi için genel bir kanı uyandırabileceğini göstermişlerdir.

Wadhawa vd., (2005), Maharashtra'da, nükleer bir güç projesi için, reaktör inşaatlarının temellerinin planlanmasında gerekli olan kazı öncesi ve sonrası dinamik modülün değerlendirilmesi için cross-hole ve jeotomografik çalışmalar kullanmıştır. Reaktör inşaatının temel bölgelerinin, deprem kuvvetlerini değerlendirirken meydana gelen sıkışma ve kayma dalga hızlarını cross-hole sismik çalışmaları ile belirlemişlerdir. Sismik hızlar, dalga yayılım hattı boyunca bulunan kaya tabakalarının kalitesinin belirlenmesi için bir ölçüdür ancak yayılım hattı boyunca kaya kalite dağılımı üzerinde bilgi elde edilemez (hızdaki değişikliklerden dolayı) (Ivansson, 1985; Stewart, 1991). Çalışma sonucunda, dalgaların yöneldiği yönlerde heterojenliğin görülmediği, düşey ve yatay yönlerdeki gerilme dağılımlarının benzer bir dizilim halinde olduğu ve düşük hız değerlerine sahip olan zayıf zonların olmadığı görülmüştür.

Wang ve Rao (2006), yapmış oldukları bir çalışmada, 300 m aralıklı sondaj kuyuları arasında, bir cross-hole çalışmasının nicel hız izlenimini sağlamak için frekans-alan dalga oluşum tomografisini kullanmışlardır. Dalga oluşumunun ters çözümü için frekans-alan yorumu, farklı frekans bileşenlerinin kullanılmasını ve işlem yapabilmek için gerekli olan çok fazla veri sayısının azaltılmasını mümkün kılmaktadır (Pratt ve Worthington, 1990; Sirgue ve Pratt, 2004). Sirgue ve Pratt (2004), zaman-alan ters çözümünün kıyaslanmasının bir sonucu olarak, üretilebilen sadece birkaç frekansın kullanıldığı yansıma verisinin frekans-alan ters çözümünü, açıklamışlardır.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Yarma ve Numune Çukurları**

Zeminlerin araştırılmasında, numune çukurları en basit ve ilk olarak yapılması gereken bir çalışmadır. Eğimli arazilerde ve vadi yamaçlarında el aletleriyle veya makineler ile yarmalar açılır. Yarmalar genellikle 2-4 m genişlikte, genellikle dik duvarlı açık kazılardır. Numune çukurları ise, yine el aletleri ve makineler ile açılmış düşey kuyulardır. Çukur en kesitleri dikdörtgen (2-4m<sup>2</sup>) veya dairesel (1,5 m çap) olabilir. Derinlikleri ortalama 3-5 m civarında olmaktadır. Derinlikleri 10m'nin üzerinde olan çukurlara 'şaft kuyu' adı verilmektedir. Yarma ve gözlem çukuru çalışmaları ile toprak ya da ayrılmış zemin altındaki kayanın fizikomekanik, jeomekanik özellikleri veya yapılarda kullanılacak doğal malzeme sahalarının derinliği ile yanal ve düşey değişimi saptanabilir. Ayrıca numune çukuru tabanından ve yan duvarlarından örnekler alınarak zeminin su muhtevası ve fiziksel özelliklerindeki bazı değişiklikler belirlenebilir. Ancak toprak veya zemin kalınlığı sığ alanlarda sağlıklı olarak uygulanabilir.

#### **3.2. Kayma Mukavemeti**

Zemin mekaniği stabilite analizleri, göçme tehlikesini önlemeye yeterli olan veya olmayan kayma mukavemetini tayin etmeyi amaç edinmiş, bulunan bütün incelemeleri kapsamaktadır. Esas itibarıyla bu gibi incelemeler, ağırlıklar ve sızan suyun meydana getirdiği kuvvetler gibi göçmeyi oluşturan kuvvetler ile kayma mukavemetinin sağladığı direnç kuvvetlerin mukayesesinden ibarettir. Şev stabilitesi esaslarının en iyi şekilde anlaşılması ve stabilite analizi konusunda gelişmiş metotların ortaya konulması zemin mekaniği prensiplerinin mühendisliğe uygulanması ile sağlanmıştır.

Toprak malzeme, kayma mukavemetinin değişken oluşu bakımından birçok yapı malzemesinden farklıdır. Bu farklılık, sadece bir toprağın mukavemetinin diğerinkinden çok başka olabilmesi değildir. Gerçekten, aynı bir toprakta, derinliğin değişmesi, strüktür bozulması kayma mukavemetinde farklılık oluşturduğu gibi; yeraltı su seviyeleri, kapilarite doygunluğu, su muhtevası, sızma gibi doğal şartlardaki mevsimlik değişmeler de kayma mukavemetini dikkate değer ölçülerde değiştirir. Örneğin belli bir yerde, yılın bazı zamanlarında az bir kaplama tertibatı ile veya hiç bir kaplama yapılmaksızın derin kazılar yapılabildiği halde, aynı yerde yılın başka zamanlarında, kazı yapabilmek için önemli kaplama ve destekleme tertibatına ihtiyaç olabilir. Bu farklılık, yapı maliyetinde dikkate değer artış meydana gelmesine sebep olur. Demek ki bir takım belirli şartlar için zeminin kayma mukavemetinin tayini yeterli olmayıp, bu mukavemetin değişmelerine sebep olabilecek etkenlerinde tanımlanması zorunludur.

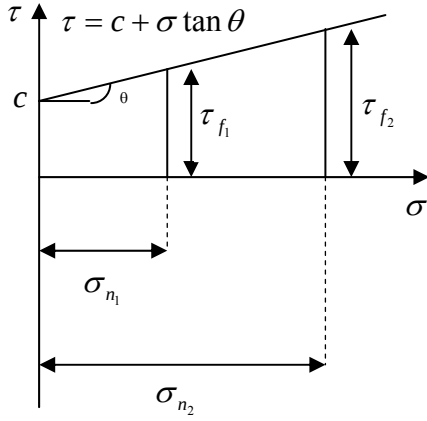
Genel olarak, bir zeminin kayma direnci aşağıdaki bileşenlerden oluşur;

- 1) Tanelerin oluşturduğu yapının kesme deformasyonuna karşı gösterdiği direnç
- 2) Tanelerin temas noktaları veya temas alanlarında oluşan sürtünme kuvvetleri
- 3) Zemin taneleri arasındaki çekme (kohezyon) kuvvetleri.

Coulomb (1776) tarafından ortaya atılmış, Mohr (1900) tarafından genelleştirilmiş Mohr-Coulomb Kırılma Teorisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\tau_f = c + \sigma \tan \theta \quad (3.1)$$

$\tau_f$ , kırılma anında zeminin kayma direnci olup, kırılma yüzeyindeki kayma gerilmesine eşittir.  $c$ , kohezyon olup, zemin tanelerinin birbirini çekmesini, birbirine yapışmasını yansıtır.  $\theta$ , içsel sürtünme açısı olup, yukarıda açıklanan 1. ve 2. bileşenlerin toplamını yansıtır. Mohr –Coulomb hipotezi  $\sigma - \tau$  eksen takımında bir doğru ile gösterilir.



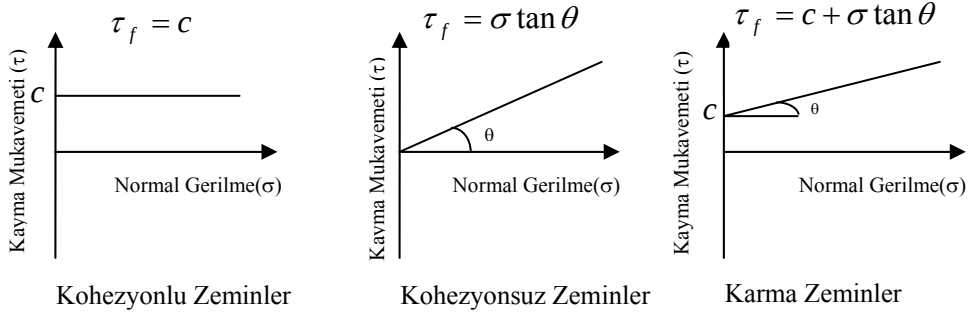
Şekil 3.1. Mohr-Coulomb kırılma hipotezi

Bağıntı (3.2a) veya (3.2b)'de  $c$  ve  $\theta$ , kayma direnç parametreleri olup, zeminin sabitleri gibi düşünülebilirlerse de, drenaj koşullarına vb. bağlı olarak aynı zemin için farklı değerler alırlar. Mohr–Coulomb hipotezine göre; zeminin kayma direnci sabit bir değer olmayıp, kırılma anında kayma düzlemine etkiyen normal gerilmeye bağlı olarak değişen bir değere sahip olduğu söylenebilir. Mohr–Coulomb hipotezi, asal gerilmeler cinsinden de ifade edilebilir.

$$\sigma_1 = 2c \tan\left(45 + \frac{\theta}{2}\right) + \sigma_3 \tan^2\left(45 + \frac{\theta}{2}\right) \quad (3.2a)$$

$$\sigma_3 = -2c \tan\left(45 - \frac{\theta}{2}\right) + \sigma_1 \tan^2\left(45 - \frac{\theta}{2}\right) \quad (3.2b)$$

Zemin ortamda herhangi bir noktadaki, herhangi bir düzlemde kırılma olup olmadığı; bu düzlemdeki kayma gerilmesinin, zeminin kayma direnci ile karşılaştırılması ile anlaşılır. Yine herhangi bir noktada kırılma olup olmadığı bu noktaya ait dairenin kırılma doğrusuna değip, değmediği ile anlaşılır. Zeminler, kayma direncine göre; kohezyonlu zeminler (kil), kohezyonsuz zeminler (kum, çakıl), karma zeminler (killi-siltli kum) şeklinde sınıflandırılabilir (Şekil 3.2).

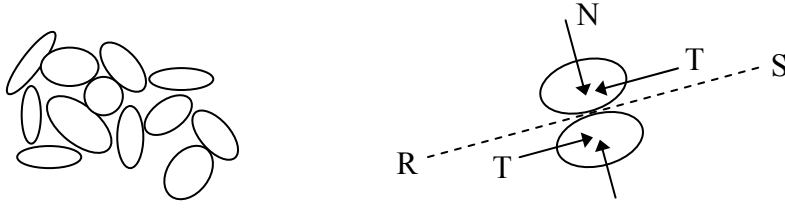


Şekil 3.2. Kayma direncine göre zeminler

### 3.2.1. İçsel Sürtünme Açısı

Zeminin önemli kayma mukavemeti parametresi ( $\theta$ ) dir. Çünkü, kohezyona ( $c$ ) nazaran genel ve tüm zeminler için davranışı kapsayan bir parametredir. Sürtünme birbirleri ile temas halinde olan zemin tanelerinin birbirine dayanmasından ve birbirine gerilme nakletmesinden kaynaklanır. Zemin üç fazlı bir ortamdır. Yani, zemin katı danecikleri, su ve hava, zeminin üç bileşenidir. Bu üç bileşenin karışım halinde bulunduğu zemin ortamında bu bileşenlerin birbirlerine göre oranları davranış üzerinde etkilidir ve belirleyicidir. Sürtünmeden kaynaklanan kayma direncinin değeri değme yüzeyine dik etki eden normal kuvvete ( $N$ ) de bağlıdır (Şekil 3.3).  $T$ 'nin sınır değeri  $N$ 'ye bağlı olarak artar. Kayma düzlemi üzerinde göçme anında etkili olan kayma gerilmesi kayma mukavemetidir (Çinicioğlu, 2005). Buna göre kayma mukavemeti aşağıdaki formülle tanımlanır:

$$\tau = \sigma_n \tan \theta \quad (3.3)$$



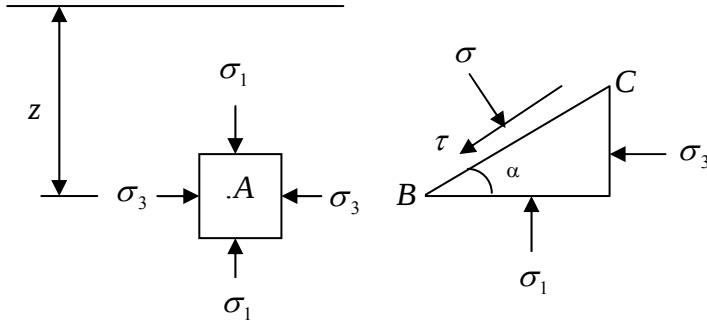
Şekil 3.3. Taneler arası gerilme nakli

### 3.2.2. Kohezyon

Silt ve killerde tane yapısı ve taneleri çevreleyen elektriksel negatif yüke su moleküllerinin tutunması ve taneler arasında bir ara yüzey oluşturarak taneleri birbirine yapıştırması sebebiyle ortaya çıkan ilave bir kayma direnci parametresi vardır. Bu da klasik zemin mekaniğinde kohezyon, günümüz terminolojisinde görünen kohezyon olarak adlandırılır. Normal gerilme etkisi sıfır olsa bile silt ve killer gibi kohezyonlu zeminlerde bir miktar kayma mukavemeti kohezyon sebebiyle bulunur.  $c$  ile gösterilen kohezyonun değeri temiz kum ve çakıllarda sıfırdır, silt ve killerde su muhtevası ve plastisiteye bağlı olarak değişir (Çinicioğlu, 2005).

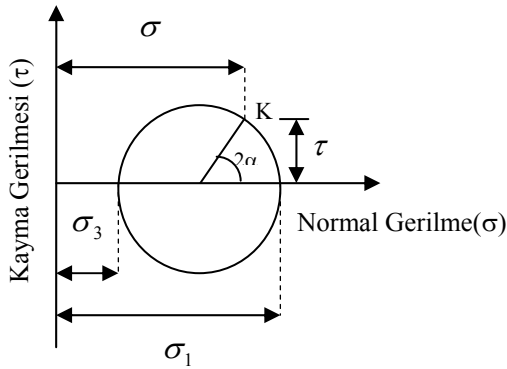
### 3.3. Mohr Gerilme Dairesi

Zemin mekaniğinde pek çok problem, iki boyutlu olarak düşünülebilir. Zeminde, genellikle yatay ve düşey kesitler (düzlemler), asal kesitler olup, bu kesitlerdeki kayma gerilmeleri sıfır dır. Şekil 3.4’de iki boyutlu bir problemde, zemin kitlesinin herhangi bir noktasında bir elemanı düşünelim. Bu elemanın şekil düzlemindeki yüzüne de  $\sigma_2$  etkimektedir.



Şekil 3.4. İki boyutlu bir problemde bir eleman

Bu elemanda;  $\sigma_2$  büyük asal gerilme düşey yönde,  $\sigma_3$  küçük asal gerilme ise yatay yönde etkisin. Bu noktadaki gerilme durumu, analitik olarak hesaplanabileceği gibi; grafik olarak da, yatayda normal gerilmenin, düşeyde kayma gerilmesinin gösterildiği bir eksen takımında, bir Mohr(gerilme) dairesi ile gösterilebilir(Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Mohr (gerilme) dairesi

Bu daire üzerindeki herhangi bir nokta, zemin kitlesinde, A noktasından geçen bir düzlemdeki gerilme durumunu gösterir. Örneğin Şekil 3.4’de yatayla  $\alpha$  açısı yapan BC düzlemi üzerindeki gerilme durumu, Şekil 3.5’deki Mohr dairesi üzerinde, yatay ile  $2\alpha$  açısı yapan bir nokta (K) ile gösterilebilir. Bu noktanın koordinatları  $(\sigma, \tau)$ , BC düzlemi üzerinde etkiyen normal ve kayma gerilmelerini gösterir.

### 3.4. Zemin Sınıflaması

Zemin, hem temel altında taşıyıcı bir ortamdır hem de toprak yapılarında (Toprak baraj, dolgu, set vb.) oluşturulmasında kullanılan bir malzemedir. Ayrıca filtre olarak kullanılmakta, enjeksiyona tabi tutulmakta, beton için agrega olarak işlerde kullanılmaktadır. Zeminin kullanıldığı tüm bu işler için uygunluğunun belirlenmesi söz konusudur. Sınıflandırmada zeminler bazı özellikler (tane çapı vb.) açısından gruplandırılarak adlandırılır. Zemin sınıfı (cinsi) tek başına zeminin özelliklerini belirlemede yeterli değildir. Örneğin aynı cins zemin, gevşek ve sıkı durumlarda farklı özellikler sergiler. Ayrıca geoteknik alanda yapılan çalışmalar, araştırmalar, zemin sınıfı belirtilerek yayınlanmaktadır. Zemin sınıfı belirtilmezse, bilgilerin birikimi veya geleceğe aktarılması olanaksız olur.

Sınıflandırma sistemlerinin hepsinde, zemindeki tanelerin büyüklüğü ile bunların kuru ağırlık olarak zeminlerin yüzdelерinin bilinmesi gerekir. Bu bilgilerin elde edilmesi için, tane büyüklüğü analizi veya mekanik analiz yapılır. Mekanik analiz; elek analizi ve ıslak analiz olmak üzere iki evrede yapılır. Genel olarak bir zemin hem iri, hem de ince taneler içerir. Elek analizi zeminin iri taneli kısımlarına yönelik iken, ıslak analiz ince taneli kısmına yöneliktir. Bu bakımdan, bir zemin için her iki analizde gerekli olabilir ve bunlar birbirlerini tamamlar.

### 3.5. Elek Analizi

Elek analizi için elekler kullanılır. Elekler genellikle kare gözlüdürler ve her eleğin bir adı vardır. İri gözlü elekler inch(1inch=2,54 cm) olarak adlandırılırken ince gözlü elekler bir sayı ile adlandırılır. Elekte bir kare gözün kenar uzunluğuna elek göz çapı denir ve bu tane çapına karşılık gelir. Amerikan (ASTM) ve İngiliz (BS) standartlarına göre elekler ve ilgili bilgiler görülmektedir. Elek analizi için bir miktar yaş zemin alınır, etüvde kurutulur tanelenir. Böylece hazırlanmış zeminden belli bir miktar zemin, bir dizi elekten elenir. Elek dizisinde elekler üstten aşağıya, iri gözlüden, ince gözlüye doğru sıralanır.

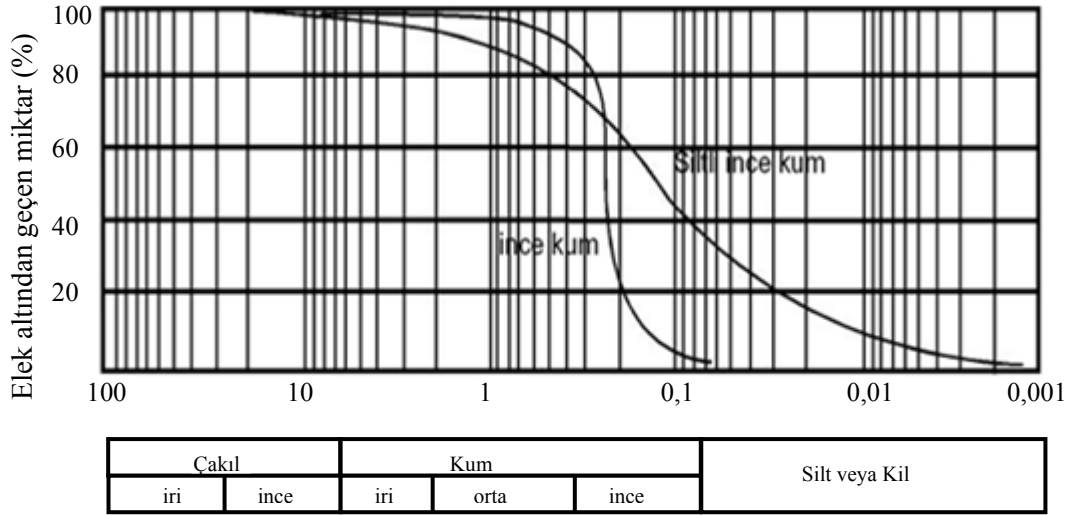


Şekil 3.6. Elek dizisi

Ağırlığı belli zemin, dizinin en üstündeki eleğe boşaltılır. Eleme elle veya genellikle bir sarsma makinesi ile yapılır. Eleme sonunda, her elek üstünde kalan zemin miktarı tartılarak belirlenir. Her elek için yüzde (% P) aşağıdaki bağıntı ile belirlenir.

$$\%P = \left( \frac{\text{elekten geçen zemin mik.}}{\text{tüm zemin}} \right) \cdot 100 \quad (3.4)$$

Tane büyüklüğü dağılım eğrisi; yatay eksenle tane çapı (mm) ve düşey eksenle geçen yüzdeleri olmak üzere çizilen bir eğridir. Yatay eksen logaritmik olup; tane çapı genellikle soldan sağa doğru büyür. Elek göz çapı ve geçen yüzde değerleri kullanılarak noktalar işaretlenir ve bu noktalar birleştirilerek tane büyüklüğü dağılım eğrisi elde edilir. Şekil 3.7’de düşey eksen belirli bir çaptan büyük olan danelerin yüzdesini göstermektedir. Malzemenin %90’ının üzerinde kaldığı elek açıklığına eşdeğer dane çapı ‘etkin dane çapı’,  $D_{90}$ ; malzemenin %50’sinin kaldığı elek açıklığına eşdeğer dane çapı ise ‘ortalama dane çapı’,  $D_{50}$  olarak adlandırılır.



Şekil 3.7. Tane boyu dağılım eğrisi

Malzemelerin dane boyutu dağılımı ifade etmekte kullanılan bir diğer parametrede tek biçimlilik katsayısıdır.  $C_u$  ile gösterilir, boyutsuz bir ifadedir. Malzemenin %60'ını geçiren elek açıklığının malzemenin % 10'unu geçiren elek çapına oranıdır.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3.5)$$

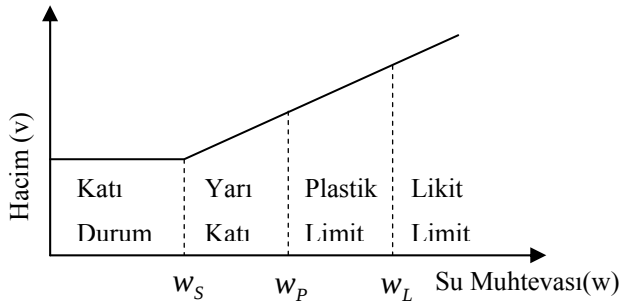
Şekil 3.7'de görüldüğü gibi tek biçimli malzemelerde baskın olarak tek tip bir tane boyutu hakimdir, bu malzemenin dane boyutu dağılım grafiklerinde dane boyutu değişimi keskin sınırlarla gözlemlenir. Kötü biçimli malzemeler değişik boyutlarda danelerden oluşmakta olup, dane boyutu dağılım eğrileri daha yayvandır.

### 3.6. Kıvam Limitleri

Kıvam limitleri ile kohezyonlu zeminlerin sertlik, yumuşaklık durumları belirtilir. Killi zeminlerin su muhtevasına bağlı olan bu durumlara; yumuşak, orta sert, sert gibi isimler verilir. İnce taneli (kohezyonlu) zeminler, su katılıp yoğrulduklarında, plastik özelliği gösterirler. Plastik veya plastisite, ince daneli zeminlerin bir özelliği

olup, kırılmadan şekil verilebilmeyi ifade eder. İnce taneli zemine bir miktar su ilave ederek karıştırırsak onun su muhtevası ve hacmi bir miktar artar. Su muhtevasının artması ile zeminin, katı, yarı katı, plastik, likit gibi zemin durumları olabilir (Şekil 3.8). Likit durumda zemin bir sıvı gibi yavaş bir biçimde akabilir. Plastik durumda zemine istenilen şekil kolaylıkla verilebilir. Yarı katı durumda olan zemine istenilen şekil zorlukla verilebilir. Katı durumda zemine şekil verilmez.

Killi zeminlerdeki bu durumları ve onları birbirinden ayıran sınır su muhtevelarını İsveç bilim adamı Atterberg, 1911’de tanımladı. Bu sınır su muhtevelarına Atterberg limitleri veya kıvam limitleri denir. Kıvam limitleri şunlardır; Likit Limit, Plastik Limit, Rötire (Büzülme) Limiti



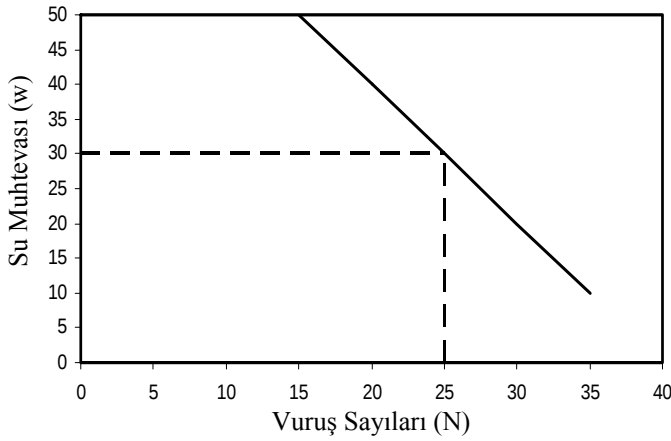
Şekil 3.8. Kohezyonlu zeminlerde hacim-su muhtevası ilişkisi ve kıvam limitleri

### 3.6.1. Likit Limit

Likit limit durumu ile plastik durumu birbirinden ayıran sınır su muhtevasıdır. Başka bir deyişle Likit Limit zeminin kendi ağırlığında akabildiği en küçük su muhtevasıdır.

Likit Limit ( $w_L$ ), birkaç yöntemle belirlenebilir. Bunlardan biri Casagrande yöntemidir. Bu yöntemde standart likit limit aleti kullanılır. Alet döndürülebilen koldan, sert lastik bloktan, oyuk açma kalemlerinden oluşur. Killi zeminden bir parça alınarak etüvde kurutulur. Zemin içerisindeki iri taneler uzaklaştırmak için numune

0,425 mm çaplı elekten geçirilir. Elekten geçen zemin numunesi kaba konulur, her kaptan zeminde çeşitli su muhtevası almak için çeşitli miktarda su serpilir. Bir spatula ile zemin numuneleri iyice karıştırılır. Sonra bu kaplardaki zemin numunelerinden bir miktar alınarak aletin tasına yerleştirilir, üzeri düzlenir. Standart bir oyuk (yarık) açma bıçağı ile tastaki zemin iki kısma bölünür. Oyuğun tabanı 2mm dir. Aletin kolu saniyede 1 dönüş olmak üzere düzgün bir şekilde çevrilir ve bir yandan da vuruş sayıları yazılır. Bu kapta olan çeşitli nemlilikli numunelerde açılan oyuklar çeşitli darbe sayılarında kapanır. Her kaptan zemin numuneleri alınıp su muhtevası belirlenir. Sonuçta su muhtevası ile darbe sayısı arasındaki ilişki doğrusu azalır. Düşey ekseninde su muhtevası, yatay eksen üzerinde darbe sayısı kaydedilerek ilişki kurulur. Sonra 25 darbeye uygun gelen su muhtevasının değeri Likit Limitin yani ( $W_L$ ) değerini verir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Likit limitin belirlenmesi

### 3.6.2. Plastik Limit

Zeminin plastik ve yarı katı durumlarını birbirinden ayıran sınır su muhtevasıdır. Kurutulmuş numune 40 nolu elekten elendikten sonra bir miktar alınır ve su katılarak karıştırılıp yoğrulur. Böylece hazırlanan zeminden bir miktar alınarak bir cam plaka üzerinde el altında yuvarlanır. Zeminin sahip olduğu su muhtevasında zemin çubuğunun çapı yaklaşık 3 mm olduğunda çubukta kopmalar, çatlamlar olur. Bu durumdaki su muhtevası zeminin plastik limitini verir.

### 3.7. Vane ( Kesme) Deneyi

Bu deney, killi zeminlerin, drenajsız koşullarda, kayma direncini (c,kohezyon) ölçmek için, laboratuarda veya arazide yapılan bir deneydir. Alet(sonda) birbirine dik olarak birleştirilmiş 4 metal plakadan oluşur.

Laboratuar sondasının çap ve yüksekliği 1-2cm, arazi sondasının çap ve yüksekliği ise 10-20cm kadardır. Laboratuar sondası için, örnek alıcı içinde örselenmemiş zemin veya düzlenmiş zemin yüzüne gerek vardır. Sonda zemine batırılır, sonra döndürme momenti uygulanarak, zemin, bir silindirin alt, üst ve yan yüzleri boyunca kesilir. Arazide deney yapmak için, açılmış bir sondaj deliğine ihtiyaç vardır veya çakmalı tiplerde; sonda koruyucunun içinde, zemine çakılır, bir miktar sürülür, sonra döndürme kuvveti uygulanır, zemin kesilir. Kesme anında uygulanan döndürme momenti, bir ölçme düzeni ile ölçülür. Döndürme momentini ölçmek için genellikle, döndürmeye karşı lineer, elastik davranan, kalibre edilmiş yaylar kullanılır. Döndürme devam ettikçe yayın burulmasını ölçen vernier değeri artar. Bu değerdeki artış kanatlı kesici zemini kesinceye ve kolayca dönmeye başlayıncaya kadar devam eder. Zemin kesilince yayın burkulması durur ve vernier değeri okunur. Bu skala değeri, farklı çaptaki kanatlı kesiciler için farklı şekilde hesaplanır. Skala değeri, küçük boy kanatlı kesici skalası (0.2), orta boy kanatlı kesici skalası (0.1), büyük boy kanatlı kesici skalası (0.05) ile çarpılarak, kayma mukavemeti ( $\tau$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ ) olarak bulunur.

Örneğin, küçük boy bir kesici ile yapılan bir deneyde, skala değeri 3,6 olsun.

Kayma mukavemeti ( $\tau$ ); aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\tau = (3.6).(0.2) = 0.72 \text{ kg/cm}^2 \quad (3.6)$$

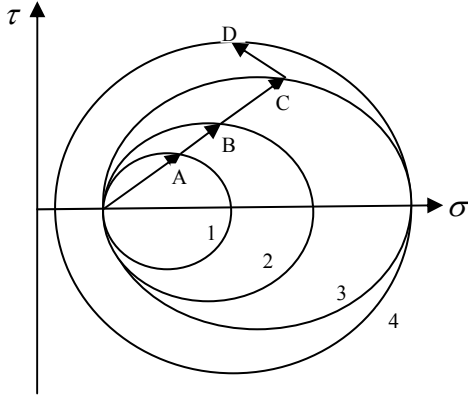
Killi zeminlerde kesme mukavemeti ( $\tau$ ), kohezyona (c) eşittir.

Laboratuarda yapılan deneylerden kohezyon(c) belirlendiği zaman, deney gerilmelerinde artışlar olur. Deney gerilmelerdeki artışlar,  $\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3$  ise, boşluk suyu basıncındaki artış ( $\Delta u$ ); aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta_u = B[\Delta\sigma_1 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] \quad (3.7)$$

Burada A ve B Skempton boşluk suyu basıncı parametreleri adını alır (Uzuner, 2001). Bu parametreler zeminin doygunluk derecesine (Sr), zeminin gerilme geçmişine (normal veya aşırı konsolide olmuşluk durumuna vb.) bağlı olarak çeşitli değerler almaktadırlar. Bu parametreler üç eksenli deneyler ile belirlenebilir.

Gerilme izi; bir zemin elemanında, elemanın maruz kaldığı çeşitli gerilme durumlarını birbirine bağlayan çizgidir. Diğer bir deyişle,  $\sigma$ - $\tau$  eksen takımında, Mohr dairelerinde, maksimum kayma gerilmesi noktalarını birbirine bağlayan çizgidir (Şekil 3.10). Bu kavram zeminin gerilme geçmişini açıklamakta veya deneysel olarak incelemekte kullanılır.



Şekil 3.10. Çeşitli gerilme durumları

Şekil 3.10'de ki gibi, bir eleman sırayla 1, 2, 3, 4 Mohr daireleri ile gösterilen gerilme durumlarına maruz kalsın. Kayma gerilmesinin tüm kesme yüzeylerinde üniform bir şekilde yayıldığı kabul edilerek, yan yüzeyi kesmek için uygulanan moment,  $M_1$ , aşağıdaki gibi yazılabilir.

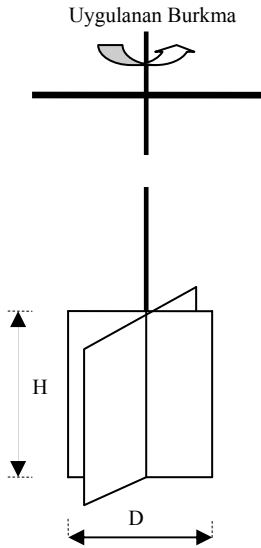
$$M_1 = \pi.D.H_c \cdot \frac{D}{2} = \frac{(\pi.D^2.H_c)}{2} \quad (3.8a)$$

Alt ve üst yüzleri kesmek için gerekli olan moment  $M_2$  olsun.  $r$  yarıçaplı  $dr$  kalınlıklı bir halka elemanı kesmek için gerekli olan moment,  $2\pi r.dr.cr$  dir.  $M_2$ ;

$$M_2 = 2 \int_0^{D/2} 2\pi r.dr.cr = \pi.c.\left(\frac{D^3}{6}\right) \quad (3.8b)$$

Toplam moment; aşağıdaki gibidir ve bu bağıntıdan kohezyon (  $c$  ) hesaplanır.

$$M = M_1 + M_2 = \pi.D^2c.\left[\frac{H}{2} + \frac{D}{2}\right] \quad (3.9)$$



Şekil 3.11. Vane deney aleti

### 3.8. Proktor Penetrometresi

Proktor penetrometresinin zeminin yumuşaklığına ve sertliğine bağlı olarak değişik çapta uçları vardır. Yumuşak zeminlerde geniş çaplı uç, katı ve sert zeminlerde dar çaplı uç kullanılır. Deney yapılırken penetrometrenin ucu zemine yavaş yavaş

yüklenerek 1cm sokulur ve skala değeri okunur. Bundan yararlanarak tek eksenli basınç mukavemeti ( $q_u$ ) hesaplanır.

$$q_u = \frac{(0,07)(skala)}{A} \quad (3.10)$$

Burada, A penetrometre ucunun kesit alanı (cm<sup>2</sup>) dir.

Killi zeminler için;

$$c = \tau = \frac{q_u}{2} \quad (3.11)$$

Bağıntısı ile kohezyon bulunur.

### 3.9. Dinamik Penetrasyon Deneyi

Dinamik sonda deneyinde tokmak, elektrikle çalışan bir motor yardımıyla otomatik olarak kaldırılıp düşürülmektedir. Dinamik sonda deneyleri ile 35.7mm çapındaki konik uç, 20kg ağırlığındaki tokmağın 50cm yükseklikten düşmesi ile zemine çakılmıştır. Tijin her 10cm ilerlemesi için gerekli darbe sayısı N10 olarak kaydedilmiştir. Dinamik sonda ile ilerleme derinlikleri yüzeyden 3.5m ile 14m arasında değişmektedir. 1m boyundaki tijler ilerleme sağlandıkça vidalarla birbirine bağlanmaktadır. Tijlerle birlikte yukarıya geri çekilen ve arazide kalan iki grup konik uç bulunmaktadır. Deneylerde, konik uçun geriye çekilmesi için zaman harcanmaması amacıyla tije vidalı olmayan deney yapılan derinlikte konik ucun kalmasına müsaade edilen konik uçlar kullanılmıştır.

### 3.10. Sismik Yöntem

Jeoteknik çalışmalarda zeminin özelliklerine göre jeofizik ve jeoloji mühendisleri tarafından inşaat mühendislerine bilgi üretilir. Jeoteknik çalışmalar birçok arazi ve laboratuvar yöntemlerine sahiptir. Bunların içerisinde statik ve dinamik yöntemler yer almaktadır. Zeminin mühendislik özelliklerine saptamada bir yöntemin diğer bir yönteme göre avantaj ve dezavantajları vardır. Özellikle heterojen ortamlarda yer altının yapısal özelliğini tanımada ve mekanik özellikleri saptamada jeofizik mühendisliği yöntemleri diğerlerine göre büyük avantajlara sahiptir. Depremlerde yapılardaki hasara dinamik kuvvetler neden olur. Dolayısıyla zeminin mühendislik özelliklerinin dinamik kuvvetler altında incelenmesi ile daha sağlıklı sonuçlar elde edilir. Dinamik yöntemler daha çok Japonya ve Amerika’ da kullanılmaktadır. Bilindiği gibi Japonya’ da ve California’ da deprem hasarlarında kimsenin burnu bile kanamamaktadır. Bunun nedeni ise, zemin dinamik analizinde, klasik yöntemler yanında modern dinamik yöntemlerden özellikle jeofizik mühendisliği sismik yöntemine daha çok önem verilmesidir.

Sismik çalışmalar, zeminde yapay olarak oluşturulan elastik dalgaların yer içerisinde yayılırken kırılma ve yansımayla geçtiği ortamın fiziksel özelliklerini taşıyarak yer yüzüne gelişlerinin kaydından ibarettir.

Jeofizik yöntemlerden sismik yöntemle mühendislik problemlerinin çözümünde yer altı tabakalarının kalınlıkları, tabaka içerisindeki boşlukları zeminlerin elastik özellikleri ve suya doygunluğu, görünen veya örtülü fayların konumları saptanmaktadır. Bunun yanında sismik yöntemlerle zemin sıvılaşması analizleri yapılmakta, temellerle ilgili olarak zemin taşıma gücü, zemin emniyet gerilmesi ve zemin oturmaları hesaplanabilmektedir. Sismik yöntemlerden elde edilen zemin dinamik parametreleri ile zeminlerin gözenekli yapısı, kayaçların ise kırıklı, çatlaklı ve altere (bozmuş) zonları ortaya çıkarılabilmektedir.

Mühendislik jeofiziğinde genellikle sismik kırılma yöntemi ile sismik boyuna dalgaları (P) ve sismik enine dalgaları (S) elde edilir. Bunlardan tabaka kalınlıkları ve zeminin elastik parametreleri ve dinamik özellikleri saptanır.

Özellikle sismik enine (kayma) dalgası zeminin mekanik özelliklerine, zeminin kayma mukavemetini belirlemede en önemli yöntemdir. Kayma mukavemeti olmayan ortamlarda (hava, su) sismik kayma (enine) dalgalar yayılmaz. Kayma mukavemeti düşük olan zeminlerde sismik kayma dalgası hızları düşüktür. Bir başka deyişle kayma (enine) dalga hızları düşük olan zeminler zayıf ve gevşek yapıdadır. Kayma dalga hızları 750 m/sn' den büyük olan jeolojik birimler ana kaya olarak tanımlanır. Bunlar sağlam kayalarda veya pekleşmiş çok sıkı kum, çakıl, sert kil veya siltli kildir. Enine (kayma) dalga hızları 350-750 m/sn arasında olduğunda zemin gevşek ve ayrılmış kayalar ile sıkı kum, çakıl, çok katı kil ve siltli kil zeminleri tanımlar. Çok ayrılmış kayalar ile orta sıkı kum, çakıl, katı kil ve siltli kil zeminleri kayma dalgası hızları 200-350 m/sn dolaylarındadır. Kayma dalgası hızlarının 200 m/sn' den küçük olduğu jeolojik birimler ise yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakalar, gevşek kum, yumuşak kil ve siltli kildir.

Sismik yöntemler; balyoz, vibratör veya dinamit gibi sismik kaynak yardımıyla oluşturulan yapay sarsıntı (deprem) dalgalarının (Fermat, Huygens, Snell prensiplerine göre) tabaka sınırlarında kırılarak (refraction) veya yansıtılarak (reflection) yer yüzünde bulunan jeofonlar (alıcılar) tarafından algılanarak sismik cihazlarla kaydedilme esasına dayanır. Bu kayıtlardan sismik boyuna dalgaların (P) ve sismik enine dalgaların (S) her jeofona geliş zamanları belirlenerek zaman- uzaklık grafikleri çizilir. Bu zaman- uzaklık grafiklerinden sismik hızlar ve tabaka kalınlıkları saptanır.

Sismik yöntemlerde kaynak ve jeofonların birbirlerine göre konumları serilim (profil) olarak tanımlanır. Araştırmanın amacına göre değişik serilim teknikleri kullanılır. Profil (serilim) uzunluğunun en az 1/3'ü kadar derine inildiği varsayılmaktadır. Örnek bir çalışmada sismik profil (serilim) uzunluğu 69 metre olarak seçilir ise 20-30 metre derinden bilgi alınabilir. Sismik çalışmada kullanılan

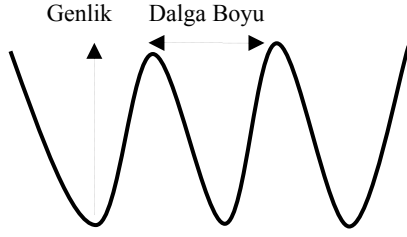
12 kanallı ve sinyal büyötmeli sismik cihazlar sinyal büyötmeye sayesinde yeterli enerjiyi sağlayamayan enerji kaynağı (balyoz) vuruş sayısı arttırılarak sismik sinyalin genliğı büyötülebilmektedir.

Ayrıca her bir jeofondan gelen sinyal belleğı alınıp bekletilebilmektedir. Bunların arasında güröltölü gelen ve beğenilmeyen sinyaller silinmektedir. Diğer sinyaller bellekte bekletilirken balyoz vuruşları ile beğenilmeyen jeofonların (kanalların) kayıtları yeniden alınmakta ve bellekteki kayıtla birlikte sismograf kaydı elde edilmektedir.

### **3.10.1. Dalgalar**

En basit terimlerle, bir dalga uzay ve zamanda kıpırdayan bir şeydir. Dalgalar bir yerden başka bir yere uzanırlar. Titreşimleri, periyodik (bir kemandaki nota sesi gibi) olabileceğı gibi, periyodik olmaya da bilir (bir patlama sesi gibi.) Bütün dalgalar şu özelliklere sahiptirler:

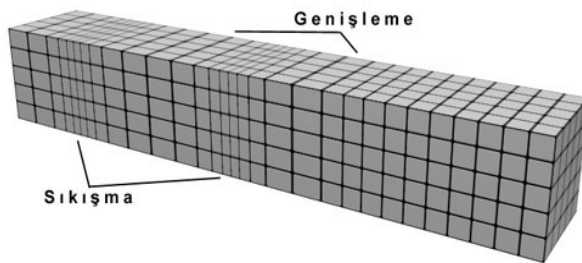
- Salınım şiddeti genliktir (Şekil 3.12).
- Salınım ne kadar sıklıkla olduğı frekans dır.
- Dalğanın maksimumları arasında gittiğı mesafe dalga boyudur (Şekil 3.12).
- Dalgalar bir materyalde belirlenmiş bir hızda gittiklerinden, dalga frekansını arttırdığınızda, dalga boyu azalır. Matematiksel olarak, dalga hızı = frekans x dalga boyu, yani sabit dalga hızı için, frekans ve dalga boyu ters orantılıdır.
- Dalgaların en ilginç özelliklerinden birisi, iki dalğanın birbirinin içinden geçerken etkilerinin birleşmesidir. Bu olaya girişim denir.



Şekil 3.12. Dalga boyu ve genliklerinin gösterimi

### 3.10.1.1. Boyuna Dalgalar

Deprem dalgalarının içerisinde yeryüzüne ilk ulaşan dalgadır. Boyuna dalgalar partikül hareketi ile aynı yönde yayılırlar (Şekil 3.13). Bu yüzden deprem dalgaları içerisinde en hızlı yayılan dalgalardır. Bu dalgaların hareketine doğadan örnek vermek gerekirse bir solucanın hareketini yaparlar. Bu dalgalar her türlü ortamda yayılırlar. Aynı zamanda ses dalgası olarak da bilinir. Bu dalgaların havadaki hızı 330m/s civarındadır. Sudaki hızı ise 1450m/s dir. Katı malzeme içerisinde 180-7500m/s civarında değişebilir. Bu dalgalar binaların kolonlarına aşırı yük bindirerek binayı yorar. Bu dalgaların yapıyı yıkma özelliği yoktur. Binayı yukarı iterek binanın yukarı-aşağı hareket etmesini sağlar. Bu da yapı yükünün artmasını ve yapıyı ayakta tutan elemanlardan biri olan kolonlara aşırı yük binmesini sağlar.



Şekil 3.13. Boyuna dalgaların üç boyutlu gösterimi (Tunç, 1999)

$$V_p = \sqrt{\frac{(\lambda - 2\mu)}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}} \quad (3.12)$$

$\lambda$  : Elastik sabit

$\mu$  : Sıkışmazlık modülü (rijidite)

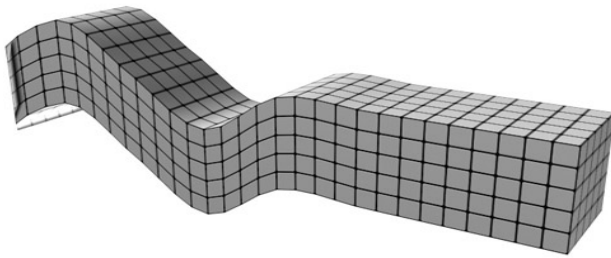
$\rho$  : Yoğunluk

E : Young modülü (elastisite)

$\sigma$  : Poisson oranı

### 3.10.1.2. Enine Dalgalar

Deprem dalgaları içersinde yeryüzüne ikinci olarak ulaşan dalgalardır. Bu yüzden ikincil dalga olarak adlandırılır. Aynı zamanda bu dalgaya enine dalga, makaslama (shear) dalgası, kayma dalgası yada S dalgası adı da verilir. Kayma dalgaları partikül hareketine dik yönde yayılırlar (Şekil 3.14). Doğadan örnek vermek gerekirse bir yılanın hareketini yaparlar. Kayma dalgaları sadece katı ortamlarda yayılırlar. Yani sıvılarda ve gazlarda yayılamazlar. Çünkü bu ortamlarda rijidite sıfırdır ( $G_d=0$ ). Yani sıvılarda ve gazlarda kayma hareketi olmadığı için kayma dalgaları yayılamazlar. Bu dalgaların katılardaki hızı 80-4000m/s arasında değişir. Bu dalgalar binalarda daha çok kirişleri zorlarlar. Yani kriş-kolon bağlantılarını koparmaya yönelik darbeler yaparak yapının sağa-sola hareket etmesini sağlarlar.



Şekil 3.14. Enine dalgaların üç boyutlu gösterimi(Tunç, 1999)

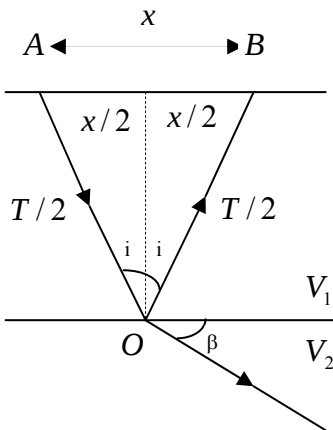
$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\sigma)}} \quad (3.13)$$

P ve S dalgalarının birbirine oranı;

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2(1-\sigma)}{1-2\sigma}} \quad (3.14)$$

### 3.10.1.3. Snell Yasası

Huygens ve Fermat prensiplerinin farklı hızlara sahip olan ortamlara uygulanması sismik verilerin temelini oluşturur.  $V_1$  ve  $V_2$  hızlarından oluşan bir ortamda A ve B noktaları arasındaki ışınal dalga yayılımı geliş açısı ile yansıma açılarının eşitliğini gerektirmektedir. İki farklı ortamda bulunan A ve C noktaları arasındaki dalga yayılımının geometrisi için ‘Snell Yasası’ olarak bilinen bağıntı kullanılır.



Şekil 3.15. Snell yasasının şematik olarak gösterimi

Bir sismik cisim dalgasının yeraltında bulunan bir süreksizlik yüzeyinde Snell yasasına göre tam optikte olduğu gibi yansır ve kırılır (Şekil 3.15). Yeryüzünde bir  $A$  noktasında bulunan bir kaynaktan çıkan  $P$  dalgalarının çeşitli uzaklıklara konulmuş jeofonlar ile kaydedilmiş olduklarını düşünelim. Yeraltı homojen ve dalga hızı sabit ise  $(V_1)$  ayıtlardan elde edilen zamanları uzaklığın fonksiyonu olarak çizince bir doğru elde ederiz. Bu doğrunun denklemi;

$$t = \frac{x}{V_1} \quad (3.15)$$

Yeraltı iki tabakadan yapıldı ve  $V_2 > V_1$  ise çizilecek zaman-uzaklık grafiğinin merkezden başlayarak belirli bir  $X_k$  uzaklığına kadar eğimi  $1/V_1$  olan bir doğru biçiminde olduğu ve  $X_k$  uzaklığından başlayarak eğimi daha az olan bir doğru biçimi aldığı görülür. Üst tabakadaki hız,  $(V_1)$  alt tabakadaki hız,  $(V_2)$  ve üst tabakanın kalınlığı  $h$  dır.  $A$  atış noktasından çıkan bir  $P$  dalgası ışını yeryüzü boyunca ilerleyerek alıcılara kaydedilir. Diğer ışınlar sınıra çarparak yansır veya kırılırlar. Sınıra kritik açı denilen  $(i_c)$  açısı  $(\sin i_c = V_1 / V_2)$  ile gelen dalgalar sınır boyunca yayılarak sınırdan aynı kritik  $(i_c)$  açısı ile tekrar birinci tabakaya geçerler ve yeryüzünde kaydedilirler.

### 3.10.2. Sismik Hızı Etkileyen Faktörler

Sismik hızlar yoğunluk ve elastik parametrelere bağlı olarak artar. Sismik hızı etkileyen faktörler;

- Derinlik: Derinlik arttıkça, sismik hız artar.
- Yoğunluk: Sismik hız kayaç cinsine bağlı olarak yoğunluk ile artar. Enine dalga hızı  $(V_s)$  yoğunluğa, çimentoya, sıkışmaya, kırıklara, boyuna dalga hızı  $(V_p)$ 'den daha hassastır (Uyanık. 1991).
- Porozite: Porozite arttıkça sismik hız düşer.
- Basınç: Basınç arttıkça, sismik hız artar.

### 3.10.3. Kuyu Sismiği

#### 3.10.3.1. Yukarı Kuyu (Up Hole)

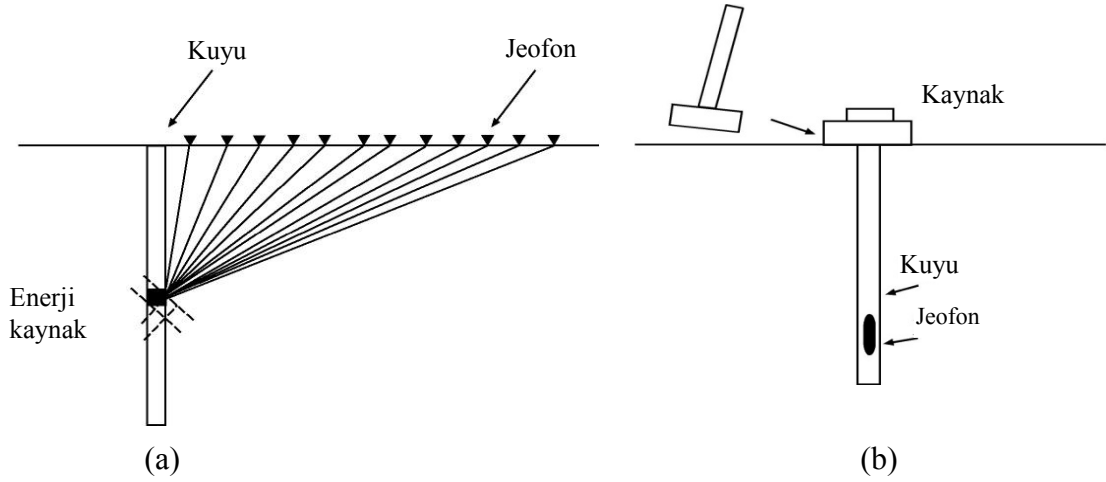
Bu yöntemde jeofonlar kuyu üstüne sıralanır (Şekil 3.16a), patlatmalar kuyu içinde yapılır. Sismik enerji, ya küçük miktarda dinamitler patlatarak veya kuyu içine indirilen ucunda kör tapa bulunan bir tijin üzerine çekiçe vurularak elde edilir.

Bu düzende zaman başlangıcı ya kuyu üstüne konulan bir anahtarla veya dinamit patlatıcının osiloskop devresine bağlanmasıyla temin edilir. Tij den faydalandığı zaman, jeofonlara varış zamanları üzerinde bir düzeltme yapmak gerekmektedir. Bu yöntem; normal tek veya çok kanallı sismik kırılma sismograflarıyla kolaylıkla uygulanabilmektedir, kuyu üstündeki alıcıdan faydalanarak da düşey hız ölçmelerine olanak sağlamaktadır. Böylece sismik kırılma çalışmaları ile gözlenemeyen düşük hızlı bir tabakanın varlığını düşey hız profili üzerinde görmek mümkün olmaktadır. Düşey hız profili, akustik loğlarla alınan hız profillerinin aynıdır. Normal sismik kırılma atışları ile bulunan hızlar, tabakaların ara yüzlerinin eğimli olması nedeniyle, gerçek hıza göre bazen yüksek, bazen de düşük çıkmaktadır. Sisti yapı gösteren bazı formasyonlar da ise yatay yöndeki hızlar, düşey hıza göre farklılık göstermekte yani anizotropi olayı gözlenmektedir. Ayrıca altere zonlarda hız ve kalınlık büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. Böyle durumlarda sismik kırılma hesaplamaları için doğrudan yol zaman grafiklerinden alınan hızlar yanlış derinlik hesaplamalarına neden olmaktadır. Bu belirsizlikleri yok etmek için imkân olan yerlerde düşey hız profilleri uygulanırsa doğruya daha yakın sonuçlar alınır. Kuyu üstü ölçüleri yalnız bir yönde uygulandığı gibi, amaca göre, kuyu merkez olmak üzere yelpaze (polar) açılımlar veya dairesel açılımlar şeklinde de yapılabilir. Kuyu üstü (Up-hole) ölçmelerinden elde edilen varış zamanlarından faydalanarak kuyu ile jeofon açılım yönünün oluşturduğu düşey düzlem için dalga cephesi diyagramları hazırlanabilir (Meissner, 1961). Dalga cephesi diyagramları yeraltı yapısının çözümünde iyi bir yöntem olmaktadır.

### 3.10.3.2. Aşağı Kuyu (Down Hole)

Kuyu içi yönteminde, kuyu üstü yönteminin tersi bir işlemle ölçüler alınmaktadır (Şekil 3.16b). Sismik enerji kuyu üstünden verilmekte ve jeofon ise kuyu dibine yerleştirilerek ilk varışlar kaydedilmektedir. Genellikle çok detektörlü kablo kullanılarak uygulanır. Kuyu içi çalışmalarında kuyu içinin sıvı ile doldurulmuş olması veya uygun bir jeofon çiftinin kuyu cidarına iyice yapışmış olması gerekmektedir.

Kuyu içi çalışmaları, Stokoe ve Woods (1972)'e göre teklif ettiği şekilde de yapılabilir. Kuyu içine plastik bir boru indirilir. Kuyu cidarı ile boru arasındaki boşluk ince taneli çakıl ve kum ile doldurulur. Kuyu üstüne veya yakınına ahşap bir döşeme yerleştirilir. Enine dalgaları kaydetmek için yere paralel yönde, boyuna dalgaları kaydetmek için yere dik olacak şekilde döşemeye vurularak sismik enerji elde edilir. Eğer sismik cihaz, sinyal kuvvetlendirici özelliğe sahip ise, çok derin kuyularda da çalışma yapmak mümkündür.



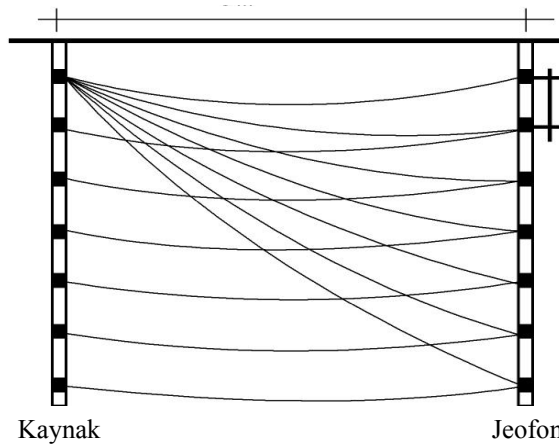
Şekil 3.16. a) Yüzey kuyu (Up-Hole) tekniğinin arazide uygulanaşı

b) Kuyu içi (Down-Hole) tekniğinin arazide uygulanaşı

### 3.10.3.3 Karşıt Kuyu(Cross Hole)

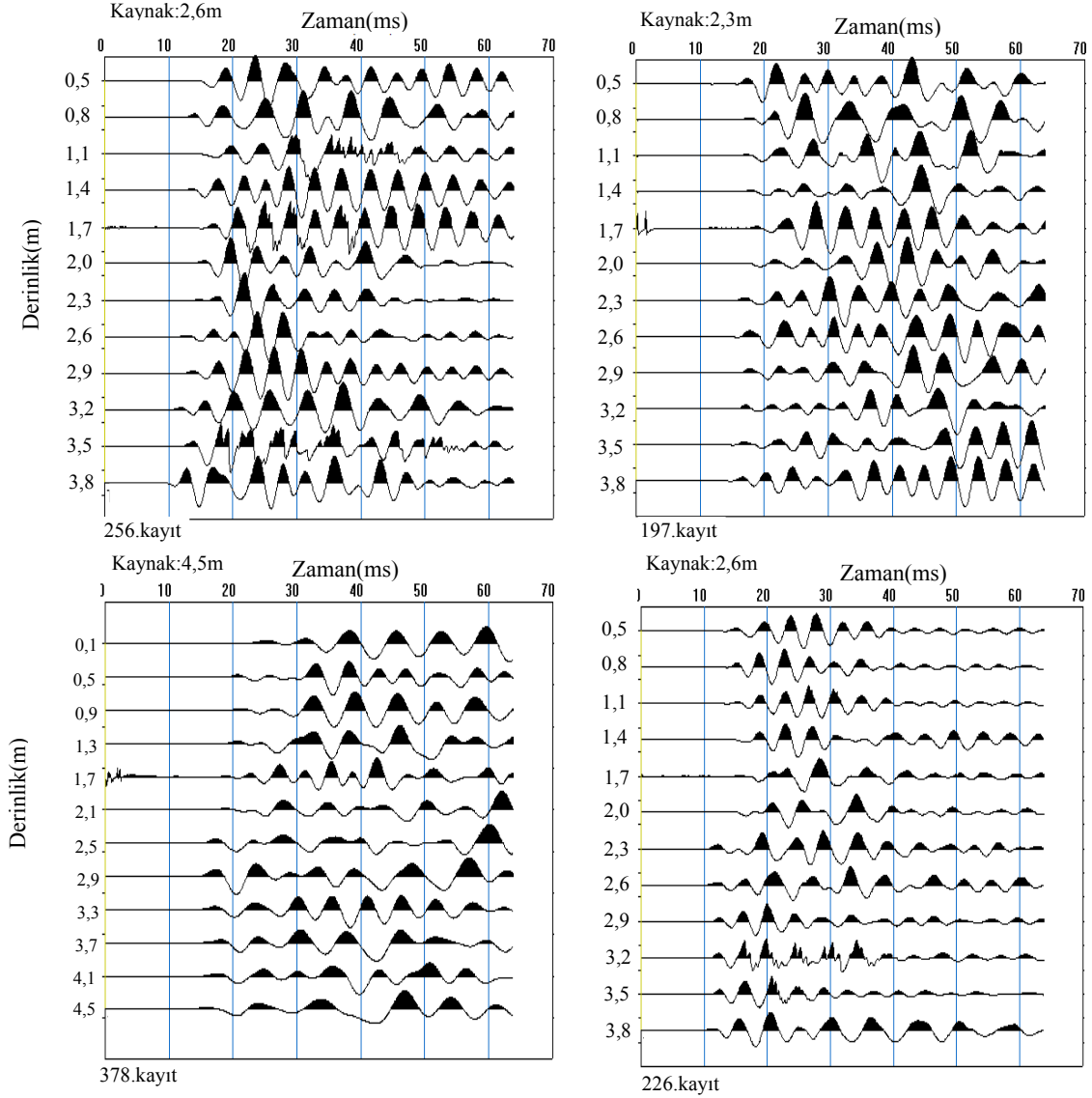
Karşıt kuyu sismik tekniği, bir veya daha fazla birbirine yakın kuyular içinde belirli yüksekliklerde kaydedilen, belirli bir partikül seviyesinde meydana gelen, sıkışma (P) ve kayma (S) ortalama dalga hızlarının her ikisini de kapsamaktadır. Bu, kuyu içinde bilinen bir seviyede P ve S dalgalarının seyahat zamanlarının ölçülmesi şeklinde olur. Bilinen bir seviyedeki, ortalama P ve S dalga hızlarının, uygun geliş zamanları uygun mesafelerden hesaplanır (Wadhwa , 2005).

Bu yöntemi uygulamak için aralarında belirli bir uzaklık olan iki veya daha fazla sondaj kuyusu aynı derinliğe kadar açılır (Stokoe ve Woods, 1972). Bir kuyunun tabanına alıcı, diğer kuyunun tabanına da bir darbe tiji yerleştirilir. Alt ucunda manşon, üst ucunda da çekiçle vurmaya imkan veren bir plaka bulunur. Jeofon kaydediciye bağlanır ve levha üzerine vurularak elde edilen cisim dalgaları (P ve S dalgaları), alıcıya varınca kaydedilir. Darbeler tij üzerine vurularak elde edildiği için okunan zamanlar üzerinde ufak bir zaman düzeltmesi yapmak gereklidir. Bu ölçüm yapıldıktan sonra kuyular istenilen kota kadar derinleştirilerek ölçüler tekrarlanır (Büyükköse, 1983). Tabakalı ortamlarda yapılan çalışmalarda, direk dalgaların yanında kırılmış ve yansımış dalgalarında kaydedilmesi her zaman mümkündür. Böyle durumlarda yanılmalara sebep olmamak için, direk ve kırılmış dalgaların ayrımını iyi yapmak gereklidir (Büyükköse, 1983). Karşıt Kuyu sismik tekniğinde dalga yayılımı Şekil 3.17' de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Karşıt kuyu (Cross-Hole) tekniğinde dalga yayılımı

Karşıt kuyu (cross-hole) sismik tekniği ile arazide (I-NÇ2,I-NÇ3,I-NÇ7,I-NÇ4 kuyularından) elde ettiğimiz sismik kayıt örnekleri Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.18. Kuyu sismiği ile elde edilen sismik izler

İzotropik bir maddenin beş elastik sabitinin, iki tanesinin bilinmesi bile maddenin elastik özelliklerinin tümünü açıkça ortaya koymaya yeterlidir (Wadhwa, 2005). Elastik sabitlerin en yaygın kullanılanı Young modülü ( $E$ ) ve Poisson oranı ( $\sigma$ ) dır. Bunlar genellikle laboratuarda ve statik deney alanlarında (arazide) belirlenir. Statik deneyler, sınırlı hacimdeki materyalin, kesin sonuçlarını verir ama bu değerler, İnşaat

mühendislerinin ele almak zorunda olduğu çok fazla etkilenen heterojen bölgeler gibi alanların hacmini nadiren temsil eder (Wadhwa, 2005). Birde bütün geoteknik deneyler, noktadan noktaya bilgi sağlamaktadır. Bu deneyler, kabaca yeraltının yüzeye yakın bölgelerindeki, örnek modeller altında sık sık yetersiz kalmaktadır (Sarman ve Palmer, 1990).

Statikten farklı olarak, yüzeye yakın tabakalarda uygulanan yüzey kuyu(up-hole) ve kuyu içi (down-hole) yöntemleri, karşıt kuyu (cross-hole) tekniğine göre daha geniş araştırma alanı sağlamaktadır (Wadhwa, 2005). Araştırılan bölge, sondaj kuyusundaki alıcılar ile kaynak arasındaki alandır. Karşıt kuyu, bir partikül ortamı içinde sismik dalgalar seyahat ettiğı zaman, daha sağlıklı, daha kesin ölçümler yapmamızı sağlar. Karşıt kuyu tekniğinin başka bir avantajı da; yüzeyde yapılan kırılma çalışmalarında görülmeyen, gizli kalan düşük hız tabakalarını net bir şekilde görebilme ve tanımlayabilmemizi sağlamasıdır. Bu yüzden; (a) zeminlere ve kayalara yapılan nükleer reaktörler ve barajlar gibi büyük yapıların daha güvenli değerlendirilmesi için, depremlerin meydana getirdiğı gerilme dalga yayılımının dinamik analizinde, (b) temellerin dinamik analizinde, (c) zemin-yapı etkileşim problemlerinin dinamik analizinde, karşıt kuyu tekniğı kullanılarak P ve S dalga hızları değerlendirilir. Karşıt kuyu tekniğı birde, zeminin derinliklerindeki kırıklı-çatlaklı zonları, zayıf ya da sürekli olmayan, sıçrama yapmış zonları ve boşlukları, meydana çıkarmamıza yardımcı olur (Wadhwa, 2005).

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada, Isparta, Yalvaç ve Ağlasun yerleşim bölgelerindeki zeminin fiziksel özelliklerini tanımlamak, zemini sınıflamak ve olası bir deprem esnasında oldukça büyük önem arz eden, zeminin kayma direncinin gerçeğe en yakın değerini belirlemek amacıyla arazi ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Arazide, 11 farklı noktada, dik yarmalarda ve araştırma çukurlarında, karşıt kuyu sismik tekniği uygulanmış ve derinlik boyunca her kaynak-alıcı arasında arazi vane ve penetrometre deneyleri uygulanmıştır. Araziden alınan zemin numuneleri üzerinde laboratuvarda elek analizi ve kıvam limiti deneyleri yapılmıştır.

##### 4.1. Arazide Yapılan Karşıt-Kuyu (Cross-Hole) Çalışmaları

Bu çalışmada; Isparta, Yalvaç ve Ağlasun bölgelerinde, zeminin kayma mukavemeti değerleri ile sismik hızlar arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla 11 ayrı araştırma çukurunda karşıt kuyu çalışması ve her jeofonun(alıcı) bulunduğu yerde vane ve penetrometre deneyleri yapılmıştır. Karşıt kuyu, vane ve penetrometre çalışmalarının yapıldığı bazı noktalar Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’ de görülmektedir.



Şekil 4.1. Ağlasun bölgesinde yapılan arazi çalışması resimleri



Şekil 4.2. Isparta (c, d, e ve f) ve Yalvaç (a, b) bölgelerinde yapılan arazi çalışması resimleri

#### 4.2. Isparta ve Çevresinde Bulunan Pomza'nın Kuyu İçi Sismik Hız Değerleri

Isparta ve çevresinde yapılan sismik arazi çalışmaları sonucunda belirli derinliklerde tespit edilen Pomza'nın, kuyu içi boyuna dalga (P) hızının 184-395 m/s arasında ve kuyu içi enine dalga (S) hızının 129-285 m/s arasında değerler aldığı görülmektedir(Çizelge 4.1). Böylece Isparta'da bulunan Pomza'nın bazı bölgelerde (I-NÇ6 kuyusunun olduğu bölge) oldukça yumuşak, bazı bölgelerde (I-NÇ5 kuyusunun olduğu bölge) ise daha sert olduğu gözlenmiştir. Pomzanın boyuna ve enine dalga hız oran ( $V_p/V_s$ ) değeri 1,5 civarındadır. Bu pomzanın gözenekli olduğunu ve gözeneklerin gaza doymun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.1. Pomza'nın sismik hız değerleri

| Kuyu No | Boyuna Dalga Hızı ( $V_p$ ) (m/s) | Enine Dalga Hızı ( $V_s$ ) (m/s) | $V_p/V_s$ |
|---------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------|
| I-NÇ2   | 274-351                           | 153-234                          | 1,46-1,62 |
| I-NÇ3   | 267-395                           | 158-268                          | 1,44-1,69 |
| I-NÇ5   | 299-449                           | 183-285                          | 1,49-1,63 |
| I-NÇ6   | 184-233                           | 129-164                          | 1,42-1,52 |
| I-NÇ8   | 274-309                           | 185-194                          | 1,45-1,62 |

#### 4.3. Yerinde ve Laboratuarda Yapılan Deney Sonuçları

Isparta, Yalvaç ve Ağlasun bölgelerinde, toplam 11 farklı alanda açılan araştırma çukurları ve dik yarmalarda, karşıt-kuyu sismik tekniği uygulanmış ve kayıt alınan her jeofonun karşısından, vane ve penetrometre deneyleri yapılmıştır. Arazide elde edilen bu veriler Çizelge 4.2 ve 4.3'de gösterilmiştir. Ayrıca bu çalışmaların yapıldığı araştırma çukurlarından ve dik yarmalardan, alınan örnek numuneler zemin laboratuvarında, elek analizine tabii tutularak ve kıvam limitleri belirlenerek, zemin sınıflaması yapılmıştır (Çizelge 4.4). Çizelgeler halinde verilen bu sonuçların ham verileri, ekler bölümünde sunulmuştur..

Çizelge 4.2. Araziye yapılan kuyu içi sismik deney sonuçları

| Nokta No | Zemin Cinsi | Z m  | Vp m/s | Vs m/s | Vp/Vs | $\gamma$ gr/cm <sup>3</sup> | $\mu$ | G kg/cm <sup>2</sup> | E kg/cm <sup>2</sup> | K kg/cm <sup>2</sup> |
|----------|-------------|------|--------|--------|-------|-----------------------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|
| I-NÇ1    | SM          | 0,1  | 290    | 190    | 1,53  | 1,76                        | 0,12  | 635                  | 1427                 | 632                  |
| I-NÇ1    | SM          | 0,45 | 294    | 190    | 1,55  | 1,76                        | 0,14  | 635                  | 1449                 | 674                  |
| I-NÇ1    | SM          | 0,8  | 312    | 214    | 1,46  | 1,76                        | 0,06  | 807                  | 1704                 | 639                  |
| I-NÇ1    | SM          | 1,15 | 285    | 180    | 1,58  | 1,76                        | 0,17  | 569                  | 1330                 | 668                  |
| I-NÇ1    | SM          | 1,5  | 275    | 182    | 1,51  | 1,76                        | 0,11  | 581                  | 1291                 | 552                  |
| I-NÇ1    | SM          | 1,85 | 267    | 173    | 1,54  | 1,75                        | 0,14  | 525                  | 1195                 | 550                  |
| I-NÇ1    | SM          | 2,2  | 280    | 186    | 1,51  | 1,76                        | 0,11  | 608                  | 1343                 | 567                  |
| I-NÇ1    | SM          | 2,55 | 317    | 221    | 1,43  | 1,76                        | 0,03  | 861                  | 1769                 | 624                  |
| I-NÇ1    | ML          | 2,9  | 340    | 207    | 1,64  | 1,77                        | 0,21  | 758                  | 1827                 | 1034                 |
| I-NÇ1    | ML          | 3,25 | 348    | 214    | 1,63  | 1,77                        | 0,20  | 810                  | 1938                 | 1063                 |
| I-NÇ1    | ML          | 3,6  | 335    | 222    | 1,51  | 1,77                        | 0,11  | 871                  | 1931                 | 822                  |
| I-NÇ1    | ML          | 3,95 | 345    | 227    | 1,52  | 1,77                        | 0,12  | 912                  | 2039                 | 890                  |
| I-NÇ2    | Pomza       | 0,5  | 312    | 193    | 1,62  | 1,06                        | 0,19  | 395                  | 941                  | 510                  |
| I-NÇ2    | Pomza       | 0,8  | 395    | 268    | 1,47  | 1,08                        | 0,07  | 776                  | 1659                 | 642                  |
| I-NÇ2    | SM          | 1,1  | 375    | 228    | 1,64  | 1,78                        | 0,21  | 923                  | 2227                 | 1266                 |
| I-NÇ2    | SM          | 1,4  | 312    | 211    | 1,48  | 1,76                        | 0,08  | 785                  | 1693                 | 669                  |
| I-NÇ2    | SM          | 1,7  | 291    | 181    | 1,61  | 1,76                        | 0,18  | 576                  | 1365                 | 721                  |
| I-NÇ2    | Pomza       | 2    | 282    | 174    | 1,62  | 1,06                        | 0,19  | 321                  | 765                  | 414                  |
| I-NÇ2    | Pomza       | 2,3  | 337    | 225    | 1,50  | 1,07                        | 0,10  | 542                  | 1192                 | 497                  |
| I-NÇ2    | Pomza       | 2,6  | 274    | 188    | 1,46  | 1,05                        | 0,06  | 371                  | 785                  | 296                  |
| I-NÇ2    | Pomza       | 2,9  | 284    | 153    | 1,86  | 1,06                        | 0,30  | 248                  | 644                  | 528                  |
| I-NÇ2    | Pomza       | 3,2  | 320    | 213    | 1,50  | 1,06                        | 0,10  | 481                  | 1058                 | 441                  |
| I-NÇ2    | Pomza       | 3,5  | 308    | 205    | 1,50  | 1,04                        | 0,10  | 437                  | 962                  | 401                  |
| I-NÇ2    | Pomza       | 3,8  | 351    | 234    | 1,50  | 1,07                        | 0,10  | 586                  | 1289                 | 537                  |
| I-NÇ3    | Pomza       | 0,5  | 341    | 237    | 1,44  | 1,07                        | 0,03  | 601                  | 1243                 | 445                  |
| I-NÇ3    | ML          | 0,8  | 298    | 180    | 1,66  | 1,76                        | 0,21  | 570                  | 1383                 | 802                  |
| I-NÇ3    | ML          | 1    | 312    | 194    | 1,61  | 1,76                        | 0,18  | 663                  | 1572                 | 831                  |
| I-NÇ3    | ML          | 1,4  | 270    | 157    | 1,72  | 1,75                        | 0,24  | 432                  | 1076                 | 702                  |
| I-NÇ3    | Pomza       | 1,7  | 308    | 184    | 1,67  | 1,06                        | 0,22  | 359                  | 876                  | 522                  |
| I-NÇ3    | Pomza       | 2    | 273    | 174    | 1,57  | 1,05                        | 0,16  | 318                  | 737                  | 360                  |
| I-NÇ3    | Pomza       | 2,3  | 296    | 180    | 1,64  | 1,06                        | 0,21  | 343                  | 827                  | 466                  |
| I-NÇ3    | SM          | 2,6  | 296    | 177    | 1,67  | 1,76                        | 0,22  | 551                  | 1347                 | 806                  |
| I-NÇ3    | Pomza       | 2,9  | 267    | 158    | 1,69  | 1,05                        | 0,23  | 262                  | 645                  | 399                  |
| I-NÇ3    | Pomza       | 3,2  | 337    | 226    | 1,49  | 1,07                        | 0,09  | 547                  | 1192                 | 485                  |
| I-NÇ3    | Pomza       | 3,5  | 303    | 191    | 1,59  | 1,06                        | 0,17  | 387                  | 907                  | 462                  |
| I-NÇ3    | Pomza       | 3,8  | 312    | 185    | 1,69  | 1,06                        | 0,23  | 363                  | 893                  | 552                  |
| I-NÇ4    | SM          | 0,5  | 429    | 234    | 1,83  | 1,79                        | 0,29  | 978                  | 2519                 | 1983                 |
| I-NÇ4    | SM          | 0,8  | 341    | 161    | 2,12  | 1,77                        | 0,36  | 458                  | 1244                 | 1445                 |
| I-NÇ4    | SM          | 1,1  | 316    | 195    | 1,62  | 1,76                        | 0,19  | 670                  | 1599                 | 867                  |
| I-NÇ4    | SM          | 1,4  | 280    | 185    | 1,51  | 1,76                        | 0,11  | 601                  | 1337                 | 575                  |
| I-NÇ4    | SM          | 1,7  | 237    | 153    | 1,55  | 1,75                        | 0,14  | 409                  | 935                  | 436                  |
| I-NÇ4    | SM          | 2    | 222    | 153    | 1,45  | 1,74                        | 0,05  | 408                  | 856                  | 315                  |
| I-NÇ4    | SM          | 2,3  | 211    | 133    | 1,59  | 1,74                        | 0,17  | 308                  | 721                  | 365                  |
| I-NÇ4    | SM          | 2,6  | 273    | 154    | 1,77  | 1,75                        | 0,27  | 416                  | 1054                 | 753                  |
| I-NÇ4    | SM          | 2,9  | 245    | 147    | 1,67  | 1,75                        | 0,22  | 378                  | 921                  | 546                  |
| I-NÇ4    | SM          | 3,2  | 251    | 151    | 1,66  | 1,75                        | 0,22  | 399                  | 971                  | 571                  |
| I-NÇ4    | SM          | 3,5  | 321    | 191    | 1,68  | 1,76                        | 0,23  | 644                  | 1578                 | 960                  |
| I-NÇ4    | SM          | 3,8  | 341    | 145    | 2,35  | 1,77                        | 0,39  | 372                  | 1033                 | 1560                 |

Çizelge 4.2. (devam)

| Nokta No | Zemin Cinsi | Z m | Vp m/s | Vs m/s | Vp/Vs | $\gamma$ gr/cm <sup>3</sup> | $\mu$ | G kg/cm <sup>2</sup> | E kg/cm <sup>2</sup> | K kg/cm <sup>2</sup> |
|----------|-------------|-----|--------|--------|-------|-----------------------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|
| I-NÇ5    | SM          | 0,7 | 390    | 218    | 1,79  | 1,78                        | 0,27  | 845                  | 2151                 | 1578                 |
| I-NÇ5    | SM          | 1   | 394    | 252    | 1,56  | 1,78                        | 0,15  | 1130                 | 2607                 | 1255                 |
| I-NÇ5    | SM          | 1,3 | 536    | 329    | 1,63  | 1,81                        | 0,20  | 1956                 | 4686                 | 2584                 |
| I-NÇ5    | SM          | 1,6 | 397    | 254    | 1,56  | 1,78                        | 0,15  | 1148                 | 2648                 | 1274                 |
| I-NÇ5    | SM          | 1,9 | 358    | 215    | 1,67  | 1,77                        | 0,22  | 819                  | 1995                 | 1179                 |
| I-NÇ5    | pomza       | 2,2 | 449    | 285    | 1,58  | 1,09                        | 0,16  | 885                  | 2064                 | 1030                 |
| I-NÇ5    | pomza       | 2,5 | 326    | 204    | 1,60  | 1,07                        | 0,18  | 445                  | 1050                 | 546                  |
| I-NÇ5    | pomza       | 2,8 | 309    | 198    | 1,56  | 1,06                        | 0,15  | 416                  | 957                  | 457                  |
| I-NÇ5    | pomza       | 3,1 | 315    | 200    | 1,58  | 1,06                        | 0,16  | 424                  | 989                  | 493                  |
| I-NÇ5    | pomza       | 3,4 | 327    | 202    | 1,62  | 1,07                        | 0,19  | 437                  | 1041                 | 564                  |
| I-NÇ5    | pomza       | 3,7 | 299    | 183    | 1,63  | 1,06                        | 0,20  | 355                  | 851                  | 470                  |
| I-NÇ5    | pomza       | 4   | 309    | 207    | 1,49  | 1,06                        | 0,09  | 454                  | 990                  | 403                  |
| I-NÇ6    | SM          | 0   | 250    | 175    | 1,43  | 1,75                        | 0,02  | 536                  | 1093                 | 379                  |
| I-NÇ6    | SM          | 0,4 | 245    | 165    | 1,48  | 1,75                        | 0,08  | 476                  | 1033                 | 415                  |
| I-NÇ6    | SM          | 0,8 | 257    | 164    | 1,57  | 1,75                        | 0,16  | 471                  | 1090                 | 529                  |
| I-NÇ6    | SM          | 1,2 | 240    | 163    | 1,47  | 1,75                        | 0,07  | 464                  | 996                  | 388                  |
| I-NÇ6    | SM          | 1,6 | 279    | 186    | 1,50  | 1,76                        | 0,10  | 607                  | 1336                 | 557                  |
| I-NÇ6    | SM          | 2   | 223    | 154    | 1,45  | 1,74                        | 0,04  | 414                  | 864                  | 316                  |
| I-NÇ6    | SM          | 2,4 | 214    | 144    | 1,49  | 1,74                        | 0,09  | 361                  | 785                  | 316                  |
| I-NÇ6    | Pomza       | 2,8 | 220    | 148    | 1,49  | 1,04                        | 0,09  | 228                  | 497                  | 202                  |
| I-NÇ6    | Pomza       | 3,2 | 227    | 149    | 1,52  | 1,05                        | 0,12  | 233                  | 521                  | 228                  |
| I-NÇ6    | Pomza       | 3,6 | 207    | 143    | 1,45  | 1,04                        | 0,04  | 213                  | 445                  | 164                  |
| I-NÇ6    | Pomza       | 4   | 184    | 129    | 1,43  | 1,04                        | 0,02  | 173                  | 354                  | 123                  |
| I-NÇ6    | Pomza       | 4,4 | 233    | 164    | 1,42  | 1,05                        | 0,01  | 282                  | 569                  | 193                  |
| I-NÇ7    | ML          | 0,1 | 260    | 165    | 1,58  | 1,75                        | 0,16  | 477                  | 1109                 | 548                  |
| I-NÇ7    | ML          | 0,5 | 265    | 185    | 1,43  | 1,75                        | 0,02  | 600                  | 1230                 | 431                  |
| I-NÇ7    | ML          | 0,9 | 277    | 188    | 1,47  | 1,76                        | 0,07  | 620                  | 1331                 | 520                  |
| I-NÇ7    | ML          | 1,3 | 309    | 203    | 1,52  | 1,76                        | 0,12  | 726                  | 1627                 | 714                  |
| I-NÇ7    | ML          | 1,7 | 265    | 178    | 1,49  | 1,75                        | 0,09  | 555                  | 1210                 | 490                  |
| I-NÇ7    | ML          | 2,1 | 248    | 169    | 1,47  | 1,75                        | 0,07  | 500                  | 1066                 | 410                  |
| I-NÇ7    | ML          | 2,5 | 248    | 166    | 1,49  | 1,75                        | 0,09  | 482                  | 1055                 | 433                  |
| I-NÇ7    | ML          | 2,9 | 232    | 143    | 1,62  | 1,75                        | 0,19  | 357                  | 853                  | 464                  |
| I-NÇ7    | SM          | 3,3 | 235    | 160    | 1,47  | 1,75                        | 0,07  | 447                  | 955                  | 368                  |
| I-NÇ7    | ML          | 3,7 | 250    | 143    | 1,75  | 1,75                        | 0,26  | 358                  | 900                  | 617                  |
| I-NÇ7    | ML          | 4,1 | 291    | 182    | 1,60  | 1,76                        | 0,18  | 582                  | 1373                 | 712                  |
| I-NÇ7    | ML          | 4,5 | 400    | 270    | 1,48  | 1,78                        | 0,08  | 1298                 | 2804                 | 1112                 |
| I-NÇ8    | SM          | 0,4 | 245    | 154    | 1,59  | 1,75                        | 0,17  | 415                  | 973                  | 497                  |
| I-NÇ8    | SM          | 0,7 | 235    | 160    | 1,47  | 1,75                        | 0,07  | 447                  | 955                  | 368                  |
| I-NÇ8    | SM          | 1   | 254    | 160    | 1,59  | 1,75                        | 0,17  | 448                  | 1050                 | 532                  |
| I-NÇ8    | Pomza       | 1,3 | 277    | 185    | 1,50  | 1,06                        | 0,10  | 363                  | 798                  | 333                  |
| I-NÇ8    | Pomza       | 1,6 | 290    | 186    | 1,56  | 1,06                        | 0,15  | 367                  | 844                  | 403                  |
| I-NÇ8    | Pomza       | 1,9 | 288    | 189    | 1,52  | 1,06                        | 0,12  | 379                  | 847                  | 370                  |
| I-NÇ8    | Pomza       | 2,2 | 309    | 191    | 1,62  | 1,06                        | 0,19  | 387                  | 922                  | 499                  |
| I-NÇ8    | Pomza       | 2,5 | 274    | 186    | 1,47  | 1,05                        | 0,07  | 363                  | 777                  | 301                  |
| I-NÇ8    | Pomza       | 2,8 | 287    | 194    | 1,48  | 1,06                        | 0,08  | 399                  | 862                  | 342                  |
| I-NÇ8    | Pomza       | 3,1 | 279    | 192    | 1,45  | 1,06                        | 0,05  | 391                  | 818                  | 301                  |
| I-NÇ8    | SM          | 3,4 | 300    | 188    | 1,60  | 1,76                        | 0,18  | 622                  | 1464                 | 755                  |
| I-NÇ8    | SM          | 3,7 | 400    | 235    | 1,70  | 1,78                        | 0,24  | 983                  | 2431                 | 1537                 |

Çizelge 4.2. (devam)

| Nokta No | Zemin Cinsi | Z m  | Vp m/s | Vs m/s | Vp/Vs | $\gamma$ gr/cm <sup>3</sup> | $\mu$ | G kg/cm <sup>2</sup> | E kg/cm <sup>2</sup> | K kg/cm <sup>2</sup> |
|----------|-------------|------|--------|--------|-------|-----------------------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Y-NÇ1    | ML          | 1,25 | 564    | 320    | 1,76  | 1,81                        | 0,26  | 1856                 | 4688                 | 3291                 |
| Y-NÇ1    | ML          | 1,5  | 590    | 335    | 1,76  | 1,82                        | 0,26  | 2040                 | 5150                 | 3608                 |
| Y-NÇ1    | SM          | 1,75 | 530    | 310    | 1,71  | 1,81                        | 0,24  | 1736                 | 4304                 | 2759                 |
| Y-NÇ1    | SM          | 2    | 520    | 300    | 1,73  | 1,80                        | 0,25  | 1624                 | 4061                 | 2713                 |
| Y-NÇ1    | SM          | 2,25 | 545    | 315    | 1,73  | 1,81                        | 0,25  | 1795                 | 4485                 | 2980                 |
| Y-NÇ1    | SM          | 2,5  | 537    | 310    | 1,73  | 1,81                        | 0,25  | 1737                 | 4343                 | 2896                 |
| Y-NÇ1    | SM          | 2,75 | 550    | 320    | 1,72  | 1,81                        | 0,24  | 1853                 | 4612                 | 3004                 |
| Y-NÇ1    | SM          | 3    | 555    | 326    | 1,70  | 1,81                        | 0,24  | 1925                 | 4760                 | 3012                 |
| Y-NÇ1    | GC          | 3,25 | 610    | 342    | 1,78  | 1,82                        | 0,27  | 2131                 | 5416                 | 3938                 |
| Y-NÇ1    | ML          | 3,5  | 550    | 321    | 1,71  | 1,81                        | 0,24  | 1865                 | 4632                 | 2989                 |
| Y-NÇ1    | SM          | 3,75 | 560    | 330    | 1,70  | 1,81                        | 0,23  | 1973                 | 4870                 | 3051                 |
| Y-NÇ1    | SM          | 4    | 545    | 318    | 1,71  | 1,81                        | 0,24  | 1829                 | 4544                 | 2934                 |
| Y-NÇ2    | SC          | 0,45 | 540    | 310    | 1,74  | 1,81                        | 0,25  | 1737                 | 4358                 | 2955                 |
| Y-NÇ2    | ML          | 0,7  | 575    | 330    | 1,74  | 1,82                        | 0,25  | 1977                 | 4959                 | 3365                 |
| Y-NÇ2    | SM          | 0,95 | 542    | 318    | 1,70  | 1,81                        | 0,24  | 1829                 | 4526                 | 2874                 |
| Y-NÇ2    | SM          | 1,2  | 520    | 300    | 1,73  | 1,80                        | 0,25  | 1624                 | 4061                 | 2713                 |
| Y-NÇ2    | ML          | 1,45 | 570    | 336    | 1,70  | 1,81                        | 0,23  | 2048                 | 5053                 | 3163                 |
| Y-NÇ2    | ML          | 1,7  | 610    | 350    | 1,74  | 1,82                        | 0,25  | 2232                 | 5600                 | 3804                 |
| Y-NÇ2    | SM          | 1,95 | 560    | 321    | 1,74  | 1,81                        | 0,26  | 1867                 | 4688                 | 3193                 |
| Y-NÇ2    | SM          | 2,2  | 550    | 322    | 1,71  | 1,81                        | 0,24  | 1877                 | 4651                 | 2973                 |
| Y-NÇ2    | SM          | 2,45 | 540    | 320    | 1,69  | 1,81                        | 0,23  | 1851                 | 4552                 | 2804                 |
| Y-NÇ2    | GC          | 2,7  | 620    | 356    | 1,74  | 1,82                        | 0,25  | 2312                 | 5798                 | 3929                 |
| Y-NÇ2    | GC          | 2,95 | 600    | 345    | 1,74  | 1,82                        | 0,25  | 2166                 | 5429                 | 3664                 |
| Y-NÇ2    | SM          | 3,2  | 525    | 305    | 1,72  | 1,81                        | 0,25  | 1679                 | 4182                 | 2736                 |
| A-NÇ1    | SM          | 0,1  | 350    | 155    | 2,26  | 1,77                        | 0,38  | 425                  | 1172                 | 1601                 |
| A-NÇ1    | SM          | 0,3  | 355    | 150    | 2,37  | 1,77                        | 0,39  | 398                  | 1109                 | 1701                 |
| A-NÇ1    | SM          | 0,5  | 352    | 153    | 2,30  | 1,77                        | 0,38  | 414                  | 1147                 | 1641                 |
| A-NÇ1    | ML          | 0,7  | 392    | 188    | 2,09  | 1,78                        | 0,35  | 629                  | 1698                 | 1895                 |
| A-NÇ1    | SM          | 0,9  | 345    | 170    | 2,03  | 1,77                        | 0,34  | 511                  | 1370                 | 1424                 |
| A-NÇ1    | SM          | 1,1  | 290    | 160    | 1,81  | 1,76                        | 0,28  | 450                  | 1153                 | 878                  |
| A-NÇ1    | SM          | 1,3  | 365    | 190    | 1,92  | 1,77                        | 0,31  | 640                  | 1682                 | 1509                 |
| A-NÇ1    | SM          | 1,5  | 356    | 163    | 2,18  | 1,77                        | 0,37  | 471                  | 1287                 | 1617                 |
| A-NÇ1    | SM          | 1,7  | 310    | 153    | 2,03  | 1,76                        | 0,34  | 412                  | 1105                 | 1143                 |
| A-NÇ1    | SM          | 1,9  | 314    | 151    | 2,08  | 1,76                        | 0,35  | 402                  | 1085                 | 1202                 |
| A-NÇ1    | SM          | 2,1  | 384    | 176    | 2,18  | 1,78                        | 0,37  | 550                  | 1505                 | 1886                 |
| A-NÇ1    | SM          | 2,3  | 318    | 150    | 2,12  | 1,76                        | 0,36  | 397                  | 1077                 | 1254                 |

Çizelge 4.3. Yerinde yapılan penetrometre ve vane deney sonuçları

| Nokta No | Zemin Cinsi | Z (m) | Proktor skala | Vane skala | q <sub>u</sub> kg/cm <sup>2</sup> | c kg/cm <sup>2</sup> | θ °   | τ kg/cm <sup>2</sup> | σ kg/cm <sup>2</sup> |
|----------|-------------|-------|---------------|------------|-----------------------------------|----------------------|-------|----------------------|----------------------|
| I-NÇ1    | SM          | 0,1   |               | 25,1       |                                   |                      |       | 1,26                 |                      |
| I-NÇ1    | SM          | 0,45  | 23,2          | 25,1       | 2,51                              | 1,22                 | 1,62  | 1,26                 | 1,22                 |
| I-NÇ1    | SM          | 0,8   | 20,3          | 20         | 2,20                              | 0,70                 | 24,80 | 1,00                 | 0,64                 |
| I-NÇ1    | SM          | 1,15  | 21,2          | 23         | 2,30                              | 1,12                 | 1,49  | 1,15                 | 1,12                 |
| I-NÇ1    | SM          | 1,5   | 19,7          | 21,2       | 2,14                              | 0,94                 | 7,44  | 1,06                 | 0,93                 |
| I-NÇ1    | SM          | 1,85  | 23,3          | 15,8       | 2,53                              | 0,44                 | 51,33 | 0,79                 | 0,28                 |
| I-NÇ1    | SM          | 2,2   | 25,4          | 20         | 2,76                              | 0,59                 | 43,49 | 1,00                 | 0,43                 |
| I-NÇ1    | SM          | 2,55  | 42,8          | 22,4       | 2,80                              | 0,70                 | 36,87 | 1,12                 | 0,56                 |
| I-NÇ1    | ML          | 2,9   | 22,5          | 24         | 3,04                              | 0,74                 | 37,83 | 1,20                 | 0,59                 |
| I-NÇ1    | ML          | 3,25  | 25,8          | 27         | 4,64                              | 0,74                 | 54,46 | 1,35                 | 0,43                 |
| I-NÇ1    | ML          | 3,6   | 28            | 30         | 3,26                              | 1,08                 | 22,86 | 1,50                 | 1,00                 |
| I-NÇ1    | ML          | 3,95  | 88,7          | 44,8       | 4,65                              | 1,77                 | 15,39 | 1,70                 | 1,71                 |
| I-NÇ2    | SM          | 1,4   | 26,2          | 26,8       | 2,84                              | 1,00                 | 19,52 | 1,34                 | 0,95                 |
| I-NÇ2    | SM          | 1,7   | 31,2          | 24,9       | 3,39                              | 0,74                 | 42,66 | 1,25                 | 0,55                 |
| I-NÇ3    | SM          | 0,5   | 25,2          | 24         | 2,73                              | 0,81                 | 28,70 | 1,20                 | 0,71                 |
| I-NÇ3    | ML          | 0,8   | 24            | 18         | 2,60                              | 0,52                 | 46,30 | 0,90                 | 0,36                 |
| I-NÇ3    | ML          | 1     | 22,8          | 20         | 2,47                              | 0,63                 | 36,10 | 1,00                 | 0,51                 |
| I-NÇ4    | SM          | 1,1   | 44            | 20         | 2,66                              | 0,60                 | 41,13 | 1,00                 | 0,45                 |
| I-NÇ4    | SM          | 1,4   | 34,5          | 18,7       | 2,14                              | 0,63                 | 29,20 | 0,94                 | 0,55                 |
| I-NÇ4    | SM          | 1,7   | 34,2          | 14         | 2,06                              | 0,40                 | 47,28 | 0,70                 | 0,27                 |
| I-NÇ4    | SM          | 2     | 41            | 12         | 1,87                              | 0,34                 | 50,10 | 0,60                 | 0,22                 |
| I-NÇ4    | SM          | 2,3   | 28            | 14,5       | 1,69                              | 0,48                 | 30,89 | 0,73                 | 0,41                 |
| I-NÇ4    | SM          | 2,6   | 18,6          | 14,5       | 2,23                              | 0,73                 |       | 0,73                 | 0,56                 |
| I-NÇ4    | SM          | 2,9   | 20            | 10         | 1,81                              | 0,32                 | 34,05 | 0,50                 | 0,27                 |
| I-NÇ4    | SM          | 3,2   | 25            | 11         | 1,51                              | 0,33                 | 43,19 | 0,55                 | 0,24                 |
| I-NÇ4    | SM          | 3,5   | 41,5          | 14,4       | 2,50                              | 0,40                 | 54,90 | 0,72                 | 0,23                 |
| I-NÇ4    | SM          | 3,8   | 43,1          | 14         | 2,60                              | 0,38                 | 57,40 | 0,70                 | 0,20                 |
| I-NÇ5    | SM          | 1     | 31,2          | 33,7       | 3,39                              | 1,54                 | 5,58  | 1,69                 | 1,53                 |
| I-NÇ5    | SM          | 1,3   | 21            | 21,8       | 4,26                              | 0,84                 | 16,96 | 1,80                 | 0,81                 |
| I-NÇ5    | SM          | 1,6   | 19,1          | 20         | 3,20                              | 0,79                 | 15,24 | 1,30                 | 0,76                 |
| I-NÇ5    | SM          | 1,9   | 42,6          | 46,2       | 3,30                              | 2,23                 | 2,15  | 1,50                 | 2,22                 |
| I-NÇ5    | SM          | 2,2   | 44,6          | 51,5       | 4,84                              |                      |       | 2,58                 |                      |
| I-NÇ5    | SM          | 2,5   | 45,8          | 49,6       | 4,97                              | 2,33                 | 3,73  | 2,48                 | 2,32                 |
| I-NÇ6    | SM          | 0,8   | 27            | 24,4       | 2,93                              | 0,79                 | 33,62 | 1,22                 | 0,65                 |
| I-NÇ6    | SM          | 1,2   | 21,9          | 22         | 2,38                              | 0,80                 | 22,24 | 1,10                 | 0,74                 |
| I-NÇ6    | SM          | 1,6   | 33,1          | 18,8       | 3,59                              | 0,51                 | 58,44 | 0,94                 | 0,27                 |
| I-NÇ6    | SM          | 2     | 27,2          | 29,2       | 2,95                              | 1,27                 | 8,44  | 1,46                 | 1,26                 |
| I-NÇ6    | SM          | 2,4   | 24            | 25,7       | 2,60                              | 1,11                 | 9,36  | 1,29                 | 1,09                 |
| I-NÇ7    | ML          | 0,5   |               | 14         |                                   | 0,70                 |       | 0,70                 |                      |
| I-NÇ7    | ML          | 0,9   | 16,4          | 11,4       | 1,78                              | 0,32                 | 50,17 | 0,57                 | 0,21                 |
| I-NÇ7    | ML          | 1,3   | 16,6          | 15         | 1,80                              | 0,48                 | 33,63 | 0,75                 | 0,40                 |
| I-NÇ7    | ML          | 1,7   | 15,8          | 22,8       | 1,71                              | 1,14                 |       | 1,14                 | 0,86                 |
| I-NÇ7    | ML          | 2,1   | 26,4          | 12,8       | 1,59                              | 0,40                 | 36,54 | 0,64                 | 0,32                 |
| I-NÇ7    | ML          | 2,5   | 25,6          | 13,9       | 1,54                              | 0,48                 | 25,87 | 0,70                 | 0,44                 |
| I-NÇ7    | ML          | 2,9   | 19,5          | 17,5       | 2,12                              | 0,56                 | 34,22 | 0,88                 | 0,46                 |
| I-NÇ7    | SM          | 3,3   | 21,4          | 23,1       | 2,32                              | 1,05                 | 5,94  | 1,16                 | 1,04                 |
| I-NÇ7    | ML          | 3,7   | 19,8          | 18,8       | 2,15                              | 0,63                 | 28,97 | 0,94                 | 0,55                 |

Çizelge 4.3. (devam)

| Nokta No | Zemin Cinsi | Z (m) | Proktor skala | Vane skala | qu kg/cm <sup>2</sup> | c kg/cm <sup>2</sup> | θ °   | τ kg/cm <sup>2</sup> | σ kg/cm <sup>2</sup> |
|----------|-------------|-------|---------------|------------|-----------------------|----------------------|-------|----------------------|----------------------|
| I-NÇ7    | ML          | 4,1   | 21,3          | 20,4       | 2,31                  | 0,69                 | 28,06 | 1,02                 | 0,61                 |
| I-NÇ7    | ML          | 4,5   | 22,5          | 24,1       | 2,44                  | 1,04                 | 9,27  | 1,21                 | 1,02                 |
| I-NÇ8    | SM          | 0,4   | 40,6          |            | 1,50                  |                      |       |                      |                      |
| I-NÇ8    | SM          | 0,7   | 31            | 33         | 2,30                  | 1,38                 | 11,22 | 1,10                 | 1,35                 |
| I-NÇ8    | SM          | 1     | 24,9          |            | 2,00                  |                      |       |                      |                      |
| I-NÇ8    | SM          | 3,4   | 38,7          | 42         | 2,40                  | 2,10                 | 12,10 | 1,20                 | 2,10                 |
| I-NÇ8    | SM          | 3,7   | 43,1          | 45         | 3,50                  | 1,77                 | 15,84 | 1,50                 | 1,70                 |
| Y-NÇ1    | ML          | 1,25  | 55            | 59,5       | 5,97                  | 2,76                 | 4,6   | 2,97                 | 2,75                 |
| Y-NÇ1    | ML          | 1,5   | 60            | 65         | 6,51                  | 3,07                 | 3,4   | 3,25                 | 3,06                 |
| Y-NÇ1    | SM          | 1,75  | 45            | 36,3       | 4,88                  | 1,09                 | 42,0  | 1,81                 | 0,81                 |
| Y-NÇ1    | SM          | 2     | 47,5          | 44         | 5,16                  | 1,45                 | 31,4  | 2,2                  | 1,23                 |
| Y-NÇ1    | SM          | 2,25  | 48            | 45         | 5,21                  | 1,50                 | 30,2  | 2,25                 | 1,29                 |
| Y-NÇ1    | SM          | 2,5   | 47            | 42         | 5,10                  | 1,34                 | 34,6  | 2,1                  | 1,1                  |
| Y-NÇ1    | SM          | 2,75  | 44,2          | 40         | 4,80                  | 1,29                 | 33,5  | 2                    | 1,07                 |
| Y-NÇ1    | SM          | 3     | 48            | 43         | 5,21                  | 1,37                 | 34,4  | 2,15                 | 1,13                 |
| Y-NÇ1    | GC          | 3,25  | 61            | 54         | 6,62                  | 1,71                 | 35,3  | 2,7                  | 1,4                  |
| Y-NÇ1    | ML          | 3,5   | 50,3          | 53         | 5,46                  | 2,14                 | 13,9  | 2,65                 | 2,08                 |
| Y-NÇ1    | SM          | 3,75  | 35            | 33         | 3,80                  | 1,10                 | 29,7  | 1,65                 | 0,96                 |
| Y-NÇ1    | SM          | 4     | 33,2          | 30         | 3,60                  | 0,97                 | 33,6  | 1,5                  | 0,8                  |
| Y-NÇ2    | GC          | 0,45  | 50            | 49         | 5,43                  | 1,71                 | 25,4  | 2,45                 | 1,55                 |
| Y-NÇ2    | ML          | 0,7   | 62            | 67         | 6,73                  | 3,07                 | 5,3   | 3,35                 | 3,05                 |
| Y-NÇ2    | SM          | 0,95  | 45,4          | 46         | 4,93                  | 1,69                 | 21,0  | 2,3                  | 1,58                 |
| Y-NÇ2    | SM          | 1,2   | 35            | 36         | 3,80                  | 1,36                 | 18,6  | 1,8                  | 1,29                 |
| Y-NÇ2    | ML          | 1,45  | 60            | 64         | 6,51                  | 2,70                 | 10,6  | 3,2                  | 2,66                 |
| Y-NÇ2    | ML          | 1,7   | 66            | 70         | 7,16                  | 2,89                 | 12,2  | 3,5                  | 2,82                 |
| Y-NÇ2    | SM          | 1,95  | 44,5          | 44         | 4,83                  | 1,56                 | 24,3  | 2,2                  | 1,42                 |
| Y-NÇ2    | SM          | 2,2   | 35            | 34         | 3,80                  | 1,18                 | 26,5  | 1,7                  | 1,05                 |
| Y-NÇ2    | SM          | 2,45  | 38,4          | 35         | 4,17                  | 1,13                 | 32,9  | 1,75                 | 0,95                 |
| Y-NÇ2    | GC          | 2,7   | 60            | 64         | 6,51                  | 2,70                 | 10,6  | 3,2                  | 2,66                 |
| Y-NÇ2    | GC          | 2,95  | 61            | 65,5       | 6,62                  | 2,86                 | 8,3   | 3,2                  | 2,83                 |
| Y-NÇ2    | SM          | 3,2   | 40,5          | 43         | 4,40                  | 1,78                 | 12,0  | 2,15                 | 1,74                 |
| A-NÇ1    | SM          | 0,1   | 32,5          | 30         | 3,53                  | 0,98                 | 31,7  | 1,5                  | 0,84                 |
| A-NÇ1    | SM          | 0,3   | 30            | 31         | 3,26                  | 1,19                 | 17,8  | 1,55                 | 1,13                 |
| A-NÇ1    | SM          | 0,5   | 31            | 33         | 3,36                  | 1,38                 | 11,2  | 1,65                 | 1,35                 |
| A-NÇ1    | ML          | 0,7   | 48,2          | 39         | 5,23                  | 1,17                 | 41,8  | 1,95                 | 0,87                 |
| A-NÇ1    | SM          | 0,9   | 36            | 37         | 3,91                  | 1,4                  | 18,7  | 1,85                 | 1,33                 |
| A-NÇ1    | SM          | 1,1   | 31            | 32         | 3,36                  | 1,22                 | 18    | 1,6                  | 1,16                 |
| A-NÇ1    | SM          | 1,3   | 47,3          | 36         | 5,13                  | 1,05                 | 45,5  | 1,8                  | 0,74                 |
| A-NÇ1    | SM          | 1,5   | 33            | 35         | 3,58                  | 1,44                 | 12,2  | 1,75                 | 1,41                 |
| A-NÇ1    | SM          | 1,7   | 28            | 29         | 3,04                  | 1,12                 | 17,4  | 1,45                 | 1,07                 |
| A-NÇ1    | SM          | 1,9   | 25            | 25         | 2,71                  | 0,9                  | 22,9  | 1,25                 | 0,83                 |
| A-NÇ1    | SM          | 2,1   | 30,5          | 27         | 3,31                  | 0,86                 | 35,3  | 1,35                 | 0,7                  |
| A-NÇ1    | SM          | 2,3   | 25            | 23         | 2,71                  | 0,75                 | 32    | 1,15                 | 0,64                 |

Çizelge 4.4. Zemin mekaniği laboratuvar deney sonuçları

| Nokta No | Zemin Cinsi | Z m  | Çakıl % | Kum % | Kil+Silt % | WL % | WP % | Wn % | Vp m/s | Vs m/s |
|----------|-------------|------|---------|-------|------------|------|------|------|--------|--------|
| I-NÇ1    | SM          | 2,55 | 13      | 66    | 21         |      |      | 8    | 317    | 221    |
| I-NÇ1    | ML          | 2,9  | 15      | 53    | 32         |      |      | 10   | 340    | 207    |
| I-NÇ1    | ML          | 3,6  | 12      | 28    | 60         |      |      | 12   | 335    | 222    |
| I-NÇ2    | SM          | 1,1  | 10      | 52    | 38         |      |      | 10   | 375    | 228    |
| I-NÇ4    | SM          | 3,5  | 13      | 74    | 13         |      |      | 12   | 321    | 191    |
| I-NÇ4    | SM          | 3,8  | 12      | 62    | 26         |      |      | 13   | 341    | 145    |
| I-NÇ6    | SM          | 2    | 18      | 66    | 16         |      |      | 13   | 223    | 154    |
| I-NÇ7    | SM          | 3,3  | 17      | 51    | 32         |      |      | 10   | 235    | 160    |
| I-NÇ7    | ML          | 4,5  | 5       | 42    | 53         |      |      | 4    | 400    | 270    |
| I-NÇ8    | SM          | 1    | 15      | 62    | 23         |      |      | 16   | 254    | 160    |
| I-NÇ8    | SM          | 3,7  | 7       | 55    | 38         |      |      | 18   | 400    | 235    |
| Y-NÇ1    | ML          | 1,25 | 19,5    | 29,4  | 51,1       | 43   | 20   | 3,5  | 564    | 320    |
| Y-NÇ1    | ML          | 1,5  | 19,5    | 11    | 69,5       | 41   | 20   | 3,85 | 590    | 335    |
| Y-NÇ1    | SM          | 1,75 | 6       | 61    | 33         | 37   | 20   | 6,46 | 530    | 310    |
| Y-NÇ1    | SM          | 2    | 4       | 58,5  | 37,5       | 33   | 24,5 | 7,78 | 520    | 300    |
| Y-NÇ1    | SM          | 2,25 | 10      | 46,5  | 43,5       | 34   | 21,5 | 6,56 | 545    | 315    |
| Y-NÇ1    | SM          | 2,5  | 9       | 53,5  | 37,5       | 29   | 21   | 7,46 | 537    | 310    |
| Y-NÇ1    | SM          | 2,75 | 10      | 58    | 32         | 32   | 20   | 8,47 | 550    | 320    |
| Y-NÇ1    | SM          | 3    | 14,5    | 46    | 39,5       | 29   | 20   | 7,6  | 555    | 326    |
| Y-NÇ1    | GC          | 3,25 | 64      | 25    | 11         | 32   | 21,5 | 6,3  | 610    | 342    |
| Y-NÇ1    | ML          | 3,5  | 12,5    | 26,5  | 61,2       | 30   | 18,5 | 5,6  | 550    | 321    |
| Y-NÇ1    | SM          | 3,75 | 2,5     | 73,5  | 24         | 33   | 22   | 8,43 | 560    | 330    |
| Y-NÇ1    | SM          | 4    | 1,5     | 77,5  | 21         | 32   | 21,5 | 15,1 | 545    | 318    |
| Y-NÇ2    | GC          | 0,45 | 47      | 33    | 20         | 45   | 20   | 2,42 | 540    | 310    |
| Y-NÇ2    | ML          | 0,7  | 36      | 4,5   | 59,5       | 38   | 23   | 2,8  | 575    | 330    |
| Y-NÇ2    | SM          | 0,95 | 21,5    | 42,8  | 35,7       | 33   | 24,5 | 2,9  | 542    | 318    |
| Y-NÇ2    | SM          | 1,2  | 3,5     | 77    | 19,5       | 34   | 27   | 12   | 520    | 300    |
| Y-NÇ2    | ML          | 1,45 | 23      | 33,5  | 43,5       | 43   | 21,5 | 2,95 | 570    | 336    |
| Y-NÇ2    | ML          | 1,7  | 35      | 5     | 60         | 41   | 18   | 2,14 | 610    | 350    |
| Y-NÇ2    | SM          | 1,95 | 3,5     | 61,5  | 35         | 35   | 21   | 3,39 | 560    | 321    |
| Y-NÇ2    | SM          | 2,2  | 5       | 73,5  | 21,5       | 34   | 20   | 3,4  | 550    | 322    |
| Y-NÇ2    | SM          | 2,45 | 7       | 71,5  | 21,5       | 34   | 20,5 | 2,83 | 540    | 320    |
| Y-NÇ2    | GC          | 2,7  | 51,5    | 12,5  | 36         | 37   | 16   | 2,66 | 620    | 356    |
| Y-NÇ2    | GC          | 2,95 | 49,5    | 15,7  | 35         | 36   | 23,5 | 2,75 | 600    | 345    |
| Y-NÇ2    | SM          | 3,2  | 11,5    | 47,8  | 40,7       | 34   | 20   | 10,5 | 525    | 305    |
| A-NÇ1    | SM          | 0,1  | 2,5     | 70,5  | 27         | 38   | 23,5 | 7    | 350    | 155    |
| A-NÇ1    | SM          | 0,3  | 2,5     | 70    | 27,5       | 38   | 23   | 7    | 355    | 150    |
| A-NÇ1    | SM          | 0,5  | 3       | 70,5  | 27         | 38   | 24   | 8    | 352    | 153    |
| A-NÇ1    | ML          | 0,7  | 1       | 47,5  | 51,5       | 42   | 20   | 5,3  | 392    | 188    |
| A-NÇ1    | SM          | 0,9  | 0,5     | 65,5  | 34         | 30   | 19,5 | 11,7 | 345    | 170    |
| A-NÇ1    | SM          | 1,1  | 0       | 86    | 14         | 38   | 18,5 | 10,7 | 290    | 160    |
| A-NÇ1    | SM          | 1,3  | 6,7     | 51,3  | 42         | 33   | 22,5 | 7    | 365    | 190    |
| A-NÇ1    | SM          | 1,5  | 3,5     | 53,5  | 43         | 34   | 19   | 12,3 | 356    | 163    |
| A-NÇ1    | SM          | 1,7  | 1,8     | 70,6  | 27,5       | 34   | 18,5 | 13,5 | 310    | 153    |
| A-NÇ1    | SM          | 1,9  | 2       | 71    | 27         | 38   | 17,5 | 4,5  | 314    | 151    |
| A-NÇ1    | SM          | 2,1  | 0,5     | 55    | 44,5       | 37   | 20,5 | 5    | 384    | 176    |
| A-NÇ1    | SM          | 2,3  | 0,2     | 65,8  | 34         | 35   | 21   | 12,2 | 318    | 150    |

Arazide, araştırma çukurları ve dik yarmalarda yapılan, sismik karşıt kuyu tekniği, yaklaşık 4-4,5m derinlik boyunca eşit aralıklarla dizilen 12 adet alıcının(jeofon) her birinin 3m karşısına sırasıyla yerleştirilen kaynaklardan elde edilen sismik dalgaların kayıt edilmesi şeklinde uygulanmıştır. Ayrıca, derine doğru sıralanan her alıcının(jeofon) bulunduğu yerden ve yatay hizasından yaklaşık 10 farklı noktada vane ve proktor penetrometre deneyleri yapılarak, elde edilen skala değerlerinin ortalaması alınmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, arazide 11 farklı araştırma çukurundan ve dik yarmalardan elde edilen veriler ile her alıcının(jeofon) bulunduğu yerdeki sismik hızlar, normal gerilme, kayma gerilmesi, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.3) ve araziden alınan örnek numunelere, laboratuvarında yapılan, elek analizi ve kıvam limitleri deneyleri sonucunda her bir kuyunun derinlik boyunca zemin profili belirlenmiştir (Şekil 4.3-Şekil 4.13 arasındakiler). Ayrıca, Isparta bölgesinde çalışılan 8 noktada, daha önce Elmasdere (2008) tarafından yapılan, dinamik penetrasyon deney sonuçları Şekil 4.3 ile Şekil 4.10 arasındaki şekillerde sunulmuştur. Yapılan tüm bu çalışmalar ve değerlendirmeler sonucunda, Isparta bölgesinde bulunan;

I-NÇ1 kuyusunun; zemin türünün, 2,5m derinliğe kadar, killi, siltli, kumlu pomza, 2,5m den sonra çakıllı, kumlu, kil olduğu görülmüştür (Şekil 4.3). Ayrıca Şekil 4.3’de sismik hızlar, kohezyon, normal gerilme, kayma gerilmesi ve dinamik penetrasyon değerlerinde derinlik boyunca meydana gelen değişimler grafikler halinde gösterilmiştir.

I-NÇ2 kuyusunun; zemin türünün, 1,5m derinliğe kadar, az pomzalı, killi, siltli, kum, 1,5m den sonra pomza olduğu görülmüştür (Şekil 4.4). Ayrıca Şekil 4.4’de sismik hızlar, kohezyon, normal gerilme, kayma gerilmesi ve dinamik penetrasyon değerlerinde derinlik boyunca meydana gelen değişimler grafikler halinde gösterilmiştir.

I-NÇ3 kuyusunun; zemin türünün, 1,5m derinliğe kadar, siltli, kumlu, kil, 1,5m den sonra pomza olduğu görülmüştür (Şekil 4.5). Ayrıca Şekil 4.5’de sismik hızlar, kohezyon, normal gerilme, kayma

gerilmesi ve dinamik penetrasyon değerlerinde derinlik boyunca meydana gelen değişimler grafikler halinde gösterilmiştir.

I-NÇ4 kuyusunun; zemin türünün, siltli, kum olduğu görülmüştür (Şekil 4.6). Ayrıca Şekil 4.6’da sismik hızlar, kohezyon, normal gerilme, kayma gerilmesi ve dinamik penetrasyon değerlerinde derinlik boyunca meydana gelen değişimler grafikler halinde gösterilmiştir.

I-NÇ5 kuyusunun; zemin türünün, 2m derinliğe kadar, killi, siltli, kum, 2m den sonra pomza olduğu görülmüştür (Şekil 4.7). Ayrıca Şekil 4.7’de sismik hızlar, kohezyon, normal gerilme, kayma gerilmesi ve dinamik penetrasyon değerlerinde derinlik boyunca meydana gelen değişimler grafikler halinde gösterilmiştir.

I-NÇ6 kuyusunun; zemin türünün, 2,5m derinliğe kadar, killi, siltli, kum, 2,5m den sonra pomza olduğu görülmüştür (Şekil 4.8). Ayrıca Şekil 4.8’de sismik hızlar, kohezyon, normal gerilme, kayma gerilmesi ve dinamik penetrasyon değerlerinde derinlik boyunca meydana gelen değişimler grafikler halinde gösterilmiştir.

I-NÇ7 kuyusunun; zemin türünün, kumlu kil, olduğu görülmüştür (Şekil 4.9). Ayrıca Şekil 4.9’da sismik hızlar, kohezyon, normal gerilme, kayma gerilmesi ve dinamik penetrasyon değerlerinde derinlik boyunca meydana gelen değişimler grafikler halinde gösterilmiştir.

I-NÇ8 kuyusunun; zemin türünün, 1m derinliğe kadar, killi, siltli, kum, 1-3,5m arası pomza, 3,5m den sonra killi, siltli, kum olduğu görülmüştür (Şekil 4.10). Ayrıca Şekil 4.10’da sismik hızlar, kohezyon, normal gerilme, kayma gerilmesi ve dinamik penetrasyon değerlerinde derinlik boyunca meydana gelen değişimler grafikler halinde gösterilmiştir.

Yalvaç bölgesinde bulunan;

Y-NÇ1 kuyusunun; zemin türünün, 0,5m derinliğe kadar, bitkisel toprak, 0,5-1,5m arası killi, çakıllı, kum, 1,5-3,5m arası kumlu, kil, 3,5m den sonra çakıllı, kum olduğu görülmüştür(Şekil 4.11). Ayrıca, Şekil 4.11’de sismik hızlar, kohezyon, normal gerilme, kayma gerilmesi değerlerinde derinlik boyunca meydana gelen değişimler grafikler halinde gösterilmiştir.

Y-NÇ2 kuyusunun; zemin türünün, 0,5m derinliğe kadar, bitkisel toprak, 0,5m den sonra kum, çakıl bantlı kil olduğu görülmüştür(Şekil 4.12). Ayrıca Şekil 4.12’de sismik hızlar, kohezyon, normal gerilme, kayma gerilmesi değerlerinde derinlik boyunca meydana gelen değişimler grafikler halinde gösterilmiştir.

Ağlasun bölgesinde bulunan;

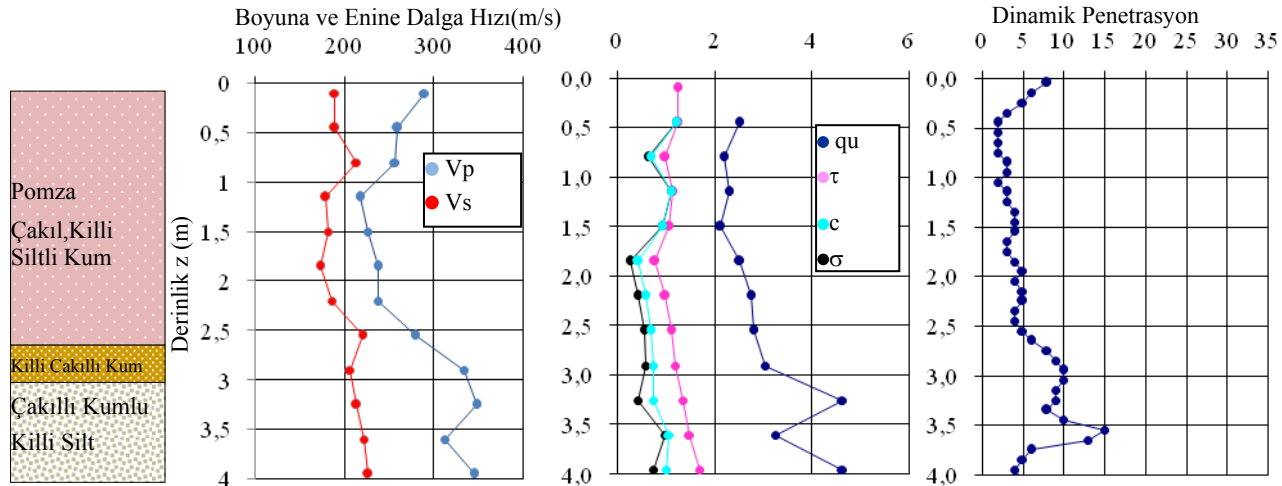
A-NÇ1 kuyusunun; zemin türünün, killi, kum olduğu görülmüştür (Şekil 4.13). Ayrıca Şekil 4.13’de sismik hızlar, kohezyon, normal gerilme, kayma gerilmesi değerlerinde derinlik boyunca meydana gelen değişimler grafikler halinde gösterilmiştir.

Çalışma yapılan alanlarda yerinde yapılan deneyler ve kuyu içi sismiği ile zemin profilleri tabakalar halinde belirlenmiştir. Belirlenen bu tabakalar, laboratuarda yapılan deneyler ile sınıflandırılmıştır ve SM, ML, GC gibi simgeler ile adlandırılmıştır. Bu simgeler, aşağıdaki gibi tanımlanır.

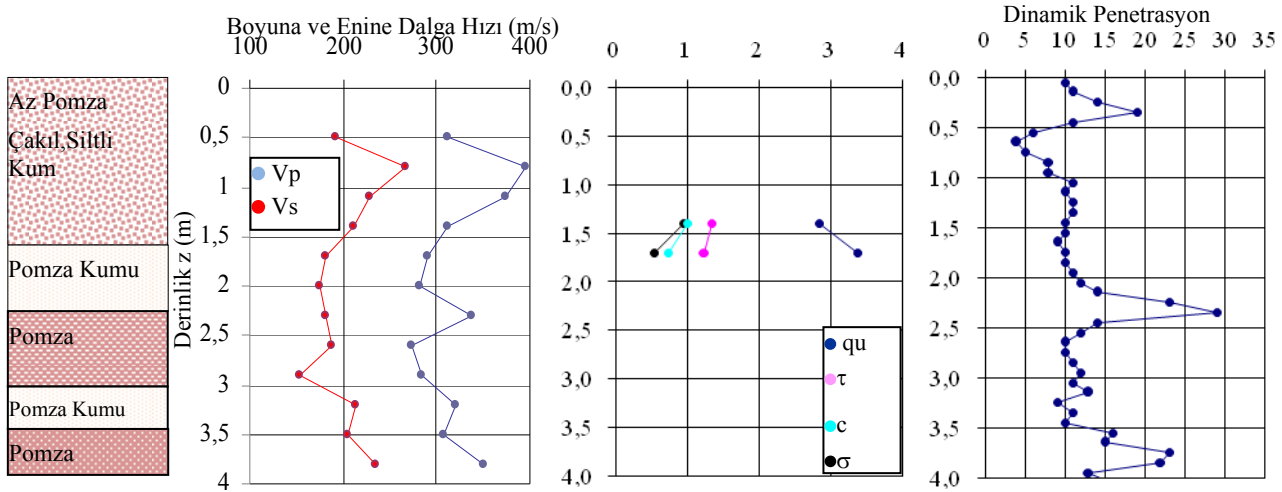
SM: Killi-Siltli kumlar,

ML: İnorganik kil-silt ve çok ince kumlar

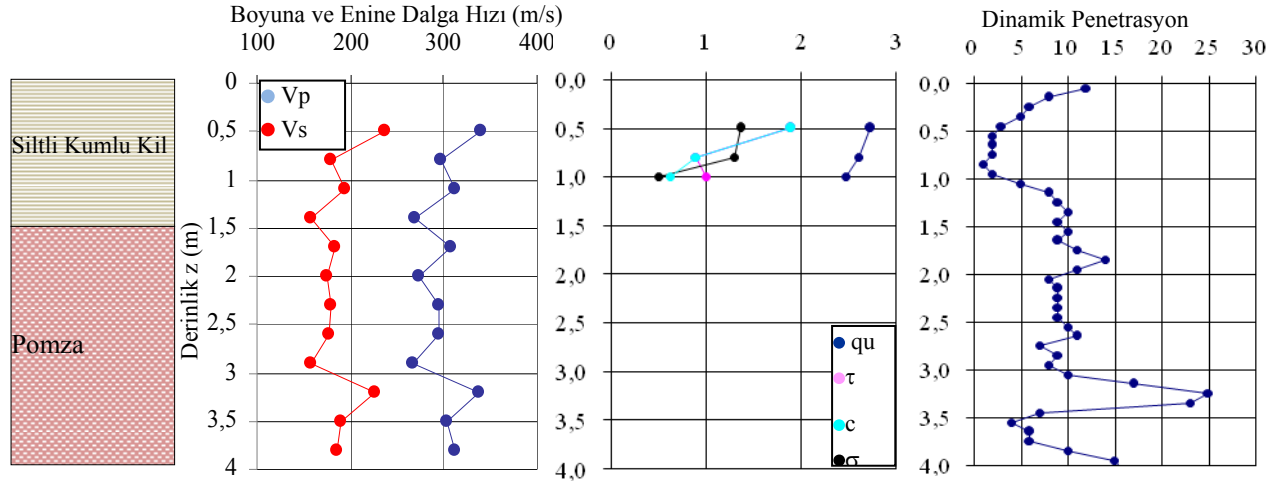
GC: Killi çakıllar



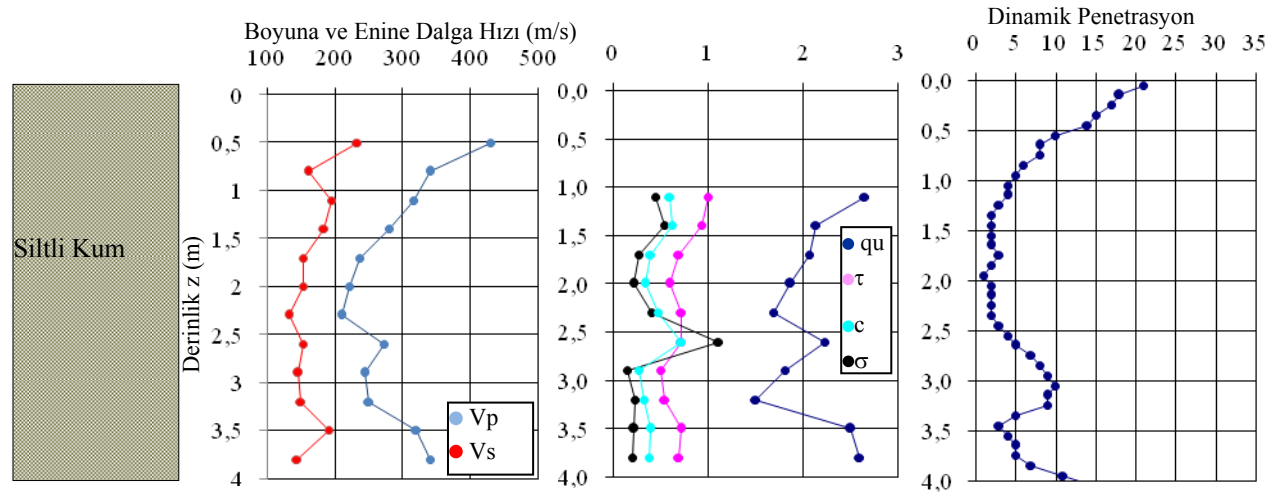
Şekil 4.3. I-NÇ1 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu, vane-penetrometre ve dinamik penetrasyon değerlendirme Sonuçları



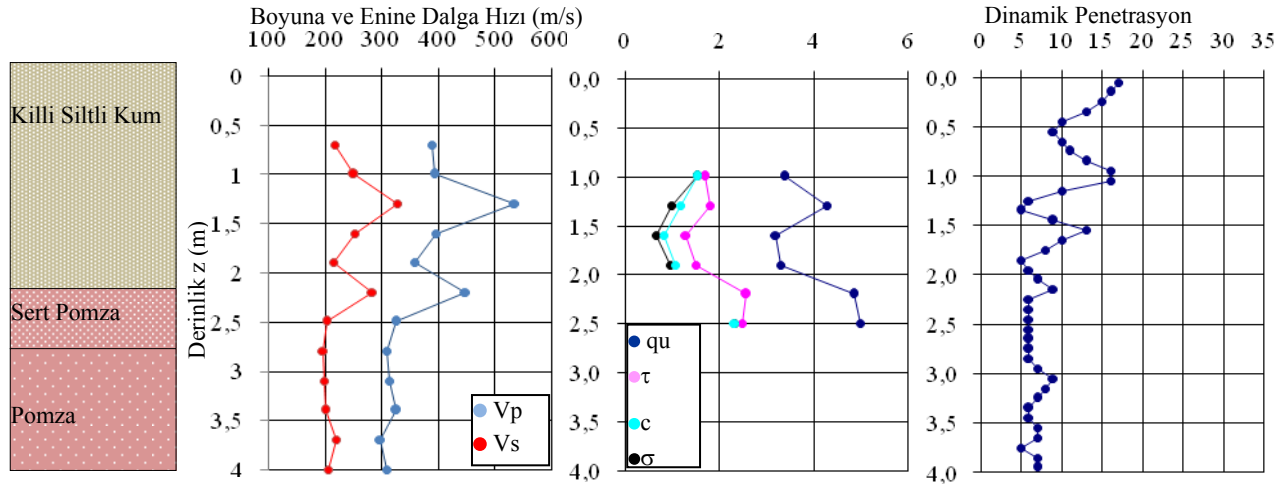
Şekil 4.4. I-NÇ2 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu, vane-penetrometre ve dinamik penetrasyon değerlendirme sonuçları



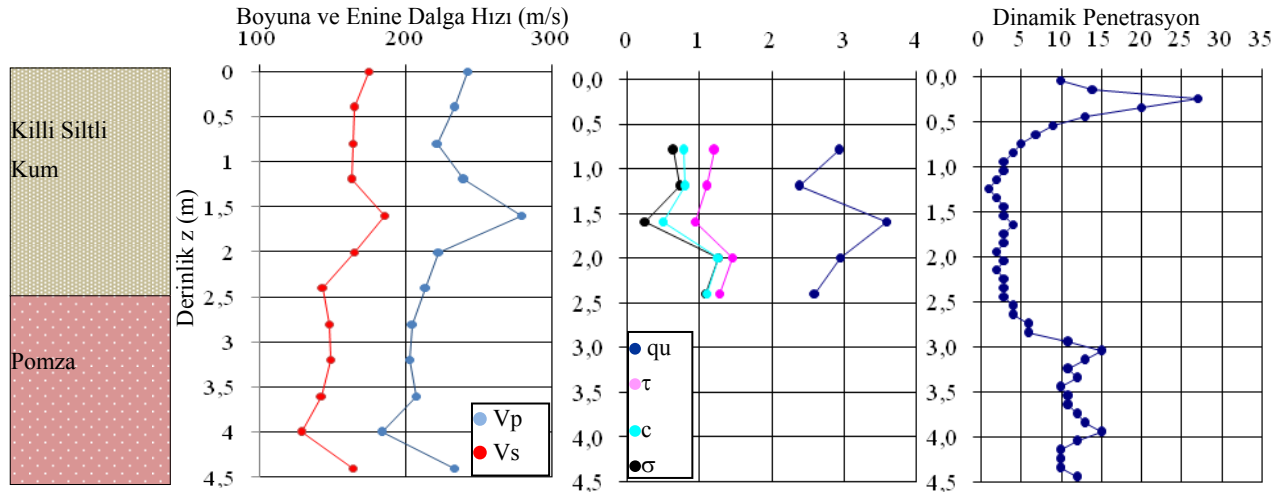
Şekil 4.5. I-NÇ3 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu,vane-penetrometre ve dinamik penetrasyon değerlendirme sonuçları



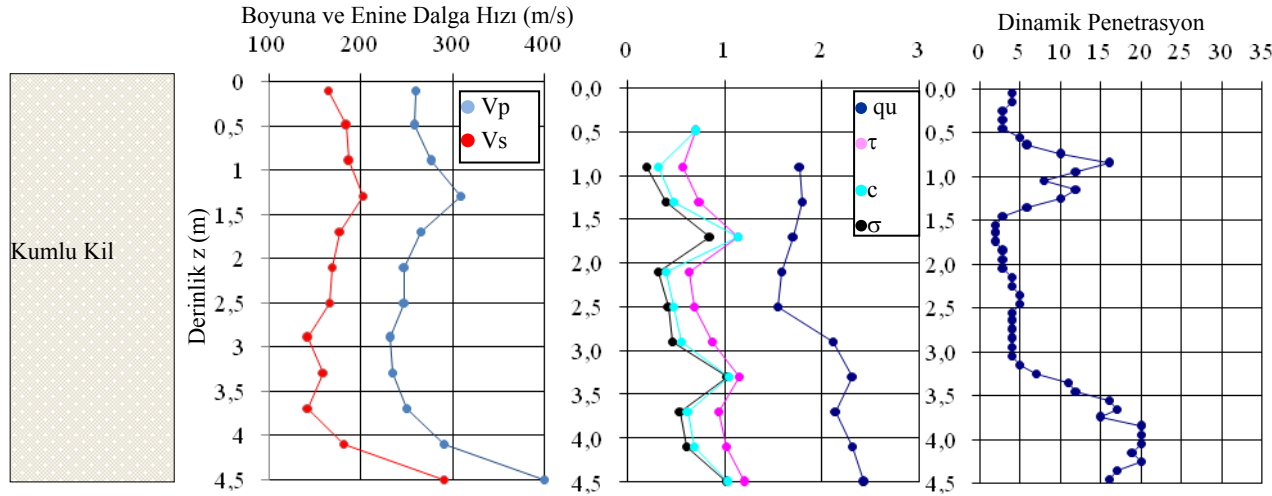
Şekil 4.6. I-NÇ4 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu,vane-penetrometre ve dinamik penetrasyon değerlendirme sonuçları



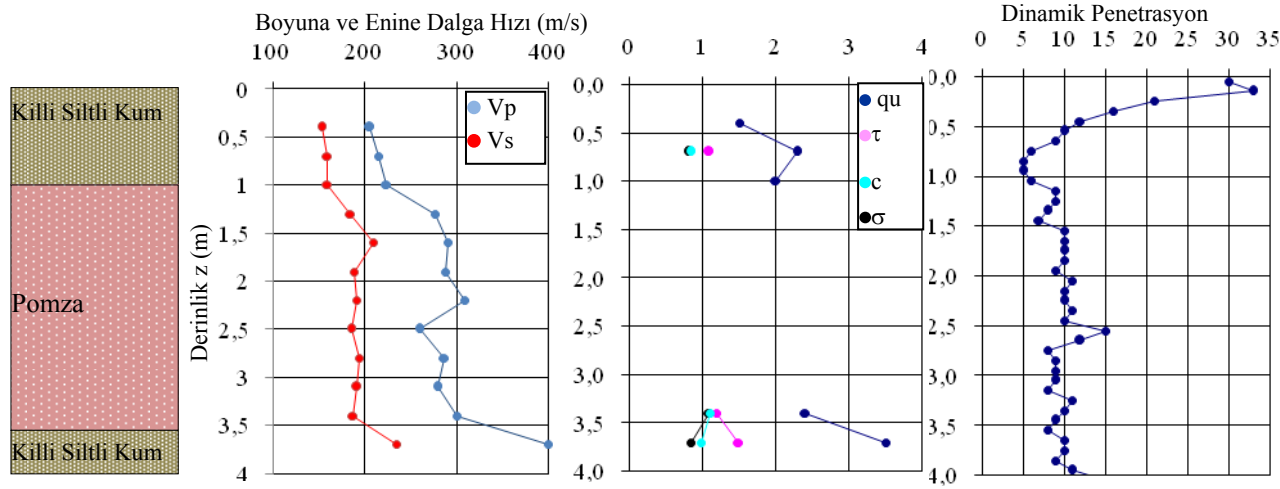
Şekil 4.7. I-NÇ5 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu,vane-penetrometre ve dinamik penetrasyon değerlendirme sonuçları



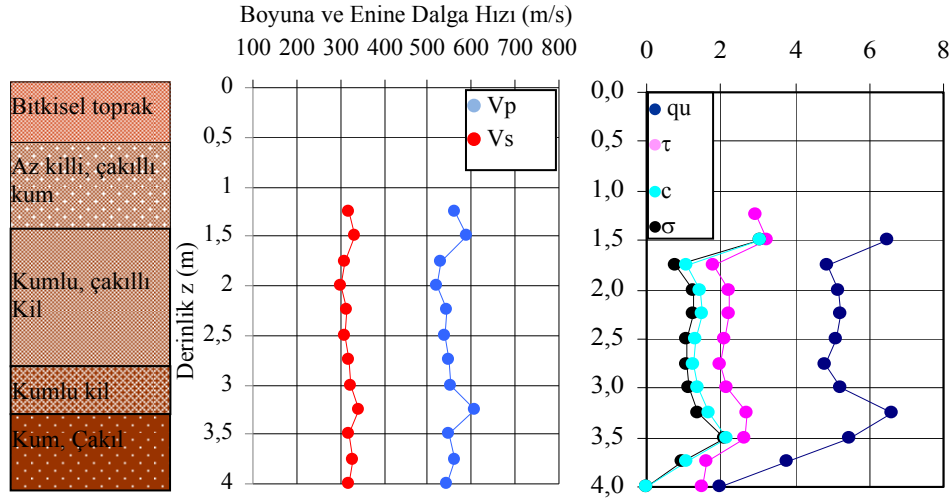
Şekil 4.8. I-NÇ6 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu,vane-penetrometre ve dinamik penetrasyon değerlendirme sonuçları



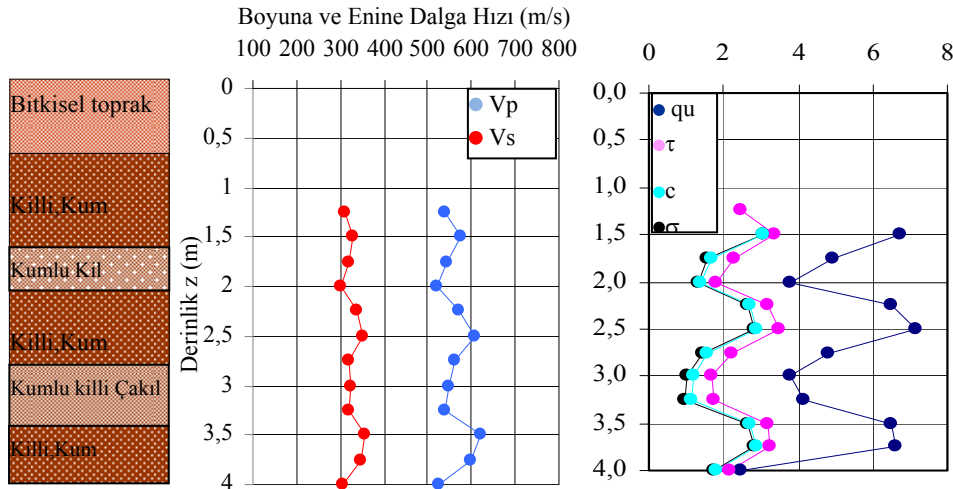
Şekil 4.9. I-NÇ7 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu,vane-penetrometre ve dinamik penetrasyon değerlendirme Sonuçları



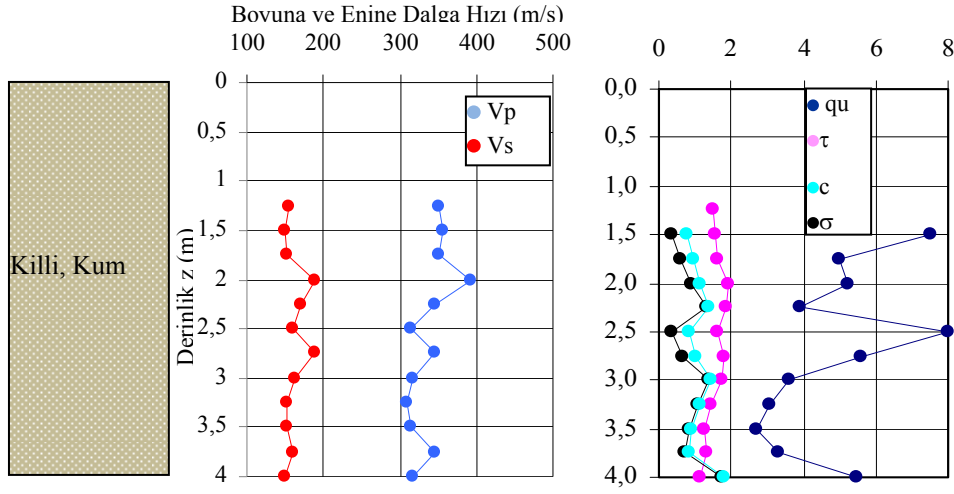
Şekil 4.10. I-NÇ8 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu,vane-penetrometre ve dinamik penetrasyon değerlendirme sonuçları



Şekil 4.11. Y-NÇ1 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu ve vane-penetrometre değerlendirme sonuçları



Şekil 4.12. Y-NÇ2 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu ve vane-penetrometre değerlendirme sonuçları

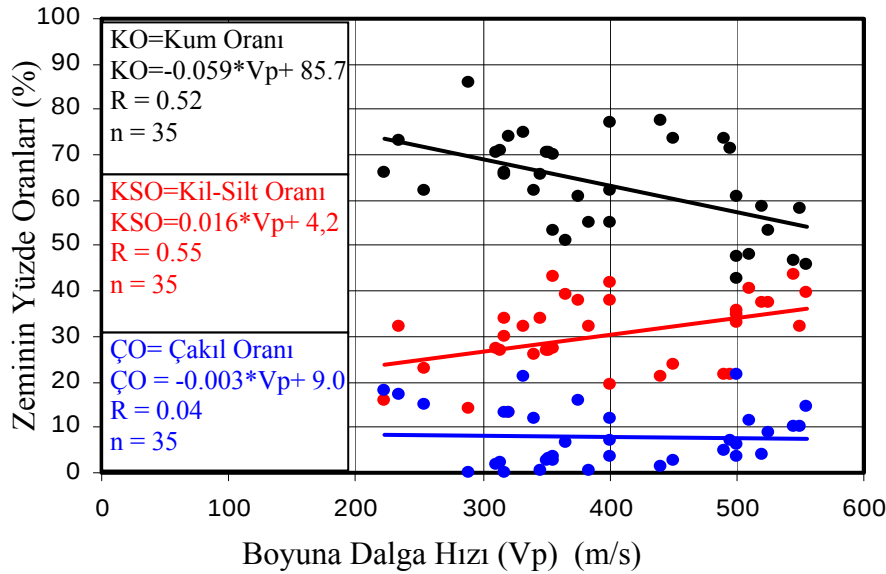


Şekil 4.13. A-NÇ1 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu ve vane-penetrometre değerlendirme sonuçları

#### 4.4. Sismik Hızlar ile Zemin Mekaniği Laboratuvar Sonuçlarının İlişkilendirmeleri

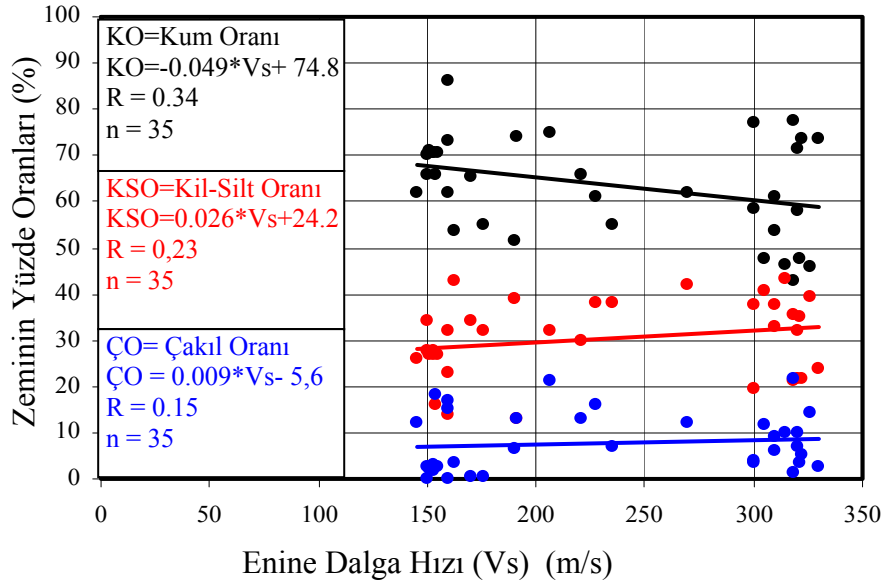
##### 4.4.1. Kum Ortamda, Zeminin Yüzde Oranları İle Sismik Hızlar Arasındaki İlişki

Şekil 4.14’de zeminin yüzde oranları (zemindeki çakıl, kum ve kil’in yüzde oranları) ile boyuna dalga hızı (Vp) arasındaki ilişki görülmektedir. Kumlu ortamda (kum oranı fazla olan zemin), kum miktarının azalması ile boyuna dalga hızının (Vp) arttığı görülmüştür. Bu, kohezyonsuz olan kumun oluşturduğu boşlukların, kil veya silt ile dolduğu şeklinde açıklanabilir, çünkü kumlu ortamda kil-silt miktarının artması ile boyuna dalga hızının arttığı, çakıl miktarı ile boyuna dalga hızı arasında bir ilişki olmadığı görülmüştür (Şekil 4.14).



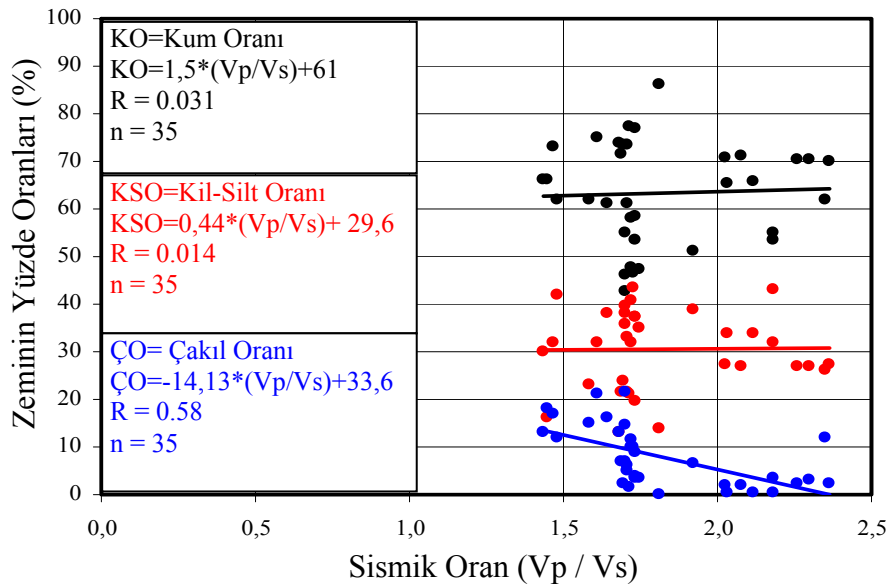
Şekil 4.14. Kum ortamda, zeminin yüzde oranları – Boyuna dalga hızı ilişkisi

Şekil 4.15’de zeminin yüzde oranları (zemindeki çakıl, kum ve kil’in yüzde oranları) ile enine dalga hızı (Vs) arasındaki ilişki görülmektedir. Kumlu ortamda, kum miktarının azalması ile enine dalga hızının (Vs) arttığı görülmüştür. Bu, kohezyonsuz olan kumun oluşturduğu boşlukların, kil veya silt ile dolduğu şeklinde açıklanabilir, çünkü kumlu ortamda kil-silt miktarının artması ile enine dalga hızının arttığı, çakıl miktarı ile enine dalga hızı arasında bir ilişki olmadığı görülmüştür (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Kum ortamda, zeminin yüzde oranları – Enine dalga hızı ilişkisi

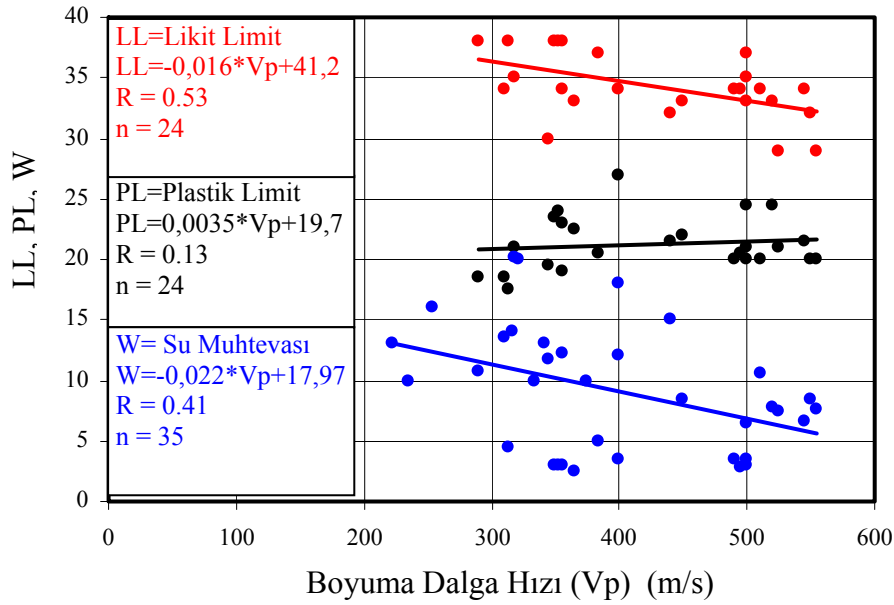
Şekil 4.16’da zeminin yüzde oranları ile ( $V_p/V_s$ ) arasındaki ilişki görülmektedir. Kumlu ortamda, kum veya kil-silt miktarı ile ( $V_p/V_s$ ) arasında bir ilişkinin olmadığı görülmüştür. Ancak, çakıl miktarının azalması ile ( $V_p/V_s$ ) oranının arttığı görülmüştür. Bu durum, çakıl taneleri arasındaki hava boşluklarında, enine dalga hızının ( $V_s$ ) yayılmaması sonucu değerinin düşmesi, her ortamda yayılan boyuna dalga hızının ( $V_p$ ) ise değerinin artması, şeklinde açıklanabilir.



Şekil 4.16. Kum ortamda, zeminin yüzde oranları – Sismik oran ilişkisi

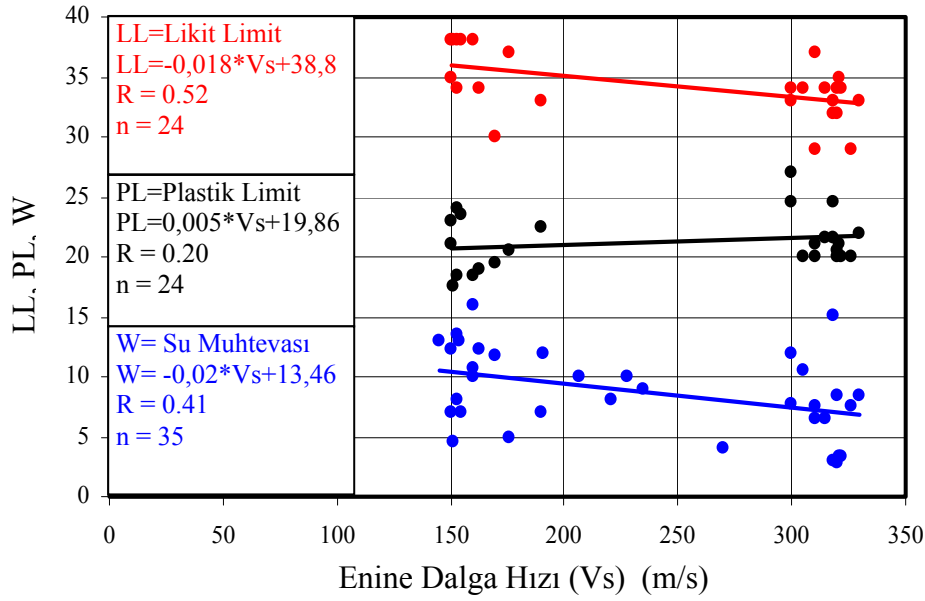
#### 4.4.2. Kum Ortamda, Likit Limit, Plastik Limit ve Su Muhtevası ile Sismik Hızlar Arasındaki İlişki

Şekil 4.17’de, likit limit, plastik limit ve su muhtevası ile boyuna dalga hızı ( $V_p$ ) arasındaki ilişki görülmektedir. Kumlu ortamda, zeminin plastiklik özelliğinin artması ile boyuna dalga hızının arttığı görülmüştür. Aynı şekilde, zeminin sıvılaşıma özelliğinin azalması ile boyuna dalga hızının ( $V_p$ ) arttığı görülmüştür. Bu durum, kohezyonsuz olan kum taneleri arasındaki boşlukların, su ile dolduğu şeklinde açıklanabilir, çünkü doğal su muhtevasının azalması ile boyuna dalga hızının arttığı, görülmüştür (Şekil 4.17).



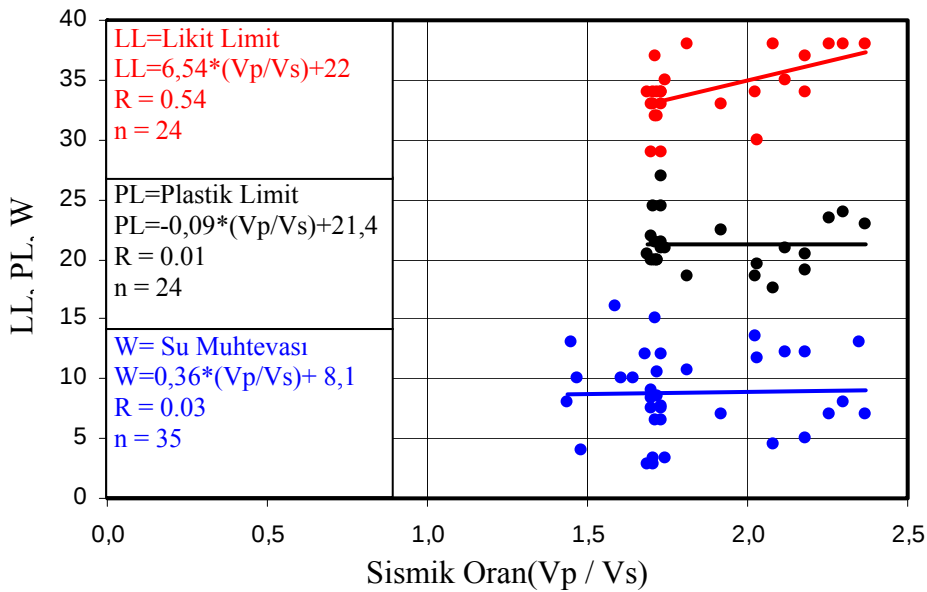
Şekil 4.17. Kum ortamda, likit limit (LL), plastik limit (PL), su muhtevası (W)- Boyuna dalga hızı ilişkisi

Şekil 4.18’ de, likit limit, plastik limit ve su muhtevası ile enine dalga hızı ( $V_s$ ) arasındaki ilişki görülmektedir. Kumlu ortamda, zeminin plastiklik özelliğinin artması ile enine dalga hızının arttığı görülmüştür. Aynı şekilde, zeminin likitlik özelliğinin azalması ile enine dalga hızının ( $V_s$ ) arttığı görülmüştür. Bu durum, kohezyonsuz olan kum taneleri arasındaki boşlukların, su ile dolduğu şeklinde açıklanabilir, çünkü doğal su muhtevasının azalması ile enine dalga hızının arttığı, görülmüştür (Şekil 4.18).



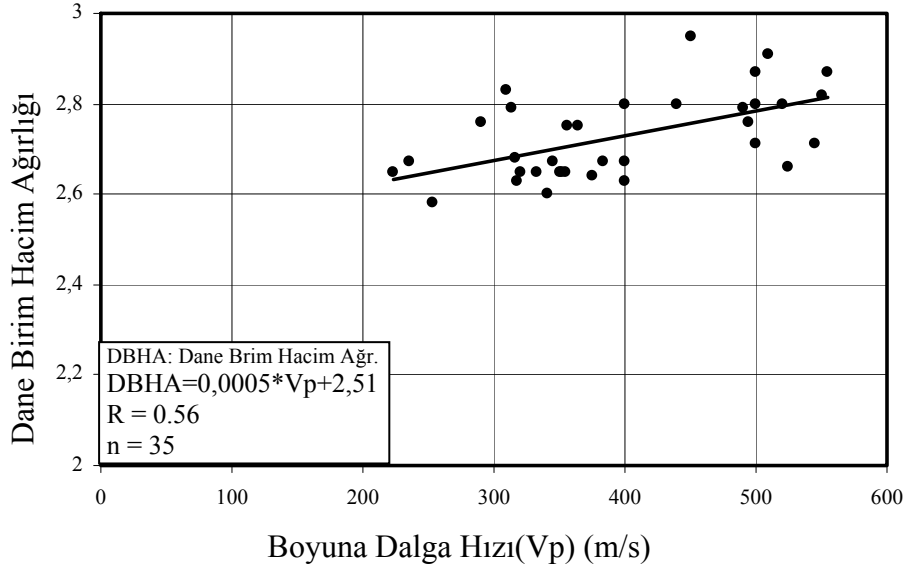
Şekil 4.18. Kum ortamda, likit limit (LL), plastik limit (PL), su muhtevası (W) – Enine dalga hızı ilişkisi

Şekil 4.19’de, likit limit, plastik limit ve su muhtevası ile ( $V_p/V_s$ ) arasındaki ilişki görülmektedir. Kumlu ortamda, zeminin likitlik özelliğinin artması ile ( $V_p/V_s$ ) oranının arttığı görülmüştür. Bu durum, S dalgasının sulu ortamda yayılmaması, P dalgasının ise her ortamda yayılması şeklinde açıklanabilir.



Şekil 4.19. Kum ortamda, likit limit (LL), plastik limit (PL), su muhtevası (W) – Sismik oran ( $V_p/V_s$ ) ilişkisi

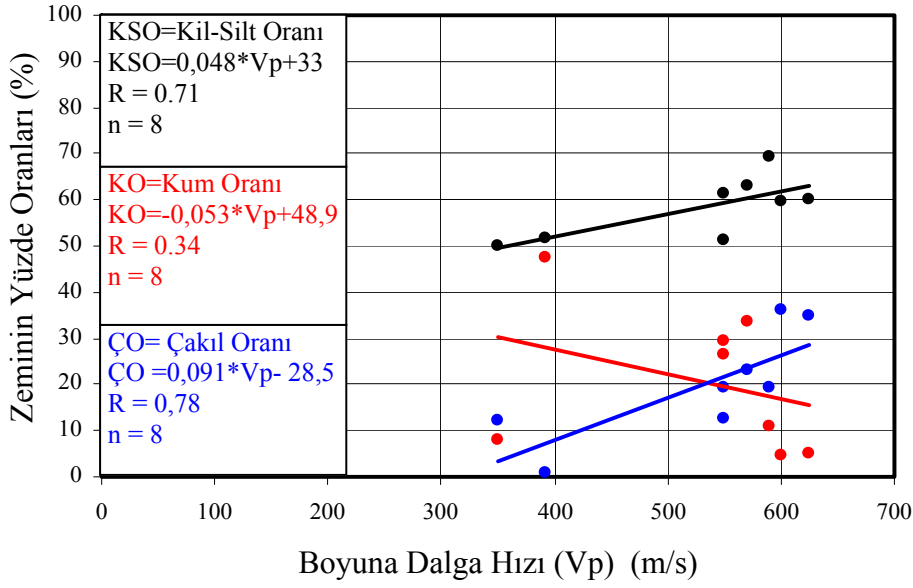
Şekil 4.20’de dane birim hacim ağırlığı ile boyuna dalga hızı arasındaki ilişki görülmektedir. Dane birim hacim ağırlığı arttıkça, boyuna dalga hızı da artmıştır.



Şekil 4.20. Kum ortamda, dane birim hacim ağırlığı – Boyuna dalga hızı ilişkisi

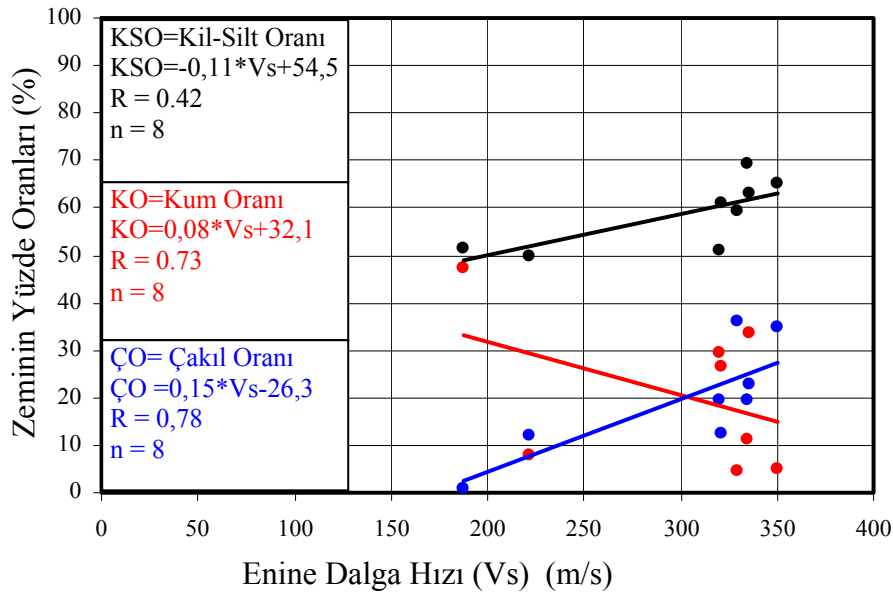
#### 4.4.3. Kil-Silt Ortamda, Zeminin Yüzde Oranları İle Sismik Hızlar Arasındaki İlişkiler

Şekil 4.21’de zeminin yüzde oranları (zemindeki çakıl, kum ve kil’in yüzde oranları) ile boyuna dalga hızı (Vp) arasındaki ilişki görülmektedir. Kil-Silt ortamda (kil-silt oranı fazla olan zemin), kil-silt ve çakıl miktarının artması ile boyuna dalga hızının (Vp) arttığı görülmüştür (Şekil 4.21). Ayrıca, kum miktarının artması ile boyuna dalga hızının (Vp) azaldığı görülmüştür. Bu durum, kohezyonsuz olan kum tanecikleri arasındaki boşluklarda, P dalga hızının azalmakta olduğunu gösterir.



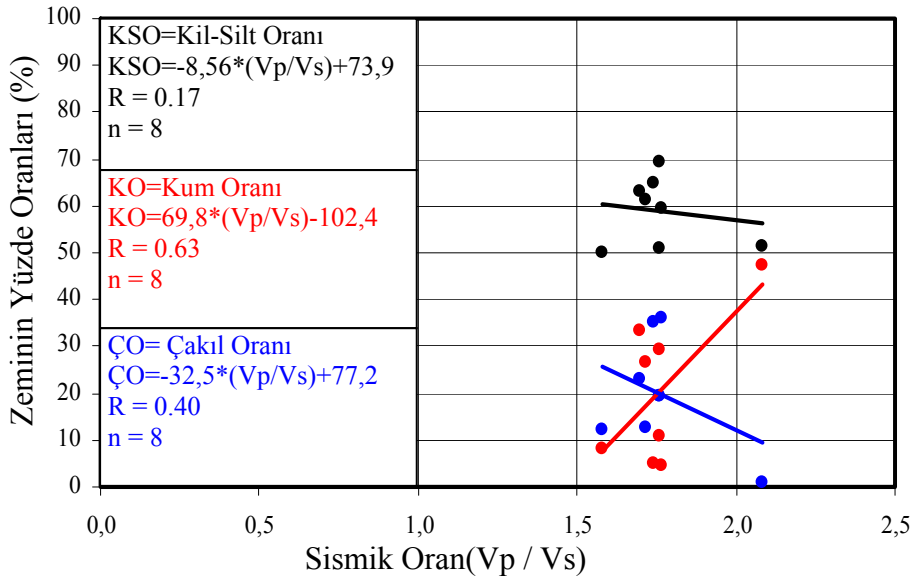
Şekil 4.21. Kil-Silt ortamda, zeminin yüzde oranları – Boyuna dalga hızı ilişkisi

Şekil 4.22’de zeminin yüzde oranları (zemindeki çakıl, kum ve kil’in yüzde oranları) ile enine dalga hızı ( $V_s$ ) arasındaki ilişki görülmektedir. Kil-Silt ortamda (kil-silt oranı fazla olan zemin), kil-silt ve çakıl miktarının artması ile enine dalga hızının ( $V_s$ ) arttığı görülmüştür (Şekil 4.22). Ayrıca, kum miktarının artması ile enine dalga hızının ( $V_s$ ) azaldığı görülmüştür. Bu durum, hava ortamda yayılmayan S dalgasının, kohezyonsuz olan kum tanecikleri arasındaki boşluklarda, hızının azalmakta olduğunu gösterir.



Şekil 4.22. Kil-Silt ortamda, zeminin yüzde oranları – Enine dalga hızı ilişkisi

Şekil 4.23’de zeminin yüzde oranları (zemindeki çakıl, kum ve kil’in yüzde oranları) ile ( $V_p/V_s$ ) arasındaki ilişki görülmektedir. Kil-Silt ortamda, kil-silt miktarı ile ( $V_p/V_s$ ) arasında bir ilişkinin olmadığı görülmüştür. Ancak, kum miktarının artması ile ( $V_p/V_s$ ) oranının arttığı görülmüştür (Şekil 4.23). Bu durum, kohezyonsuz olan kum taneleri arasındaki hava boşluklarında, enine dalga hızının ( $V_s$ ) yayılmaması sonucu değerinin düşmesi, her ortamda yayılan boyuna dalga hızının ( $V_p$ ) ise değerinin artması, şeklinde açıklanabilir.

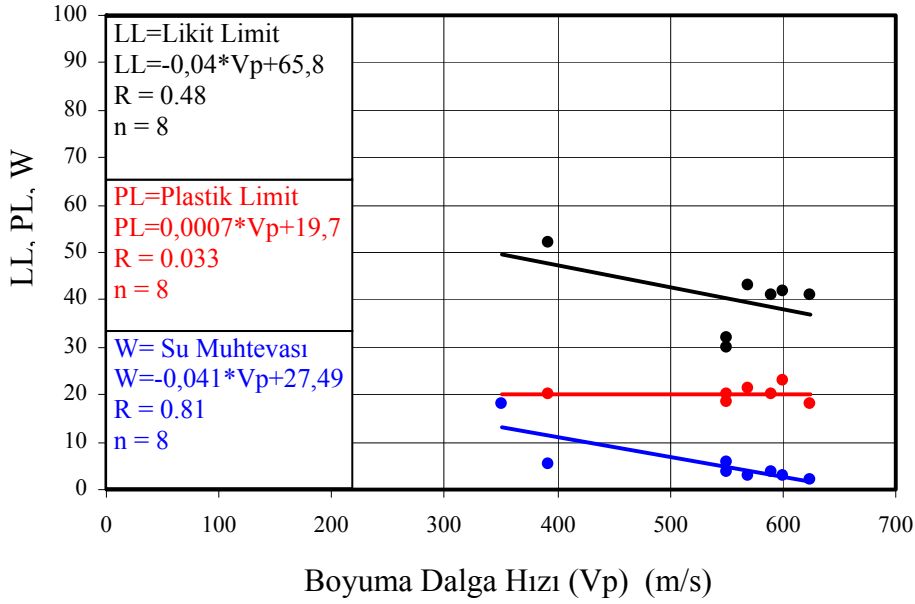


Şekil 4.23. Kil-Silt ortamda, zeminin yüzde oranları – Sismik oran ilişkisi

#### 4.4.4. Kil-Silt Ortamda, Likit Limit, Plastik Limit ve Su Muhtevası ile Sismik Hızlar Arasındaki İlişkiler

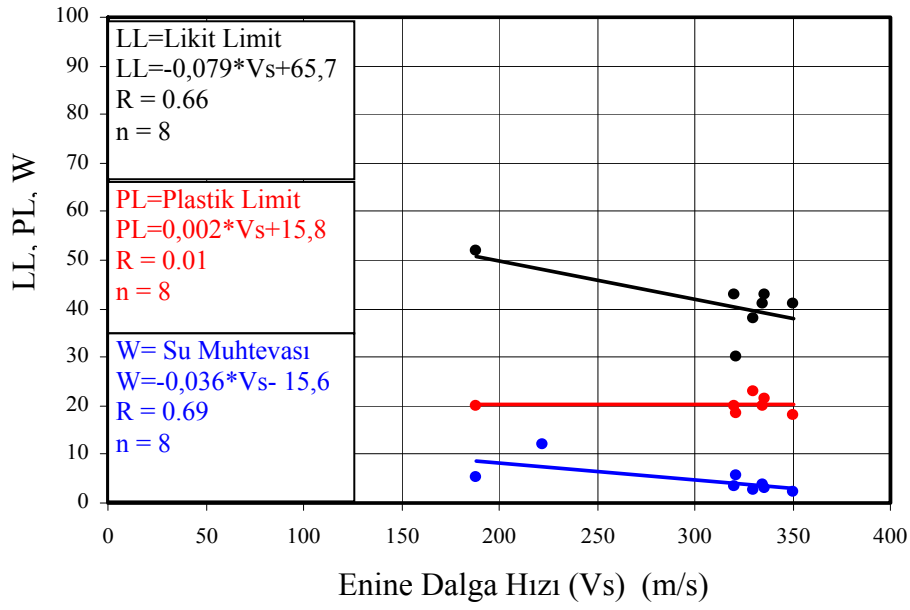
Şekil 4.24’de, likit limit, plastik limit ve su muhtevası ile boyuna dalga hızı ( $V_p$ ) arasındaki ilişki görülmektedir. Kil-Silt ortamda (kil-silt oranı fazla olan zemin), zeminin plastiklik (kolayca şekil alabilmesi) özelliğinin artması ile boyuna dalga hızı ( $V_p$ ) arasında bir ilişki olmadığı görülmüştür. Ayrıca, zeminin likitlik (zeminin kendi ağırlığı ile akması) özelliğinin azalması ile boyuna dalga hızının ( $V_p$ ) arttığı görülmüştür. Bu durum, kohezyonsuz olan kum taneleri arasındaki boşlukların, su

ile dolduğu şeklinde açıklanabilir, çünkü doğal su muhtevasının azalması ile boyuna dalga hızının arttığı, görülmüştür (Şekil 4.24)



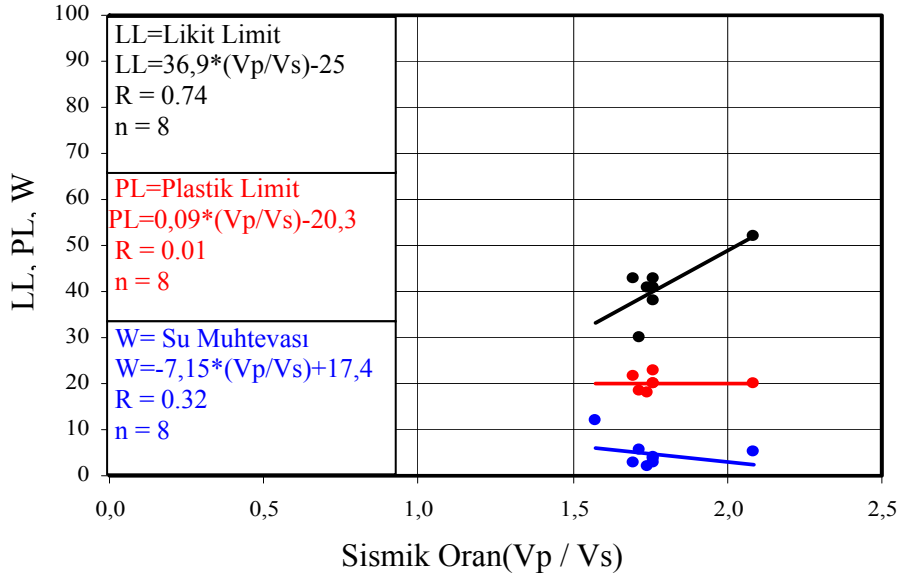
Şekil 4.24. Kil-Silt ortamda, likit limit (LL), plastik limit (PL), su muhtevası (W) – Boyuna dalga hızı ilişkisi

Şekil 4.25’de, likit limit, plastik limit ve su muhtevası ile enine dalga hızı ( $V_s$ ) arasındaki ilişki görülmektedir. Kil-Silt ortamda (kil-silt oranı fazla olan zemin), zeminin plastiklik özelliğinin artması ile enine dalga hızı ( $V_s$ ) arasında bir ilişki olmadığı görülmüştür. Ayrıca, zeminin likitlik özelliğinin azalması ile enine dalga hızının ( $V_s$ ) arttığı görülmüştür. Bu durum, kohezyonsuz olan kum tanecikleri arasındaki boşlukların, su ile dolduğunu böylece sulu ortamda yayılmayan S dalgasının yayılmadığı ve hızının düştüğünü göstermektedir. Buna ilişkin olarak, doğal su muhtevasının azalması ile enine dalga hızının arttığı, görülmüştür (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Kil-Silt ortamda, likit limit (LL), plastik limit (PL), su muhtevası (W) – Enine dalga hızı (Vs) ilişkisi

Şekil 4.26’da, likit limit, plastik limit ve su muhtevası ile sismik oran ( $V_p/V_s$ ) arasındaki ilişki görülmektedir. Kil-Silt ortamda (kil-silt oranı fazla olan zemin), zeminin plastiklik özelliği ile ( $V_p/V_s$ ) oranı arasında bir ilişki olmadığı görülmüştür (Şekil 4.26). Ayrıca zeminin likitlik özelliğinin artması ile ( $V_p/V_s$ ) oranının arttığı görülmüştür. Bu durum, S dalgasının sulu ortamda yayılmaması, P dalgasının ise her ortamda yayılması şeklinde açıklanabilir.



Şekil 4.26. Kil-Silt ortamda, likit limit (LL), plastik limit (PL), su muhtevası (W) – Sismik oran(Vp/Vs) ilişkisi

#### 4.4.5. Düşey Basınç İle Sismik Hızlar Arasındaki İlişki

Sismik hızlar ile proktor penetrometresi ile elde edilen düşey basınç arasındaki ilişkileri gösterir şekillerde, siyah noktalı veriler enine dalga hızı ile düşey basınç arasında, kırmızı noktalı veriler ise boyuna dalga hızı ile düşey basınç arasındaki ilişkileri göstermektedir.

Şekil 4.27' de, kum zeminlerin (kum oranı fazla olan zemin) kuyu içi sismik hızları ile proktor penetrometresi ile elde edilen düşey basınç değerleri arasındaki ilişkiler görülmektedir. Bu ilişkide toplam 67 adet veri kullanılmıştır. Kum zeminlerdeki sismik hızlar ile düşey basınç arasındaki ilişki doğrusaldır. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı 200-650 m/s, enine dalga hızı 120-380 m/s ve düşey basınç 1-7.5 kg/cm<sup>2</sup> arasındaki veriler için doğrudur. Şekil 4.27'de görülen doğrusal ilişkilerin matematiksel ifadeleri eşitlik (4.1) ve (4.2)'de verilmiştir.

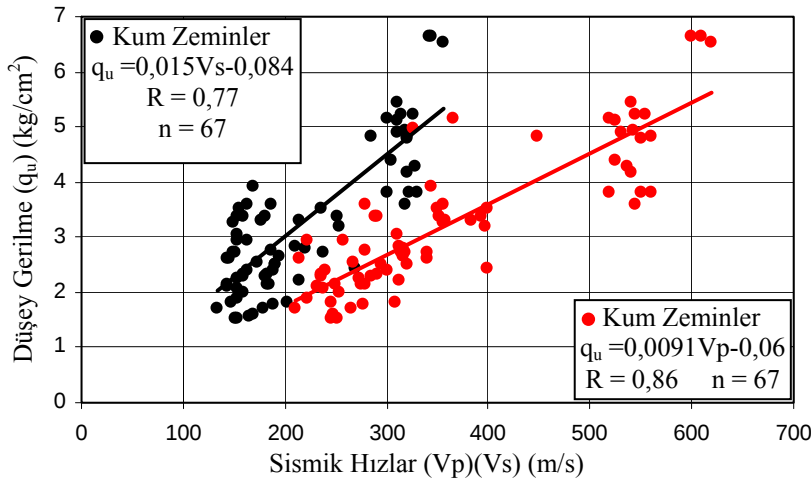
$$q_u = 0.015 V_s - 0.084 \quad R=\%77 \quad (4.1)$$

$$q_u = 0.0091 V_p - 0.06 \quad R=\%86 \quad (4.2)$$

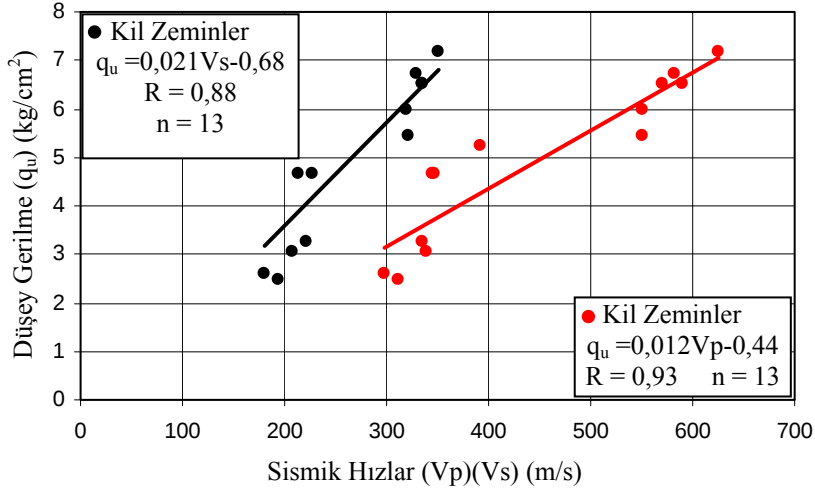
Şekil 4.28’de kil zeminlerin (kil oranı fazla olan zemin) kuyu içi sismik hızları ile düşey basınç değerleri arasındaki ilişkiler sunulmuştur. Bu ilişkide toplam 13 adet veri kullanılmıştır. Kil zeminlerdeki sismik hızlar ile düşey basınç arasında en iyi uyum doğrusal ilişki de bulunmuştur. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı 300-650 m/s, enine dalga hızı 180-350 m/s ve düşey basınç 2.5-7 kg/cm<sup>2</sup> arasındaki veriler için doğrudur. Şekil 4.28’de görülen doğrusal ilişkilerin matematiksel ifadeleri eşitlik (4.3) ve (4.4)’de verilmiştir.

$$q_u = 0.021 V_s - 0.68 \quad R=\%88 \quad (4.3)$$

$$q_u = 0.012 V_p - 0.44 \quad R=\%93 \quad (4.4)$$



Şekil 4.27. Kum zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızları ile düşey basınç arasındaki ilişkiler

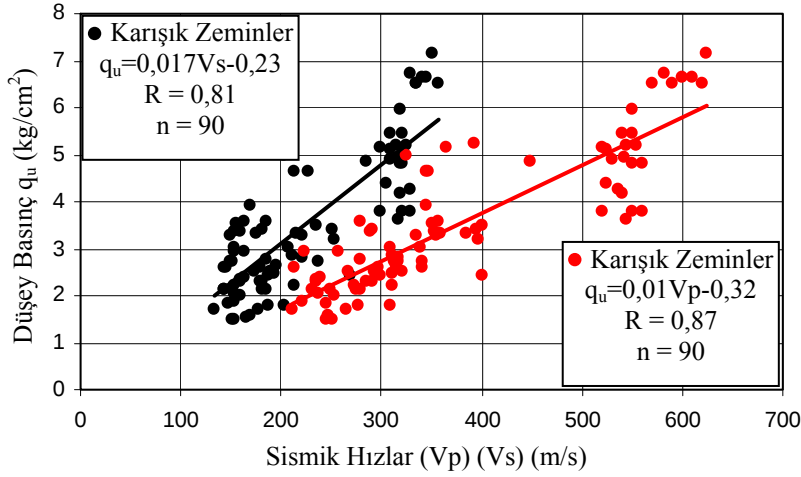


Şekil 4.28. Kil zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızları ile düşey basınç arasındaki ilişkiler

Şekil 4.29’da, karışık zeminlerin (killi, kumlu zemin), kuyu içi sismik hızları ile proktor penetrometresi ile elde edilen düşey basınç değerleri arasında ilişkiler görülmektedir. Bu ilişkide toplam 90 adet veri kullanılmıştır. Burada kum ve kil zeminleri bir arada değerlendirmek amacı ile oluşturulan veriler kullanılmıştır. Burada da ilişkiler irdelendiğinde doğrusallık vardır. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı ( $V_p$ ) 200-650 m/s, enine dalga hızı ( $V_s$ ) 120-380 m/s ve düşey basınç 1-7.5 kg/cm<sup>2</sup> arasındaki veriler için doğrudur. Şekil 4.29’da görülen doğrusal ilişkilerin matematiksel ifadeleri eşitlik (4.5) ve (4.6)’de verilmiştir.

$$q_u = 0.017 V_s - 0.23 \quad R = \%81 \quad (4.5)$$

$$q_u = 0.01 V_p - 0.32 \quad R = \%87 \quad (4.6)$$



Şekil 4.29. Karışık zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızları ile düşey basınç arasındaki ilişkiler

Şekil 4.27, 4.28 ve 4.29 irdelendiğinde boyuna ve enine dalga hızları arttıkça düşey basınç değeri de artmaktadır. Sismik hızların ve düşey basıncın artması zeminin sağlamlaşması olarak yorumlanır.

#### 4.4.6. Normal Gerilme İle Sismik Hızlar Arasındaki İlişki

Sismik hızlar ile normal gerilme arasındaki ilişkileri gösterir şekillerde, siyah noktalı veriler enine dalga hızı ile normal gerilme arasında, kırmızı noktalı veriler ise boyuna dalga hızı ile normal gerilme arasındaki ilişkileri göstermektedir.

Şekil 4.30'de, kum zeminlerin sismik hızları ile normal gerilme değerleri arasındaki ilişkiler görülmektedir. Bu ilişkide toplam 67 adet veri kullanılmıştır. Kum zeminlerdeki sismik hızlar ile normal gerilme arasındaki ilişki doğrusaldır. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı 200-650 m/s, enine dalga hızı 120-380 m/s ve normal gerilme 0.2-3 kg/cm<sup>2</sup> arasındaki veriler için doğrudur. Şekil 4.30'de görülen doğrusal ilişkilerin matematiksel ifadeleri eşitlik (4.7) ve (4.8)'de verilmiştir.

$$\sigma = 0.0044 V_s - 0.063 \quad R = \%59 \quad (4.7)$$

$$\sigma = 0.0027 V_p - 0.11 \quad R = \%65 \quad (4.8)$$

Şekil 4.31’de kil zeminlerin (kil oranı fazla olan zemin), kuyu içi sismik hızları ile vane deneyi ile elde edilen normal gerilme değerleri arasındaki ilişkiler sunulmuştur. Bu ilişkide toplam 13 adet veri kullanılmıştır. Kil zeminlerdeki sismik hızlar ile normal gerilme arasında en iyi uyum doğrusal ilişki de bulunmuştur. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı 300-650 m/s, enine dalga hızı 180-350 m/s ve normal gerilme 0.2-3.2 kg/cm<sup>2</sup> arasındaki veriler için doğrudur. Şekil 4.31’de görülen doğrusal ilişkilerin matematiksel ifadeleri eşitlik (4.9) ve (4.10)’de verilmiştir.

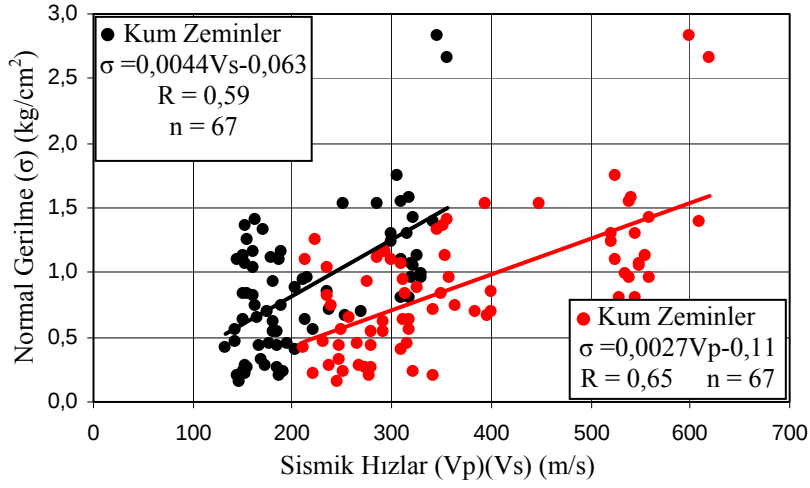
$$\sigma = 0.016 V_s - 2.61 \quad R=\%97 \quad (4.9)$$

$$\sigma = 0.0086 V_p - 2.25 \quad R=\%97 \quad (4.10)$$

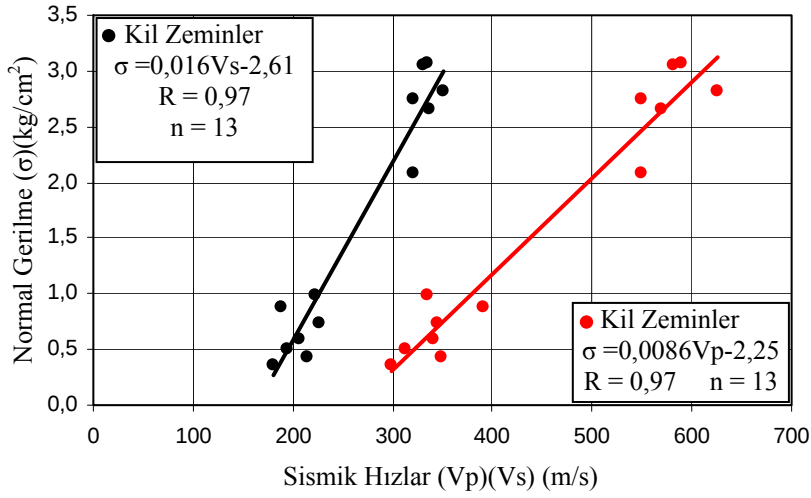
Şekil 4.32’de, karışık (kumlu, killi) zeminlerin, kuyu içi sismik hızları ile vane deneyi ile elde edilen normal gerilme değerleri arasında ilişkiler görülmektedir. Bu ilişkide toplam 90 adet veri kullanılmıştır. Burada kum ve kil zeminleri bir arada değerlendirmek amacı ile oluşturulan veriler kullanılmıştır. Burada da ilişkiler irdelendiğinde doğrusallık vardır. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı (Vp) 200-650 m/s, enine dalga hızı (Vs) 120-380 m/s ve normal gerilme 1-7.5 kg/cm<sup>2</sup> arasındaki veriler için doğrudur. Şekil 4.32’de görülen doğrusal ilişkilerin matematiksel ifadeleri eşitlik (4.11) ve (4.12)’de verilmiştir.

$$\sigma = 0.0065 V_s - 0.47 \quad R=\%67 \quad (4.11)$$

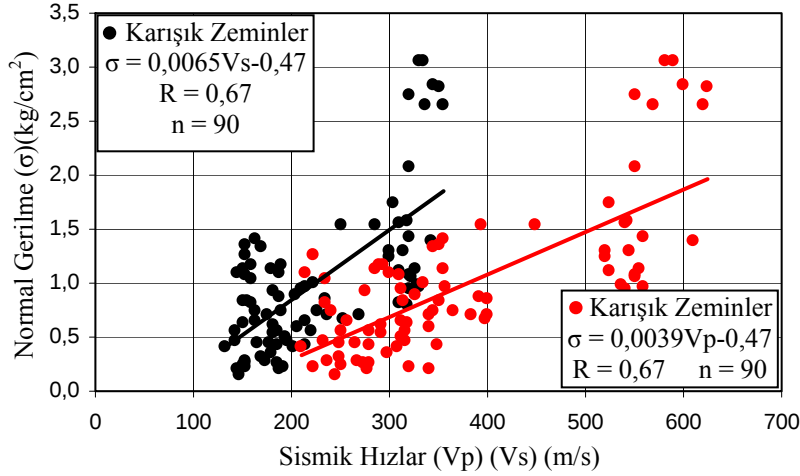
$$\sigma = 0.0039 V_p - 0.47 \quad R=\%67 \quad (4.12)$$



Şekil 4.30. Kum zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızları ile normal gerilme arasındaki ilişkiler



Şekil 4.31. Kil zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızları ile normal gerilme arasındaki ilişkiler



Şekil 4.32. Karışık (killi, kumlu) zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızları ile normal gerilme arasındaki ilişkiler

#### 4.4.7. Kohezyon İle Sismik Hızlar Arasındaki İlişki

Sismik hızlar ile kohezyon arasındaki ilişkileri gösterir şekillerde, siyah noktalı veriler enine dalga hızı ile kohezyon arasında, kırmızı noktalı veriler ise boyuna dalga hızı ile kohezyon arasındaki ilişkileri göstermektedir.

Şekil 4.33’de, kum zeminlerin (kum oranı fazla olan zemin), kuyu içi sismik hızları ile kohezyon değerleri arasındaki ilişkiler görülmektedir. Bu ilişkide, toplam 67 adet veri kullanılmıştır. Kum zeminlerdeki sismik hızlar ile kohezyon arasındaki ilişki doğrusaldır. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı 200-650 m/s, enine dalga hızı 120-380 m/s ve kohezyon 0.2-3kg/cm<sup>2</sup> arasındaki veriler için doğrudur. Şekil 4.33’de görülen doğrusal ilişkilerin matematiksel ifadeleri eşitlik (4.13) ve (4.14)’de verilmiştir.

$$c = 0.0048 V_s - 0.039 \quad R = \%66 \quad (4.13)$$

$$c = 0.0030 V_p - 0.093 \quad R = \%73 \quad (4.14)$$

Şekil 4.34’de kil zeminlerin sismik hızları ile kohezyon değerleri arasındaki ilişkiler sunulmuştur. Bu ilişkide toplam 13 adet veri kullanılmıştır. Kil zeminlerdeki sismik

hızlar ile kohezyon arasında en iyi uyum doğrusal ilişki de bulunmuştur. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı 300-650m/s, enine dalga hızı 180-350 m/s ve kohezyon 0.5-3.2 kg/cm<sup>2</sup> arasındaki veriler için doğrudur. Şekil 4.34’de görülen doğrusal ilişkilerin matematiksel ifadeleri eşitlik (4.15) ve (4.16)’de verilmiştir.

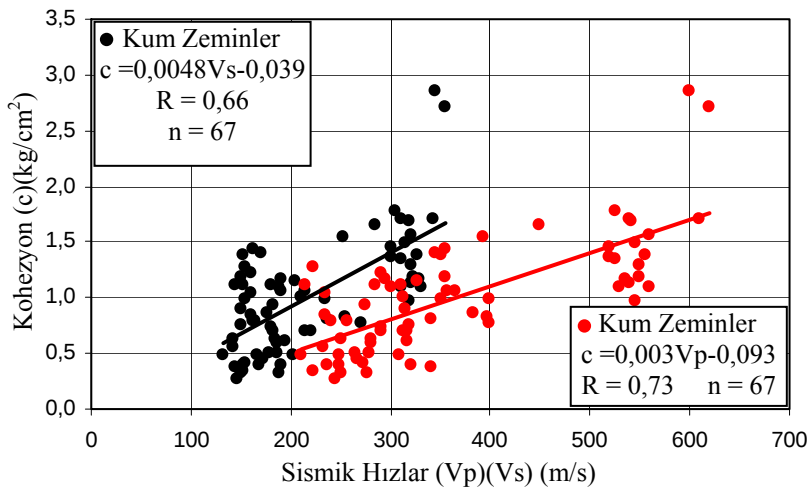
$$c = 0.015 V_s - 2.17 \quad R=\%97 \quad (4.15)$$

$$c = 0.008 V_p - 1.86 \quad R=\%97 \quad (4.16)$$

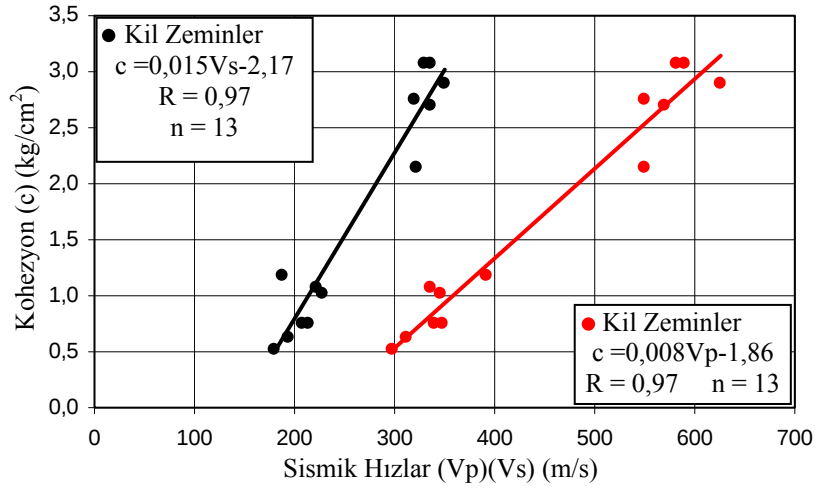
Şekil 4.35’de, karışık (kumlu,killi) zeminlerin sismik hızları ile kohezyon değerleri arasında ilişkiler görülmektedir. Bu ilişkide toplam 90 adet veri kullanılmıştır. Burada kum ve kil zeminleri bir arada değerlendirmek amacı ile oluşturulan veriler kullanılmıştır. Burada da ilişkiler irdelendiğinde doğrusallık vardır. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı (Vp) 200-650 m/s, enine dalga hızı (Vs) 120-380 m/s ve kohezyon 0.2-3.2 kg/cm<sup>2</sup> arasındaki veriler için doğrudur. Şekil 4.35’de görülen doğrusal ilişkilerin matematiksel ifadeleri eşitlik (4.17) ve (4.18)’de verilmiştir.

$$c = 0.0067 V_s - 0.39 \quad R=\%72 \quad (4.17)$$

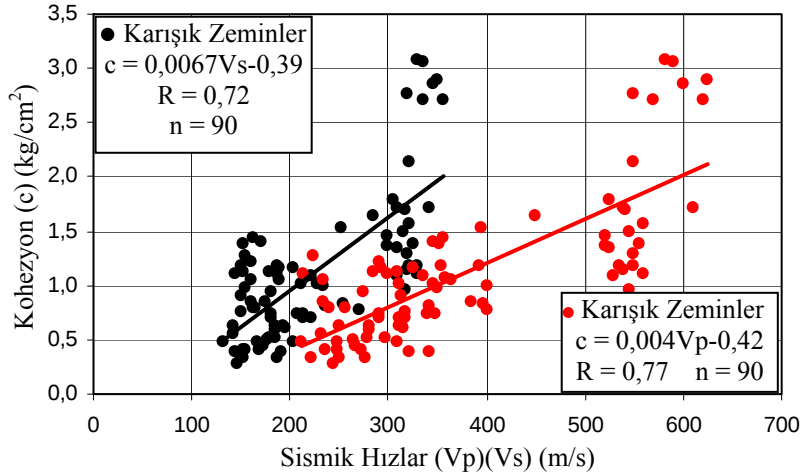
$$c = 0.004 V_p - 0.42 \quad R=\%77 \quad (4.18)$$



Şekil 4.33. Kum zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızları ile kohezyon arasındaki ilişkiler



Şekil 4.34. Kil zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızları ile kohezyon arasındaki ilişkiler



Şekil 4.35. Karışık (kumlu,killi) zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızları ile kohezyon arasındaki ilişkiler

Sismik hızlar ile kohezyon arasındaki ilişkilerin değerlendirmesi sonucunda daneler arasındaki bağ kuvvetinin artması sismik hızların da artmasını sağlamaktadır. Özellikle şekil 4.34’de kil zeminlerdeki doğrusal ilişkinin %97 varan çok iyi bir uyumun olması, daneler arasındaki bağ kuvvetinin iyi olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni kil zeminler aynı zamanda kohezyonlu zeminler olarak da bilinir.

#### 4.4.8. Kayma Mukavemeti İle Sismik Hızlar Arasındaki İlişki

Sismik hızlar ile kayma mukavemeti arasındaki ilişkileri gösterir şekillerde, siyah noktalı veriler enine dalga hızı ile kayma mukavemeti arasında, kırmızı noktalı veriler ise boyuna dalga hızı ile kayma mukavemeti arasındaki ilişkileri göstermektedir.

Şekil 4.36’da, kum zeminlerin (kum oranı fazla olan zemin), kuyu içi sismik hızları ile vane deneyi ile elde edilen kayma mukavemeti değerleri arasındaki ilişkiler görülmektedir. Bu ilişkide toplam 67 adet veri kullanılmıştır. Kum zeminlerdeki sismik hızlar ile kayma mukavemeti arasındaki ilişki doğrusaldır. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı 200-650 m/s, enine dalga hızı 120-350 m/s ve kayma mukavemeti 0.5-3.5 kg/cm<sup>2</sup> arasındaki veriler için doğrudur. Şekil 4.36’da görülen doğrusal ilişkilerin matematiksel ifadeleri eşitlik (4.19) ve (4.20)’de verilmiştir.

$$\tau = 0.0068 V_s - 0.072 \quad R=\%77 \quad (4.19)$$

$$\tau = 0.0042 V_p - 0.135 \quad R=\%84 \quad (4.20)$$

Şekil 4.37’de kil zeminlerin (kil oranı fazla olan), kuyu içi sismik hızları ile vane deneyi ile elde edilen kayma mukavemeti değerleri arasındaki ilişkiler sunulmuştur. Bu ilişkide toplam 13 adet veri kullanılmıştır. Kil zeminlerdeki sismik hızlar ile kayma mukavemeti arasında en iyi uyum doğrusal ilişki de bulunmuştur. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı 300-630m/s, enine dalga hızı 180-350m/s ve kayma mukavemeti 0.5-3.5 kg/cm<sup>2</sup> arasındaki veriler için doğrudur. Şekil 4.37’de görülen doğrusal ilişkilerin matematiksel ifadeleri eşitlik (4.21) ve (4.22)’de verilmiştir.

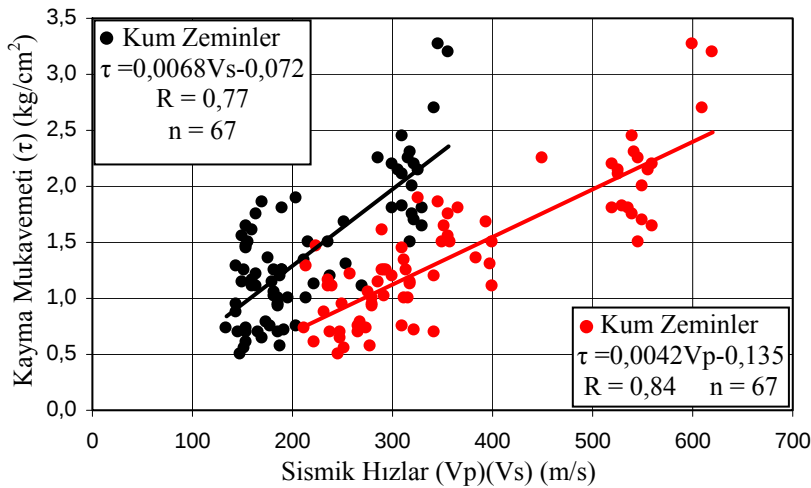
$$\tau = 0.014 V_s - 1,46 \quad R=\%96 \quad (4.21)$$

$$\tau = 0.0076 V_p - 1.22 \quad R=\%98 \quad (4.22)$$

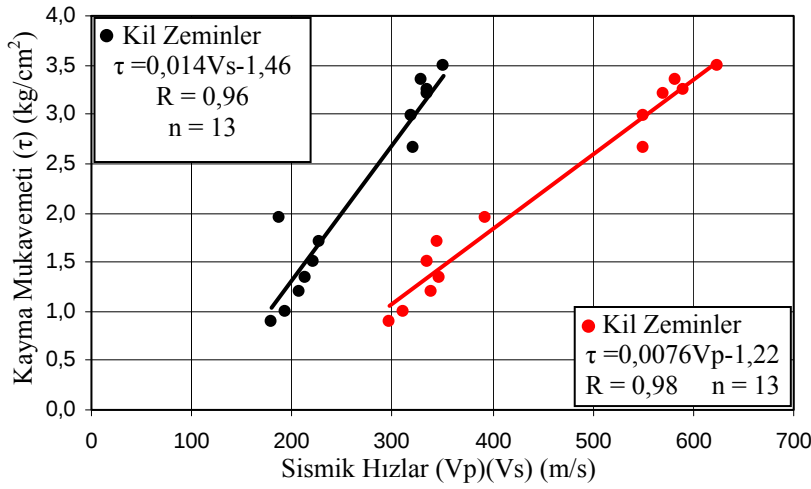
Şekil 4.38’de, karışık (kumlu, killi) zeminlerin kuyu içi sismik hızları ile vane deneyi ile elde edilen kayma mukavemeti değerleri arasında ilişkiler görülmektedir. Bu ilişkide toplam 90 adet veri kullanılmıştır. Burada kum ve kil zeminleri bir arada değerlendirmek amacı ile oluşturulan veriler kullanılmıştır. Burada da ilişkiler irdelendiğinde doğrusallık vardır. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı ( $V_p$ ) 200-650 m/s, enine dalga hızı ( $V_s$ ) 120-360 m/s ve kayma mukavemeti 0.5-3.5 kg/cm<sup>2</sup> arasındaki veriler için doğrudur. Şekil 4.38’de görülen doğrusal ilişkilerin matematiksel ifadeleri eşitlik (4.23) ve (4.24)’de verilmiştir.

$$\tau = 0.0083 V_s - 0.34 \quad R=0.80 \quad (4.23)$$

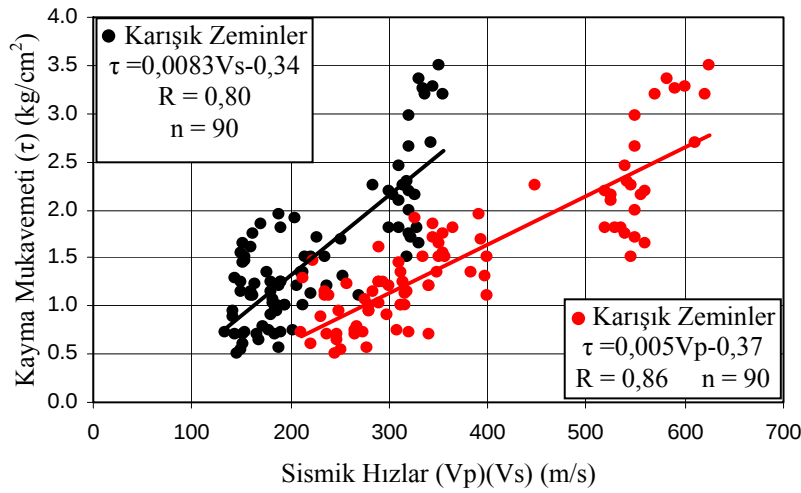
$$\tau = 0.005 V_p - 0.37 \quad R=0.86 \quad (4.24)$$



Şekil 4.36. Kum zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızları ile kayma mukavemeti arasındaki ilişkiler



Şekil 4.37. Kil zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızları ile kayma mukavemeti arasındaki ilişkiler



Şekil 4.38. Karışık (kumlu, killi) zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızları ile kayma mukavemeti arasındaki ilişkiler

Şekil 4.36’da kum zeminler için boyuna ve enine dalga hızlarından elde edilen sismik kayma mukavemetine ait ilişkilerin ortalamasından elde edilen matematiksel ifade eşitlik (4.25)’de verilmiştir.

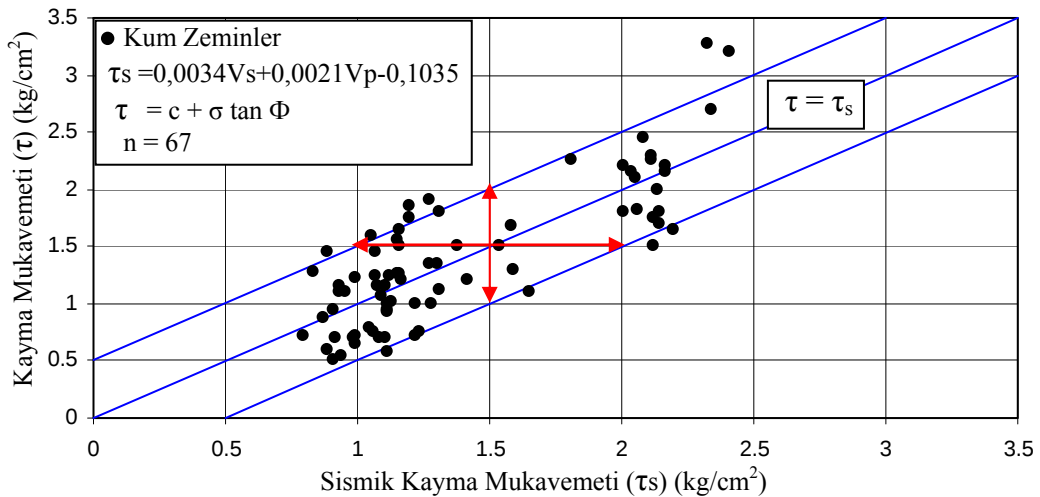
$$\tau_s = 0.0034 V_s + 0.0021 V_p - 0.1035 \quad (4.25)$$

Şekil 4.39’da kum zeminlerde yerinde vane ve proktor penetrometre sonuçlarından elde edilen kayma mukavemeti ile eşitlik (4.25)’den elde edilen sismik kayma

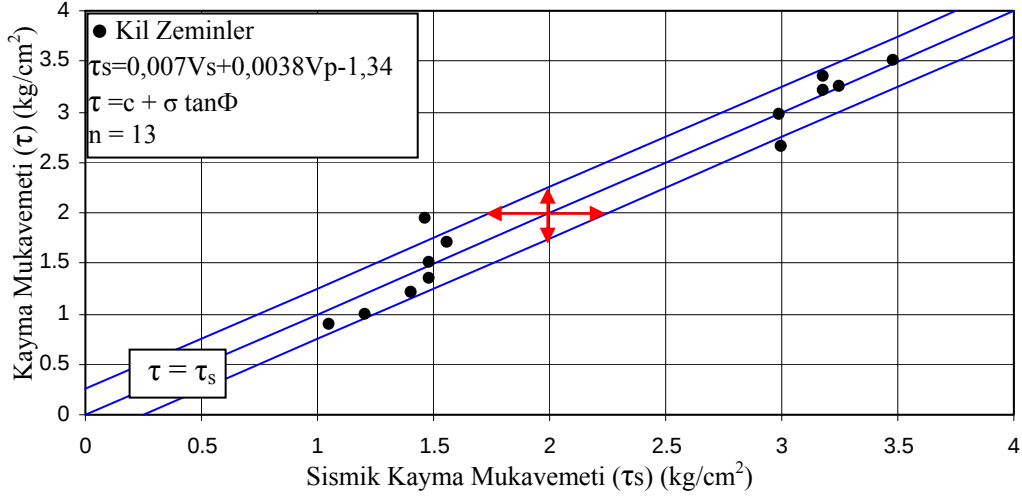
mukavemetinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Kayma mukavemeti ile sismik kayma mukavemetinin eşit olduğu doğru, alt ve üst sınır doğruları şekil 4.39'da gösterilmiştir. Saha çalışmalarından hesaplanan kayma mukavemet verilerinin %85'i alt ve üst sınır doğrularının arasındadır. Bu verilere göre eşitlik (4.25)'den hesaplanan sismik kayma mukavemeti sonucunda en fazla  $\pm 0.5 \text{ kg/cm}^2$ 'lik bir hata yapılabilir. Şekil 4.37'de kil zeminler için boyuna ve enine dalga hızlarından elde edilen sismik kayma mukavemetine ait ilişkilerin ortalamasından elde edilen matematiksel ifade eşitlik (4.26)'da verilmiştir.

$$\tau_s = 0.007 V_s + 0.0038 V_p - 1.34 \quad (4.26)$$

Şekil 4.40'da kil zeminlerde yerinde vane ve proktor penetrometre sonuçlarından elde edilen kayma mukavemeti ile eşitlik (4.26)'den elde edilen sismik kayma mukavemetinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Kayma mukavemeti ile sismik kayma mukavemetinin eşit olduğu doğru, alt ve üst sınır doğruları şekil 4.40 da gösterilmiştir. Saha çalışmalarından hesaplanan kayma mukavemet verilerinin %85'i alt ve üst sınır doğrularının arasındadır. Bu verilere göre eşitlik (4.26)'den hesaplanan sismik kayma mukavemeti sonucunda en fazla  $\pm 0.25 \text{ kg/cm}^2$ 'lik bir hata yapılabilir.



Şekil 4.39. Kum zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızlarından elde edilen sismik kayma mukavemeti ile kayma mukavemeti arasındaki ilişki

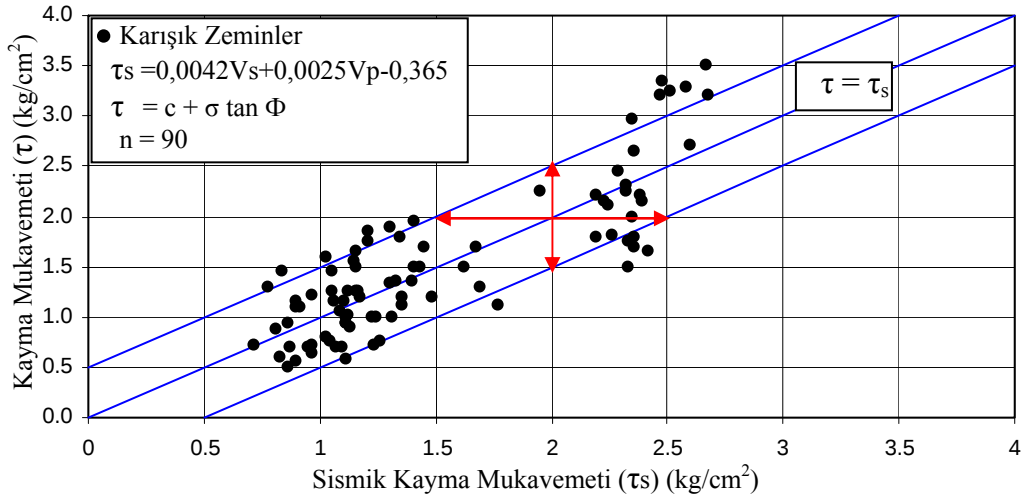


Şekil 4.40. Kil zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızlarından elde edilen sismik kayma mukavemeti ile kayma mukavemeti arasındaki ilişki

Şekil 4.38’de karışık zeminler için boyuna ve enine dalga hızlarından elde edilen sismik kayma mukavemetine ait ilişkilerin ortalamasından elde edilen matematiksel ifade eşitlik (4.27)’de verilmiştir.

$$\tau_s = 0.0042 V_s + 0.0025 V_p - 0.365 \quad (4.27)$$

Şekil 4.41’de karışık zeminlerde yerinde vane ve proktor penetrometre sonuçlarından elde edilen kayma mukavemeti ile eşitlik (4.27)’den elde edilen sismik kayma mukavemetinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Kayma mukavemeti ile sismik kayma mukavemetinin eşit olduğu doğru, alt ve üst sınır doğruları şekil 4.41 de gösterilmiştir. Saha çalışmalarından hesaplanan kayma mukavemet verilerinin %79’u alt ve üst sınır doğrularının arasındadır. Bu verilere göre eşitlik (4.27)’den hesaplanan sismik kayma mukavemeti sonucunda en fazla  $\pm 0.5 \text{ kg/cm}^2$ ’lik bir hata yapılabilir.



Şekil 4.41. Karışık zeminlerin sismik boyuna ve enine dalga hızlarından elde edilen sismik kayma mukavemeti ile kayma mukavemeti arasındaki ilişki

#### 4.4.9. Sismik Hızlar İle Kayma Direnç Parametreleri Arasındaki Çok Parametrelili İlişkilendirmeler

Kum ve Kil zeminler için, sismik hızlar ile düşey basınç, kayma direnci, normal gerilme, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri arasında, derinliğe bağlı olarak ampirik ilişkiler bulunmuştur (Çizelge 4.5). Kum zeminlerde yerinde proktor penetrometre cihazı ile belirlenen düşey basınç ( $q_u$ ) ile sismik hızlar arasındaki ampirik ilişkinin uyum düzeyi ( $R$ ) %97 ve Standart hatası ( $SH$ ) 0,33 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.42). Bu ilişkinin matematiksel ifadesi çizelge 4.5'in birinci satırında verilmiştir. Bu matematiksel ifade, düşey basınç 1,54-6,62kg/cm<sup>2</sup> (Ortalama 3.35kg/cm<sup>2</sup>), boyuna dalga hızı ( $V_p$ ) 211-620m/s (Ortalama 372m/s) ve enine dalga hızı ( $V_s$ ) 133-356m/s (ortalama 217.5m/s) aralığındaki veriler için geçerlidir. Buna benzer olarak kil zeminlerdeki düşey basınç ile  $V_p$ ,  $V_s$  ve derinlik( $z$ ) arasındaki ampirik ilişkinin  $R$ =%92 ve  $SH$ =0,65 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.46). Bu ilişkinin matematiksel ifadesi çizelge 4.5'in birinci satırında sunulmuştur. Bu matematiksel ifade,  $q_u$ =2,47-7,16kg/cm<sup>2</sup> (ortalama=4,94kg/cm<sup>2</sup>),  $V_p$ =298-625m/s (ortalama=449m/s),  $V_s$ =180-350m/s (ortalama=263m/s) ve  $z$ =0,7-3,95m (ortalama=2,02m) arasındaki veriler için geçerlidir. Kum yoğunluklu zeminlerde

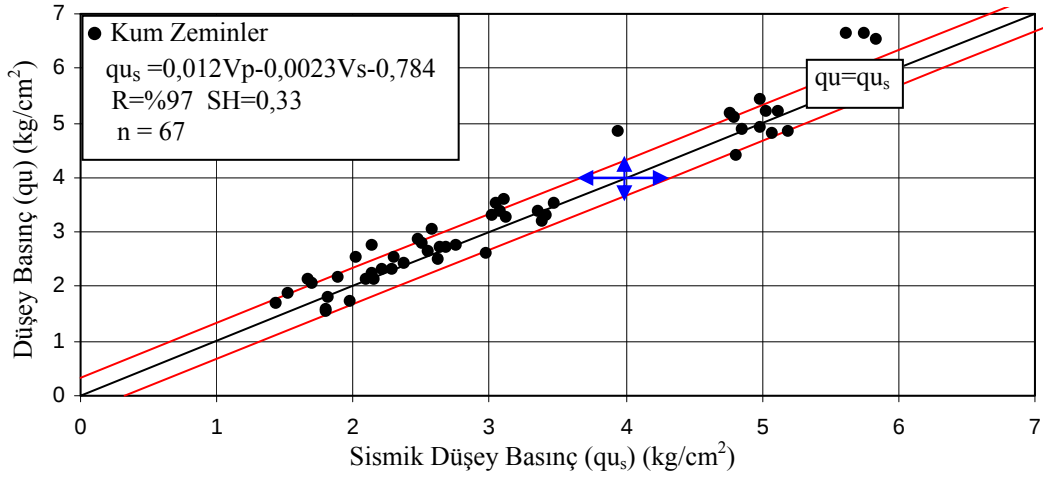
yerinde vane deneyi ile belirlenen kayma mukavemeti ( $\tau$ ) ile  $V_p$ ,  $V_s$  ve  $z$  arasındaki ampirik ilişkinin  $R=\%91$  ve  $SH=0,28$  (Şekil 4.43) iken kil zeminlerde  $R=\%98$  ve  $SH=0,2$  (Şekil 4.47) olarak hesaplanmıştır. Kum zeminlerde  $\tau =0,5-3,28 \text{ kg/cm}^2$  (ortalama= $1,45 \text{ kg/cm}^2$ ) ve kil zeminlerde  $\tau =0,9-3,5 \text{ kg/cm}^2$  (ortalama= $2,19 \text{ kg/cm}^2$ ) arasında değişmektedir. Bunlara ek olarak kum yoğunluklu zeminlerin kohezyonu ( $c$ ) ve normal gerilme ( $\sigma$ ) değerleri sırasıyla  $c=0,27-2,86 \text{ kg/cm}^2$  (ortalama= $1,04 \text{ kg/cm}^2$ ) (Şekil 4.47) ve  $\sigma=0,15-2,83 \text{ kg/cm}^2$  (ortalama= $0.923 \text{ kg/cm}^2$ ) (Şekil 4.45) arasında, kil yoğunluklu zeminlerde  $c=0,52-3,07 \text{ kg/cm}^2$  (ortalama= $1,73 \text{ kg/cm}^2$ ) (Şekil 4.49) ve  $\sigma=0,36-3,06 \text{ kg/cm}^2$  (ortalama= $1,609 \text{ kg/cm}^2$ ) (Şekil 4.49) arasında değişmektedir. Ayrıca kum zeminler için hesaplanan içsel sürtünme açısı ile  $V_p$ ,  $V_s$  ve  $z$  arasında uygun bir ilişki bulunamamıştır. Ancak kil yoğunluklu zeminlerde içsel sürtünme açısı ile diğer parametreler arasındaki ilişki çizelge 4.5'in son satırında verilmiştir. Bu ilişkinin uyum düzeyi  $\%87$  ve  $SH=8,9^\circ$  dir (Şekil 4.50).

Tüm bu ilişkiler birlikte düşünüldüğünde hem kum hem de kil yoğunluklu zeminlerde kayma mukavemeti ve diğer parametrelerin ( $q_u$ ,  $c$ ,  $\sigma$  ve  $\phi$ ) sismik hızlardan da belirlenmesi mümkün olduğu görülmektedir. Ancak bilinmelidir ki ampirik ilişkiler hızlı ve büyük alanlardaki çalışmalarda genel sonuçları belirlemede kullanılmalıdır. Yada kayma mukavemeti ve diğer parametrelerin yerinde belirlenemeyeceği durumlarda kullanılabilir.

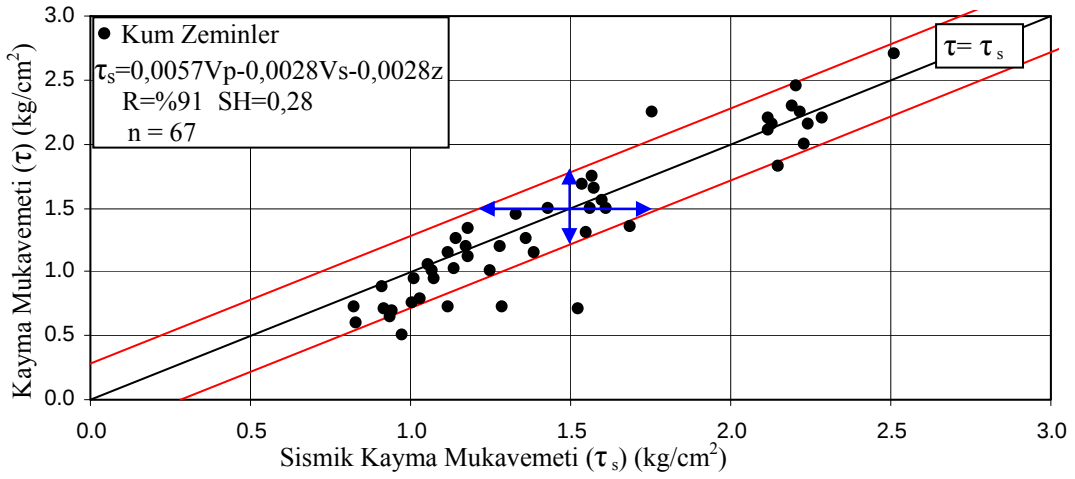
Burada kullanılan verilerden farklı olarak belirlenecek yeni veriler ile ampirik ilişkilerin katsayıları değişebilir ve veri aralığının genişletilmesi ile kayma mukavemeti ve diğer parametreler daha doğru belirlenebilir.

Çizelge 4.5. Kum ve Kil için çok parametrelili ampirik ilişkiler ve istatistik sonuçlar

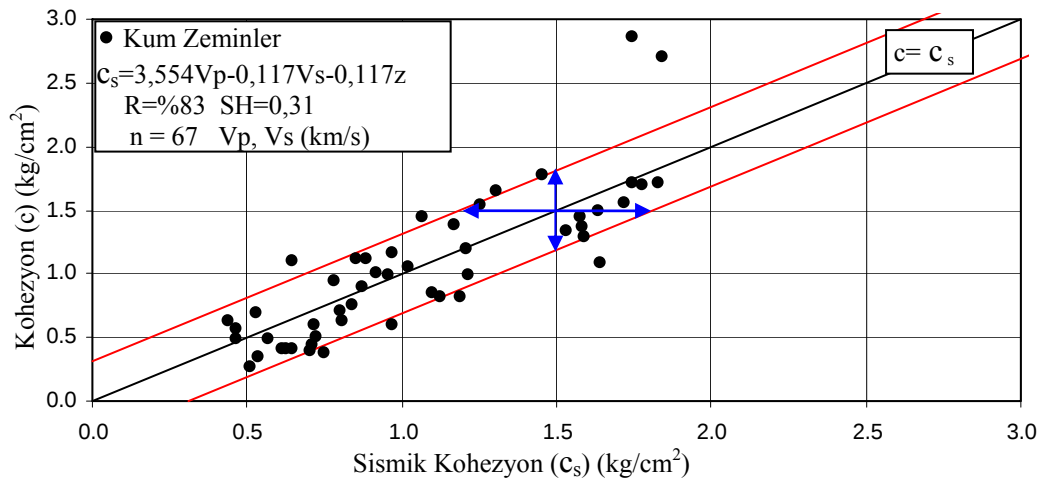
| Kum için Çok Parametrelili<br>Ampirik İlişkiler | (R)<br>(%) | SH   | Kil için Çok Parametrelili<br>Ampirik İlişkiler | (R)<br>(%) | SH   |
|-------------------------------------------------|------------|------|-------------------------------------------------|------------|------|
| $q_u = 0.012V_p - 0.0023V_s - 0.784$            | 97         | 0.33 | $q_u = 0.026V_p - 0.026V_s - 0.26z$             | 92         | 0.65 |
| $\tau = 0.0057V_p - 0.0028V_s - 0.002z$         | 93         | 4.4  | $\tau = 0.01V_p - 0.0033V_s - 1.432z^{0.02}$    | 98         | 0.2  |
| $c = 3.554V_p - 0.12V_s - 0.12z$                | 87         | 4    | $c = 0.0073V_p + 0.0024V_s - 2.19z^{0.022}$     | 98         | 0.21 |
| $\sigma = 2.49V_s^{0.83} + V_s \cdot z - 0.3z$  | 78         | 0.36 | $\sigma = 0.0013V_p + 0.013V_s - 2.38z^{0.12}$  | 98         | 0.2  |
|                                                 |            |      | $\phi = 42.6V_p^{0.16} - 0.31V_s - z$           | 87         | 8.9  |



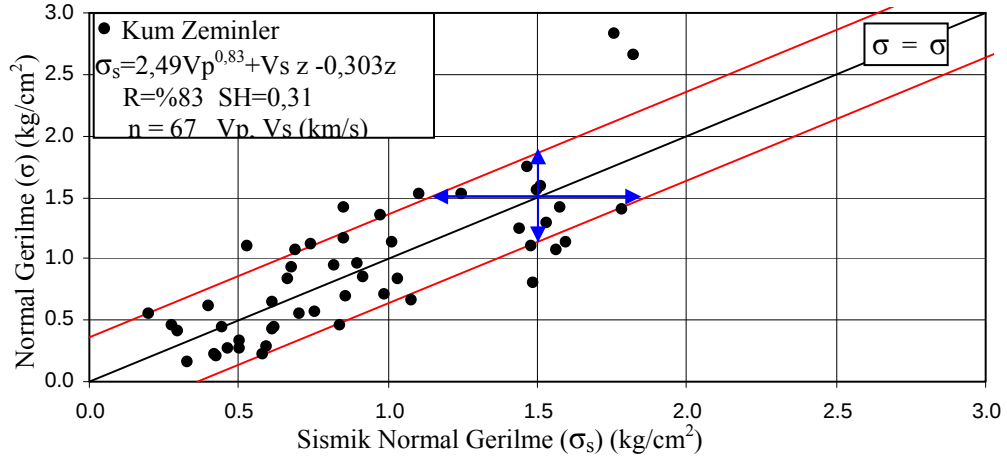
Şekil 4.42. Kum zeminler için sismik hızlardan elde edilen sismik düşey basınç ile düşey basıncın karşılaştırılması



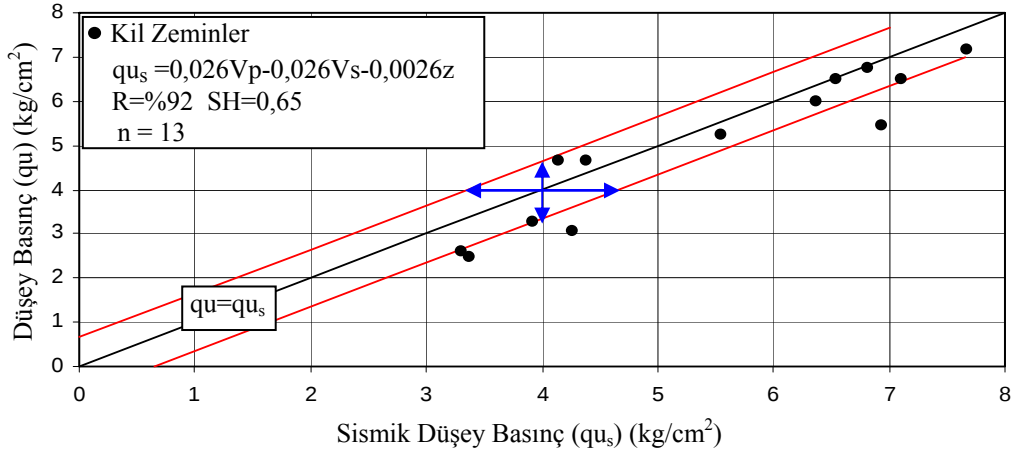
Şekil 4.43. Kum zeminler için sismik hızlarda ve derinlikten elde edilen sismik kayma mukavemeti ile kayma mukavemetinin karşılaştırılması



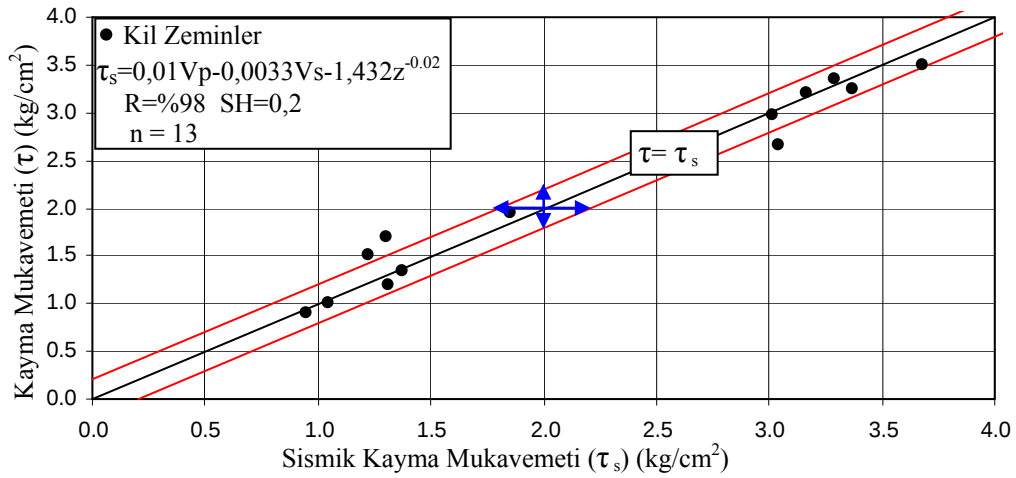
Şekil 4.44. Kum zeminler için sismik hızlardan elde edilen sismik kohezyon ile kohezyonun karşılaştırılması



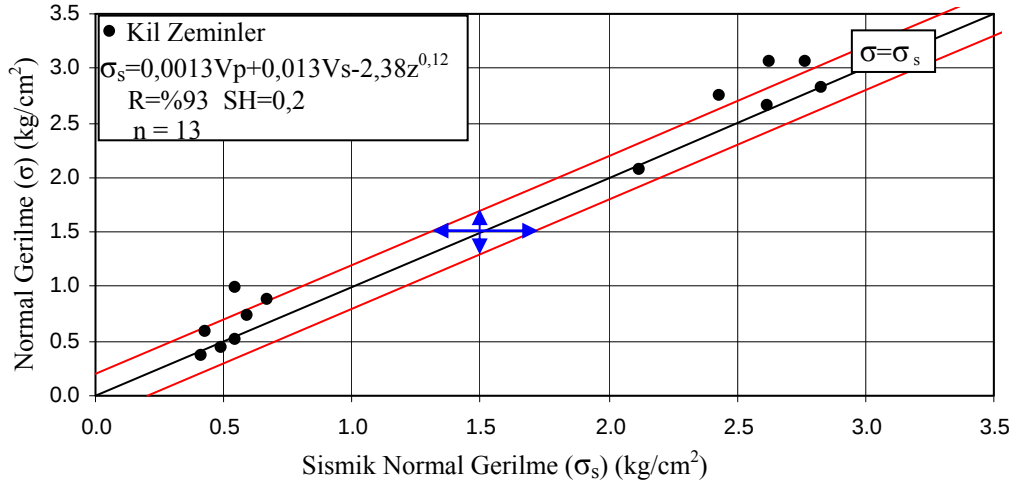
Şekil 4.45. Kum zeminler için sismik hızlardan elde edilen sismik normal gerilme ile normal gerilmenin karşılaştırılması



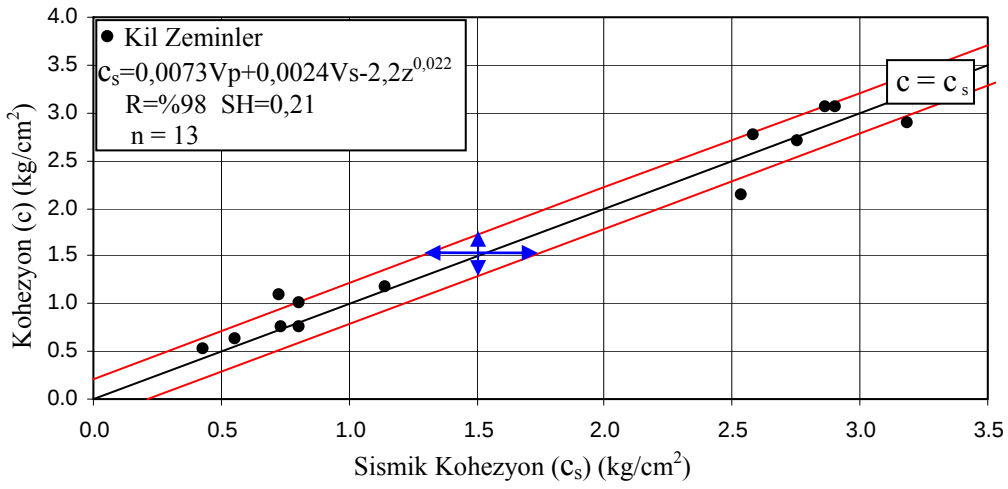
Şekil 4.46. Kil zeminler için sismik hızlardan elde edilen sismik düşey basınç ile düşey basıncın karşılaştırılması



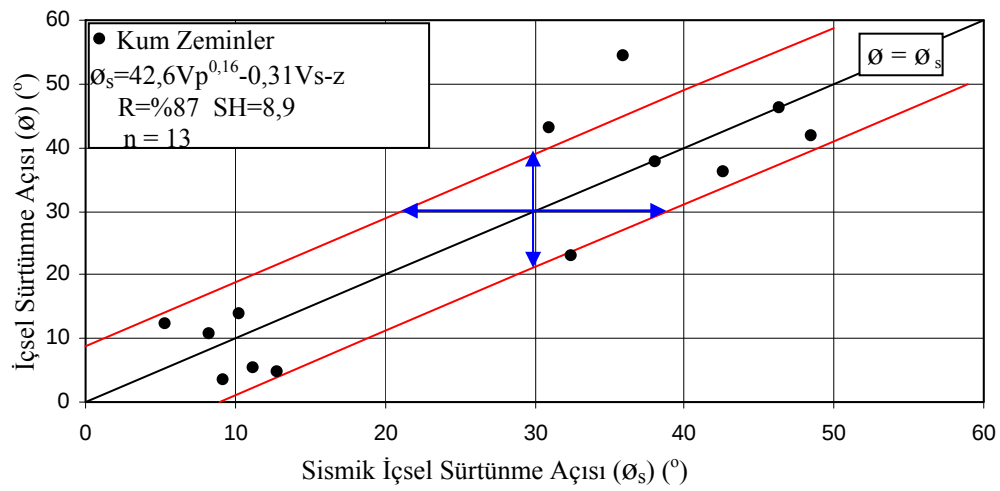
Şekil 4.47. Kil zeminler için sismik hızlardan ve derinlikten elde edilen sismik kayma mukavemeti ile kayma mukavemetinin karşılaştırılması



Şekil 4.48. Kil zeminler için sismik hızlardan elde edilen sismik normal gerilme ile normal gerilmenin karşılaştırılması



Şekil 4.49. Kil zeminler için sismik hızlardan elde edilen sismik kohezyon ile kohezyonun karşılaştırılması



Şekil 4.50. Kil zeminler için sismik hızlardan elde edilen sismik içsel sürtünme açısı ile içsel sürtünme açısının karşılaştırılması

#### 4.4.10. Dinamik Penetrasyon Test (DPT) İle Sismik Hızlar Arasındaki İlişki

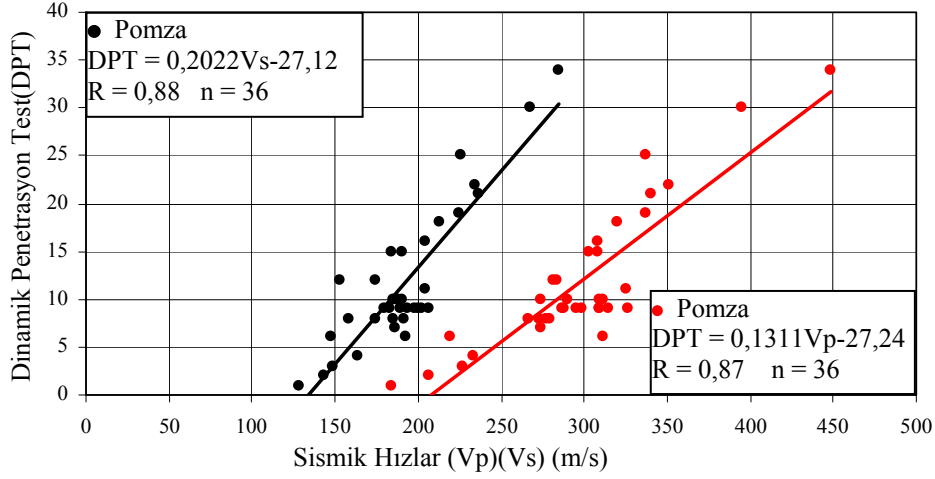
Isparta bölgesinde Dinamik Penetrasyon Test (DPT) yapılan yerlerde araştırma çukurları açılmıştır. Bu araştırma çukurları içerisinde yapılan sismik karşıt kuyu çalışmalarından derine doğru sismik boyuna ve enine dalga hızları belirlenmiştir. Bu veriler doğrusal olmayan denklemlerin çözümlemesini yapan NLREG paket programında değerlendirilmiş ve çok parametrelili ilişkiler elde edilmiştir (Çizelge 4.6). Bu ilişkiler kurulurken zemin pomza, kum ve kil-silt olarak üç ayrı veri oluşturulmuştur. 36 adet pomza, 44 adet kum ve 16 adet kil-silt verisinde DPT yapılmıştır. DPT sonuçları Elmasdere, (2008)'den alınmıştır. DPT sonuçları her 10cm deki darbe sayısı olduğundan sismik hızların derinliklerinde DPT değerlerinin ortalaması alınmıştır. DPT ve sismik sonuçlar(Çizelge 4.7)'da verilmiştir. Pomza, kum ve kil-silt zeminlerin her biri için ayrı ilişkilendirme yapılmış ve ampirik ilişkiler elde edilmiştir. Bu ilişkiler kurulurken parametre olarak derinlik, boyuna ve enine dalga hızı ve DPT değerleri kullanılmıştır. Elde edilen çoklu ilişkilerin matematiksel ifadelerden belirlenen DPT sonuçları ile saha çalışmalarından elde edilen DPT sonuçları ve sismik hızlar ile dinamik penetrasyon test arasındaki ilişkiler (Şekil 4.51) ile (Şekil 4.56) arasındaki şekillerde sunulmuştur. Pomza için bulunan çok parametrelili ilişkilerin uyum düzeyleri %90'nın üzerinde kum zeminler için %85'nin üzerinde ve kil-silt zeminler için %93'ün üzerindedir. Bu ilişkiler, sismik hızların artması sonucunda dinamik penetrasyon sonuçlarının da arttığını göstermektedir. Bu, zemin direncinin artması hem sismik hızları hem de dinamik penetrasyon değerlerini artırması ile açıklanır.

Çizelge 4.6. Dinamik penetrasyon test, sismik hızlar ve derinlik arasındaki ampirik ilişkiler ve istatistik sonuçlar

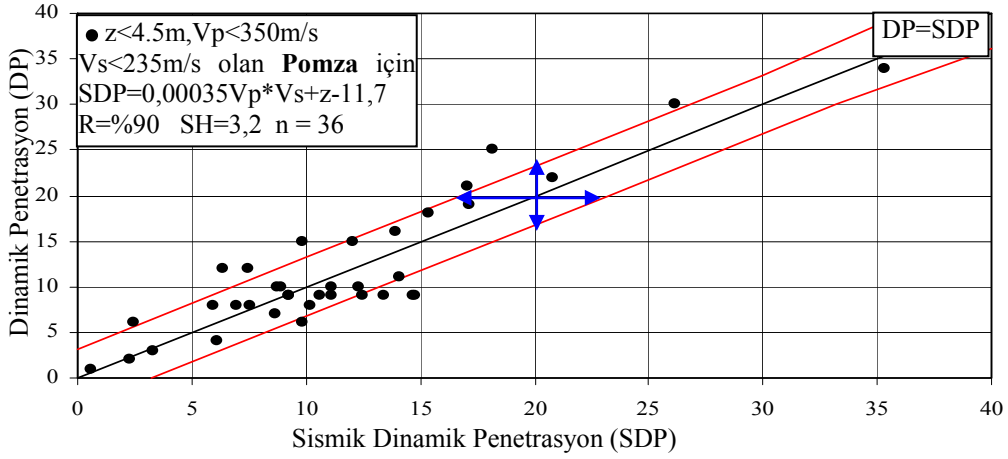
| Zemin Türü | Çok Parametrelili Ampirik İlişkiler | İlişki Katsayısı (R) (%) | Standart Hata (SH) |
|------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------|
| Pomza      | $SDP=0,00035V_p*V_s+z-11,7$         | 90                       | 3,2                |
| Kum        | $SDP=0,00016V_p*V_s+z-4$            | 85                       | 2,48               |
| Kil-Silt   | $SDP=0,00013V_p*V_s+z-3$            | 93                       | 1,34               |

Çizelge 4.7. Pomza,Kum ve Kil'e ait dinamik penetrasyon ve sismik hız sonuçları

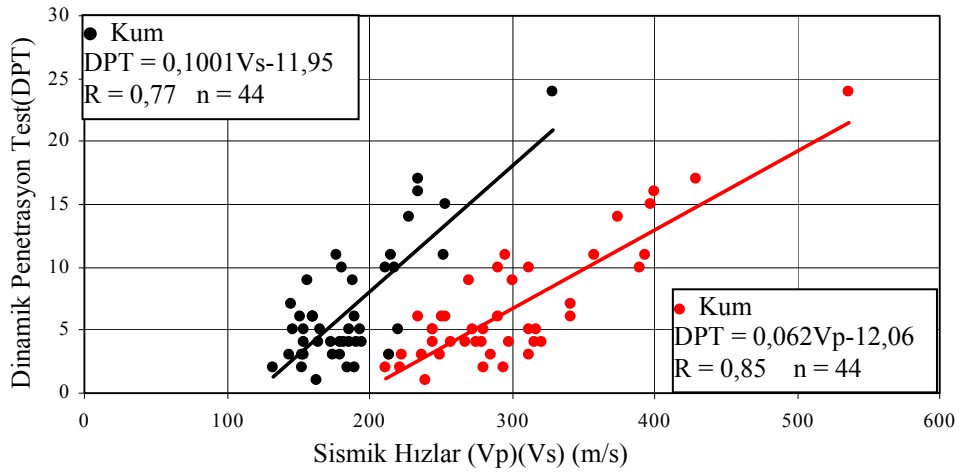
| Pomza'ya Ait Sonuçlar           |       |          |          |     |      | Kum Zeminlere Ait Sonuçlar                                                                                                     |       |          |          |     |      |
|---------------------------------|-------|----------|----------|-----|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------|----------|-----|------|
| Nokta No                        | Z (m) | Vp (m/s) | Vs (m/s) | DPT | SDPT | Nokta No                                                                                                                       | Z (m) | Vp (m/s) | Vs (m/s) | DPT | SDPT |
| I-NÇ2                           | 0.5   | 312      | 193      | 6   | 9.9  | I-NÇ1                                                                                                                          | 0.1   | 290      | 190      | 6   | 4.9  |
| I-NÇ2                           | 0.8   | 395      | 268      | 30  | 26.2 | I-NÇ1                                                                                                                          | 0.45  | 294      | 190      | 2   | 5.4  |
| I-NÇ2                           | 2     | 282      | 174      | 12  | 7.5  | I-NÇ1                                                                                                                          | 0.8   | 312      | 214      | 3   | 7.5  |
| I-NÇ2                           | 2.3   | 337      | 225      | 19  | 17.1 | I-NÇ1                                                                                                                          | 1.15  | 285      | 180      | 3   | 5.4  |
| I-NÇ2                           | 2.6   | 274      | 188      | 10  | 8.9  | I-NÇ1                                                                                                                          | 1.5   | 275      | 182      | 4   | 5.5  |
| I-NÇ2                           | 2.9   | 284      | 153      | 12  | 6.4  | I-NÇ1                                                                                                                          | 1.85  | 267      | 173      | 4   | 5.2  |
| I-NÇ2                           | 3.2   | 320      | 213      | 18  | 15.4 | I-NÇ1                                                                                                                          | 2.2   | 280      | 186      | 5   | 6.5  |
| I-NÇ2                           | 3.5   | 308      | 205      | 16  | 13.9 | I-NÇ1                                                                                                                          | 2.55  | 317      | 221      | 5   | 9.8  |
| I-NÇ2                           | 3.8   | 351      | 234      | 22  | 20.8 | I-NÇ2                                                                                                                          | 1.1   | 375      | 228      | 14  | 10.8 |
| I-NÇ3                           | 0.5   | 341      | 237      | 21  | 17.1 | I-NÇ2                                                                                                                          | 1.4   | 312      | 211      | 10  | 7.9  |
| I-NÇ3                           | 1.7   | 308      | 184      | 15  | 9.8  | I-NÇ2                                                                                                                          | 1.7   | 291      | 181      | 10  | 6.1  |
| I-NÇ3                           | 2     | 273      | 174      | 8   | 6.9  | I-NÇ3                                                                                                                          | 0.8   | 298      | 180      | 4   | 5.4  |
| I-NÇ3                           | 2.3   | 296      | 180      | 9   | 9.2  | I-NÇ3                                                                                                                          | 1     | 312      | 194      | 5   | 6.7  |
| I-NÇ3                           | 2.9   | 267      | 158      | 8   | 6.0  | I-NÇ3                                                                                                                          | 1.4   | 270      | 157      | 9   | 4.2  |
| I-NÇ3                           | 3.2   | 337      | 226      | 25  | 18.2 | I-NÇ3                                                                                                                          | 2.6   | 296      | 177      | 11  | 7.0  |
| I-NÇ3                           | 3.5   | 303      | 191      | 15  | 12.1 | I-NÇ4                                                                                                                          | 0.5   | 429      | 234      | 17  | 12.6 |
| I-NÇ3                           | 3.8   | 312      | 185      | 10  | 12.3 | I-NÇ4                                                                                                                          | 0.8   | 341      | 161      | 6   | 5.6  |
| I-NÇ5                           | 2.2   | 449      | 285      | 34  | 35.3 | I-NÇ4                                                                                                                          | 1.1   | 316      | 195      | 4   | 7.0  |
| I-NÇ5                           | 2.5   | 326      | 204      | 11  | 14.1 | I-NÇ4                                                                                                                          | 1.4   | 280      | 185      | 2   | 5.7  |
| I-NÇ5                           | 2.8   | 309      | 198      | 9   | 12.5 | I-NÇ4                                                                                                                          | 1.7   | 237      | 153      | 3   | 3.5  |
| I-NÇ5                           | 3.1   | 315      | 200      | 9   | 13.5 | I-NÇ4                                                                                                                          | 2     | 222      | 153      | 2   | 3.4  |
| I-NÇ5                           | 3.4   | 327      | 202      | 9   | 14.8 | I-NÇ4                                                                                                                          | 2.3   | 211      | 133      | 2   | 2.8  |
| I-NÇ5                           | 3.7   | 299      | 183      | 9   | 11.2 | I-NÇ4                                                                                                                          | 2.6   | 273      | 154      | 5   | 5.3  |
| I-NÇ5                           | 4     | 309      | 207      | 9   | 14.7 | I-NÇ4                                                                                                                          | 2.9   | 245      | 147      | 5   | 4.7  |
| I-NÇ6                           | 2.8   | 220      | 148      | 6   | 2.5  | I-NÇ4                                                                                                                          | 3.2   | 251      | 151      | 6   | 5.3  |
| I-NÇ6                           | 3.2   | 227      | 149      | 3   | 3.3  | I-NÇ4                                                                                                                          | 3.5   | 321      | 191      | 4   | 9.3  |
| I-NÇ6                           | 3.6   | 207      | 143      | 2   | 2.3  | I-NÇ4                                                                                                                          | 3.8   | 341      | 145      | 7   | 7.7  |
| I-NÇ6                           | 4     | 184      | 129      | 1   | 0.6  | I-NÇ5                                                                                                                          | 0.7   | 390      | 218      | 10  | 10.3 |
| I-NÇ6                           | 4.4   | 233      | 164      | 4   | 6.1  | I-NÇ5                                                                                                                          | 1     | 394      | 252      | 11  | 12.9 |
| I-NÇ8                           | 1.3   | 277      | 185      | 8   | 7.5  | I-NÇ5                                                                                                                          | 1.3   | 536      | 329      | 24  | 25.5 |
| I-NÇ8                           | 1.6   | 290      | 186      | 10  | 8.8  | I-NÇ5                                                                                                                          | 1.6   | 397      | 254      | 15  | 13.7 |
| I-NÇ8                           | 1.9   | 288      | 189      | 9   | 9.3  | I-NÇ5                                                                                                                          | 1.9   | 358      | 215      | 11  | 10.2 |
| I-NÇ8                           | 2.2   | 309      | 191      | 10  | 11.2 | I-NÇ6                                                                                                                          | 0     | 250      | 175      | 3   | 3.0  |
| I-NÇ8                           | 2.5   | 274      | 186      | 7   | 8.6  | I-NÇ6                                                                                                                          | 0.4   | 245      | 165      | 5   | 2.9  |
| I-NÇ8                           | 2.8   | 287      | 194      | 9   | 10.6 | I-NÇ6                                                                                                                          | 0.8   | 257      | 164      | 4   | 3.5  |
| I-NÇ8                           | 3.1   | 279      | 192      | 8   | 10.1 | I-NÇ6                                                                                                                          | 1.2   | 240      | 163      | 1   | 3.5  |
| Silt-Kil Zeminlere Ait Sonuçlar |       |          |          |     |      | I-NÇ6                                                                                                                          | 1.6   | 279      | 186      | 4   | 5.9  |
| Nokta No                        | Z (m) | Vp (m/s) | Vs (m/s) | DPT | SDPT | I-NÇ6                                                                                                                          | 2     | 223      | 154      | 3   | 3.5  |
| I-NÇ1                           | 2.9   | 340      | 207      | 10  | 9.0  | I-NÇ6                                                                                                                          | 2.4   | 214      | 144      | 3   | 3.3  |
| I-NÇ1                           | 3.25  | 348      | 214      | 9   | 9.9  | I-NÇ8                                                                                                                          | 0.4   | 245      | 154      | 4   | 2.4  |
| I-NÇ1                           | 3.6   | 335      | 222      | 13  | 10.3 | I-NÇ8                                                                                                                          | 0.7   | 235      | 160      | 6   | 2.7  |
| I-NÇ1                           | 3.95  | 345      | 227      | 10  | 11.1 | I-NÇ8                                                                                                                          | 1     | 254      | 160      | 6   | 3.5  |
| I-NÇ7                           | 0.1   | 260      | 165      | 4   | 2.7  | I-NÇ8                                                                                                                          | 3.4   | 300      | 188      | 9   | 8.4  |
| I-NÇ7                           | 0.5   | 265      | 185      | 5   | 3.9  | I-NÇ8                                                                                                                          | 3.7   | 400      | 235      | 16  | 14.7 |
| I-NÇ7                           | 0.9   | 277      | 188      | 4   | 4.7  | DPT: Dinamik Penetrasyon Test Sonuçları<br>SDPT:Sismik Hızlar ve derinlikten elde edilen<br>Dinamik Penetrasyon Test Sonuçları |       |          |          |     |      |
| I-NÇ7                           | 1.3   | 309      | 203      | 6   | 6.5  |                                                                                                                                |       |          |          |     |      |
| I-NÇ7                           | 1.7   | 265      | 178      | 2   | 4.8  |                                                                                                                                |       |          |          |     |      |
| I-NÇ7                           | 2.1   | 248      | 169      | 4   | 4.5  |                                                                                                                                |       |          |          |     |      |
| I-NÇ7                           | 2.5   | 248      | 166      | 4   | 4.9  |                                                                                                                                |       |          |          |     |      |
| I-NÇ7                           | 2.9   | 232      | 143      | 4   | 4.2  |                                                                                                                                |       |          |          |     |      |
| I-NÇ7                           | 3.3   | 235      | 160      | 6   | 5.2  |                                                                                                                                |       |          |          |     |      |
| I-NÇ7                           | 3.7   | 250      | 143      | 5   | 5.3  |                                                                                                                                |       |          |          |     |      |
| I-NÇ7                           | 4.1   | 291      | 182      | 7   | 8.0  |                                                                                                                                |       |          |          |     |      |
| I-NÇ7                           | 4.5   | 400      | 270      | 16  | 15.5 |                                                                                                                                |       |          |          |     |      |



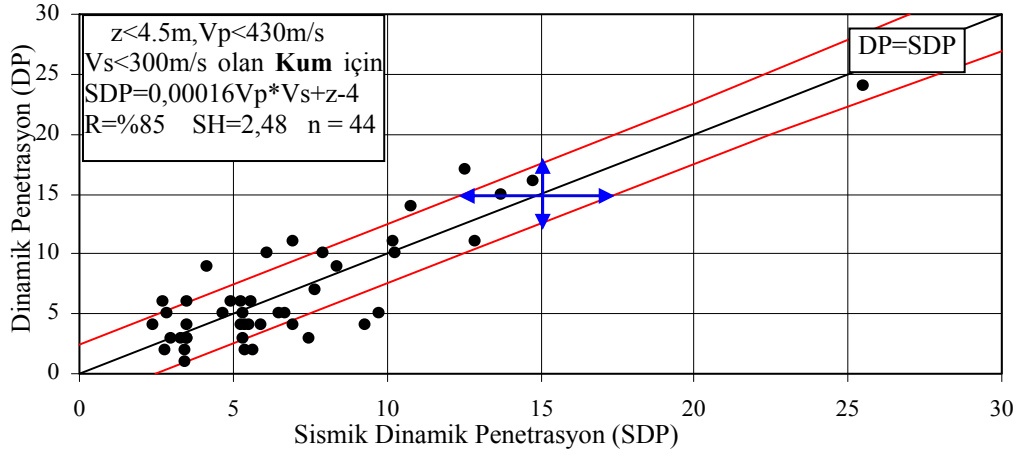
Şekil 4.51. Pomza’ nın sismik boyuna ve enine dalga hızları ile dinamik penetrasyon test arasındaki ilişkiler



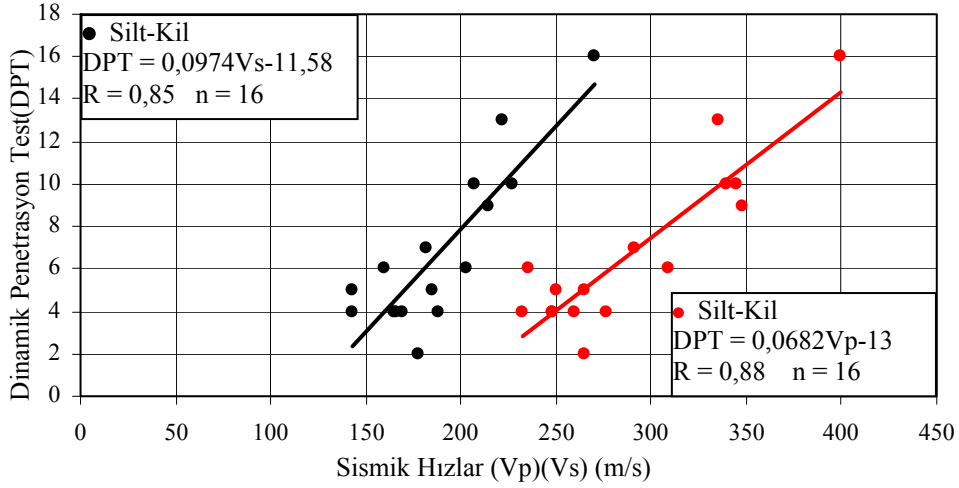
Şekil 4.52. Pomza için dinamik penetrasyon ile sismik hızlar ve derinlikler arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



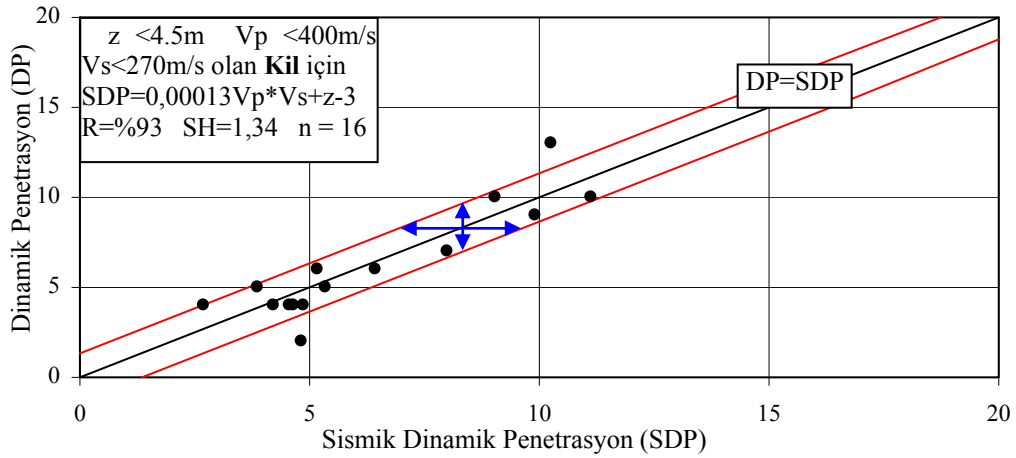
Şekil 4.53. Kum’un sismik boyuna ve enine dalga hızları ile dinamik penetrasyon test arasındaki ilişkiler



Şekil 4.54. Kum zeminler için dinamik penetrasyon ile sismik hızlar ve derinlikler arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



Şekil 4.55. Silt-Kil'in sismik boyuna ve enine dalga hızları ile dinamik penetrasyon test arasındaki ilişkiler



Şekil 4.56. Kil zeminler için dinamik penetrasyon ile sismik hızlar ve derinlikler arasındaki ilişkinin karşılaştırılması

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma ile, Isparta, Yalvaç ve Ağlasun bölgelerinde bulunan dik yarmalarda ve açılan araştırma çukurlarında kuyu içi sismik çalışması ve yerinde yapılan vane ve penetrometre deneyleri ile olası bir deprem esnasında oldukça önem taşıyan zeminin kayma direnç parametrelerinin gerçeğe yakın değerlerinin daha kısa sürede bulunması, bu parametrelerin ve laboratuarda yapılan deney sonuçları ile sismik hızlar arasında ilişkilendirmeler yapılması ve laboratuarda yapılan deneyler ile bölgenin zemin sınıflamasının yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışma bölgelerinde 11 farklı noktada karşıt kuyu(cross-hole) sismik çalışması yapılmış ve her alıcının(jeofon) olduğu yerde yerinde vane ve penetrometre deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca çalışılan bölgelerde daha önceden yapılan çalışmalar alınan dinamik penetrasyon sonuçları ile bu çalışmadan bulunan kuyu içi sismik değerleri arasında ilişkilendirmelerde değerlendirilmiştir.

Araştırma çukurlarında gözlemlenen yaklaşık 4m derinliklere kadar genelde tabakalı bir zemin yapısı izlenmiştir. Her araştırma çukurunda kalınlıkları ve istifi farklı olan tabakalar genellikle, Isparta bölgesinde, pomza, gevşek pomza, pomza kumu, az pomza çakıllı killi siltli kumlu zemin, siltli kumlu kil, siltli kum zemin, Yalvaç bölgesinde, bitkisel toprak, çakıllı killi siltli kum, çakıllı kumlu kil zemin ve Ağlasun bölgesinde ise sadece killi kum zemin tabakaları olarak belirlenmiştir. Isparta bölgesindeki pomza aralanması bu bölgede defalarca volkanik aktivite meydana geldiğini ve malzeme taşınması ve yığılmasının çok defa gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca Yalvaç ve Ağlasun bölgelerinde yıllar önce dere yataklarının, akarsuların taşıdığı malzemeler sonucu bu alüvyonal yapının ortaya çıktığı söylenebilir.

Sismik cross-hole çalışmaları sonucunda, Isparta bölgesinde bulunan pomzanın, kuyu içi P dalga hızı 184-395 m/s ve S dalga hızı 129-285 m/s arasında değişmektedir. Ayrıca P ve S dalga hız oranı 1.5 civarındadır. Bu da pomzanın gözenekli ve gözenekleri gaza doymun olarak yorumlanır.

Çalışılan alanlarda bulunan kum yoğunluklu zeminlerin, P dalga hızı 200-600m/s ve S dalga hızı 100-400m/s arasında değişmektedir. S dalga hızlarına göre bu zeminler gevşek ve orta sıkı zeminler olarak yorumlanır.

Çalışılan alanlarda bulunan kil yoğunluklu zeminlerin, P dalga hızı 250-350m/s ve S dalga hızı 150-240m/s arasında değişmektedir. S dalga hızlarına göre bu zeminler çok gevşek zeminler olarak yorumlanır.

Kum ve kil yoğunluklu zeminlerde, kum miktarının artması, sismik boyuna ve enine dalga hızlarını azaltırken, kil ve çakıl miktarının artması, sismik boyuna ve enine dalga hızlarını artırır. Bu durum, kumda daneler arası bağın zayıf olması yani kohezyonsuz, kil'in ise kohezyonlu olduğunu gösterir.

Kum ve kil yoğunluklu zeminlerde, zeminin likit limit değerinin artması, sismik boyuna ve enine dalga hızlarını azaltır. Bu durum, ortamın cıvıklaşması ve dolayısıyla ortamın gevşek olduğunu gösterir. Zeminin plastik limit değerinin artması, sismik boyuna ve enine dalga hızlarını artırır. Bu durum, zeminin kuruluşunun arttığını gösterir.

Kum ve kil yoğunluklu zeminlerde, zeminin su muhtevası değerinin artması sismik boyuna ve enine dalga hızlarını azaltır.

Kum yoğunluklu zeminlerde, dane birim hacim ağırlığının artması, sismik boyuna ve enine dalga hızlarını artırır.

Düşey basınç ile sismik boyuna ve enine dalga hızları arasında doğrusal ilişkiler görülmüştür. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı 200-650 m/s, enine dalga hızı 120-380 m/s ve düşey basınç 1-7.5 kg/cm<sup>2</sup> arasındaki veriler için doğrudur. Ayrıca, düşey basınç ile sismik hızlar arasında, çok parametrelili ampirik ilişkiler kurulmuştur. Bu ampirik ilişkilerin uyum düzeyi, kum yoğunluklu zeminler için %97, kil yoğunluklu zeminler için %92 olarak belirlenmiştir.

Kayma mukavemeti ile sismik boyuna(P) ve enine(S) dalga hızları arasında doğrusal ilişkiler görülmüştür. Bu doğrusal ilişkiler, boyuna dalga hızı 200-650 m/s, enine dalga hızı 120-350 m/s ve kayma mukavemeti 0.5-3.5 kg/cm<sup>2</sup> arasındaki veriler için doğrudur. Ayrıca, kayma mukavemeti ile sismik hızlar arasında, çok parametrelili ampirik ilişkiler kurulmuştur. Bu ampirik ilişkilerin uyum düzeyi, kum yoğunluklu zeminler için %91, kil yoğunluklu zeminler için %98 olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar çerçevesinde, bir zeminin, gerçeğine en yakın kayma mukavemetinin belirlenmesinde, sismik yöntemlerin oldukça güvenilir olduğu görülmüştür.

Dinamik penetrasyon test, sismik hızlar ve derinlik arasında çok parametrelili ampirik ilişkiler belirlenmiştir. Pomza, Kum ve Kil-Silt zeminler için belirlenen bu ilişkilerin ilişki katsayısı sırasıyla %90, %85, %93'ün üzerindedir.

Zemin mekaniği laboratuvar sonuçlarının ve sismik hızların dar bir aralıkta olması nedeni ile iyi ilişkiler belirlenememiştir. Bu yüzden ileride yapılacak yeni çalışmalar ile elde edilecek yeni veriler ile bu ilişkilerin daha iyi belirlenmesi önerilmektedir.

Yerinde deneyler sonucunda belirlenen düşey basınç, kayma mukavemeti ve kayma mukavemet parametreleri ile sismik hızlar ve derinlik arasında kurulan çok parametrelili ilişkilerin matematiksel ifadelerin kullanılması önerilmektedir. Ancak bu öneri boyuna ve enine dalga hızları sırasıyla 200-650 m/s 100-400 m/s aralığındaki veriler için kullanılmalıdır.

Yüzeye yakın derinlikler için düşey basınç ve kayma mukavemeti parametrelerinin sismik hızlar ile belirlenmesi, zemin mekaniği problemlerinin çözümünde hem zaman hem de ekonomik fayda sağlayacaktır.

Bu çalışma jeoteknikte, yeni yapılacak bilimsel çalışmalara bir veri deposu oluşturmaktadır ve yerinde proktor penetrometre, vane ve sismik karşıt kuyu çalışmalarından elde edilen parametreler arasındaki ilişkilendirmeler ile yapılan ilk çalışmadır.

## 6. KAYNAKLAR

- Aloufi, M.A., 1995. Wave Propagation in Particulate Media. Ph.Thesis.University of-Waterloo. Waterloo, Ontario. Canada.
- Ambraseys, N., 1967. The Response of Earth Dams to Strong Earthquakes Geotechnique. 17, 181-213.
- Anagnostopoulos, A., 2003. 'Empirical correlations of soil parameters based on Cone Penetration Tests(CPT) for Greek soils' Geotechnical and Geological Engineering 21,377-387
- Bachmann, J., 2005. Comparison of soil strength data obtained in-situ with penetrometer and whit vane shear test. Soil & Tillage Research 87(2006) 112-118.
- Brilouin, L., 1946. Wave Propagation in Periodic Structures. McGraw-Hill New York. 247 pages.
- Büyükköse, N., 1983. Sondaj Kuyularında Uygulanan Sismik Direk Dalga Yöntemleri. AU, Ankara
- Cha, M., Gye, C., 2007. Shear Strength Estimation of Sandy Soils Using Shear Wave Volocity. Geotechnical Testing Journal, Vol 30 No.6 ASTM International pp. 484-495.
- Coulomb, C.A., 1776. Essai sur une application de regles des mazimis and minimis Farchitecture. Mem.Acad.Ro pres divers Savants, 7. Paris. p38.
- Craig, R.F.,1978. Soil Mechanics. second ed, vol. 317. Van Nostrand Reinhold, London/Toronto.
- Çinicioğlu, S.F., 2005. Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü anlayışı ve Hesabı. Seminer-İMO, İstanbul.
- Duffy, J., Mindlin, R. D., 1957. Stress Strain Relations and Vibrations of a Granular Material. Journal of the ASME Applied Mechanics Division.pp.585-593.
- Durgunoğlu, H.T., 2000. Sismik Statik Penetrasyon Deneyi(SCPT) İle Geoteknik-Geodinamik Zemin Profili. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 8.Ulusal Kongresi, İTÜ, İstanbul.
- Elmasdere, E., 2008. Isparta Mavikent Yerleşim Bölgesinin Geoteknik Değerlendirmesi ve Zemin-Yapı Etkileşimi Yönünden Mikrobölgelemesi.S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s. Isparta.

- Fiorovante, V., Capoferri, R., 2001. "On the Use of Multidirectional Piezoelectric Transducers in Triaxial Testing". *Geotechnical Testing Journal*. Vol. 24. No. 3. pp. 253-255.
- Fitterman, D.V., 1994. *Fundamentals of Seismic Tomography*, SEG, Geophysical Monograph Series Number:6 ISBN 0-931830-56-7, USA
- Fratta, D., 1998. 'Near-Surface Travel-time Tomographic Application to Foundation Soils-A Physical Model Study'.
- Fratta, D., Santamarina, J.C., 2002. "Shear Wave Propagation in Jointed Rock -State of Stress". *Géotechnique*. Vol. 52. No. 7. pp. 495-505.
- Gilbert, P., 1972. Iterative methods for the three-dimensional reconstruction of an object from Projections. *J. Keor. Birl.*, 36, 105-117
- Hartge, K.H., Bachmann, J., 2004. In situ evaluation of the soil consolidation state by using penetration resistance data. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 167, 304–308.
- Ivansson, S., 1985. A study of methods for tomographic velocity estimation in the presence of low-velocity zones. *Geophysics*, 50, 696-988.
- Jardine, R.J., Kuwano, R., Zdravkovic, L., Thornton, C., 2001. "Some Fundamental Aspects of the Pre-Failure Behavior of Granular Soils". *Pre-Failure Deformation Characteristics of Geomaterials*. Edited by H. Jamiolkowski, R.H. Lancellota, and D.C.F. Lo Presti. Swets and Zeitlinger, Lisse. pp. 1077-1111.
- Lo Presti, D., O'Niell, D. A., 1991. "Laboratory Investigation of Small Strain Modulus Anisotropy in Sand". In A.-B. Huang, Ed. *Calibration Chamber Testing*. Postdam, NY. Amsterdam, Elsevier.
- McKyes, E., 1989. *Agricultural Engineering Soil Mechanics*. Elsevier, Amsterdam, p. 292.
- Meissner, R., 1961. "Wave-front Diagrams from uphole Shooting" *Geoph. Props.* Vol 9, p.p. 533-543.
- Mohr, O., 1900. *Die Elastizitätsgrenze und Bruch eines materials*.
- Mullins, C.E., Cass, A., Macleod, D.A., Hall, D.J.M., Blackwell, P.S., 1992. Strength development during drying of cultivated, flood-irrigated hardsetting soil. II. Trangie soil, and comparison with theoretical predictions. *Soil Till. Res.* 25, 129–147.
- Pratt, R.G., Shin, C., Hicks, G.J., 1998. Gauss-Newton and full Newton methods in frequency-space seismic waveform inversion, *Geophys. J. Int.* 133, 341–362.

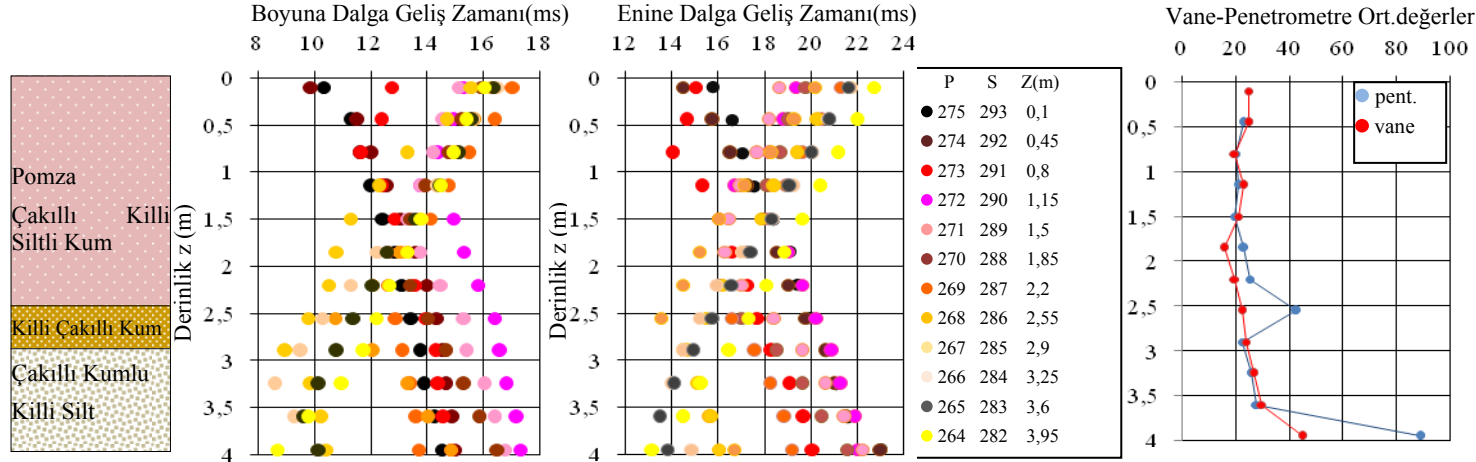
- Pratt, R.G., Worthington, M.H., 1990. Inverse theory applied to multisource crosshole tomography I: acoustic wave-equation method, *Geophys. Prospect.*, 38, 287–310.
- Rao, Y., 2006. ‘Cross-hole seismic waveform tomography-1. Strategy for real data application’ 166, 1224-1236.
- Rao, Y., Wang, Y., 2005. Crosshole seismic tomography: working solutions to issues in real data travel time inversion, *Journal of Geophysics and Engineering*, 2, 139–146.
- Robertson, P.K., Campanella, R.G., Wightman, A., 1983. SPT–CPT correlations, *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 109, GT11, 1449–1459.
- Roesler, S., 1979. Anisotropic Shear Modulus due to Stress Anisotropy. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. Vol. 105(GT7). pp. 871
- Sarma, S.K., 1967. The Response of Earth Dams to Strong Earthquakes, *Geotechnique*, 17, 181-213.
- Sarman, R., Palmer, D.F., 1990. Engineering Geophysics The need for its development and application, 6. International IAEG Congress, Rotterdam 1017-1023.
- Sirgue, L., Pratt, R.G., 2004. Efficient waveform inversion and imaging strategy for selecting temporal frequencies and waveform inversion, *Geophysics*, 69, 231–248.
- Stokoe, K.H., Woods, R.D., 1972. In situ Shear Wave Velocity by Cross-hole Method. *soil Mech. and Foundation Div.* Vol. 98 May.
- Stokoe, K.H., Lee, J.N., Lee, S.H., 1991. Characterization of soil in Calibration Chambers with Seismic Waves. In A.-B. Huang, Ed. *Calibration Chamber Testing*. Postdam, NY. Amsterdam: Elsevier.
- Stewart, R.R., 1991. Exploration seismic tomography: Fundamentals: course notes series, 3, *SEG Prospect.*, 38, 287–310.
- Terzaghi, K., 1943. *Theoretical Soil Mechanics*, Wiley New York
- Tunç, T., 1999. N Eğimli Katmanda Sismik Kırılma Eğrilerinin Java Programlama Dili İle Modellenmesi. AU., Bitirme Tezi, Ankara .
- Türker, E., 1991, Kayaçların Kohezyon ve İçsel Sürtünme Açılarının Sismik Hızlar Yardımı ile Saptanması, AU., Isparta Müh. Fak. Dergisi Jeoloji Müh. Seksiyonu 11 Sayı 6, Isparta.

- Uyanık, O., 1991. Kaya Mekaniği Ve Jeofizik Laboratuar Parametrelerinin İlişkilendirme Açısından Önemi, (Lisans Çalışması), D.E.U. MÜL. Mim. Fak. Jeofizik Müh. Böl. Bornova-Izmir.
- Uyanık, O., 1999. Kayaçlarda Sismik Hızlar Ve Kayma Direncinin İncelenmesi, 52 Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı, 10–12 Mayıs, Ankara.
- Uzuner, B.A., 2001. Temel Mühendisliğe Giriş, Derya kitapevi Trabzon 5.baskı.
- Wadhwa, R.S., 2005. 'Pre and post-excavation cross-hole seismic and geotomographic studies for a Nuclear Power Project' Vol.9, No.2, pp.137-146.
- Wang, Y., 2006. 'Cross-hole seismic waveform tomography-1.Strategy for real data application' 166, 1224-1236.
- Weaich, K., Cass, A., Bristow, K.L., 1992. Use of a penetrometer resistance characteristic to predict soil strength development during drying. Soil Till. Res. 25, 149–166.
- Whalley, W.R., 2004. 'Use of effective stres to predict the penetrometer resistance of unsaturated agricultural soils' Soil & Tillage Research 84(2005) 18-27.
- White, J.E., 1983. Underground Sound. Application of Seismic Waves. Elsevier.Amsterdam. 253 pages.
- Yaman, G., 2007. Prediction of Geotechnical Properties of Cohesive Soils From In-situ Tests: An Evaluation of A Local Database. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 179 s, Ankara

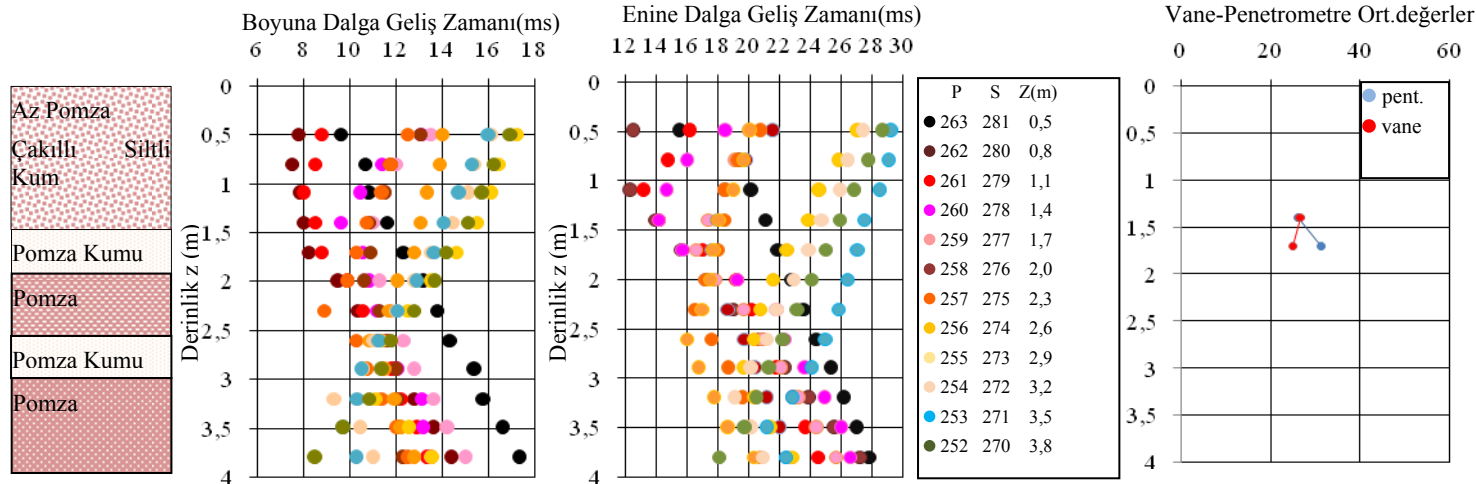
EKLER

**EK-1**

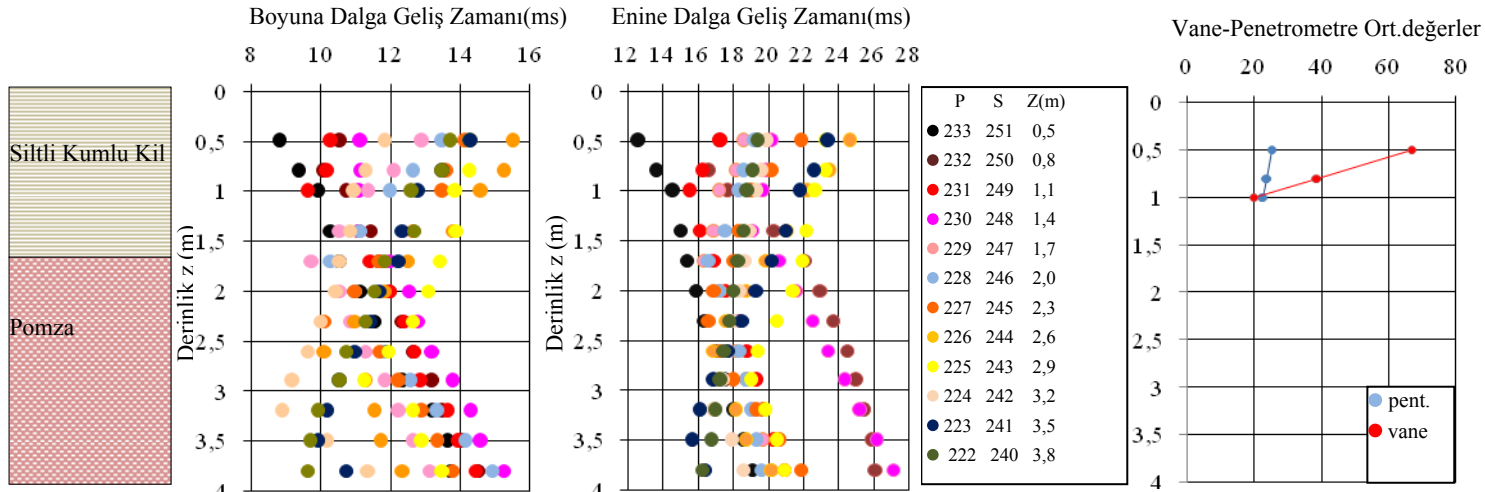
**Arazide Elde Edilen Ham Veriler.**



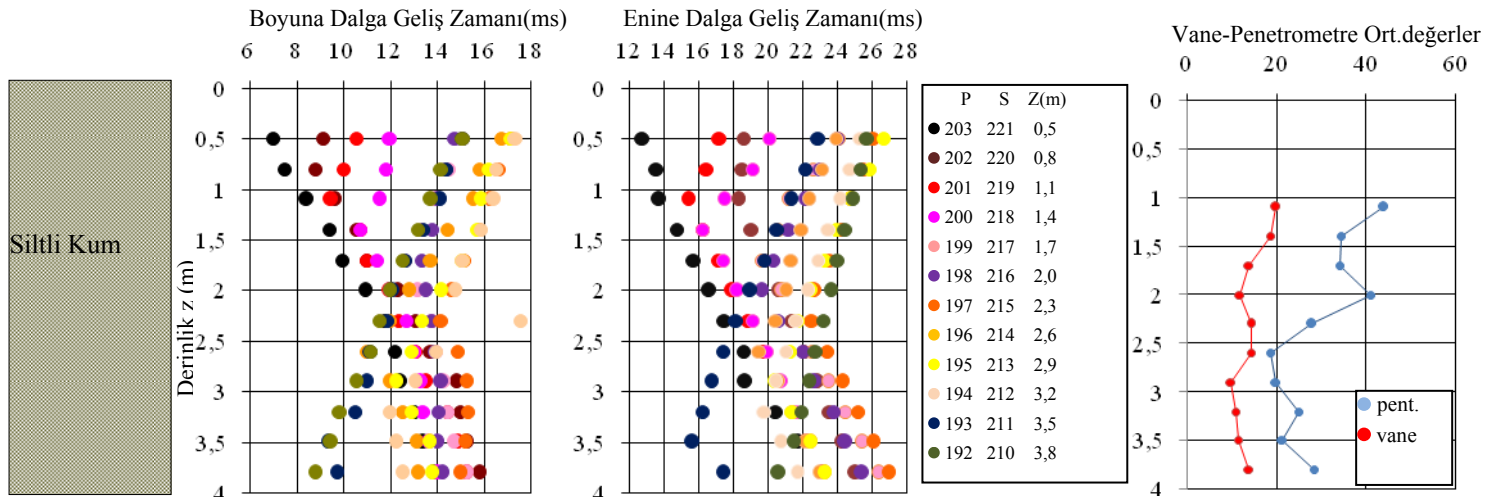
Şekil A.1: I-NÇ1 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu ve vane-penetrometre verileri (z:kaynak derinliği)



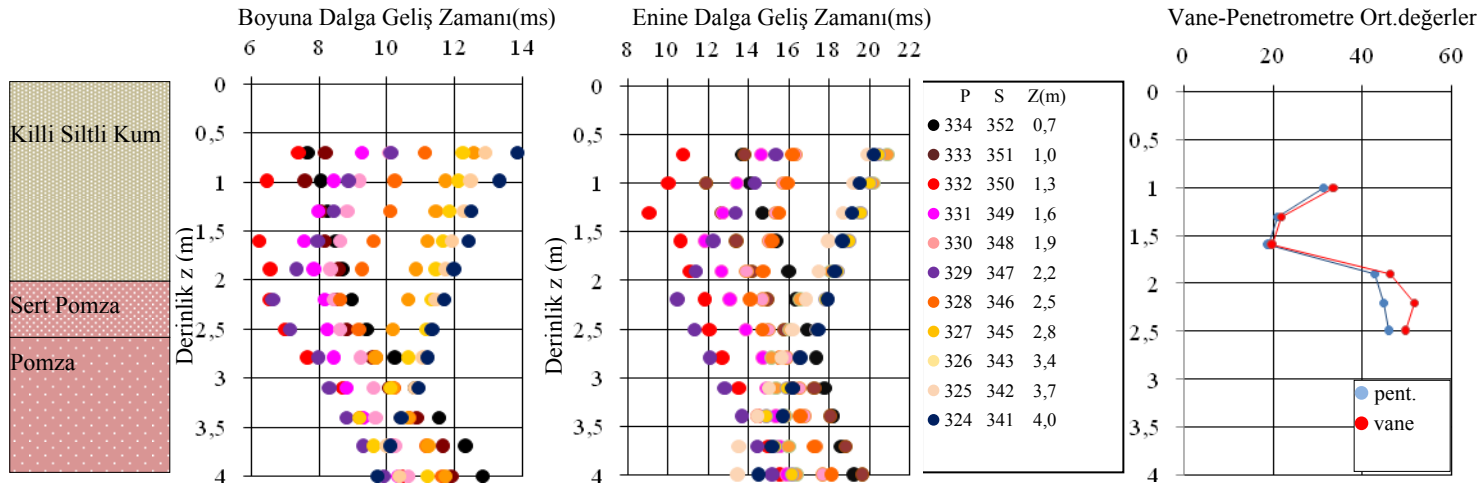
Şekil A.2: I-NÇ2 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu ve vane-penetrometre verileri (z:kaynak derinliği)



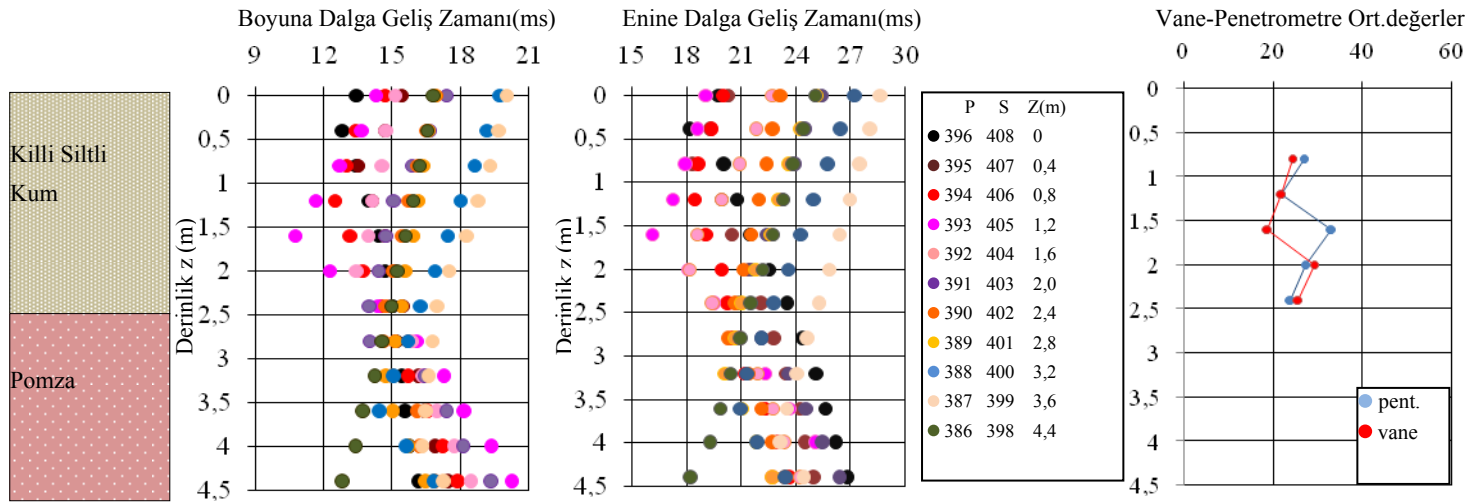
Şekil A.3: I-NÇ3 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu ve vane-penetrometre verileri (z:kaynak derinliği)



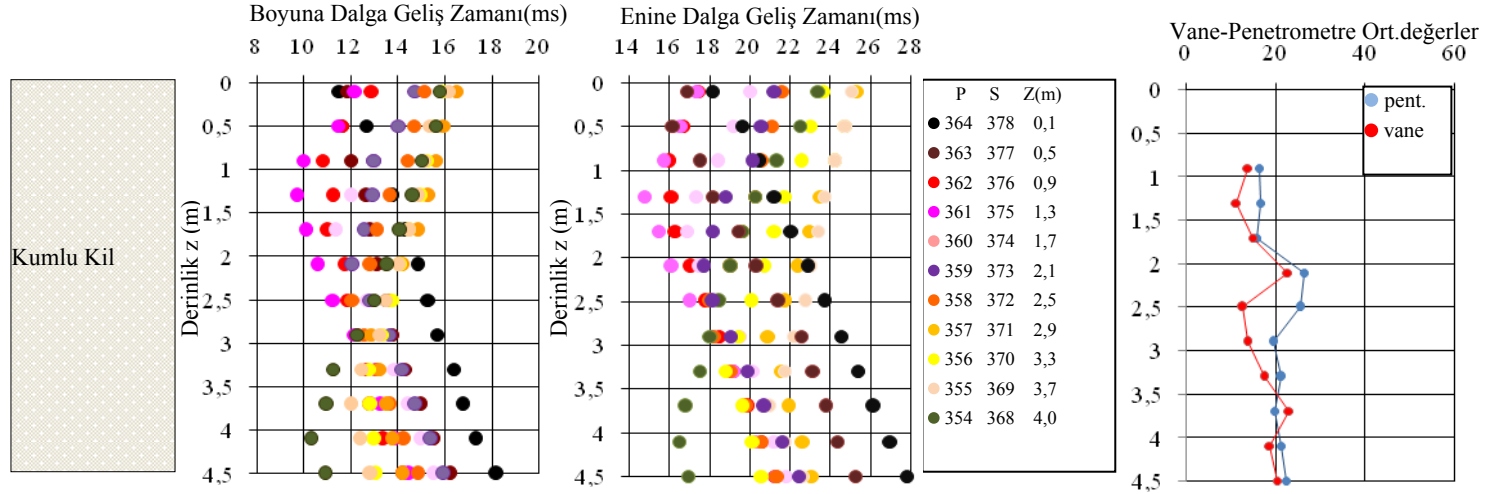
Şekil A.4: I-NÇ4 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu ve vane-penetrometre verileri (z:kaynak derinliği)



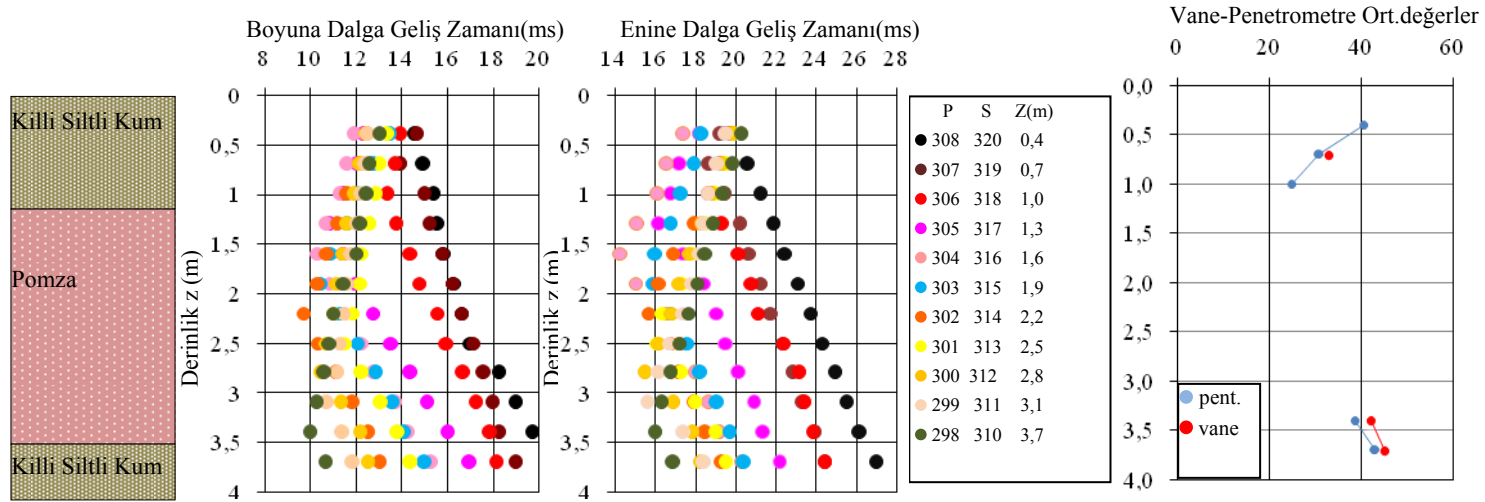
Şekil A.5: I-NÇ5 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu ve vane-penetrometre verileri (z:kaynak derinliği)



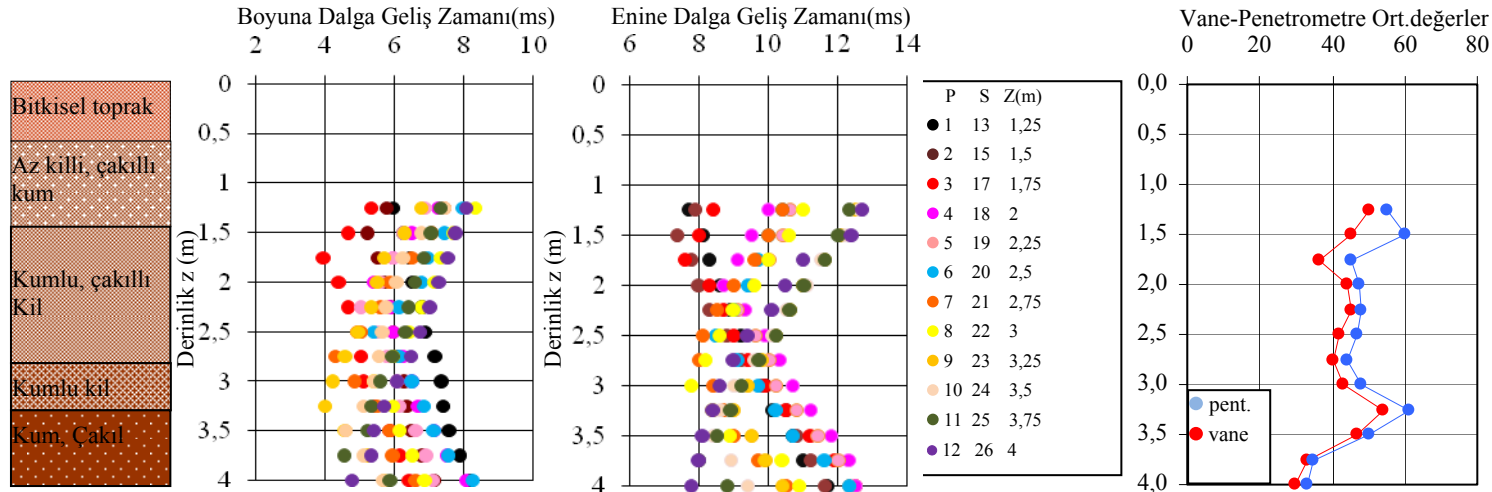
Şekil A.6: I-NÇ6 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu ve vane-penetrometre verileri (z:kaynak derinliği)



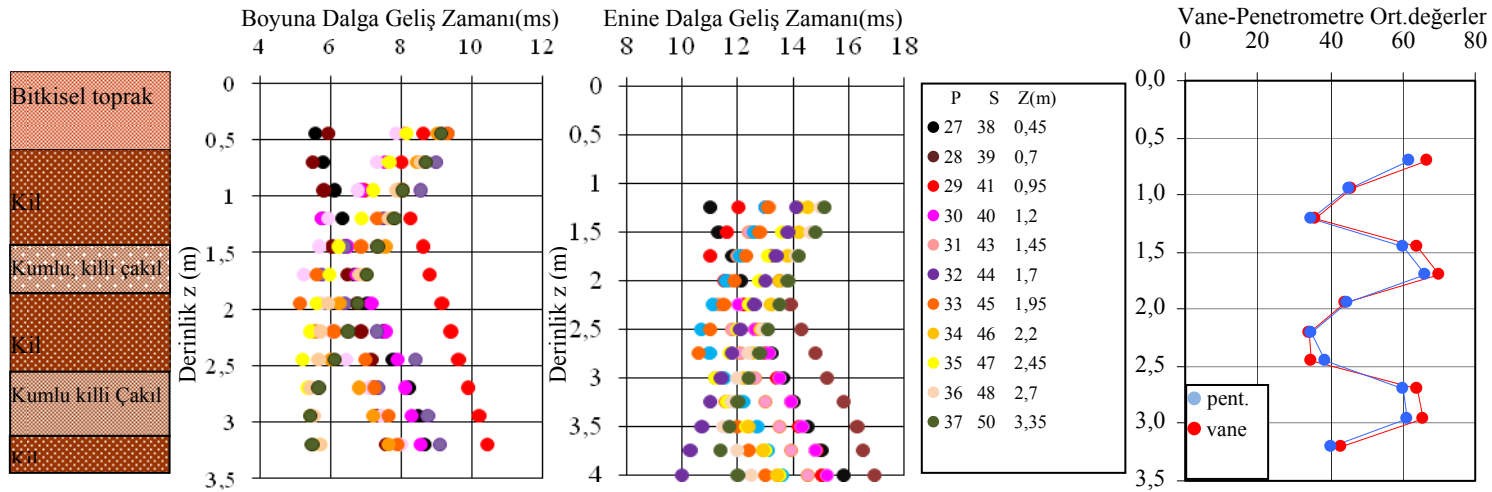
Şekil A.7: I-NÇ7 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu ve vane-penetrometre verileri (z:kaynak derinliği)



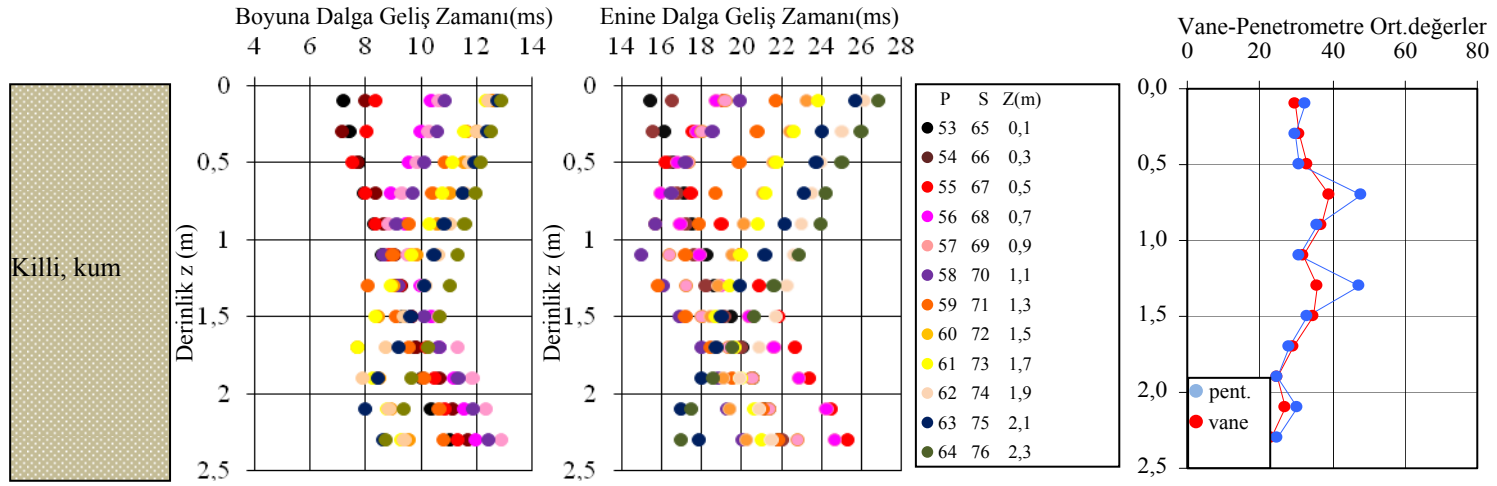
Şekil A.8: I-NÇ8 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu ve vane-penetrometre verileri (z:kaynak derinliği)



Şekil A.9: Y-NÇ1 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu ve vane-penetrometre verileri (z:kaynak derinliği)



Şekil A.10: Y-NÇ2 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu ve vane-penetrometre verileri (z:kaynak derinliği)



Şekil A.11: A-NÇ1 Araştırma çukurunun sismik karşıt kuyu ve vane-penetrometre verileri (z:kaynak derinliği)

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Veysel ÇEKMEN

Doğum Yeri ve Yılı : Diyarbakır 09.06.1980

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce



### Eğitim Durumu

Lise : Antalya Çağlayan Lisesi 1995-1998

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeofizik Müh. Bölümü  
2000-2004

### Çalıştığı Kurumlar:

Sefa Mühendislik 2005-2007

Jeokent Mühendislik A.Ş 2007-2008

