

**T.C.**  
**İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BATTALGAZİ (MALATYA) KAMPÜS ALANININ SEDİMANTOLOJİK VE  
JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**Çiğdem CEYLAN**

**DOKTORA TEZİ**  
**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MALATYA- 2015**

**Tezin Başlığı** : Battalgazi (Malatya) Kampüs Alanının Sedimantolojik ve Jeoteknik  
Özelliklerinin Belirlenmesi

**Tezi Hazırlayan** : Çiğdem CEYLAN

**Sınav Tarihi** : 15.12.2015

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalında  
Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mehmet ÖNAL İnönü Üniversitesi  
(Danışman)

Prof. Dr. Ahmet şAşMAZ Fırat Üniversitesi

Doç. Dr. Calibe KO TAşGIN Fırat Üniversitesi

Doç. Dr. Hikmet SİS İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. İsmail BENTLİ İnönü Üniversitesi

İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

**Prof. Dr. Alaattin ESEN**

Enstitü Müdürü

## ONUR SÖZÜ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Battalgazi (Malatya) Kampüs Alanının Sedimantolojik ve Jeoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynaklar bölümünde yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Çiğdem CEYLAN

# ÖZET

Doktora Tezi

## BATTALGAZİ (MALATYA) KAMPÜS ALANININ SEDİMANTOLOJİK VE JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Çiğdem CEYLAN

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

327+xiv sayfa

2015

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ÖNAL

Bu çalışmada, Battalgazi (Malatya) Kampüs alanının sedimantolojik ve jeoteknik özelliklerinin arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları ile belirlenmesi amaçlanmıştır.

Arazi çalışmaları kapsamında; ilk olarak 15 adet zemin sondajında toplam 105 adet Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmış ve örselenmiş numuneler alınmıştır. Tüm sondajlarda toplam 90 adet Presiyometre (PMT) çalışması yapılmıştır. Arazi çalışmaları kapsamında ikinci olarak 8 adet araştırma çukuru açılmış, örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Son olarak arazi çalışmaları kapsamında; Sismik Kırılma ve Sismik Tomografi Ölçümü, Maws Yüzey Dalgası Analiz Çalışması ve Düşey Elektrik Sondaj (DES) çalışması olmak üzere jeofizik çalışmalar yapılmıştır. Alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvarda bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında sedimantolojik çalışmalar kapsamında örselenmiş numuneler üzerinde tane boyu, tane boyu istatistiksel parametreleri hesaplanarak kaynak bölge tayini, tane şekli belirleme çalışmaları yapılmış, örselenmemiş çakıllar üzerinde ise eski akıntı yönü belirleme çalışmaları yapılmıştır.

Çalışmalar sonucunda elde edilen veriler; çalışma alanı taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma hesaplamalarında kullanılmıştır. Yoğun olarak killi kum içeren birimin büyük oranda sıkı-çok sıkı özellikte olduğu, düşük plastik kıvamda olduğu belirlenmiştir. SPT ile hesaplanan taşıma gücü değerleri 233-563 kPa arasında belirlenmiştir. Taşıma gücü değerleri çalışma alanı güney ve batı kısımlarında diğer bölgelere göre daha yüksektir. Oturma değerleri 23,54-27,35 mm arasındadır. Sıvılaşma hesaplamalarına göre Sıvılaşma Potansiyel İndeks (LPI) değerleri dikkate alındığında risk beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Zemin, sedimantoloji, taşıma gücü, oturma, sıvılaşma

## **ABSTRACT**

Ph. D. Thesis

### **DETERMINATION OF THE SEDIMENTOLOGIC AND GEOTECHNICAL PROPERTIES OF BATTALGAZI (MALATYA) CAMPUS AREA**

Çiğdem CEYLAN

Inonu University

Graduate School of Naturel and Applied Science

Department of Mining Engineering

327+ xiv pages

2015

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ÖNAL

It is aimed to determine the sedimentologic and geotechnical properties of Battalgazi (Malatya) campus area by conducting field, laboratory and office studies.

As the field studies, a total of 105 standard penetration tests (SPT) were made and 15 undisturbed samples were collected following 15 drillings. Then, a total of 90 pressuremeter tests (PMT) were carried out in the drill holes. Additionally, 15 observation pits were opened in the field and undisturbed and disturbed samples were collected from the pits. Finally, geophysical investigations including seismic refraction, seismic tomography, MASW surface wave and vertical electrical sounding tests were carried out in the field. A number of experiments were carried out in the laboratories to determine the physical and mechanical properties of undisturbed and disturbed samples taken from the field. Determination of grain size and shape were made on the disturbed samples and direction of paleocurrent was made on undisturbed samples as part of sedimentologic studies and determination of provenance was made by calculating statistical parameters of grain-size.

At the end of the field and laboratory studies, the collected data were used to calculate or evaluate the bearing capacity of the soil, settlement and liquefaction properties of the study area. The area mainly composed of clayey sand was described lithologically as hard-very hard and slightly plastic consistency. By utilizing SPT data, the bearing capacity was calculated in the range of 233-563 kPa. Bearing capacity was higher in the south and west of the study area. Settlement was between 23.54 and 27.35 mm. According to the Liquefaction Potential Index (LPI) calculations, liquefaction risk is expected.

Keywords: Soil, Sedimentology, bearing capacity, settlement, liquefaction

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın planlanmasında ve yürütülmesinde bana yön vererek destek ve bilgilerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet ÖNAL'a, yardımcı danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Gulmustafa ŞEN'e Doktora tez jürilerim Doç. Dr. Calibe KOÇ TAŞGIN, Doç. Dr. Zülfü GÜROCAK, Doç. Dr. Hikmet SİS, Doç. Dr. İsmail BENTLİ ve Prof. Dr. Bülent TÛTMEZ'e;

Çalışmayı 2013/61 nolu proje ile maddi açıdan destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne;

Analizlerin yapılması ve yorumlanmasında yardım ve desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünden Yrd. Doç. Dr. Yunus ÖNAL, Doç. Dr. Çiğdem SARICI ÖZDEMİR'e,

XRD analizlerinin yorumunda yardım ve desteklerinden dolayı Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünden Doç. Dr. Turan AYYILDIZ ve Yrd. Doç. Dr. Zehra KARAKAŞ'a,

Tezimin her aşamasında yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım Yrd. Doç. Dr. Didem EREN SARICI'ya, Öğr. Gör. Aydan AKSOĞAN KORKMAZ'a, Hekimhan Mehmet Emin Sungur MYO tüm Öğretim Görevlisi arkadaşlarıma ve öğrencilerime;

Hayatım boyunca yanımda olan ve desteklerini doktora çalışmalarım da esirgemeyen annem, babam ve kardeşime;

Tez çalışmalarım da hoşgörüsünü ve desteğini esirgemeyen eşim Levent CEYLAN'a ve Oğluma;

Teşekkür Ederim

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç.....	3
1.2. Kapsam.....	3
2. KURAMSAL TEMELLER.....	5
2.1. Zeminlerin Fiziksel Özellikleri.....	5
2.1.1. Tane boyu dağılımı.....	6
2.1.1.1. Tane boyu dağılımı istatistiksel parametreleri.....	11
2.1.2. Kıvam limitleri.....	14
2.1.3. Birim hacim ağırlık.....	16
2.1.4. Özgül ağırlık ( $G_s$ ).....	18
2.1.5. Su İçeriği.....	19
2.2. Zeminlerin Mekanik Özellikleri.....	19
2.2.1. Konsolidasyon.....	19
2.2.2. Zeminlerin kayma dayanımı.....	26
2.2.2.1. Kesme kutusu deneyi.....	26
2.3. Zeminlerin kimyasal özellikleri.....	26
2.4. Zeminlerin Taşıma Gücü.....	27
2.5. Zeminlerin Sıvılaşması.....	33
2.5.1. Zeminlerin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı.....	33
2.5.2. Sıvılaşma hesaplama yöntemleri.....	38
2.5.2.1. SPT verileri kullanılarak sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi..	41
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	48
3.1. Arazi Çalışmaları.....	48
3.1.1. Araştırma çukur çalışmaları.....	48
3.1.2. Araştırma sondaj çalışmaları.....	52

3.1.3. Arazi deneyleri.....	55
3.1.3.1. Standart penetrasyon deneyi (SPT) .....	55
3.1.3.2. Presiyometre deneyi (PMT) .....	56
3.1.3.3. Jeofizik çalışmalar.....	57
3.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	63
3.2.1. Deney numunelerinin hazırlanması.....	63
3.2.2. Laboratuvar deneyleri.....	65
3.2.2.1. Tane boyu dağılım analizi.....	65
3.2.2.2. Kıvam limitleri deneyi.....	70
3.2.2.3. Birim hacim ağırlık deneyi.....	73
3.2.2.4. Özgül ağırlık deneyi.....	74
3.2.2.5. Kesme kutusu deneyi.....	78
3.2.3.6. Konsolidasyon deneyi.....	80
3.2.4. XRD analizi.....	85
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	86
4.1. Çalışma Alanının Jeolojik Konumu.....	86
4.1.1. Stratigrafi.....	87
4.1.1.1. Temel kaya birimleri.....	88
4.1.1.2. Malatya havzası (Otoktonlar).....	89
4.1.2. Yapısal jeoloji.....	96
4.1.2.1. Doğu Anadolu Fay Zonu .....	98
4.1.2.2. Çöşnük Fayı.....	98
4.1.2.3. Malatya Fayı.....	99
4.1.2.4. Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı.....	100
4.1.2.5. Malatya ve yakın dolayının depremselliği.....	100
4.2. Çalışma Alanının Sedimantolojik Özellikleri.....	104
4.2.1. Eski akıntı yönü.....	104
4.2.2. Sedimanların dokusal özellikleri.....	105
4.2.2.1. Tane şekli.....	105
4.2.2.2. Sedimanların tane boyu sınıflandırması.....	110
4.2.2.3. Tane boyu istatistiksel parametreleri.....	112
4.2.2.4. Sediman numunelerin XRD sonuçları.....	114
4.3. Çalışma Alanı Hidrojeolojik Özellikleri.....	117

4.4. Çalışma Alanı Jeoteknik Özellikleri.....	120
4.4.1. Arazi çalışma bulguları.....	120
4.4.1.1. Araştırma çukur (AÇ) çalışmaları.....	120
4.4.1.2. Araştırma sondaj (SK) çalışmaları.....	121
4.4.2. Laboratuvar çalışma bulguları.....	138
4.4.2.1. Fiziksel deneyler.....	139
4.4.2.2. Mekanik deneyler.....	144
4.5. Çalışma Alanı Taşıma gücü Hesaplamaları.....	165
4.5.1. Standart Penetrasyon deneyi (SPT) verileri kullanılarak taşıma gücü hesaplamaları.....	166
4.5.2. Presiyometre deney (PMT) verileri kullanılarak taşıma gücü hesaplamaları.....	168
4.5.3. Laboratuvar verileri ile taşıma gücü hesaplamaları.....	170
4.6. Çalışma Alanı Oturma Hesaplamaları.....	171
4.7. Çalışma Alanı Sıvılaşma Hesaplamaları.....	175
5. SONUÇLAR.....	195
5.1. Sonuçlar.....	195
5.2. Öneriler.....	201
KAYNAKLAR.....	202
EKLER.....	209
ÖZGEÇMİŞ.....	327

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Zinng küresellik sınıflaması.....	6
Şekil 2.2	Kırıntılı kayaç sınıflaması.....	10
Şekil 2.3	Ortalama tane boyu – boylanma değerlerine göre depolanma ortamları.....	14
Şekil 2.4	Plastisite kartı.....	16
Şekil 2.5	Ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi.....	21
Şekil 2.6	Hacimsel sıkışma katsayısı ve sıkışma indisinin hesaplanması.....	21
Şekil 2.7	Karekök yöntemi ile konsolidasyon katsayısının belirlenmesi.....	23
Şekil 2.8	Tane boyu dağılımı açısından sıvılaştırmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri.....	35
Şekil 2.9	Sıvılaştırma ve zemin yüzeyinde meydana gelen hasarın oluşumunu belirlemek için sınır eğrileri.....	37
Şekil 3.1	Çalışma alanında açılan sondaj noktaları ve araştırma çukur noktaları.....	49
Şekil 3.2	Araştırma çukurlarından örselenmemiş numune alımı.....	50
Şekil 3.3	Eski akıntı yönü belirleme çalışmaları.....	51
Şekil 3.4	Hendek çalışması.....	51
Şekil 3.5	Zemin sondajlarından örselenmiş numune alımı.....	53
Şekil 3.6	Çalışma alanı gözlem kuyuları .....	54
Şekil 3.7	SPT deneyi ve SPT tüpü.....	56
Şekil 3.8	Presiyometre deney aleti (a) ve probu (b) .....	57
Şekil 3.9	Çalışma alanında sismik Masw çalışması.....	58
Şekil 3.10	Sismik refraksiyon çalışması esnasında kullanılan sismograf.....	59
Şekil 3.11	Masw çalışması $V_{s30}$ alansal dağılım haritası.....	61
Şekil 3.12	Çalışma alanında çok kanallı DES arazi ölçümü.....	62
Şekil 3.13	Örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri.....	64
Şekil 3.14	Elek analizi deney düzeneği.....	66
Şekil 3.15	Hidrometre deney düzeneği.....	68
Şekil 3.16	Likit limit deney aleti.....	71
Şekil 3.17	Plastik limit deneyi.....	72
Şekil 3.18	Piknometrenin kalibrasyon işlemi (a) ve kalibrasyon eğrisi (b).....	75
Şekil 3.19	Özgül ağırlık deney düzeneği.....	77
Şekil 3.20	Kesme kutusu deney aleti.....	78
Şekil 3.21	Kesme kutusu deney numunesi.....	79
Şekil 3.22	Kesme kutusu deney sonuçları kullanılarak oluşturulan eğriler.....	80
Şekil 3.23	Konsolidasyon hücresi ve numunesi.....	81
Şekil 3.24	Konsolidasyon deneyi.....	82
Şekil 4.1	Çalışma alanı yer bulduru haritası .....	86
Şekil 4.2	Çalışma alanı basitleştirilmiş jeoloji haritası.....	87
Şekil 4.3	Çalışma alanı genelleştirilmiş kolon kesiti.....	88
Şekil 4.4	Arap plakası ile Anadolu Bloğu'nun çarpışması.....	97
Şekil 4.5	Malatya ve yakın dolayındaki faylar.....	98
Şekil 4.6	Çöşnük Fayı'nın 2012 yılında ürettiği depremler.....	99
Şekil 4.7	Türkiye Deprem Bölgeleri haritası.....	101
Şekil 4.8	1900-2013 yılları arasında Malatya ve yakın dolayında $3,5 < M < 9$ arasında meydana gelen depremler.....	103

Şekil 4.9	1900-2013 yılları arasında Malatya ve yakın civarında meydana gelen depremler.....	103
Şekil 4.10	Çalışma alanı eski akıntı yönü.....	105
Şekil 4.11	Sediman taneler üzerinde ölçüm yapılan doğrultular.....	106
Şekil 4.12	Sediman numunelere ait; a) Çakıl- kum- çamur, b) Kum- silt- kil tane boyu sınıflaması.....	111
Şekil 4.13	Çalışma alanı ortalama tane boyu- boylanma verilerine göre depolanma ortamı.....	114
Şekil 4.14	SK1-4,5m numunesi XRD sonucu.....	115
Şekil 4.15	SK7-19,5m numunesi XRD sonucu .....	115
Şekil 4.16	SK8-1,5m numunesi XRD sonucu .....	116
Şekil 4.17	SK11-4,5m numunesi XRD sonucu .....	116
Şekil 4.18	SK14-19,5m numunesi XRD sonucu .....	117
Şekil 4.19	Ekim ve Haziran ayına ait yer atı su seviye haritaları.....	119
Şekil 4.20	PMT deney sonuçlarına ait örnek gösterim.....	123
Şekil 4.21	Çalışma alanı Em ve P <sub>L</sub> değerleri.....	128
Şekil 4.22	Çalışma alanına ait sismik ölçümlerin doğrultu ve sonuçları.....	133
Şekil 4.23	Çalışma alanı DES sonuçlarına göre KD-GB yönlü yeraltı yapısının 3 boyutlu görünümü.....	136
Şekil 4.24	Çalışma alanı DES sonuçlarına göre B-D yönlü yeraltı yapısının 3 boyutlu görünümü.....	136
Şekil 4.25	AÇ1-3m e- $\sigma$ grafiği.....	145
Şekil 4.26	AÇ1-5m e- $\sigma$ grafiği.....	146
Şekil 4.27	AÇ2-3m e- $\sigma$ grafiği.....	147
Şekil 4.28	AÇ2-5m e- $\sigma$ grafiği.....	148
Şekil 4.29	AÇ3-3m e- $\sigma$ grafiği.....	149
Şekil 4.30	AÇ3-5m e- $\sigma$ grafiği.....	150
Şekil 4.31	AÇ4-3m e- $\sigma$ grafiği.....	151
Şekil 4.32	AÇ5-3m e- $\sigma$ grafiği.....	152
Şekil 4.33	AÇ7-3m e- $\sigma$ grafiği.....	153
Şekil 4.34	AÇ7-5m e- $\sigma$ grafiği.....	154
Şekil 4.35	AÇ8-3m e- $\sigma$ grafiği.....	155
Şekil 4.36	AÇ8-5m e- $\sigma$ grafiği.....	156
Şekil 4.37	AÇ1 Kesme kutusu deney sonuçları.....	159
Şekil 4.38	AÇ2 Kesme kutusu deney sonuçları.....	160
Şekil 4.39	AÇ3 Kesme kutusu deney sonuçları.....	161
Şekil 4.40	AÇ4 ve AÇ5 Kesme kutusu deney sonuçları.....	162
Şekil 4.41	AÇ7 Kesme kutusu deney sonuçları.....	163
Şekil 4.42	AÇ8 Kesme kutusu deney sonuçları.....	164
Şekil 4.43	Çalışma alanı SPT verileri ile taşıma gücü haritası.....	167
Şekil 4.44	Çalışma alanı PMT verileri ile taşıma gücü haritası.....	170
Şekil 4.45	Konsolidasyon deneyi sonucu hesaplanan 12 ay sonu oturma miktarları.....	175
Şekil 4.46	Çalışma alanı 7,5m SPT ve Vs karşılaştırması.....	184
Şekil 4.47	Çalışma alanı 10,5m SPT ve Vs karşılaştırması .....	185
Şekil 4.48	Çalışma alanı LPI değerleri.....	187
Şekil 4.49	Çalışma alanı 7,5m LPI değerleri dağılımı.....	192
Şekil 4.50	Çalışma alanı 10,5m LPI değerleri dağılımı.....	193

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	Bazı ASTM elek numaraları ve elek göz açıklıkları.....	7
Çizelge 2.2	Çeşitli standartlara göre zeminlerin tane boyu dağılımı.....	8
Çizelge 2.3	Udden ve Wentworth ölçeği.....	9
Çizelge 2.4	Boylanmanın grafik standart sapma sınıflaması.....	12
Çizelge 2.5	Sedimanların çarpıklık sınıflaması.....	12
Çizelge 2.6	Sedimanların tepelenme sınıflaması.....	13
Çizelge 2.7	Plastisite indisine bağlı olarak zemin sınıflaması.....	15
Çizelge 2.8	Bazı yaygın minerallerin özgül ağırlık değerleri.....	18
Çizelge 2.9	Meyerhof faktörleri.....	29
Çizelge 2.10	Maksimum yer ivmesinin uzaklıkla azalması.....	37
Çizelge 2.11	JMA V veya M.M.S. VIII şiddetine göre jeomorfolojik olarak sınıflama şüphesi.....	39
Çizelge 2.12	İnce taneli zeminlerin sınıflama kriterleri.....	40
Çizelge 2.13	Zeminlerin kıvam limitlerine bağlı olarak sınıflama kriterleri.....	41
Çizelge 2.14	SPT-N değerlerine bağlı olarak kumun bağlı yoğunluğu.....	41
Çizelge 2.15	SPT-N üzerinde yapılan düzeltmeler.....	44
Çizelge 2.16	Sınıflama potansiyeli sınıflaması.....	47
Çizelge 3.1	Araştırma çukur koordinatları ve derinlikleri.....	49
Çizelge 3.2	Çalışma alanı sondaj koordinatları.....	53
Çizelge 3.3	Zemin sondajlarında yapılan SPT ve PMT derinlikleri.....	54
Çizelge 3.4	Sismik Kırılma-Masw arazi ölçüm noktalarının çalışma alanındaki koordinatları.....	60
Çizelge 3.5	Çok kanallı DES arazi ölçüm noktalarının çalışma alanındaki koordinatları.....	62
Çizelge 3.6	Araştırma çukurlarından ve sondajlardan alınan numuneler, derinlikleri ve türleri.....	63
Çizelge 3.7	Elek Analizi Deneyinde kullanılan elekler ve elek göz açıklıkları.....	65
Çizelge 3.8	Hidrometre deneyi elektrik mikseri ile karıştırma süreleri.....	67
Çizelge 3.9	Özgül ağırlık deneyinde kullanılacak zemin miktarı.....	76
Çizelge 4.1.	Malatya ve yakın civarında yıllara göre depremler.....	102
Çizelge 4.2	Sediman numuneleri üzerindeki eski akıntı ölçümleri.....	104
Çizelge 4.3	Sediman numunelerin Zinng küresellik sınıflaması tane boyu ölçümleri ve tanımlamaları.....	107
Çizelge 4.4	Sediman numunelerin tane boyu istatistiksel parametreleri.....	113
Çizelge 4.5	Çalışma alanında gözlem kuyularında ölçülen aylık yeraltı su seviyeleri.....	118
Çizelge 4.6	Araştırma Çukurlarından alınan numuneler ve yapılan deneyler	121
Çizelge 4.7	Zemin sondajlarında elde edilen SPT-N değerleri üzerinde yapılan düzeltmeler.....	122
Çizelge 4.8	Presiyometre deney sonuçları	125
Çizelge 4.9	Zemin tipine göre Em ve PL ilişkisi.....	127
Çizelge 4.10	Zemin türüne bağlı olarak Em/PL değerleri.....	129
Çizelge 4.11	$V_P$ düz ve $V_P$ ters dalga hızları.....	130
Çizelge 4.12	Çalışma alanı Maws yüzey analiz yöntemi sonuçları.....	132

Çizelge 4.13	$V_{s30}$ değerlerine göre zemin sınıfı.....	133
Çizelge 4.14	Deprem yönetmeliğine göre zeminlerin sismik sınıflaması.....	134
Çizelge 4.15	2007 Deprem yönetmeliğine göre zemin türünün sınıflaması.....	134
Çizelge 4.16	Çalışma alanı 0-100m arası zemin yapısı ve jeofizik verileri.....	137
Çizelge 4.17	Çalışma alanı 0-30m arası jeofizik ölçüm sonuçları.....	138
Çizelge 4.18	İnce taneli zeminlerin şişme potansiyeli sınıflaması.....	140
Çizelge 4.19	İnce taneli zeminlerin kıvamı.....	140
Çizelge 4.20	Çalışma alanı ince taneli zeminlerin kıvamları ve şişme potansiyelleri.....	141
Çizelge 4.21	Konsolidasyon deneyi $a_v$ ve $m_v$ sonuçları.....	157
Çizelge 4.22	$m_v$ değerlerine göre sıkışabilirlik sınıflaması.....	157
Çizelge 4.23	$a_v$ değerlerine göre sıkışabilirlik sınıflaması.....	158
Çizelge 4.24	Kesme kutusu deneyi kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri....	165
Çizelge 4.25	SPT deney verileri kullanılarak taşıma gücü hesaplamaları.....	166
Çizelge 4.26	PMT verileri kullanılarak taşıma gücü hesaplamaları .....	169
Çizelge 4.27	Kesme kutusu verileri kullanılarak taşıma gücü hesaplamaları.....	171
Çizelge 4.28	Konsolidasyon deney sonuçlarına göre nihai oturma hesaplamaları	172
Çizelge 4.29	Aylara göre zemin oturma miktarları.....	173
Çizelge 4.30	Çalışma alanı SPT numunelerine ait $Cu > 6$ için tane boyu dağılımlarının sınıflama duyarlılığı.....	176
Çizelge 4.31	SPT- $N_{1,60}$ verileri ile elde edilen $F_s$ değerleri.....	178
Çizelge 4.32	$V_s$ dalga hızı kullanılarak çalışma alanı $F_s$ değerleri.....	182

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<	Küçük
>	Büyük
≤	Küçükeşit
≥	Büyükeşit
°	Derece
%	Yüzde
A	Alan
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation
AÇ	Araştırma Çukuru
ADKÇ	Aşırı derecede kaba çarpık
ASTM	American Society for Testing and Materials
$a_{max}$	Zemin yüzeyinde maksimum yatay yer ivmesi
$a_v$	Sıkışabilirlik katsayısı
$b_c, b_q, b_v$	Temel tabanı eğim faktörü
B	Batı
BS	British Standarts
°C	Santigrat derece
c	Kohezyon
$C_B$	Sondaj çapı düzeltme faktörü
$C_c$	Sıkışma indeksi
$C_E$	Enerji düzeltme faktörü
cm	Santimetre
$cm^2$	Santimetrekaire
$cm^3$	Santimetreküp
$C_N$	Derinlik düzeltme faktörü
CPT	Konik penetrasyon deneyi
$C_R$	Tij uzunluğu düzeltme faktörü
$C_r$	Süreklilik katsayısı
$C_s$	Numune alıcı kılıf düzeltme faktörü
CSR	Devirsel gerilim oranı
CRR	Devirsel direnç oranı
$CRR_{7,5}$	7,5 şiddetindeki deprem için devirsel direnç oranı
$C_u$	Uniformluk katsayısı
$C_v$	Konsolidasyon katsayısı
$C_w$	Yeraltı suyu düzeltme faktörü
ÇKB	Çok kötü boylanma
D	Doğu
DAFZ	Doğu Anadolu Fay Zonu
DES	Düşey elektrik sondaj
$D_f$	Temel derinliği
$D_w$	Yeraltı su derinliği
$d_c, d_q, d_v$	Derinlik faktörleri
dk	Dakika
DS	Örselenmiş numune
e	Boşluk oranı
$e_i$	İ yükleme kademesinde boşluk oranı
$E_m$	Elastisite modülü
$F_k$	Güvenlik katsayısı

F <sub>s</sub>	Sıvılaşma güvenlik katsayısı
g	Yerçekimi ivmesi
G	Güney
GB	Güneybatı
GD	Güneydoğu
GK	Gözlem Kuyusu
gr	Gram
G <sub>s</sub>	Özgül ağırlık
Hz	Hertz
I <sub>c</sub>	Relatif konsistans
i <sub>c</sub> , i <sub>q</sub> , i <sub>y</sub>	Eğim faktörleri
ISSMFE	Technical Committee of International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering
I <sub>L</sub>	Likitlik İndeksi
I <sub>p</sub>	Plastisite indeksi
I <sub>o</sub>	Şiddet
İTO	İnce tane oranı
k	Permeabilite katsayısı
K	Kuzey
KB	Kötü boylanma
K <sub>g</sub>	Tepelenme katsayısı
kg	Kilogram
kgf	Kilogramkuvvet
km	Kilometre
kN	Kilo Newton
kPa	Kilo Paskal
LL	Likit limit
LPI	Sıvılaşma potansiyel indeksi
M	Deprem magnitudü
m	Metre
m <sup>2</sup>	Metrekare
m <sup>3</sup>	Metreküp
Masw	Multi-channel analysis of surface wave
ml	Mililitre
mm	Milimetre
Mo	Mod
Md	Medyan
MN	Mega Newton
Ms	Yüzey Dalgası Büyüklüğü
MSF	Magnitüt düzeltme faktörü
mv	Hacimsel sıkışma katsayısı
Mw	Deprem magnitudü
Mt	Süspansiyon sıcaklık düzeltmesi
MTA	Maden Tetkik Arama
Mz	Grafik orta
my	Milyon yıl
N	Normal kuvvet
N <sub>1,60</sub>	Düzeltilmiş SPT darbe sayısı
N <sub>(1,60)cs</sub>	N <sub>1,60</sub> üzerinde ince tane içeriğine bağlı düzeltilmiş darbe sayısı

NCEER	National center of earthquake engineering research
NEHRP	National earthquake hazards reduction program
NP	Plastik değil
NSF	National Science Foundation
$N_c, N_q, N_\gamma$	Taşıma gücü katsayıları
OB	Orta boylanma
ODİB	Orta derecede iyi boylanma
$P_c$	Ön konsolidasyon basıncı
PL	Plastik limit
$P_L$	Presiyometre limit basınç
$P_L^*$	Presiyometre net limit basıncı
PMT	Presiyometre deneyi
$P_o$	İlksel basınç
$q_a$	Zemin emniyet gerilmesi
$q_{all}$	İzin verilebilir taşıma gücü
$q_{ult}$	Son taşıma gücü
$r_d$	Gerilme azaltma katsayısı
s	Saniye
S	Oturma
$S_c, S_q, S_\gamma$	Şekil faktörleri
SK	Sondaj Kuyusu
$SK_1$	Çarpıklık
SPT	Standart Penetrasyon deneyi
SPT-N	SPT arazi darbe sayısı
$t_{90}$	%90 konsolidasyon için geçen zaman
$T_o$	Zemin hakim titreşim periyodu
TC	Technical Committee
TS	Türk Standartları
$T_v$	Zaman Faktörü
U	Ortalama konsolidasyon derecesi
UDS	Bozunmamış numune
USCS	Unified Soil Classification System
YASS	Yeraltı su seviyesi
w	Su İçeriği
$W_n$	Doğal ağırlık
$W_d$	Kuru ağırlık
$W_{sat}$	Doygun ağırlık
$W_w$	Su ağırlığı
V	Hacim
$V_p$	Boyuna dalga hızı
$V_s$	Enine dalga hızı
$V_{S30}$	30m kalınlık için ortalama $V_s$
XRD	X-Ray Diffraction
$\mu m$	Mikrometre
$\nu$	Poisson oranı
$\gamma$	Birim hacim ağırlık
$\gamma_n$	Doğal birim hacim ağırlık
$\gamma_d$	Kuru birim hacim ağırlık
$\gamma_{sat}$	Doygun birim hacim ağırlık
$\gamma_w$	Suyun birim hacim ağırlığı

$\sigma_1$	Boylanma katsayısı
$\sigma'$	Efektif gerilim
$\sigma_v$	DüŖey toplam gerilme
$\tau$	Makaslama gerilimi
$\phi$	İçsel sürtünme açısı

## 1. GİRİŞ

Deprem, su baskını, heyelan gibi doğal afetlerin meydana getirdiği zararlar, imar planları yapılmadan önce yapılacak jeoteknik çalışmaların ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Dünyanın farklı noktalarında hemen hemen her yıl önemli can ve mal kaybına neden olan doğal afetler, ülkemizde de yıkıcı etkisini yakın geçmişte göstermiştir.

Deprem gibi doğal afetlerin ne zaman, nerede, hangi büyüklükte meydana geleceği ve nasıl hasarlara sebep olacağı gibi faktörler kontrol edilemeyen unsurlardır. Ancak, teknolojinin gelişmesine bağlı olarak alınabilecek önlemler hızla artmaktadır.

İmar planı yapılarak yerleşime açılacak bölgelerde önceden belirlenen jeolojik ve jeoteknik veriler mühendislik yapılarının ömrünü ve güvenliğini sağlarken can güvenliğini de beraberinde sağlayacaktır. Zemin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla arazide ve laboratuvarında yapılan çalışmalarla elde edilen veriler kullanılarak, zeminin taşıma gücü, oturma miktarı gibi önemli özellikleri ortaya konulabilir. Zeminin emniyetli bir şekilde ne kadar yük taşıyacağı, kum gibi kohezyonsuz zeminlerin yüklemeye bağlı oturma miktarları, kil gibi kohezyonlu zeminlerin ani oturma, birincil ve ikincil oturma miktarlarının belirlenmesi mühendislik yapılarının emniyeti açısından önem taşır.

Son zamanlarda meydana gelen büyük depremlerin ortaya koyduğu hasarlar birçok bilim adamının dikkatini çekmektedir. Deprem sonucu meydana gelen sıvılaşma da bu tür hasarlardan biridir. Özellikle yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu, yoğun olarak kumlu, gevşek ve genç birimlerden oluşan zeminlerde deprem sonrasında ciddi hasarlar oluşabilmektedir.

Sıvılaşma; zemin yüzeyinde oturmaları, taşıma gücünde yenilmelere neden olabilir. Suya doygun, genç, gevşek kumlu zeminlerde inşa edilen yapılar deprem sürecinde çökmeye meyilli olacaktır [1].

Sıvılaşma sonucunda ortaya çıkan hasarlar, Committee on Earthquake Engineering (1985) tarafından sekiz farklı şekilde tanımlanmıştır [2]. Bu zararlar şu şekilde sıralanabilir:

- a. Kum Kaynaması
- b. Akma yenilmesi
- c. Yanal yayılma
- d. Zemin salınımı
- e. Zemin taşıma kapasitesinin yenilmesi
- f. Boru, tank gibi gömülü yapıların yükselmesi
- g. Zemin oturmaları
- h. İstinat duvarlarının hasara uğraması

1988 yılında Ambrasey yaptığı çalışma ile sığ depremlerin büyüklüğü ve merkezinin sıvılaşma bölgelerinde etkili olduğunu belirtmiştir. Bu depremlerin şiddeti arttıkça ve merkezlerine yaklaştıkça sıvılaşmanın arttığını ortaya koymuştur [3].

Sıvılaşmaya karşı en duyarlı çökeller; Holosen yaşlı delta, akarsu, taşkın ovası gibi ortamlardır. Yine yeraltı su seviyesinin yüzeyden en fazla 10m derinlikte olduğu yerler sıvılaşmaya karşı hassasken, 20 m ve daha derin bölgeler ender olarak sıvılaşan bölgelerdir [4].

Sıvılaşmış zeminlerde yer alan yapılardaki hasarlar, zemin taşıma gücünün yenilmesi, yanal yayılma ve farklı oturmalar sonucu oluşabilir. Sıvılaşmanın tahmininde; laboratuvarlarda zemin numuneleri üzerinde yapılan deneyler ve arazide yerinde yapılan deneyler olmak üzere iki temel yaklaşım mevcuttur. Özellikle yerinde yapılan deneyler kapsamındaki Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) en çok kullanılan ve pratik bir uygulamadır [5]. Sıvılaşma direncinin belirlenmesi amacıyla birçok araştırmacı birçok yöntem ortaya koymuştur. 2001 yılında yaklaşık 20 kadar konuyla ilgili bilim adamının katılımıyla bir çalışma düzenlenmiş ve sıvılaşma direncinin belirlenmesine yönelik yöntemleri içeren bir rapor hazırlanmıştır. Bu raporda arazide sıvılaşma direncinin belirlenebilmesi için üç deney önerilmektedir. SPT, Konik Penetrasyon Deneyi (CPT) ve kayma dalgası hızının (Vs) ölçümü bu deneylerdendir.

## 1.1. Amaç

Bu çalışmada; Battalgazi (Malatya) Kampüs alanı jeoteknik ve sedimantolojik özelliklerinin ortaya konulması amaçlanmaktadır.

## 1.2. Kapsam

Bu tez çalışması arazi ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

1. Arazi çalışmaları kapsamında 15 adet 20 m derinlikte araştırma sondaj kuyusu ve 8 adet 5 m derinlikte araştırma çukuru açılmıştır. Her sondaj kuyusunda 7 adet olmak üzere toplam 105 adet SPT ve yine her sondajda 6 adet olmak üzere toplam 90 adet Presiyometre Deneyi (PMT) yapılmıştır. SPT deneyi sırasında sondajlardan farklı derinliklerden ve araştırma çukurlarından alınan örselenmiş numuneler üzerinde zeminin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla; su içeriği, elek analizi, hidrometre, kıvam limitleri ve özgül ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir.
2. Araştırma çukurlarından 3 ve 5 m derinliklerden örselenmemiş numuneler alınmış ve bu numuneler üzerinde zeminin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla kesme kutusu ve konsolidasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.
3. Arazi genelinde yapılan deney verilerini desteklemek, birimlerin toplam kalınlıkları, derinlikleri gibi litolojik ve jeoteknik özellikleri hakkında ayrıntılı bilgi edinebilmek amacıyla jeofizik deneyler yapılmıştır. Bu amaçla; Sismik Kırılma- Sismik Tomografi çalışması, Masw Yüzey Dalgası Analiz çalışması ve Düşey Elektrik Sondaj (DES) çalışması gerçekleştirilmiştir. Jeofizik çalışmaların sonucunda çalışma alanı dahilinde yer alan birimlerin özellikleri, kalınlıkları ve konumları belirlenmiştir.

4. Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen veriler zeminin taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma hesaplamalarında kullanılmıştır. Discover Mapinfo Bundle 2014 programı ile deney sonuçları kullanılarak; taşıma gücü, sıvılaşma ve yeraltı su seviye haritaları oluşturulmuştur.
5. Sedimantolojik alışmalar kapsamında örselenmiş numuneler üzerinde; tane boyu dağılımı, tane şekli, oluşum ortamı, örselenmemiş çakıllar üzerinde ise eski akıntı yönü belirleme çalışmaları yapılmıştır.
6. Jeoteknik alışmalar sonucunda çalışma alanı doğu ve kuzey doğusunda taşıma gücü değerlerinde düşme görölmüştür. Sıvılaşma hesaplamalarında çalışma alanı doğu ve kuzeydoğusunun riskli bölgeler olduğu belirlenmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

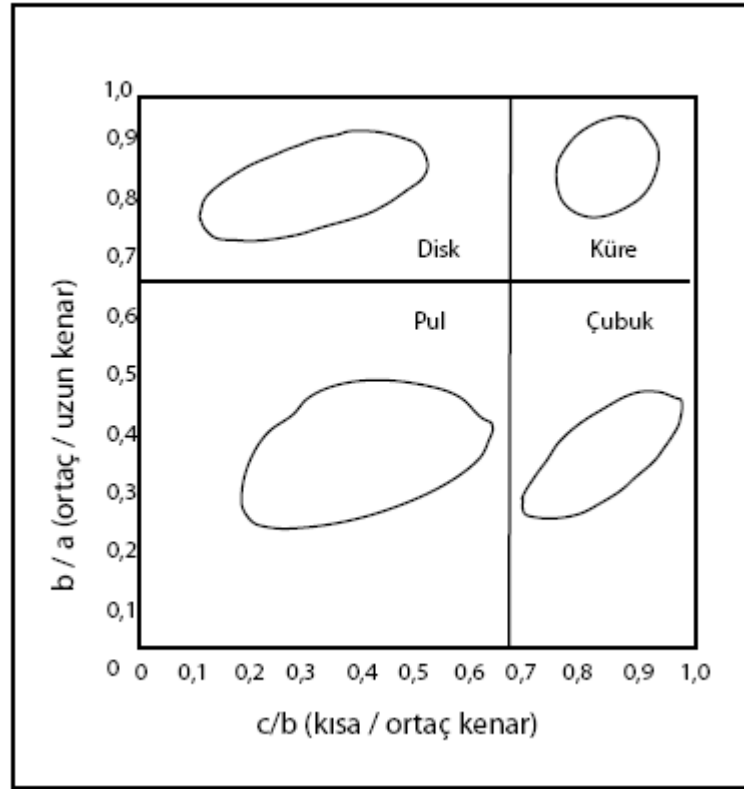
### 2.1. Zeminlerin Fiziksel Özellikleri

Arazide zemin tanımlamalarında, kaba taneleri tanımlamada tane boyu (ince, orta, kaba), tane şekli ( köşeli, yuvarlak, küresel vb), rengi, derecelenmesi (iyi veya kötü), sıkışma durumu ve ince tanelerin durumunun ortaya konulması gerekmektedir [6]. Tane morfolojisi dört açıdan taneyi inceler. Bunlar; tane şekli, küresellik, yuvarlaklık ve yüzey özellikleridir [7].

**Tane Şekli** : Bir cismin üç boyutu arasındaki ilişkinin bir ölçüsü olarak tanımlanır. Folk, tane şekli ile ilgili dört temel ve birden fazla sınıf tanımlamıştır [7]. Bunlar;

- a) Eş kenarlı veya kompakt taneler,
- b) Düzlemsel taneler,
- c) Çubuksu taneler,
- d) Disk şekilli taneler olarak tanımlanır [7].

**Küresellik** : Bir cismin boyutlarının ne kadar birbirine yakın olduğunun ölçüsüdür. [7]. Küresellik tanenin bozunma sürecinde oluşan bir özelliktir. Yassı bir tane, taşınma süresince yuvarlaklaşmaya başlar [8]. Şekil 2.1’de Zinng küresellik sınıflaması verilmiştir [9].



Şekil 2.1 Zinnig küresellik sınıfları [9]

### 2.1.1. Tane boyu dağılımı

Zeminlerin tane boyu; onların sürüklenme, taşınma ve depolanmalarını etkileyen en temel özelliktir. Bu nedenle tane boyu dağılım analizi; sediman kaynağı, taşınması ve depolanma mekanizmaları hakkında önemli ipuçları sağlar [10, 11, 12]. Yatak yüzey sedimanlarının tane boyu dağılımı bireysel depolanma ortamının, ana malzemenin tane boyu dağılımının, seçili ve yıkıcı taşınma mekanizmasının ve çökellerin hidrodinamik özelliklerinin sonucu olarak değişir [12].

Zeminlerin tane boyu dağılım analizi; farklı boyutlardaki tanelerin ağırlıkça yüzdelerinin hesaplanmasını içerir. İri taneli (0,075 mm'den büyük) zeminlerin tane boyu dağılım analizi elek analizi ile belirlenirken, ince taneli (0,075 mm'den küçük) zeminlerin tane boyu dağılım analizi hidrometre (sedimentasyon) analizi ile belirlenir [6, 13, 14].

Tane boyutu ile ilgili olarak birçok sınıflama yapılmıştır. Birleştirilmiş zemin sınıflama sistemi (USCS), Türk Standardında zemin sınıflaması (TS 1500), İngiliz Standardında zemin sınıflaması (BS 5930), Amerikan Karayolları zemin sınıflaması (AASHTO) bunlardan bazılarıdır. Bu sınıflama sistemleri içinde en yaygın olarak kullanılanı birleştirilmiş zemin sınıflama sistemidir [EK-1]. Bu sınıflama sisteminde; zeminin tane boyu dağılımı yanında kıvam özellikleri de önem taşır.

Tane boyu dağılım analizi sonunda; tane çapı logaritmik yatay eksen ve yüzde olarak her elekten geçen toplam malzeme miktarı düşey eksende olacak şekilde oluşturulan eğri, tane boyu dağılım eğrisi olarak isimlendirilir. Bu eğri yardımıyla; istenilen bir boyutun yüzdesi, istenilen bir boyuttan daha iri ve daha ince olanların yüzdesi, tane boyutu sınırları ve zeminin uniform dağılımda olup olmadığı saptanabilir [13, 15]. Elek analizinde yaygın olarak kullanılan elekler ve elek göz açıklıkları Çizelge 2.1’de verilmiştir [6]. Çeşitli standartlara göre zeminlerin tane boyu dağılımları ise Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Bazı ASTM elek numaraları ve elek göz açıklıkları [6]

Elek No	4	8	10	20	40	60	100	200
Elek Göz Açıklığı (mm)	4,75	2,36	2,00	0,850	0,425	0,250	0,150	0,075

Çizelge 2.2 Çeşitli standartlara göre zeminlerin tane boyu dağılımı [ 15]

Zemin Türü		USCS	TS 1500	BS 5930
		Tane Boyu (mm)		
Moloz		> 75,0	> 60,0	> 60,0
Çakıl	İri	19,0- 75,0	20,0 – 60,0	20,0 – 60,0
	Orta	-	6,0 – 20,0	6,0 – 20,0
	İnce	4,75- 19,0	2,0 – 6,0	2,0 – 6,0
Kum	Kaba	2,00 – 4,75	0,6 – 2,0	0,6 – 2,0
	Orta	0,425- 2,00	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6
	İnce	0,075- 0,425	0,075-0,2	0,06-0,2
İnce	Silt	İri	<0,075	0,002 – 0,075
		Orta		0,006 – 0,02
		İnce		0,002 – 0,006
	Kil	< 0,002	< 0,002	

Bir zeminin ağırlıkça geçen yüzdesinin % 60'ına denk gelen tane çapının ( $D_{60}$ ), %10'una denk gelen tane çapına ( $D_{10}$ ) oranını Uniformluk Katsayısı ( $C_u$ ) olarak tanımlanmış ve Eşitlik 2.1'de verilmiştir [6, 13, 15].

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2.1)$$

$D_{60}$  : Zeminin %60'ının geçtiği tane boyu

$D_{10}$  : Zeminin %10'unun geçtiği tane boyu

Tane boyu dağılımı ile ilgili diğer bir kavram da Süreklilik Katsayısı ( $C_r$ ) değeridir.  $D_{10}$  ve  $D_{60}$  değerleri yanında zeminin ağırlıkça %30'unun geçtiği tane boyu ( $D_{30}$ ) da dikkate alınarak Eşitlik 2.2'ye göre hesaplanır [6, 13].

$$C_r = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad (2.2)$$

Uniformluk katsayısının büyük olması zemin numunesinin tane boyutlarının alt ve üst sınırlarının geniş olması anlamına gelir. İyi derecelenmiş bir zeminde  $C_r$  değeri 1 ile 3 arasındadır [13, 15, 16].

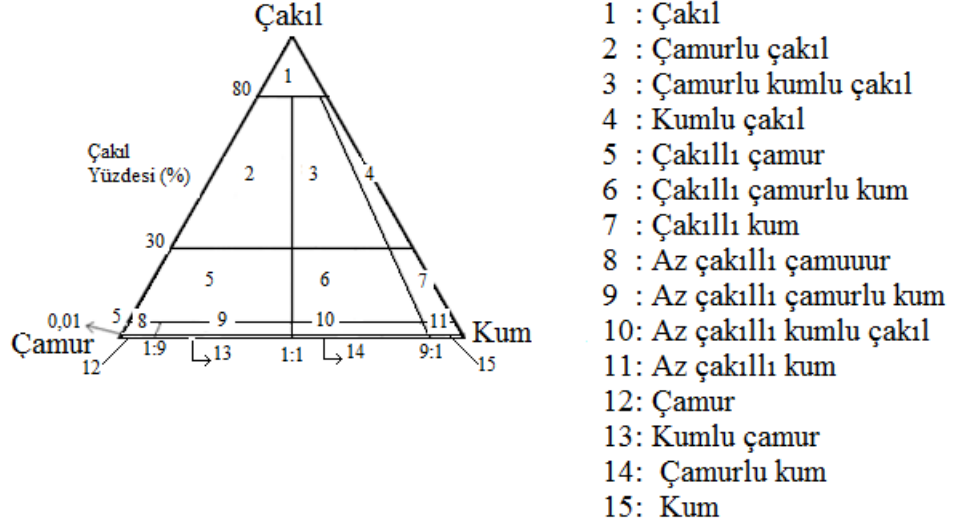
Kısırlı sedimentlerin tane boyu dağılımı Udden ve Wentworth ölçeğine göre Çizelge 2.3’de belirtildiği şekilde yapılmıştır [8]. Bu ölçekte mm olarak verilen tane boyu değerleri matematiksel hesaplamalarda kolaylık sağlaması nedeniyle Eşitlik 2.3 kullanılarak phi ölçeğine çevrilerek kullanılır [17].

$$\phi = -\log_2 d \quad (2.3)$$

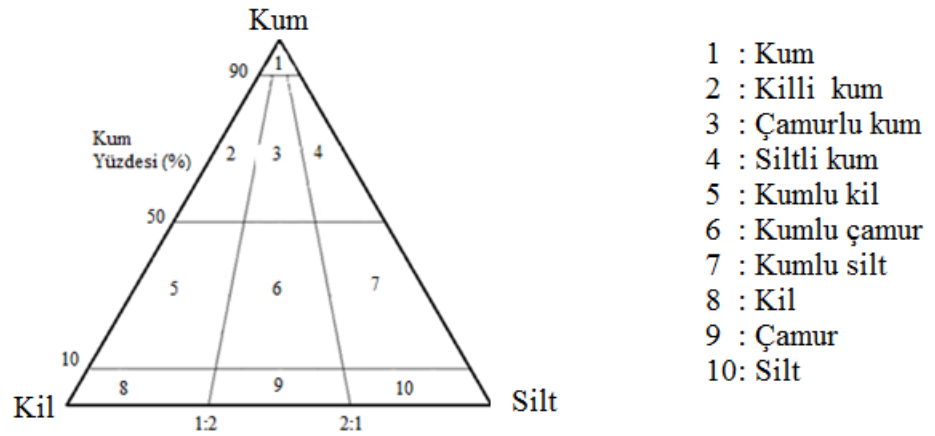
Çizelge 2.3 Udden ve Wentworth Ölçeği [8]

Tane Boyu (d, mm)	Tane boyu (Phi, $\phi$ )	Türü		
		BLOK	İri	
			İnce	
256	-8	ÇAKIL (Konglomera)	Kaba	
64	-6		Ortaç	
4	-2		İnce	
2	-1	KUM (Kumtaşı)	Çok kaba	
1	0		Kaba	
0,50	1		Ortaç	
0,25	2		İnce	
0,125	3		Çok ince	
0,0625	4	Çamur (Çamurtaşı)	SİLT	Kaba
0,0312	5			Ortaç
0,0156	6			İnce
0,0078	7			Çok ince
0,0039	8		KİL	

Kırıntılı sedimenter kayaçları Folk ise üçgen diyagram oluşturarak on beş sınıfa ayırmıştır [7]. Folk'un üçgen diyagramı Şekil 2.2'de verilmiştir.



a) Çakıl- Kum- İnce sınıflaması



b) Kum- Silt- Kil sınıflaması

Şekil 2.2 Kırıntılı kayaç sınıflaması [7]

### 2.1.1.1. Tane boyu dağılımı istatistiksel parametreleri

Tane boyu dağılımının tanımlanmasında kullanılan dört temel parametre vardır. Bunlar; ortalama tane boyu, boylanma, çarpıklık ve tepelenme (sivrilik, basıklık) ölçüsüdür [10, 11].

İstatistiksel parametrelerin elde edilmesinde yaygın olarak kullanılan metotlardan biri örneğin kümülatif eğrisini oluşturmak ve değişik kümülatif oranlarla temsil edilen çapları okumaktır. [7, 10, 11].

#### A. Ortalama Tane Boyu Ölçütleri

- a. **Mod (Mo):** En çok görülen tane boyutudur [7].
- b. **Medyan (Md):** Kümülatif eğri üzerinde %50 çizgisine karşılık gelen tane boyu değeridir.
- c. **Grafik Orta (Mz) :** Yaklaşık olarak tane boyu aritmetik ortalamasıdır [9, 18]. Eşitlik 2.4 kullanılarak hesaplanır.

$$M_z = \frac{(\emptyset 16 + \emptyset 50 + \emptyset 84)}{3} \quad (2.4)$$

#### B. Değişmezlik Ölçütleri

- a. **Boylanma Katsayısı ( $\sigma_1$ ):** Boylanma; bir değişken (tane boyu gibi) topluluğundaki bir örneklilik derecesidir [9]. Eşitlik 2.5 kullanılarak hesaplanır [7, 8, 18]. Folk'un sedimanların boylanma sınıflaması Çizelge 2.4'de verilmiştir [7].

$$\sigma_1 = \frac{(\emptyset 84 - \emptyset 16)}{4} + \frac{(\emptyset 95 - \emptyset 5)}{6,6} \quad (2.5)$$

Çizelge 2.4 Boylanmanın grafik standart sapma sınıfları [7, 8].

$\sigma_1$	Boylanma
$< \phi 0,35$	Çok iyi boylanmış
$\phi 0,35- \phi 0,50$	İyi boylanmış
$\phi 0,50- \phi 0,71$	Orta derecede iyi boylanmış
$\phi 0,71- \phi 1,00$	Orta boylanmış
$\phi 1,00- \phi 2,00$	Kötü boylanmış
$\phi 2,00- \phi 4,00$	Çok kötü boylanmış
$\phi 4,00 <$	Aşırı derecede kötü boylanmış

- b. **Çarpıklık ( $Sk_1$ ):** Çarpıklık, simetrik tane boyu dağılımından sapmayı ifade eder. Pozitif çarpıklık değeri, tek yönlü akış ile taşınma sonucu, negatif çarpıklık ise ince taneli malzemenin savrulma hareketi ile ortandan uzaklaşması sonucu oluşur [19]. Pozitif çarpıklık ince taneyi, negatif çarpıklık ise daha kaba taneyi ifade eder [20, 21]. Bununla birlikte; suyla taşınan kumlar negatif çarpıklık gösterirler [21]. Sedimanların çarpıklık değeri Eşitlik 2.6 ile bulunurken, sınıflaması ise Çizelge 2.5'ya göre yapılır [7, 18].

$$Sk_1 = \frac{(\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{(\phi_{5} + \phi_{95} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{95} - \phi_{5})} \quad (2.6)$$

Çizelge 2.5 Sedimanların çarpıklık sınıflaması [7, 10, 11]

$Sk_1$	Çarpıklık
$+1,00 < Sk_1 < +0,30$	Aşırı derecede ince çarpık
$+0,30 < Sk_1 < +0,10$	İnce çarpık
$+0,10 < Sk_1 < -0,10$	Simetriğe yakın
$-0,10 < Sk_1 < -0,30$	Kaba çarpık
$-0,30 < Sk_1 < -1,00$	Aşırı derece kaba çarpık

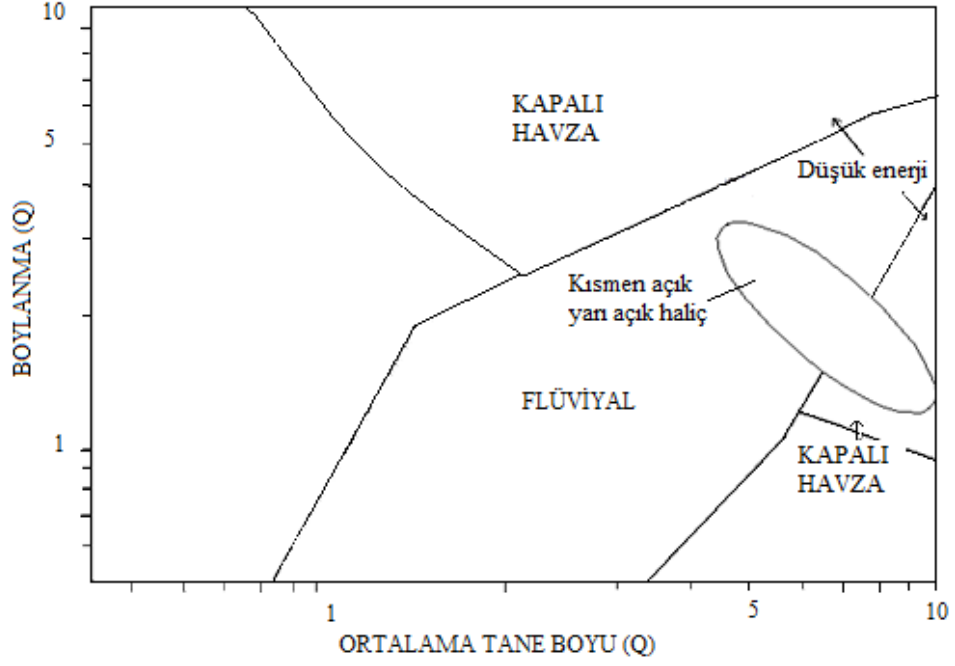
- c. **Tepelenme (Sivrilik,  $K_g$ ):** Tortulların olağan tepelenme değerleri 0,85-1,4 arasındadır [9]. Folk tepelenme için Eşitlik 2.7 önermiştir [18]. Tepelenme sınıflaması olarak da Çizelge 2.6'da önerilen sınıflamayı önermiştir.

$$K_g = \frac{(\sigma_{95} - \sigma_5)}{2,44(\sigma_{75} - \sigma_{25})} \quad (2.7)$$

Çizelge 2.6 Sedimanların tepelenme sınıflaması [7, 9]

$K_g$	Tepelenme
$K_g < 0,67$	Çok platikurtik (aşırı düz eğri)
$0,67 < K_g < 0,90$	Platikurtik (düz eğri)
$0,90 < K_g < 1,11$	Mesokurtik (normal eğri)
$1,11 < K_g < 1,50$	Leptokurtik (bükey eğri)
$1,50 < K_g < 3,00$	Çok Leptokurtik (çok bükey eğri)
$K_g > 3,00$	Aşırı derece leptokurtik (aşırı bükey eğri)

Bu parametreler depolanma ortamları gibi sedimanter özelliklerin ortaya konulmasında da kullanılır [11]. Ortalama tane boyuna karşılık boylanma değerleri kullanılarak oluşturulan ortam tanımlaması Şekil 2.3'de yer almaktadır. Burada depolanma ortamlarının farklı enerji durumlarını içeren üç temel bölge tanımlanmıştır. Bunlar; flüviyal ve akıntı bölgesi, kısmen açık- yarı açık haliç bölgesi ve kapalı havza bölgeleridir [22].



Şekil 2.3 Ortalama tane boyu- boylanma değerlerine göre depolanma ortamları  
[12, 22 Uyarlanmıştır]

### 2.1.2. Kıvam limitleri

Kıvam terimi ince taneli zeminler için kullanılan bir terimdir. Zeminin su içeriğine bağlı olarak farklı özellikler göstermesi 1911 yılında Atterberg tarafından açıklanmıştır. Atterberg'in deneysel olarak ortaya koyduğu kıvamlar; kıvam limitleri veya Atterberg limitleri olarak tanımlanır. Kuru ince taneli bir zemin az miktarda suyla karıştırıldığında; kırılgan, yarı katı, plastik ve likit olarak tanımlanan kıvamları sergiler [23]. Plastik limit (PL); killerin eğilebilir yumuşak bir kıvamdan kırılgan bir kıvama geçtiği su içeriği olarak tanımlanırken, likit limit (LL); sıvı kıvamdan plastik kıvama geçtiği andaki su içeriği olarak tanımlanır. [24].

Zeminin plastik özellik gösterdiği su içeriğinin alt ve üst sınır değerleri likit limit (LL), ve plastik limit (PL) değeridir. Bu iki limit değer arasındaki fark plastisite indeksi ( $I_p$ ) değerini verir (Eşitlik 2.8).

$$I_p = LL - PL \quad (2.8)$$

$I_p$  : Plastisite indeksi

LL : Likit limit

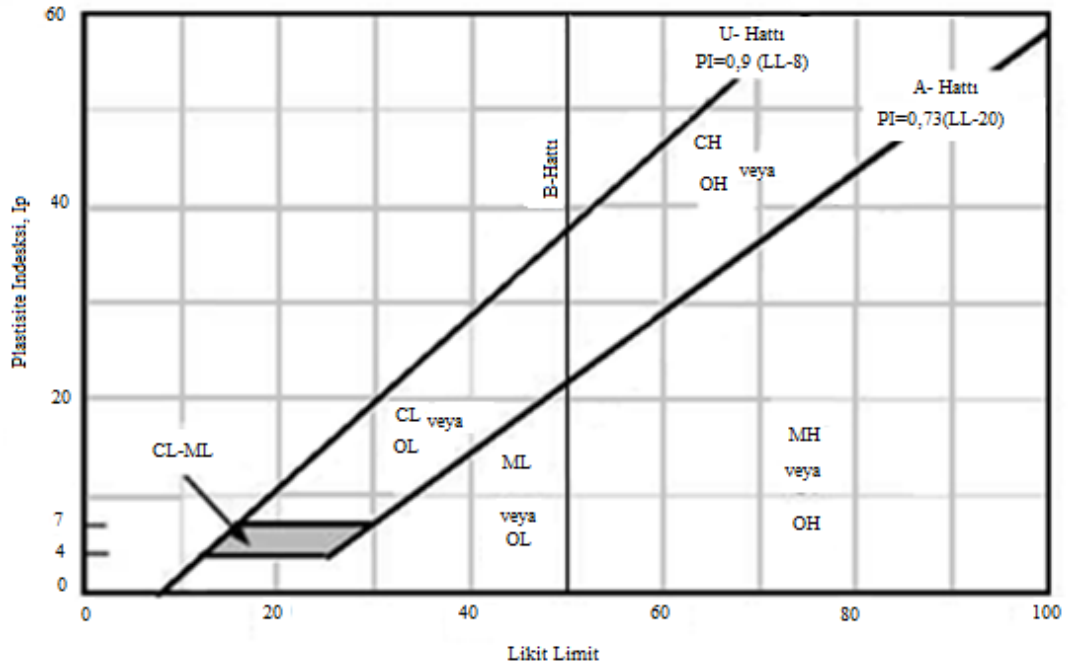
PL : Plastik limit

Leonard 1962 yılında plastisite indeksine göre zeminleri dört grupta toplamıştır. Çizelge 2.7’de plastisite indeksine göre zemin sınıfı yer almaktadır [6].

Çizelge 2.7 Plastisite indeksine bağlı olarak zemin sınıflaması [6]

$I_p$ (%)	Plastisite Derecesi
0	Plastik değil
1-5	Hafif Plastik
5-10	Düşük Plastik
10-20	Orta derecede plastik
20-40	Yüksek Plastik
> 40	Çok yüksek plastik

Plastisite; kırılma ve çatlama olmadan ince taneli zeminin kalıcı deformasyona uğrayabilme özelliğidir. Plastisite özelliği organik malzeme veya kilden kaynaklanır [13]. Zeminin içerdiği su içeriğine bağlı olarak likit, plastik kıvamın dışında yarı katı ve katı kıvamları ve bu kıvamlar arasında büzülme limiti de tanımlanmıştır [25]. Zeminin plastisite özelliklerine bağlı olarak sınıflandırması Şekil 2.4’de verilmiştir. Burada likit limit değerinin 50 olduğu hat B hattı olarak belirlenmiştir. Buna göre B hattının üzerinde kalan bölge yüksek plastik (H) olarak tanımlanırken, altında kalan bölge düşük plastik (L) olarak tanımlanmıştır. Aynı şekilde A hattı olarak belirlenen hat kil (C) ve silt (M) ayırım hattıdır. A hattının üzerindeki bölge kil, altındaki bölge silt olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.4 Plastisite Kartı [6]

Bir zeminden diğerine, kıvamlar arasındaki geçişlerde su içeriği değerlerinde farklılıklar meydana gelir. Bu farklılıklar kil mineral taneleri arasındaki etkileşime bağlıdır [13]. Su içeriği değerindeki herhangi bir düşüm, katyon tabaka kalınlığında düşüme ve taneler arasındaki çekim gücünde artışa neden olur [13].

### 2.1.3. Birim hacim ağırlık

Birim hacim ağırlık  $1 \text{ m}^3$  hacme sığan kütle olarak tanımlanır [15]. Zemin mekaniğinde en çok kullanılan birim hacim ağırlık değerleri içerdikleri su miktarına bağlı olarak; kuru, doğal ve doymun birim hacim ağırlık olmak üzere üçe ayrılır [26].  $\text{gr/cm}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$ ,  $\text{ton/m}^3$  gibi birimlerle ifade edilir.

**a. Doğal birim hacim ağırlık ( $\gamma_n$ )**

Zeminin yerinde örselenmemiş durumda veya yapay olarak sıkıştırılmış durumdaki birim hacim ağırlığıdır [15] .

$$\gamma_n = \frac{W_n}{V} \quad (2.9)$$

$W_n$  : Doğal ağırlık

$V$  : Toplam hacim

**b. Kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_d$ )**

Zeminin tamamen kuru olması durumundaki birim hacim ağırlık değeridir. Eşitlik 2.10 kullanılarak hesaplanır [27] .

$$\gamma_d = \frac{W_d}{V} \quad (2.10)$$

$W_d$  : Kuru ağırlık

$V$  : Toplam hacim

**c. Doygun birim hacim ağırlık ( $\gamma_{sat}$ )**

Zemin içerisindeki tüm boşlukların su ile dolu olması durumundaki birim hacim ağırlık değeridir. Eşitlik 2.11 kullanılarak hesaplanır [15] .

$$\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} \quad (2.11)$$

$W_s$  : Katı ağırlık

$W_w$  : Su ağırlığı

$W_{sat}$  : Doygun ağırlık

$V$  : Toplam hacim

#### 2.1.4. Özgül ağırlık ( $G_s$ )

Zeminlerin özgül ağırlığı ( $G_s$ ); tane birim hacim ağırlığının +4 °C'deki saf suyun birim hacim ağırlığına oranıdır (Eşitlik 2.12) [15, 27]. Çizelge 2.8'de bazı yaygın minerallerin özgül ağırlık değerleri verilmiştir [27].

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w(+4^\circ\text{C})} \quad (2.12)$$

$\gamma_s$  : Tane birim hacim ağırlığı

$\gamma_w$  : Suyun birim hacim ağırlığı

Çizelge 2.8 Bazı yaygın minerallerin özgül ağırlık değerleri [27]

Mineral	$G_s$	Mineral	$G_s$
Kuvars	2,65	Na ve Ca- Feldispat	2,62-2,76
Kaolinit	2,6	Klorit	2,60-2,90
İllit	2,8	Biyotit	2,8-3,2
Montmorillonit	2,65-2,80	Muskovit	2,76-3,1
Halloysit	2,00-2,55	Hornblend	3,0-3,47
K- Feldispat	2,57	Limonit	3,6-4,0
Olivin	3,27-3,7		

### 2.1.5. Su içeriği (w)

Zeminlerin su içeriği; su ağırlığının katı ağırlığa oranının yüzde olarak ifadesidir. Eşitlik 2.13 kullanılarak hesaplanır [27] .

$$w = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad (2.13)$$

w : Su içeriği

$W_w$  : Su ağırlığı

$W_s$  : Katı ağırlığı

## 2.2. Zeminlerin Mekanik Özellikleri

### 2.2.1. Konsolidasyon

Zemin tanelerinin çoğu zaman sert minerallerden oluşması, taneler arasında yer alan suyun ihmal edilebilecek derecede küçük sıkışma oranına sahip olması nedeniyle, üzerine yük uygulandığında zeminin sıkışması boşluklardaki suyun ortamdan uzaklaşmasına bağlı olarak gelişir. Zemin taneleri arasında yer alan boşluk suyunun uzaklaşmasına bağlı olarak da taneler birbirine yaklaşır ve hacminde bir azalma meydana gelir [23]. Zemin içerisinde suyun hareket edebilme yeteneği de zemin türüne bağlı olarak değişir. Permeabilitesi yüksek olan zeminlerde su rahat hareket edebilirken, düşük permeabiliteye sahip zeminlerde suyun ortamdan uzaklaşması yavaş olacaktır. Buna bağlı olarak zeminin sıkışması da zamana bağlı olarak gelişecektir. Kumlu zeminlerde sıkışma henüz inşaat devam ederken gelişirken, killi zeminlerde bu yıllar hatta on yıllar boyunca devam edebilmektedir [16, 26]. Dolayısıyla zeminlerin sıkışmasının hesaplanmasında gerilme, şekil değiştirme ve zaman ilişkilerinin incelenmesi

gerekmektedir. Laboratuvarında konsolidasyon deneyi ile bu ilişkiler deneysel olarak ortaya konulabilmektedir [28].

Konsolidasyon deneyi (Ödometre deneyi) sonucunda sıkışma gerilme eğrileri oluşturulabilmektedir. Sıkışmanın hacim azalması ile meydana geldiği ve numune alanı sabit kaldığından, boy kısılmasından boşluk oranı değişimlerinin hesaplanması mümkündür [16].

Konsolidasyon deneyinde herhangi bir andaki boşluk oranı Eşitlik 2.14 kullanılarak hesaplanır [13, 23] .

$$e_i = \frac{h_o - \Delta h - h_s}{h_s} \quad (2.14)$$

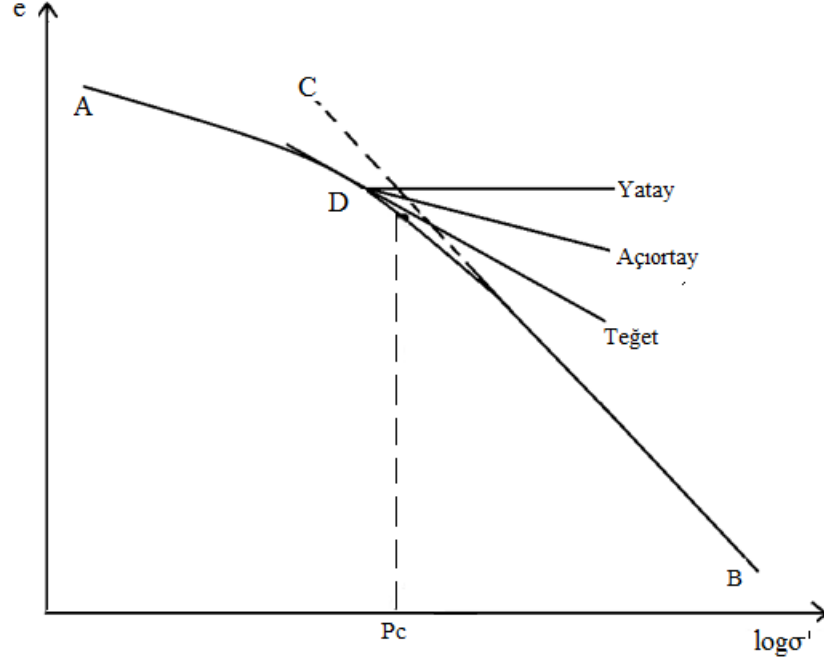
$e_i$  : i yükleme kademesindeki boşluk oranı

$h_o$  : Başlangıç numune yüksekliği

$\Delta h$  : Deney başından itibaren toplam oturma

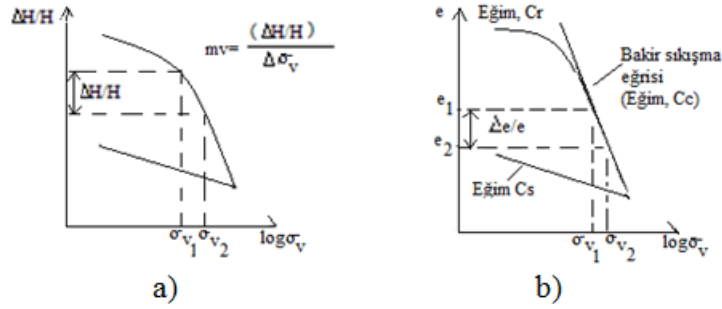
$h_s$  : Tane yüksekliği

Deney verileri kullanılarak gerilme ( $\log \sigma_z'$ ) karşılık boşluk oranı ( $e$ ) grafiği oluşturulduğunda Şekil 2.5'deki gibi bir eğri oluşur. AB eğrisinin düz kısmı C noktasına uzatılır. Maksimum eğrilik noktası D belirlenir ve bu noktaya teğet çizilir. D'den çizilen yatay ile teğet çizgisi arasındaki açının açıortayı çizilir.  $|BC|$ 'nin yatay ile kesişim noktasından absise dik inilir. Bu değer ön konsolidasyon basıncının ( $P_c$ ) yaklaşık karşılığıdır [13].



Şekil 2.5 Ön konsolidasyon basıncının ( $P_c$ ) belirlenmesi

Konsolidasyon deneyi sonucunda hacimsel sıkışma katsayısı ( $m_v$ ) ve sıkışma indeksi ( $C_c$ ) değerleri ise Şekil 2.6'ya göre hesaplanabilmektedir [13, 25, 28].



Şekil 2.6 Hacimsel sıkışma katsayısı ( $m_v$ ) ve sıkışma indisinin ( $C_c$ ) hesaplanması

Şekil 2.6 a'ya göre hacimsel sıkışma katsayısı ( $m_v$ ) Eşitlik 2.15 ile hesaplanırken, Şekil 2.6 b'ye göre sıkışma indisi ( $C_c$ ) Eşitlik 2.16 ile hesaplanır [13].  $C_c$  değeri, zeminin su içeriği ve birim hacim ağırlığı arttıkça azalır [29].

$$m_v = \frac{\Delta H/H}{\Delta \sigma_z'} \quad (2.15)$$

$m_v$  : Hacimsel sıkışma katsayısı

$\Delta H/H$  : Basınç artışında ( $\Delta \sigma_z'$ ) meydana gelen birim sıkışma

$\Delta \sigma_z'$  : Basınç artışı miktarı

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma_z'} = \frac{(e_1 - e_2)}{(\log \sigma_{z2}' - \log \sigma_{z1}')} = \frac{(e_1 - e_2)}{\log \left( \frac{\sigma_{z2}'}{\sigma_{z1}'} \right)} \quad (2.16)$$

$C_c$  : Sıkışma indisi

$\Delta e$  : Boşluk oranındaki değişim

$\Delta \log \sigma_z'$  : Basınç artış miktarı

Konsolidasyon deneyi sonucu elde edilen grafiklerden bulunabilecek diğer bir parametre de sıkışabilirlik katsayısı ( $a_v$ ) ve konsolidasyon katsayısıdır ( $C_v$ ). Boşluk oranı – efektif gerilim eğrisinin eğimi kullanılarak  $a_v$  değeri Eşitlik 2.17 kullanılarak hesaplanmaktadır [25].

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma_z'} \quad (2.17)$$

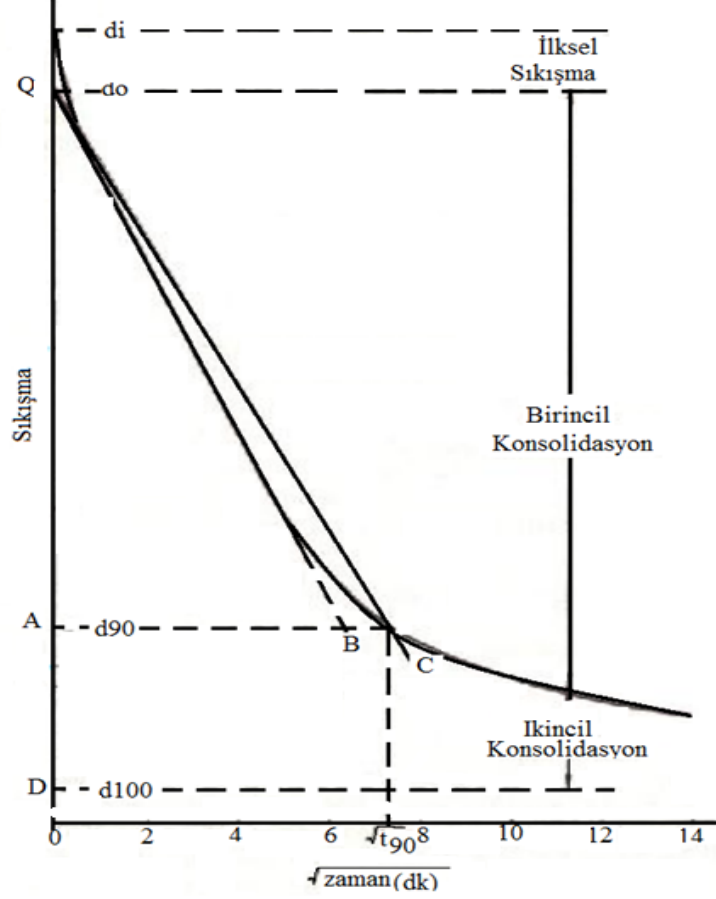
$a_v$  : Sıkışabilirlik katsayısı

$\Delta e$  : Boşluk oranındaki değişim

$\Delta \sigma_z'$  : Basınç artışı miktarı

Konsolidasyon katsayısı ( $C_v$ )'nin hesaplanmasında en çok kullanılan yöntemler; logaritma yöntemi ve karekök yöntemidir. Karekök yönteminde; zamanın karekökü yatay eksen ve boy kısalmaları düşey eksende olacak şekilde

hazırlanan grafik kullanılır. Şekil 2.7’de karekök yöntemi ile konsolidasyon katsayısı hesaplama şekli yer almaktadır [13, Uyarlanmıştır].



Şekil 2.7. Karekök yöntemi ile konsolidasyon katsayısının belirlenmesi [13, Uyarlanmıştır]

$C_v$ 'nin bulunması için takip edilecek işlem sırası şu şekildedir [13]

- Gösterge okumaları zamanın karekökünün ( $\sqrt{t}$ ) apsisi gösterdiği grafikte noktalanır.
- Eğrinin başlangıcındaki maksimum sayıdaki noktadan geçecek şekilde QB teğeti çizilir.
- $|AC|=1,15|AB|$  olacak şekilde C noktası belirlenir.

- Q ile C noktası birleştirilir (QC) ve bu doğrunun deney eğrisini kestiği C noktası %90 konsolidasyonun tamamlandığı  $\sqrt{t_{90}}$  değerini ifade eder. %90 konsolidasyonun yüzdesi ( $U_{av}=\%90$ ) için zaman faktörü  $T_v=0,848$ 'dir.

Böylece konsolidasyon katsayısı çift yönlü deranaj koşulu için Eşitlik 2.18a ile veya tek yönlü drenaj koşulları için Eşitlik 2.18b ile hesaplanır [13, 23].

$$C_v = \frac{0,848H^2}{4t_{90}} \quad (2.18a)$$

$$C_v = \frac{0,848H^2}{t_{90}} \quad (2.18b)$$

$C_v$  : Konsolidasyon katsayısı

H : Kil tabaka kalınlığı

$t_{90}$  : %90 konsolidasyonun tamamlandığı süre

Konsolidasyon katsayısı ( $C_v$ ); zaman faktörü ( $T_v$ ) arasında Eşitlik 2.18'de verilen bağıntı mevcuttur. Bu bağıntı kullanılarak belirli bir yükleme kademesinde meydana gelen nihai oturmanın, yine belirli bir yüzdesine karşılık gelen zaman tespit edilir. Öncesinde hesaplanan  $C_v$  değeri kullanılarak, bu oturma yüzdesine karşılık gelen  $T_v$ ; Eşitlik 2.19 kullanılarak hesaplanır.  $C_v$  zamana bağlı konsolidasyon problemlerinin hesaplanmasında kullanılır. Belirli bir zamanda ne kadar oturmanın oluşacağı, belirli bir oturmanın oluşması için gerekli olan zamanın belirlenmesi gibi problemlerin çözümünde kullanılır [30].

$$C_v = \frac{T_v H^2}{t} \quad (2.19)$$

$C_v$  : Konsolidasyon katsayısı

H : Kil tabaka kalınlığı

t : Zaman

Konsolidasyon deneyi sonucu elde edilen  $e - \sigma'$  eğrisi kullanılarak tek yönlü konsolidasyon oturması (S) Eşitlik 2.20 kullanılarak hesaplanabilir [13, 31].

$$S = m_v \Delta \sigma' H \quad (2.20)$$

S : Konsolidasyon oturması

$m_v$  : Hacimsel sıkışma katsayısı

$\Delta \sigma'$  : Basınç artış miktarı

H : Doygun kil kalınlığı

Zeminlerin permeabilite katsayıları; Terzaghi'nin tek yönlü konsolidasyon teorisine göre; Eşitlik 2.21 kullanılarak hesaplanabilir [13, 32].

$$k = C_v m_v \gamma_w \quad (2.21)$$

k : Permeabilite katsayısı

$C_v$  : Konsolidasyon katsayısı

$m_v$  : Hacimsel sıkışma katsayısı

$\gamma_w$  : Suyun birim hacim ağırlığı

## **2.2.2. Zeminlerin kayma dayanımı**

Zeminlerin kayma dayanımı, kırılma yüzeyleri boyunca zemin tanelerinin sürekli kayma yer değiştirmesine gösterdiği direnç olarak tarif edilir. Zeminlerde kayma dayanımı; boşluk oranı, içsel sürtünme açısı, kohezyon, zemin türü, aldığı ve almakta olduğu gerilimler, uğradığı deformasyonlar gibi birçok özelliğe bağlı olmasına karşılık, sürtünme açısı ve kohezyon gibi iki temel parametre ile tanımlanmaktadır [15].

Laboratuvarda zeminin kayma dayanım parametrelerini belirlemede birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlardan biri de kesme kutusu deneyidir.

### **2.2.2.1. Kesme kutusu deneyi**

Kesme kutusu deneyi; laboratuvarda zeminlerin kayma direncini belirlemede kullanılan deneylerden biridir. Cihaz alt ve üst olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Alt kısım bir çerçeveye sabit iken, üst kısım kesme yükünün uygulanması için yatay olarak hareket edecek şekildedir [6]. Kesme kuvveti değişmez hızla uygulanırsa deney deformasyon kontrollü, değişmez yük ile uygulanırsa gerilme kontrollü olarak yapılmış olur. Deney sonunda uygulanan farklı normal gerilimlere karşı elde edilen kesme gerilimleri bir grafiğe döküldüğünde, meydana gelen doğru yenilme zarfını verir. Normal ve kesme gerilimleri, normal ve kesme kuvvetlerinin örnek alanına bölünmesi ile elde edilir [15, 16].

## **2.3. Zeminlerin kimyasal özellikleri**

Taze, ıslak organik zeminler, organik malzemenin bozulması nedeniyle genellikle belirgin bir kokuya sahiptirler. Bu malzemeler ısıtma ile kolaylıkla

belirlenebilir. Bu tip malzemelerin diğere belirleyici özellikleri ise koyu renkleridir. Asit testi, sulandırılmış hidroklorik asit kullanılarak kalsiyum karbonatın varlığını tespit etmek için yapılır. Yüksek kuru dayanıma sahip zeminler için, güçlü bir reaksiyon, çimento malzemesi olarak kalsiyum karbonatın varlığını işaret edebilir [16].

Bazik mineraller denizel, asidik mineraller akarsu göl ortamlarında kristalleşebilir veya duraylı kalabilir [6].

## 2.4. Zeminlerin Taşıma Gücü

Yapı yüklerini şekil, boyut ve gömme derinliğine bağlı olarak zeminin taşıyabileceği gerilmelere çevirerek zemine aktaran elemanlar temel, yükleri doğrudan veya temeller aracılığı ile taşıyan ortam ise temel zemini olarak adlandırılır [15, 16].

Zeminlerin taşıma gücünde güvenilir bir temelin varlığı önemlidir. Temelin göçmesi durumunda, üzerinde yer alan yapının hasar görmesine, yenilmesine neden olacağından, taşıma gücü hesaplamaları yapı güvenliği açısından önemlidir.

Zeminin üzerindeki yapıları güvenli bir şekilde taşıması durumunda oluşan gerilme, yüzeysel temelerde zemin emniyet gerilmesi ( $q_a$ ) olarak tanımlanır. Temelin göçmeden taşıyabileceği maksimum taban basıncı son (nihai) taşıma gücü ( $q_{ult}$ ) olarak adlandırılır [15, 33].

Bütün temeller taşıma gücü yenilmesi veya aşırı oturmaya karşı güvenli bir şekilde inşa edilmelidir.  $q_{ult}$  değerinin belirli bir güvenlik katsayısına ( $F_k$ ) bölümü ile elde edilen izin verilebilir taşıma gücü ( $q_{all}$ ) değeri güvenlik açısından kullanılan bir uygulamadır. Güvenlik katsayısı genellikle 3 veya daha büyük bir değer alır [27]. İnce ve orta tane boyunda kumlu birimler veya killi, siltli kaba taneli kumlar (SW, SM, SC) yerinde kompakt bir yapı gösteriler ve bu tip zeminlerde inşa edilen radye temeller için  $q_{all}$  değerleri yaklaşık 322-537 kN/m<sup>2</sup> arasında değişir [34].

Zeminlerin taşıma gücü değerleri; kohezyon, sürtünme ve zemin yoğunluğu olmak üzere üç temel özelliğe bağlıdır. Kohezyon kimyasal bir özelliktir. Kil taneleri aralarındaki elektriksel çekim nedeniyle taneler birbirine yapışma eğilimindedir. Sürtünme ise fiziksel bir özelliktir ve taneler arasındaki sürtünme arttıkça zeminin temel yükünü taşıma kapasitesi de artar. Pratikte killer sürtünmeden bağımsız olarak düşünülür. Zeminlerin sürtünmesi sürtünme açısı ile temsil edilir [33].

Terzaghi; şerit, kare, dikdörtgen ve dairesel temeller için  $q_{ult}$  hesaplamalarını Eşitlik 2.22' ile vermiştir [33].

$$q_{ult} = c \cdot N_c S_c + \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma S_\gamma \quad (2.22)$$

$q_{ult}$  : Nihai taşıma gücü

$c$  : Kohezyon

$N_c, N_\gamma, N_q$  : Sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayıları

$\gamma_1$  : Zeminin gömme derinliği boyunca birim hacim ağırlık değeri

$\gamma_2$  : Temelin altındaki birim hacim ağırlık değeri

$B$  : Temel genişliği

$D_f$  : Temel derinliği

$S_c, S_\gamma$  : Şekil Faktörleri (şerit temel için her ikisi de 1 alınır)

Meyerhof Terzaghi'nin ortaya koyduğu denklemleri; şekil (s), derinlik (d) ve eğim (i) faktörlerini de katarak tekrar düzenlemiş ve  $q_{ult}$  değerleri için Eşitlik 2.23'ü önermiştir. Meyerhof faktörleri ise Çizelge 2.9'da yer almaktadır [34, 35].

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_b + 0,5 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma \quad (2.23)$$

$c$  : Kohezyon

$N_c, N_\gamma, N_q$  : Sürtünme açısına bağlı Meyerhof taşıma gücü katsayıları

$\gamma_1$  : Zeminin gömme derinliği boyunca birim hacim ağırlık değeri

$\gamma_2$  : Temelin altındaki birim hacim ağırlık değeri

$B$  : Temel genişliği

$D_f$  : Temel derinliği

$s_c, s_q, s_\gamma$  : Şekil Faktörleri

$d_c, d_q, d_\gamma$  : Derinlik Faktörleri

$i_c, i_q, i_\gamma$  : Yük eğimi faktörleri

$b_c, b_q, b_\gamma$  : Temel tabanı eğimi faktörleri (Temel tabanı düz ise;  $b_c = b_q = b_\gamma = 1$  olur.)

$g_c, g_q, g_\gamma$  : Zemin yüzey eğimi faktörleri (Zemin yüzeyi düz ise;  $g_c = g_q = g_\gamma = 1$  olur.)

Çizelge 2.9 Meyerhof taşıma gücü faktörleri [34, 35]

	Şekil Faktörü $s_c, s_q, s_\gamma$	Derinlik Faktörü $d_c, d_q, d_\gamma$	Eğiklik Faktörü $i_c, i_q, i_\gamma$
Herhangi $\phi$	$s_c = 1 + 0,2K_p \frac{B}{L}$	$d_c = 1 + 0,2 \sqrt{K_p} \frac{D_f}{B}$	$i_c = i_q = (1 - \frac{\alpha}{90^\circ})^2$
$\phi=0^\circ$	$s_q = s_\gamma = 1$	$d_q = d_\gamma = 1$	$i_\gamma = 0$
$\phi \geq 10^\circ$	$s_q = s_\gamma = 1 + 0,1K_p \frac{B}{L}$	$d_q = d_\gamma = 1 + 0,1 \sqrt{K_p} \frac{D_f}{B}$	$i_\gamma = (1 - \frac{\alpha}{\phi^\circ})^2$

Çizelge 2.9’da yer alan  $K_p$  değeri Eşitlik 2.24 ile hesaplanırken,  $\alpha$ ; yükün düşeyle yaptığı açıdır [36].

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad (2.24)$$

Taşıma gücü hesaplamalarında kullanılan diğer bir yöntem de Hansen tarafından ortaya konulmuştur. Hansen yöntemi Meyerhof’a göre daha güvenli tarafta kalmaktadır. Arazi yüzeyi yatay olması durumunda Eşitlik 2.25 kullanılarak nihai taşıma gücü değerleri hesaplanır [37].

$$q_{ult} = -c \cdot \cot\phi + (\gamma_1 D_f + c \cdot \cot\phi) N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q + 0,5 \gamma_2 B \gamma_2 \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \quad (2.25)$$

- $c$  : Kohezyon
- $N_\gamma, N_q$  : Sürtünme açısına bağlı Hansen taşıma gücü katsayıları
- $\gamma_1$  : Zeminin gömme derinliği boyunca birim hacim ağırlık değeri
- $\gamma_2$  : Temelin altındaki birim hacim ağırlık değeri
- $B$  : Temel genişliği
- $D_f$  : Temel derinliği
- $S_c, S_q, S_\gamma$  : Şekil Faktörleri
- $d_c, d_q, d_\gamma$  : Derinlik Faktörleri
- $i_c, i_q, i_\gamma$  : Yük eğimi faktörleri
- $b_c, b_q, b_\gamma$  : Temel tabanı eğimi faktörleri (Temel tabanı düz ise;  $b_c = b_q = b_\gamma = 1$  olur.)

Jeoteknik uygulamalarda ihtiyaç duyulan derinliklerde zeminin mühendislik parametrelerinin ortaya konulması gerekmektedir. Jeoteknik uygulamalarda ve temel tasarımlarında en eski ve en genel uygulamalardan biri standart penetrasyon deneyidir. Bu deney; penetrasyon tüpünün belirli bir derinliğe gömülmesi için gereken darbe sayısının belirlenmesiyle, mühendislik malzemesinin makaslama dayanım özelliğini tanımlayan bir deneydir. Bu deneyde hem zemin örneği alınır, hem de yeraltı su seviyesi (YASS) belirlenir [38]. Deney sonuçları; taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma gibi birçok mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır [39].

SPT arazi darbe sayısı (SPT-N) kullanılarak kohezyonsuz ortamlarda temel genişliğinin (B) 1,22 m'den büyük olması durumunda taşıma gücü hesaplamaları Eşitlik 2.26 kullanılarak yapılmaktadır [37, 40].

$$q_{all} = 12,5 N_{1,60} \left( \frac{B+0,3}{B} \right)^2 (1 + 0,33 \frac{D_f}{B}) \quad (2.26)$$

B : Temel genişliği

$D_f$  : Temel derinliği

$N_{1,60}$  : Teorik serbest düşme tokmak enerjisinin % 60'ı ve efektif jeolojik gerilme 100 kPa olarak düzeltilmiş SPT darbe sayısı

Ortamda yeraltı suyu varsa  $D_f + D > D_w$  ise; hesaplanan izin verilebilir taşıma gücü değeri, yeraltı suyu düzeltme faktörü ( $C_w$ ) ile çarpılmaktadır. Burada D değeri; temel tabanından incelenecek zeminin tabanına kadar olan mesafedir.  $C_w$  değeri Eşitlik 2.27 kullanılarak hesaplanmaktadır [36, 37].

$$C_w = 0,5 + 0,5 \left( \frac{D_w}{D_f+B} \right) \quad (2.27)$$

$C_w$  : Yeraltı suyu düzeltme faktörü

$D_w$  : Yeraltı su seviyesi

$D_f$  : Temel derinliği

$B$  : Temel genişliği

Temeller genellikle yzeye yakın zeminlerde taşıyıcı birimi gclendirmek ve yapıları desteklemek amacıyla kullanılırlar. Temel tasarımında  $q_{ult}$  değerlendirilmesi ve inşaat sonrası oturmanın tahmini olmak üzere iki temel hesaplamaya ihtiyaç vardır [41].

Jeoteknik çalışmalarda arazide uygulanan diğer bir yöntem de Mernard Presiyometre deneyidir (PMT). İlk defa Mernard tarafından 1955’de kullanılan deney, sonraki dönemlerde birçok araştırmacı tarafından geliştirilerek kullanılmıştır. PMT deneyi; zemin veya zayıf kayaçların dayanım ve deformasyon özelliklerini elde etmek amacıyla kullanılabilir [42]. Presiyometre; genişleyebilen esnek bir membran yardımıyla sondaj duvarlarına uniform bir basınç uygulamak için kullanılan silindirik bir tüptür [43].

PMT ile zeminin ilksel basınç ( $P_o$ ), limit basınç ( $P_L$ ), Elastisite modülü ( $E_m$ ) değerleri kullanılarak üretilen formüllerle, zeminlerin taşıma gücü ve oturma hesaplamaları yapılır. Deneyin zorluklarından biri, içerisinde deneyin uygulanacağı bir boşluk oluşturma’dır. Bu şekilde sonuçlar zemin davranışını temsil edebilir [44]. Yüzeysel temellerin  $q_{ult}$ , Mernard limit basıncı ( $P_L$ ), oturma Elastisite mdl ( $E_m$ ) ile ilişkilidir [45]. Presiyometreler, sondaj açıldıktan sonra uygulanan presiyometre (Pre-bored pressuremeter-PBPM), deliğini kendi aan presiyometre (self- boring pressuremeter- SBPM), zemine itilen presiyometreler (Pushed-in pressuremeter- PIPM) ve tam yerleşmiş presiyometre (full-displacement pressuremeter-FDPM) olmak üzere test yöntemine, kullanılacak proba, zemin durumuna ve ihtiyaç duyulan parametrelere bağlı olarak dört gruba ayrılırlar [43, 46].

## **2.5. Zeminlerin Sıvılaşması**

Sıvılaşma; deprem süresince meydana gelen fiziksel bir süreçtir [1]. Bir zemin kütlesi içerisinde; birbirlerine temas eden zemin tanecikleri ve bu tanecikler arasındaki boşluklarda ise hava ve/veya su bulunmaktadır. Zemin tamamen suya doymuş ise; sadece taneler ve aradaki boşluğu dolduran su vardır. Zemin yüzeyinde ne kadar yük varsa bu yük taneler aracılığıyla boşlukları dolduran suya aktarılır. Normal bir durumda su zemin içinde yayılarak bu yükü hafifletir. Ancak deprem sırasında su ortamdan uzaklaşabilmek için yeterli zaman bulamaz ve boşluk suyu basıncı artar. Bu artış sonucu taneler arasındaki temas kuvvetlerinin değeri sıfıra yaklaşır ve taneler birbirinden uzaklaşmaya başlar [47]. Zeminin sıvılaşması; zeminin taşıma gücünün yenilmesine, yanal yayılıma, yamaç yenilmesi ve farklı oturmalara sebep olabilir [5].

### **2.5.1. Zeminlerin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı**

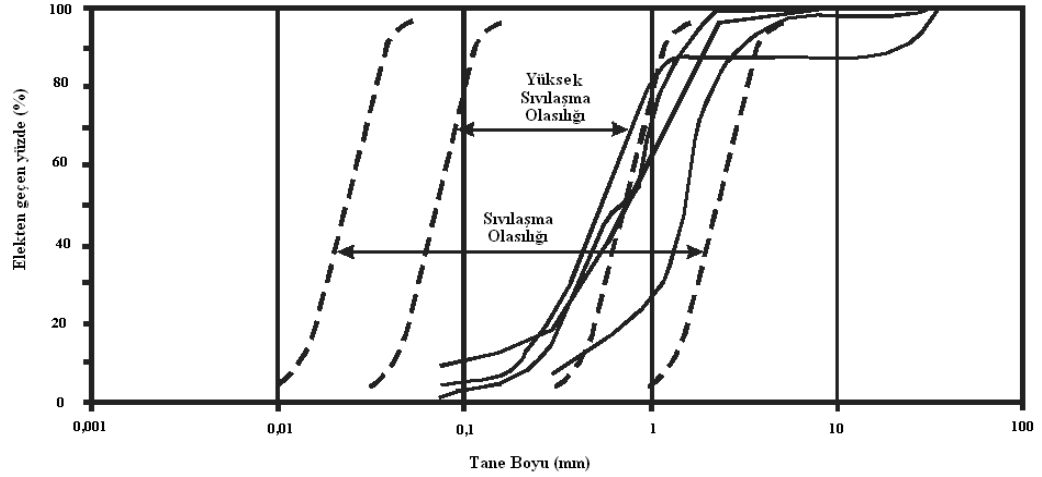
Genç, zayıf, doymuş ve iyi derecelenmiş zeminler sıvılaşabilir zeminlerdir [1]. Youd 1984 yılında yaptığı bir çalışmada zemin ve yer altı suyu şartları değişmediğinde sıvılaşmanın aynı yerde tekrar oluşabildiğini belirlemiştir. Deprem sonrası arazi inceleme şartları ışığında; sıvılaşmanın meydana geldiği alanlar, tekrar deprem olduğunda sıvılaşma riski taşıyan bölgeler olacaktır [2].

Bir çökelin jeolojik özellikleri o çökelin sıvılaşma duyarlılığı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Genellikle genç ve zayıf sedimanlar yüksek yeraltı su seviyesi durumunda sıvılaşmaya karşı oldukça hassaslardır. 10.000 yıldan daha genç Holosen yaşlı deltalar, akarsu yatağı çökelleri, sel bölgeleri ve oldukça gevşek dolgular sıvılaşmaya karşı hassas zeminlerdir. Pleyistosen yaşlı çökeller ise ender olarak sıvılaşan çökellerdendir [48]. Alüvyal zeminler ve yüksek yeraltı su seviyesi özellikle sismik aktiviteye sahip bölgelerde sıvılaşma için potansiyel risk taşımaktadır [5].

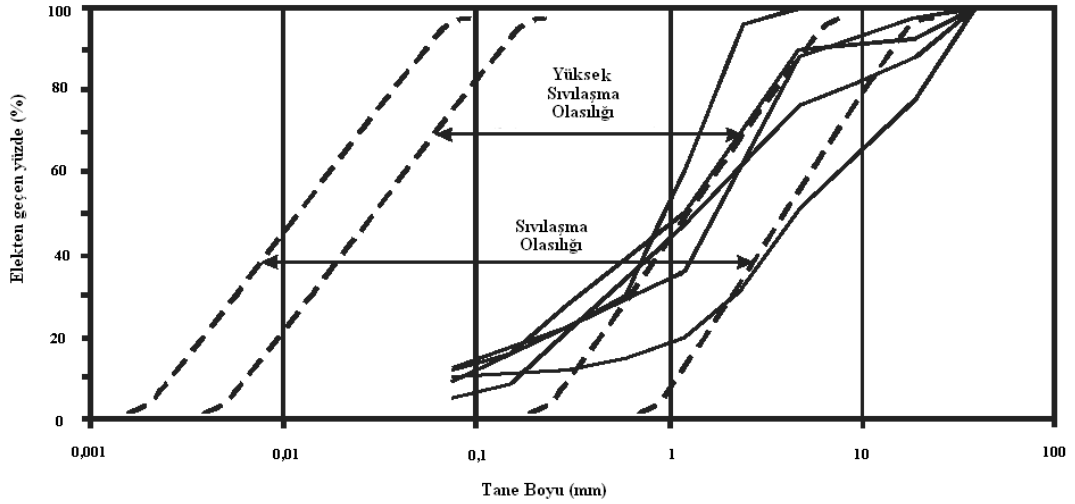
Sıvılaşma potansiyeli çoğunlukla; kaba silt boyu malzemeden ince kum boyu malzemeye kadar değişen tane boyunda, gevşek sıklıktaki özellikle yatay kum birimlerinde gerçekleşir. Çamur laminaları ve yüzeyleri gibi geçirimli birimler veya geçirimsiz birimler boşluk suyu basıncını artırarak sıvılaşma olasılığını artırır. Bu özellikle çakılların sıvılaşmasında önemlidir [49].

Sıvılaşmaya meyilli zeminler zayıf kumlar, büyük oranda plastik olmayan silt içeren siltli kum, kumlu siltler ve çakıllardır [50]. CL, CH, SC ve GC türü killi zeminler ve GW ve GP türü çakıllı zeminlerde drenaj özelliği iyi olduğundan çoğu zaman sıvılaşma beklenmez (Bakınız EK-1). Ancak boşluk suyu basıncının sönümlemesinin geçirimsiz tabakalarla engellenerek tamamıyla drenajsız şartlar oluşması durumunda, çakıllı zeminler de sıvılaşmaya duyarlı olabilmektedir [2].

Sıvılaşma duyarlılığı tane boyu dağılımından etkilenmektedir. İyi derecelenmiş zeminlerin sıvılaşmaya olan duyarlılığı, kötü derecelenmiş zeminlere göre daha düşüktür. İyi derecelenmiş zeminlerde boşluk oranı azaldığından drenajlı şartlardaki hacim değişim potansiyeli azalmakta ve drenajsız şartlardaki aşırı boşluk suyu basıncı da düşük olmaktadır [2]. Şekil 2.8'de tane boyu dağılımı açısından potansiyel sıvılaşma eğilimine sahip olan zeminlerle en kolay sıvılaşan zeminler için alt ve üst sınırları veren eğriler verilmiştir.



a) Üniformluk sayısı ( $C_u$ ) 6'dan küçük olan numuneler için çizilen tane boyu dağılım eğrileri (Anonymous, 1971)



b) Üniformluk sayısı ( $C_u$ ) 6'dan büyük olan numuneler için çizilen tane boyu dağılım eğrileri (Anonymous, 1971)

Şekil 2.8 Tane boyu dağılımı açısından sıvılaşmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri [2, 51 Uyarlanmıştır]

Sıvılaşan zeminde meydana gelen boşluk suyu basıncının zemin tanelerinin su ile birlikte yüzeye taşınabileceği kadar artması için, üst kısımda yer alan sıvılaşmamış zeminin kalınlığının az olması kısmen de olsa geçirgen olması gerekir. Yapılan laboratuvar çalışmaları sıvılaşan ve sıvılaşmayan zeminlerin tabaka kalınlıklarının önemli olduğunu ortaya koymuştur. Eğer sıvılaşmayan örtü tabakası kalınlığı alttaki sıvılaşabilir tabaka kalınlığından daha küçük ise, zemin

yenilmesi meydana gelecektir [52]. Yeraltı su seviyesinin 10 m'nin altında olduğu bölgeler oldukça fazla, 10-20 m arası bölgeler ise az sayıda sıvılaşmanın olduğu bölgelerdir [4]. Suya doygun, kohezyonsuz taneseli özellikteki zeminlerde 13-15 m arası mesafeler, genellikle sıvılaşma konusunda hassas bölgelerdir [53].

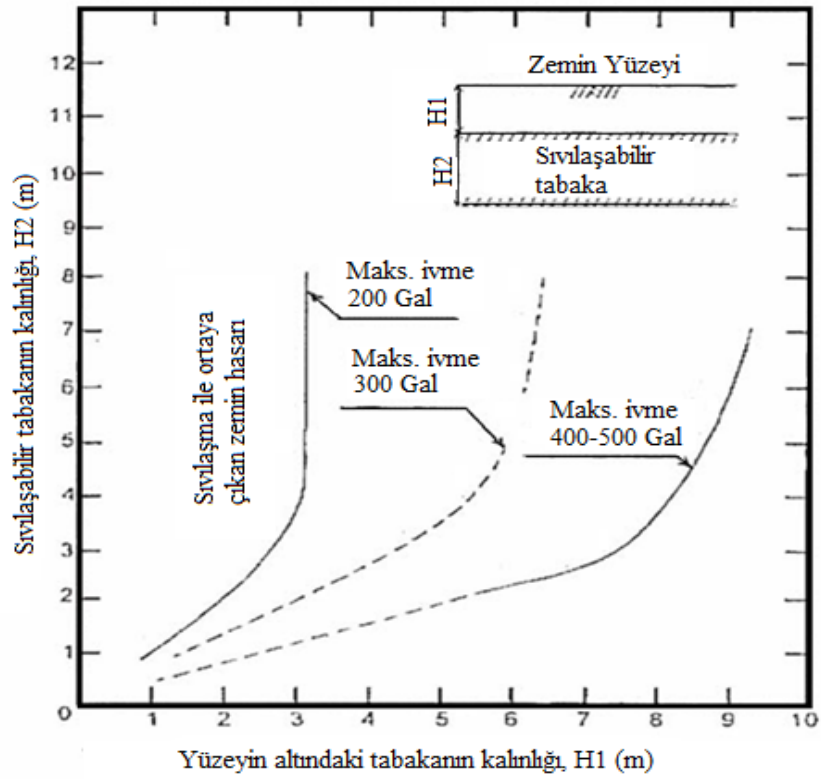
Zeminin sıvılaşması için gereken diğer bir şart da zeminin sıvılaşabileceği kadar güçlü bir yer sarsıntısının oluşması durumudur [53]. Depremlerin hepsi sıvılaşmayı tetiklemez veya sıvılaşma etkisi yaratmaz. 5'den daha küçük büyüklükteki depremler sıvılaşmaya neden olmazken, daha büyük depremler geniş alanlarda sıvılaşmayı tetikleyebilir [49].

Depremin şiddeti, sıvılaşma üzerinde önemli bir etkidir. Bununla birlikte deprem odak noktasından uzaklaştıkça deprem dalgalarının şiddeti de azalmaktadır. Housner ve Schnabel vd çeşitli büyüklükteki depremler için episantr (dış merkez) uzaklığı olarak 10 km ve 20 km uzaklıklarda etkili olan yer ivme değerleri ile ilgili bir çalışma yapmış ve Çizelge 2.10'de verilen değerleri önermiştir [15].

Şekil 2.9'de Ishihara'nın 1985 yılında yaptığı bir çalışma yer almaktadır. Bu çalışmada Ishihara sıvılaşmaya bağlı hasarların ortaya çıktığı zemin koşullarını incelemiştir. Farklı yer ivmesi aralıkları için sıvılaşan zemin ile sıvılaşmaya dirençli örtü zeminin kalınlığına bağlı olarak sıvılaşmanın yüzeyde görülüp görülmeyeceği üzerine bir grafik oluşturmuştur [54].

Çizelge 2.10 Maksimum yer ivmesinin uzaklıkla azalması [15].

M	$\Delta = 10$ km		$\Delta = 20$ km	
	Housner (5)	Schnabel (6)	Housner (5)	Schnabel (6)
5,0	0,16	0,07	0,12	0,04
5,5	0,20	0,26	0,18	0,17
6,0	0,26	0,36	0,23	0,22
6,5	0,30	0,44	0,28	0,28
7,0	0,36	0,50	0,35	0,33
7,5	0,40	0,53	0,39	0,38
8,0	0,45	0,57	0,44	0,42



Şekil 2.9 Sıvılaşma ile zemin yüzeyinde meydana gelen hasarın oluşumunu belirlemek için sınır eğrileri (Ishihara, 1985) [54, 55].

## 2.5.2. Sıvılaşma hesaplama yöntemleri

Sıvılaşabilir özelliklere sahip bir zeminde sıvılaşma olabilmesi için; kuvvetli bir yer sarsıntısına maruz kalması gerekir. Deprem gerçekleştiğinde; zeminin ne şekilde bir tavır sergileyeceğinin belirlenmesi için laboratuvarında veya arazide bir dizi deneyin yapılması gerekmektedir. Bu şekilde, olası bir deprem durumunda, sıvılaşma riski taşıyan bölgeler ve bu bölgelerin özellikleri deprem öncesinde belirlenmiş olacaktır.

TC4, ISSMFE (1993) tarafından yayınlanmış olan “Sismik Geoteknik Risklerde Zonlanma Klavuzu”nda üç aşamada sıvılaşma potansiyel tahminleri yapılmıştır [55]. Bunlar;

- Yöntem 1: Jeolojik ve topoğrafik haritalar ile tarihsel afet bilgilerini kullanarak yapılan basit ve sentetik sıvılaşma analizi,
- Yöntem 2: Arazi gözlem sonuçları, yerel halkla yapılan görüşmeler ve benzeri verilerle detaylı sıvılaşma analizi,
- Yöntem 3: Jeolojik araştırmaların sonuçlarının ve nümerik analizlerin kullanıldığı daha detaylı analiz.

1. yöntemde; Wakamatsu (1991) ve bazı diğer araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda; önceden sıvılaşma meydana gelmiş bir bölgede jeolojik ve jeomorfolojik çalışmalar sonucu elde edilen verilerle sıvılaşma arasında bir korelasyon kurulabilirse, bu bölgenin gelecekte meydana gelebilecek bir depremde sıvılaşma açısından ne kadar risk taşıdığına ortaya konabileceğini belirtmişlerdir [55].

2. yöntemde; jeolojik ve jeomorfolojik özelliklere bağlı olarak Youd ve Perkins (1978), Wakamatsu (1992) çalışmalarında oluşturulan çizelgeler de kullanılarak; çalışma alanı sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir. Aşağıda Çizelge 2.11’de Wakamatsu (1992)’ye göre jeomorfolojik olarak sıvılaşma olasılığı verilmiştir. [55].

Çizelge 2.11 J.M.A. V veya M.M.S. VIII şiddetine göre jeomorfolojik olarak sınıflandırma şüphesi [55].

<b>Jeomorfolojik Koşullar</b>		<b>Sınıflandırma</b>	<b>Sınıflandırma Potansiyeli</b>
		<b>Özel Durumlar</b>	
Düz Vadi	Çakıl ve iri kayadan oluşan	Mümkün değil	
	Kumlu zeminden oluşan	Mümkün	
Alüviyal Yelpaze	Düşey derecelenme %0,5'den büyük	Mümkün değil	
	Düşey derecelenme %0,5'den küçük	Mümkün	
Doğal Çökel Tabakası	Çökelin en üstü	Mümkün	
	Çökelin kenarı	Belki	
Bataklık		Mümkün	
Terk edilmiş dere yatağı		Mümkün	
Kurumuş dere yatağı	Çakıldan oluşan	Mümkün değil	
	Kumlu zeminden oluşan	Mümkün	
Delta		Mümkün	
Bar	Kum barı	Mümkün	
	Çakıl barı	Mümkün değil	
Kumul	Kumulun en üstü	Mümkün değil	
	Kumulun eğilimli yerleri	Mümkün	
Sahil	Sahil	Mümkün değil	
	Yapay sahil	Mümkün	
Düz ova		Mümkün	
Drenajla kullanılabilir hale gelmiş alan		Mümkün	
Kullanılabilir hale getirilmiş alan		Mümkün	
Kaynak		Mümkün	
Dolgu	Ovada bulunan dolgu	Mümkün	
	Uçurumda bulunan dolgu	Mümkün	
	Bataklık üzerinde	Mümkün	
	Drenajla kullanılabilir hale getirilmiş alan üzerinde	Mümkün	
	Diğer	Mümkün	

3. Yöntem ise; bir bölgenin sınıflandırma potansiyelinin değerlendirilmesinde diğer metotlara göre daha net sonuçların alınabileceği bir yöntemdir. Diğer yöntemlere göre daha fazla arazi ve laboratuvar çalışması yapılır.

Atterberg limitleri ve plastisite indeksi zeminlerin sınıflandırma kontrollerinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [56]. Buna göre;

- $I_p < 12$  ve  $w/LL > 0,85$  olan zeminler sınıflandırma konusunda hassastırlar,

- $12 < I_p < 18$  ve  $W/LL > 0,8$  olan zeminler sistematik olarak sıvılaşmaya daha dayanıklıdır,
- Düşük efektif gerilmede  $I_p > 18$  olan zeminler sıvılaşmaya karşı hassas değildir,
- Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemine göre sınıflandırılan ve Cassagrande plastisite kartında C (kil) olarak tanımlanan zeminler (CH, CL, GC ve SC) sıvılaşmaz olarak düşünülmüştür,
- Sıvılaşabilir ince taneli zeminler  $LL < 35$  ve A hattının altında olmalı veya  $I_p < 7$  olmalıdır,
- Seed;  $LL < 37$  ve  $I_p < 12$  olan zeminleri potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminler olarak belirtmiştir ve  $37 < LL < 47$  ve  $12 < I_p < 20$  olan zeminlerin de laboratuvar testlerine ihtiyaç duyduğunu belirtmiştir [56].

Yakın zamanda meydana gelen birçok deprem; birçok kohezyonlu zeminin de sıvılaşabildiğini göstermiştir. Bu zeminler; % 20'den az kil oranına sahip, likit limit içerikleri % 21-35 arasında, plastisite indeksleri % 4-14 arasında ve su içerikleri likit limit değerinin % 90'ından fazlasına sahip olan zeminlerdir [56].

Andrews ve Martin ince taneli zeminlerin sıvılaşma hesaplamalarında Çizelge 2.12'yi önermişlerdir [57].

Çizelge 2.12. İnce taneli zeminlerin sıvılaşma kriterleri [57].

2 $\mu\text{m}$ 'den küçük tane oranı (%)	$LL < 32$	$LL > 32$
$< 10$	Sıvılaşmaya hassas	Daha fazla çalışma gerektirir (Plastik kil olmayan tane )
$\geq 10$	Daha fazla çalışma gerektirir (Plastik olmayan kil boyu tane )	Sıvılaşmaya hassas değil

Yine zeminlerin LL ve plastisite özelliklerine bağlı olarak sınıflama özellikleri Çizelge 2.13’de belirtildiği şekli ile yapılmıştır [58].

Çizelge 2.13 Zeminlerin kıvam limitlerine bağlı olarak sınıflama kriterleri [58]

LL	I <sub>p</sub>	Sınıflama Riski
< 25	< 7	Sınıflanabilir
25 < LL < 35	7 < I <sub>p</sub> < 10	Potansiyel olarak sınıflanabilir
35 < LL < 50	10 < I <sub>p</sub> < 15	Devirsel harekete duyarlı

### 2.5.2.1. SPT verileri kullanılarak sınıflama potansiyelinin değerlendirilmesi

Sınıflama potansiyeli hesaplamaları için birçok araştırmacı farklı metotlar ortaya koymuşlardır. SPT-N’ye dayalı hesaplama yöntemi deprem süresince zeminin sınıflama değerlendirilmesinde uzun yıllardır kullanılan bir yöntemdir. Basitleştirilmiş deneysel kategoride SPT-N’ye dayalı yaklaşım dünya çapında büyük bir veri bankasına izin verir [59]. SPT-N zemin tanelerinin sıkışmasına bağlı olarak çok gevşekten çok sıkıya geçecek şekilde zeminin yoğunluğu hakkında bilgi verebilir. Çizelge 2.14’de SPT-N ile zemin bağıl yoğunluğunun değişimi verilmiştir [51, 55].

Çizelge 2.14 SPT-N değerine bağlı olarak kumun bağıl yoğunluğu [51, 55]

SPT-N	Sıklık veya bağıl yoğunluk
0-4	Çok gevşek
4-10	Gevşek
10-30	Orta
30-50	Sıkı
> 50	Çok sıkı

SPT-N'ye dayalı sınılaşma analizi çalışmaları birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Seed Metodu, Tokimatsu ve Yoshimi (T-Y) Metodu, Yeni Japon Karayolları (NJRA) Metodu, binaların sismik dizaynı için Çin Kriterleri (CSDB) metodu bunlara örnek verilebilir [59]. Sınılaşma analiz çalışmaları üç grupta sınıflandırılabilir. Bunlar; strese (stress) dayalı yöntem, gerilime (strain) dayalı yöntem ve enerjiye dayalı yöntemdir. Strese dayalı yöntem, sınılaşmayı belirlemede oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Metot; laboratuvar ve arazi gözlemlerine dayanmaktadır [60].

Bu yöntemlerin içinde Seed ve Idriss (1971) tarafından ilk defa ortaya konan Seed Metodu; sonraki yıllarda kendileri ve diğer arkadaşları tarafından yıllar içerisinde geliştirilmiştir. 1996 ve 1998'de NCEER ve NSF tarafından güncellenmiş ve rapor haline getirilmiştir. Metodun güncellenmiş son hali bugün kullanılan halidir. Seed Metodu; zeminin sismik sarsıntıya bağlı devirsel gerilim oranı (CSR) ve devirsel direnç oranını (CRR) değerlendirir. Deprem magnitudü (M), ince tane oranı (İTO) ve efektif örtü gerilimi ( $\sigma'$ ) CRR hesaplamalarında kullanılır [59]. Seed Yöntemi kullanılarak sınılaşma hesaplamaları Eşitlik 2.28 ve Eşitlik 2.29 kullanılarak yapılır [61].

$$CSR = 0,65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d \quad (2.28a)$$

$$r_d = \frac{(1-0,4113.z^{0,5}+0,04052.z+0,001753.z^{1,5})}{(1-0,4177.z^{0,5}+0,05729.z-0,006205.z^{1,5}+0,00121.z^2)} \quad (2.28b)$$

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34-N_{1,60}} + \frac{N_{1,60}}{135} + \frac{50}{[10.N_{1,60}+45]^2} - \frac{1}{200} \quad (2.28c)$$

$$CRR = MSF \times CRR_{7,5} \quad (2.28d)$$

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} \quad (2.28e)$$

CSR : Devirsel gerilim oranı

CRR : Devirsel direnç oranını

$F_s$  : Sıvılaşma güvenlik katsayısı

$CRR_{7,5}$ : 7,5 şiddetindeki deprem için devirsel direnç oranını

$a_{max}$  : Zemin yüzeyindeki maksimum yatay yer ivmesi

$g$  : Yerçekimi ivmesi

$\sigma_v$  : Düşey toplam gerilme

$\sigma_v'$  : Düşey efektif gerilme

$r_d$  : Gerilme azaltma katsayısı

$N_{1,60}$  : Teorik serbest düşme tokmak enerjisinin % 60'ı ve efektif jeolojik gerilme 100 kPa olarak düzeltilmiş SPT darbe sayısı,

MSF : Magnitüt düzeltme faktörü

$$MSF = 10^{2,24/M^{2,56}} \quad (2.29)$$

$CRR_{7,5}$  değeri; SPT sonuçları kullanılarak hesaplanır [55].  $CRR_{7,5}$  değeri için; ince tane oranı %5'den küçük ve SPT- $N_{1,60}$  değeri 30'dan küçük olduğunda Eşitlik 2.28c kullanılır. SPT- $N_{1,60}$  değeri 30'dan büyük ise zemin sıvılaşmaz olarak değerlendirilir. CRR değeri ince tane oranı ile artar ve böylece SPT- $N_{1,60}$  değeri temiz kum değeri için düzeltilerek SPT- $N_{1,60cs}$  olarak kullanılır [61].  $CSR > CRR$  olan durumlar sıvılaşma için gerekli koşullardır [62].  $F_s > 1$  olması durumunda sıvılaşma gerçekleşmez [63].

Arazide ölçülen SPT-N üzerinde etkili birçok faktör vardır. Tokmak enerjisi, jeolojik gerilme, kullanılan ekipmanların özellikleri gibi faktörler arazi

darbe sayısını etkilediğinden gerekli düzeltmeler yapılmalıdır. Çizelge 2.15’de SPT-N üzerinde yapılması gereken düzeltmeler yer almaktadır [55].

Çizelge 2.15 SPT-N üzerinde yapılan düzeltmeler [55].

	Referans	Özellik	Değer	
$C_N$				
$C_E$	Youd ve Idriss (1997)	Halka Tipi	0,50-1,00	
		Güvenli	0,70-1,20	
		Otomatik-Trip Halka	0,80-1,30	
$C_R$	Youd ve Idriss (1997)	Tij Uzunluğu (m)	<3 m	-
			3-4 m	0,75
			4-6 m	0,85
			6-9 m	0,95
			> 9 m	-
			9-30 m	1,0
			> 30 m	< 1,0
$C_B$	Skempton (1986)	Sondaj Çapı	65-115 mm	1,00
			150 mm	1,05
			200 mm	1,15
$C_S$	Youd ve Idriss (1997)	Numune alıcı	Kılıflı (Standart)	1,00
			Kılıfsız (Amerika)	1,10-1,30

Eşitlik 2.30a, Eşitlik 2.30b ve Eşitlik 2.30c kullanılarak arazi darbe sayısı üzerinde gerekli düzenlemeler yapılır [55].

$$N_{60} = N_{arazi} \cdot C_E \cdot C_R \cdot C_B \cdot C_S \quad (2.30a)$$

$$N_{1,60} = N_{60} \cdot C_N \quad (2.30b)$$

$$C_N = \frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma_{v0}}{P_a}} \quad (2.30c)$$

$N_{60}$  : Teorik serbest düşme enerjisinin % 60'ına göre düzeltilmiş vuruş sayısı,

$N_{1,60}$  : Teorik serbest düşme tokmak enerjisinin % 60'ı ve efektif jeolojik basıncı 100 kPa olarak düzeltilmiş vuruş sayısı,

$N$  : Arazi darbe sayısı

$C_N$  : Derinlik düzeltme faktörü

$C_E$  : Enerji düzeltme faktörü

$C_R$  : Tij uzunluğu düzeltme faktörü

$C_B$  : Sondaj çapı düzeltme faktörü

$C_S$  : Numune alıcı kılıf düzeltme faktörü

Seed ve Idriss SPT- $N_{1,60}$  değeri üzerinde ince tane içeriğine bağlı olarak bazı düzeltmelerin yapılması gerektiğini belirtmiştir. Bunun için Eşitlik 2.31'in kullanılmasını önermişlerdir [55].

$$N_{1,60_{cs}} = \alpha + \beta N_{1,60} \quad (2.31)$$

Burada  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri Eşitlik 2.32 kullanılarak hesaplanır.

$$\alpha = 0 \quad \dot{I}TO \leq \%5 \quad (2.32a)$$

$$\alpha = \exp\left[1,76 - \left(\frac{190}{\dot{I}TO^2}\right)\right] \quad \%5 < \dot{I}TO < \%35 \quad (2.33b)$$

$$\alpha = 5 \quad \dot{I}TO \geq \%35 \quad (2.32c)$$

$$\beta = 1 \quad \dot{I}TO \leq \%5 \quad (2.32d)$$

$$\beta = \left[0,99 + \left(\frac{\dot{I}TO^{1,5}}{1,000}\right)\right] \quad \%5 < \dot{I}TO < \%35 \quad (2.32e)$$

$$\beta = 1,2 \qquad \text{İTO} \geq \%35 \qquad (2.32f)$$

İTO : İnce tane oranı

SPT verileri kullanılarak sınılaşma hesaplamalarında kullanılan bir başka ifade de sınılaşma potansiyel indeks (LPI) değeridir. Sınılaşma Potansiyel İndeksi (LPI) Iwasaki ve arkadaşları tarafından ortaya konulmuş ve Eşitlik 2.33 ile tanımlanmıştır [64]. LPI değeri sınılaşma hasar ve yıkım potansiyelini hesaplamada kullanılır [52].

$$LPI = \int_0^{20} F_z W(z) dz \qquad (2.33)$$

Formülde z değeri yüzeyden itibaren derinlik değeridir.  $W_z$  ise; derinliğe bağlı ağırlık fonksiyonu olup Eşitlik 2.34 ile ifade edilir [64].

$$W_{(z)} = 10 - 0,5 \cdot z \qquad (2.34)$$

$F_z$  değeri güvenlik faktörünün bir fonksiyonudur ve Eşitlik 2.35 ile belirlenir [64].

$$F_z = 0 \qquad F_s \geq 1,2 \qquad (2.35a)$$

$$F_z = 1 - F_s \qquad F_s < 0,95 \qquad (2.35b)$$

$$F_z = 2 \times 10^6 e^{-18,427 F_s} \qquad 1,2 > F_s > 0,95 \qquad (2.35c)$$

Iwasaki ve arkadaşları; LPI bağlı olarak sınılaşma riskini dört grupta toplamıştır.  $0 > LPI$  olan zeminler çok düşük,  $0 < LPI \leq 5$  olan zeminler düşük,  $5 < LPI \leq 15$  olan zeminler yüksek ve  $LPI > 15$  olan zeminlerse çok yüksek

sıvılaşma riski taşıyan zeminlerdir [65]. Sönmez ise 2003 yılında sıvılaşma riskini LPI'ne bağlı olarak Çizelge 2.16'da belirtilen şekli ile tekrar düzenlemiştir [65].

Çizelge 2.16 Sıvılaşma potansiyeli sınıflaması [65].

LPI	Sıvılaşma Kategorisi
0	Sıvılaşmaz ( $F_s \geq 1,2$ durumuna bağlı olarak)
$0 < LPI \leq 2$	Düşük
$2 < LPI \leq 5$	Orta
$5 < LPI \leq 15$	Yüksek
$15 < LPI$	Çok yüksek

Sonraki dönemlerde LPI hesaplamaları farklı araştırmacılar tarafından da çalışılmış ve hesaplamalarda yeni formüller ortaya konulmuştur. Bunlardan biri de 2010 yılında Gulmustafa Şen tarafından yapılmış ve Eşitlik 2.36'de tanımlanan şekli ile ifade edilmiştir [66]. Şen 2010 yılında yaptığı bu çalışmayla sıvılaşma potansiyel indeksi değerinin 0,5'den küçük olduğu durumlarda sıvılaşmanın olmayacağını, 0,5'den büyük olması durumunda ise sıvılaşmanın olacağını belirtmiştir [66].

$$LPI = 2,24(M_w)^{0,36} - 3,10(SPTN)^{0,06} + 0,48 P (a_{max})^{1,35} + 0,88 \ln((a_{max}^{0,66}) + 1) - 0,78 \quad (2.36)$$

$$P=0 \quad \frac{Y_{ASS}}{z} < 0,547$$

$$P=1 \quad \frac{Y_{ASS}}{z} \geq 0,547$$

SPT-N : SPT arazi darbe sayısı

P : Katsayı

M<sub>w</sub> : Moment magnitudü

a<sub>max</sub> : Maksimum yatay yer ivmesi (g) (g=9,81 m/s<sup>2</sup>)

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Çalışma alanı kapsamında yürütülen çalışmalar; arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

#### **3.1. Arazi Çalışmaları**

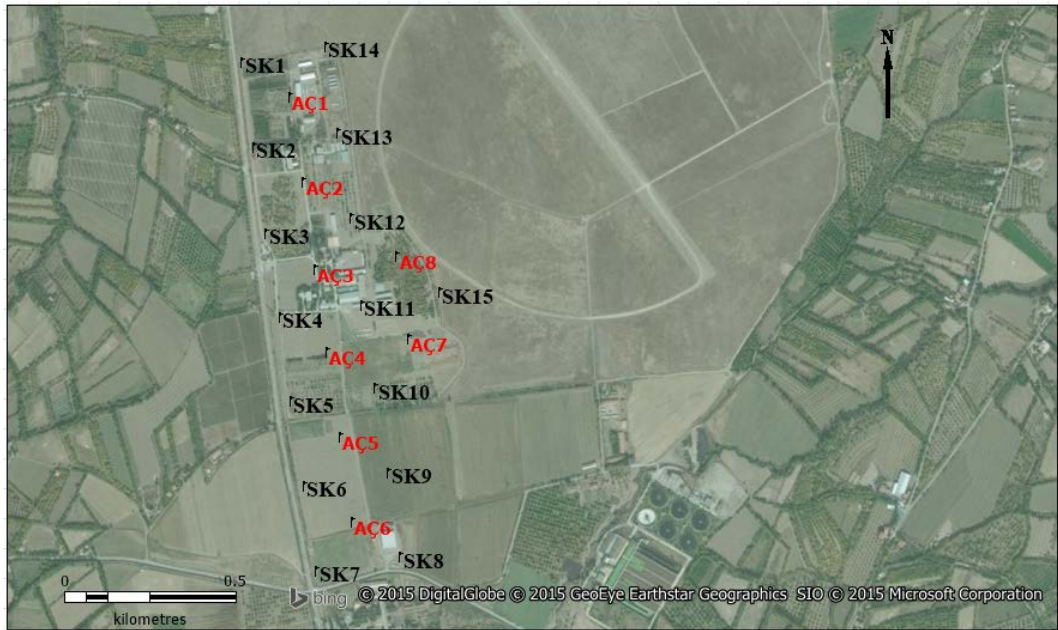
Çalışma alanında arazi çalışmaları kapsamında; araştırma çukur açımı, araştırma sondaj çalışmaları ve jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. EK-2’de sondaj çalışmalarına ait kuyu logları, EK-3’de araştırma çukurlarına ait kuyu kesitleri, EK-4’de jeofizik çalışmalar kapsamında gerçekleştirilen düşey elektrik sondaj çalışmalarına ait çok kanallı DES (Düşey Elektrik Sondajı) ölçüm sonuçları ve EK-5’de Çalışma alanı Vs dalga hızlarının derinlikle değişimi yer almaktadır.

##### **3.1.1. Araştırma çukur çalışmaları**

Arazi çalışmaları kapsamında sekiz adet araştırma çukuru açılarak; örselenmiş (DS) ve örselenmemiş (UDS) numuneler alınmıştır. Açılan çukurlar 3 ve 5 m olarak planlanmıştır. Çizelge 3.1’de açılan araştırma çukurlarına ait GPS koordinat noktaları yer almaktadır. Koordinatlandırma çalışmalarda kullanılan GPS; Garmin marka ve GPSmap 62s modeldir. Şekil 3.1’de ise çalışma alanında açılan araştırma çukurları yer almaktadır.

Çizelge 3.1 Araştırma çukur koordinatları ve derinlikleri

Araştırma Çukur (AÇ) No	X Koordinatı	Y Koordinatı	Derinlik (m)
AÇ-1	37 S 443775	4258257	5
AÇ-2	37 S 443814	4258009	5
AÇ-3	37 S 443845	4257753	5
AÇ-4	37 S 443880	4257511	3
AÇ-5	37 S 443915	4257264	3
AÇ-6	37 S 443950	4257016	3
AÇ-7	37 S 444117	4257548	5
AÇ-8	37 S 444086	4257790	5

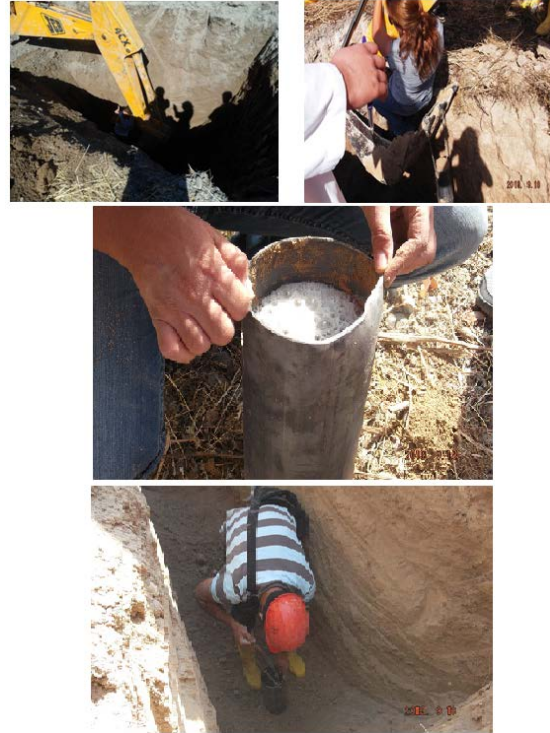


Şekil 3.1 Çalışma alanında açılan araştırma sondaj (SK) ve araştırma çukur (AÇ) noktaları

Araştırma çukurlarından örselenmemiş numune almak için, 15 cm çapında ve 45 cm uzunluğunda demir borular kullanılmıştır. Açılan derinliklerde, demir borular çukur tabanına dik olacak şekilde yerleştirilmiş ve zemine doğru kepçe yardımıyla itirilerek numunenin boru içerisine girmesi sağlanmıştır. Bu aşamada mümkün olduğunca borunun eğilmemesine, numunenin örselenmemesine azami dikkat edilmiştir. Sonrasında, boru zeminden ayrılmış ve arazide zaman kaybetmeden alt ve üst yüzeyleri parafinlenerek Hekimhan Mehmet Emin Sungur

Meslek Yüksekokulu Geoteknik Laboratuvarı'nda koruma altına alınmıştır. Şekil 3.2'de araştırma çukurlarından örselenmemiş numune alımı görülmektedir.

Örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan kesme kutusu deneyleri; İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Konsolidasyon deneyleri ise; Hekimhan Mehmet Emin Sungur Meslek Yüksekokulu Geoteknik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2 Araştırma çukurlarından örselenmemiş numune alımı

Araştırma çukurlarında jeoteknik çalışmalar yanında sedimentolojik çalışmalar da yapılmıştır. Sedimentolojik çalışmalar kapsamında dört nolu araştırma çukurunda (AÇ4) çakıllara ait eski akıntı yönünü belirlemek amacıyla jeoloji pusulası yardımıyla ölçümler alınmıştır. Şekil 3.3'de eski akıntı yönü belirleme çalışmaları yer almaktadır.



Şekil 3.3 Eski akıntı yönü belirleme çalışmaları

Sekiz nolu araştırma çukurunda (AÇ8) yapılan gözlemlerde; 0-2,2 m arası derinlikte killi siltli birim gözlenirken, 2,2-3,6 m arası derinlikte siltli birime rastlanmıştır. Araştırma çukuru yaklaşık 10m uzunluğa sahip olacak şekilde uzatılmış ve hendek haline getirilmiştir (Şekil 3.4). Arazi gözlemleri ışığında killi ve siltli birimi ayırt edebilmek için toz kireç kullanılarak işaretleme yapılmıştır.



Şekil 3.4 Hendek çalışması

Çalışma alanında açılan araştırma çukurlarından alınan örselenmiş numuneler üzerinde, tanelerin morfolojik özelliklerini ve tane boyu istatistiksel parametrelerini belirlemek amacıyla ölçümler yapılmıştır. Dijital kumpas kullanılarak çakıl boyu tanelerin uzun, orta ve kısa kenarları ölçülerek kaydedilmiştir. Ölçüm sonuçları Zing küresellik sınıflama sistemine göre (Şekil 2.1) değerlendirilmiştir.

Yapılan kuru elek analizi ve hidrometre analizi yardımıyla tane boyu dağılım eğrisi oluşturulmuştur (EK-6) . Bu eğri kullanılarak  $\phi_5$ ,  $\phi_{16}$ ,  $\phi_{25}$ ,  $\phi_{50}$ ,  $\phi_{75}$  ve  $\phi_{95}$  değerleri okunmuştur. Eşitlik 2.4, Eşitlik 2.5, Eşitlik 2.6 ve Eşitlik 2.7 kullanılarak tane boyu istatistik parametrelerinden aritmetik orta,  $M_z$  (EK-7), boylanma,  $\sigma_1$  (EK-8), çarpıklık,  $Sk_1$  (EK-9) ve tepelenme,  $K_g$  (EK-10) değerleri belirlenmiştir. Folk'un üçgen diyagramları kullanılarak; sedimanların sınıflaması yapılmıştır.

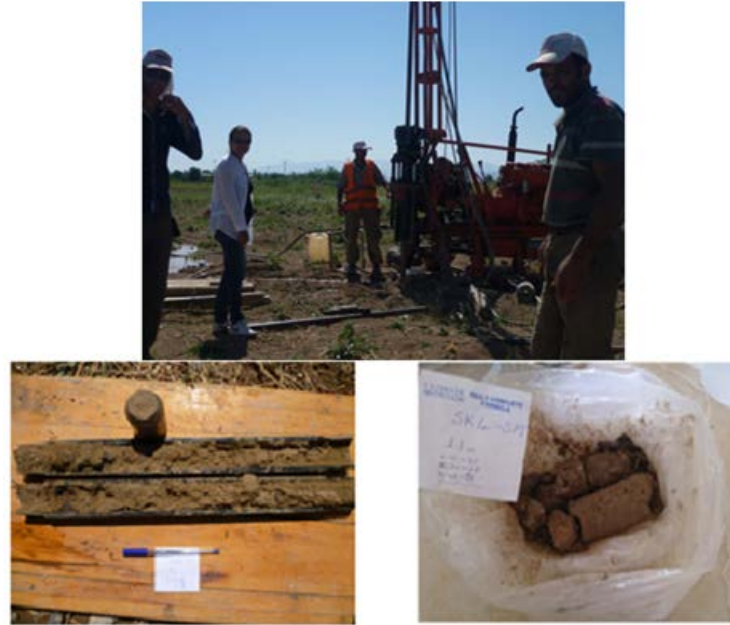
### **3.1.2. Araştırma sondaj çalışmaları**

Çalışma alanında yer alan litolojik birimlerin yatay ve düşey dağılımlarını, sedimentolojik özelliklerini, zeminin fiziksel ve mühendislik özelliklerini belirlenmek amacıyla 20m derinlikte toplam 15 adet araştırma sondajı açılmıştır. Çizelge 3.2'de araştırma sondaj noktalarına ait GPS koordinatları yer almaktadır. Şekil 3.1'de ise çalışma alanında açılan sondaj noktaları yer almaktadır.

Zeminin özelliklerini belirlemek amacıyla gerek arazide gerekse laboratuvarında bir takım deneyler yapılmıştır. Arazi çalışmaları kapsamında açılan sondajlarda SPT ve PMT yapılmış ve SPT numuneleri alınmıştır. Alınan SPT numuneleri fotoğraflanarak poşetlenmiş ve etiketlenmiştir. Alınan örneklerin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla; su içeriği, elek analizi, hidrometre, kıvam limitleri ve özgül ağırlık deneyleri Hekimhan Mehmet Emin Sungur Meslek Yüksekokulu Geoteknik Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Şekil 3.5'de araştırma sondajlarından SPT tüpü ile alınan örselenmiş zemin numuneleri yer almaktadır.

Çizelge 3.2 Çalışma alanı araştırma sondaj koordinatları

Sondaj Kuyu No (SK)	X Koordinatı	Y Koordinatı	Sondaj Kuyu No (SK)	X	Sondaj Kuyu No (SK)
SK-1	37 S 443638	4258361	SK-9	37 S 444057	4257159
SK-2	37 S 443670	4258112	SK-10	37 S 444020	4257405
SK-3	37 S 443704	4257860	SK-11	37 S 443982	4257649
SK-4	37 S 443743	4257615	SK-12	37 S 443954	4257902
SK-5	37 S 443773	4257368	SK-13	37 S 443917	4258150
SK-6	37 S 443809	4257121	SK-14	37 S 443881	4258404
SK-7	37 S 443845	4256874	SK-15	37 S 444211	4257684
SK-8	37 S 444091	4256911			



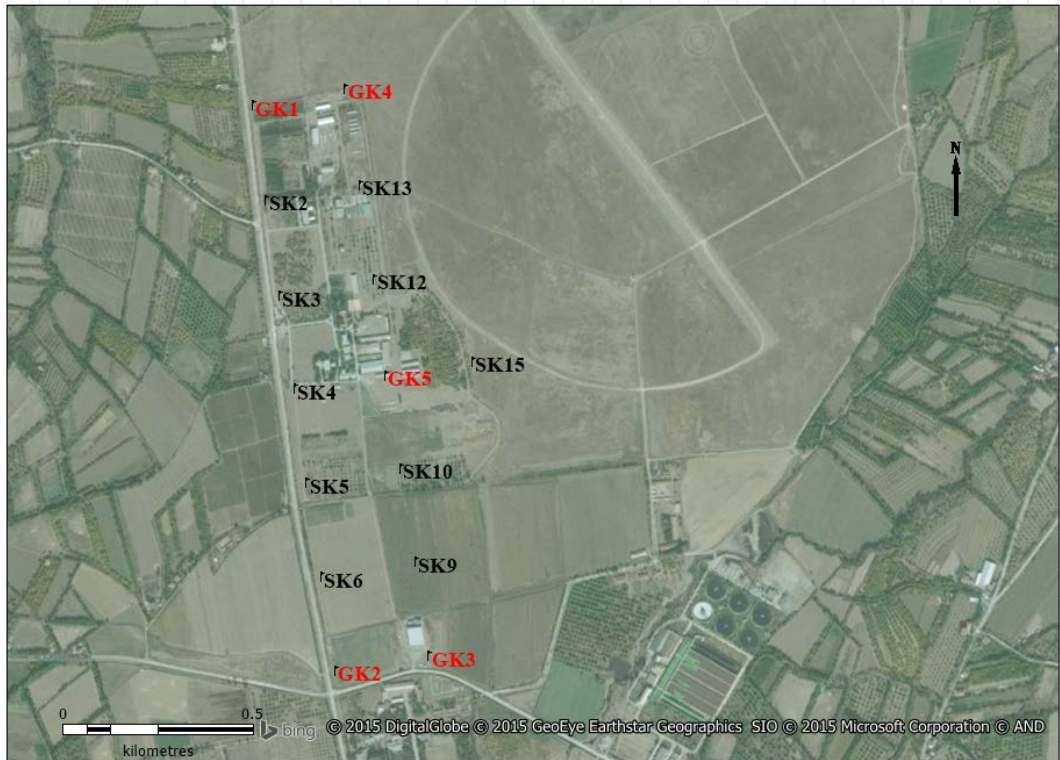
Şekil 3.5 Araştırma sondajlarından örselenmiş numune alımı

SPT ve PMT sonuçları kullanılarak; zeminin taşıma gücü ve sıvılaşma analizi yapılmıştır. Çizelge 3.3’de araştırma sondajlarında yapılan SPT ve PMT deneylerine ait derinlikler yer almaktadır.

Çizelge 3.3 Araştırma sondajlarında yapılan SPT ve PMT derinlikleri (DS: örselenmiş numune)

Derinlik (m)	Deney	Numune	Derinlik (m)	Deney	Numune	Derinlik (m)	Deney	Numune
1,5	SPT	DS	9,0	PMT	-	16,5	SPT	DS
3,0	PMT	-	10,5	SPT	DS	18,5	PMT	-
4,5	SPT	DS	12,0	PMT	-	19,5	SPT	DS
6,0	PMT	-	13,5	SPT	DS			
7,5	SPT	DS	15,0	PMT	-			

Çalışma alanında yeraltı su seviyesinin mevsimsel değişiminin belirlenmesi amacıyla açılan sondajlardan SK1, SK7, SK8, SK11 ve SK14 olmak üzere beş tanesi Gözlem Kuyusu (GK) olarak dizayn edilmiş ve her ay olmak üzere bir yıl süresince her kuyuda yeraltı su seviye ölçümleri yapılmıştır. Şekil 3.6'da çalışma alanında yer alan gözlem kuyuları verilmiştir.



Şekil 3.6 Çalışma alanı Gözlem Kuyuları (GK)

### 3.1.3. Arazi deneyleri

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

Standart penetrasyon deneyi, araştırma sondajlarında yapılan bir deneydir. SPT tüpü deney sırasında zemin içerisine darbe uygulayarak indirilir.  elik tüpün alt u  kısmı zemine rahat girebilmesi için keskin yüzeylidir. Üst kısmı ise tijlerle bağlantı sağlayacak şekildedir. Deney sırasında tijin ucuna bağlanan  elik SPT tüpü örselenmeyi önlemek amacıyla deney öncesinde 15 cm zemine itilir. Sonrasında  ahmerdan denilen ve ağırlığı 63,5 kg olan  eki , yaklaşık 76 cm y seklikten tijle bağlantılı olan bir mil üzerine serbest düşmeye bırakılır. Bu serbest düşürme işlemi  elik tüpü zemine 30cm girene kadar yapılır. Tüpün zemine girmesini sağlayan serbest düşme sayısı standart penetrasyon arazi darbe sayısı (SPT-N) olarak kaydedilir. Ancak bu sayı 50 ve üzerinde ise, daha fazla darbe uygulanmaz. Ülkemizde SPT, TS-5744'e göre yapılır. Elde edilen SPT-N darbe sayısı üzerinde gereken düzeltmelerin yapılması gerekmektedir.

SPT sondaj sırasında her 0,75-1,5 m'de bir yapılabilir. Ülkemizde her 1,5 m'de bir bu deney yapılmaktadır.

SPT  alışmalarında Crealius XC90H marka iki adet kızaklı tip sondaj makinası kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan penetrasyon borusunun dış çapı 51 mm, iç çapı 35 mm ve uzunluğu ise 650 mm'dir. Penetrasyon tüpü boyuna ikiye ayrılabilen ve birleştirildiğinde t p şeklini alabilen bir özelliktedir. Üst kısımda BW tije bağlantı sağlayan redüksiyonlu bir başlık, alt ucunda ise 7 cm uzunluğunda ağzı yarım konik ve kenarları kesici çarık bulunmaktadır. Penetrasyon tüpüne çarık ve başlık eklendiğinde toplam uzunluk 65 cm olmaktadır. Şekil 3.7'de arazide yapılan SPT ve SPT penetrasyon tüpü yer almaktadır.

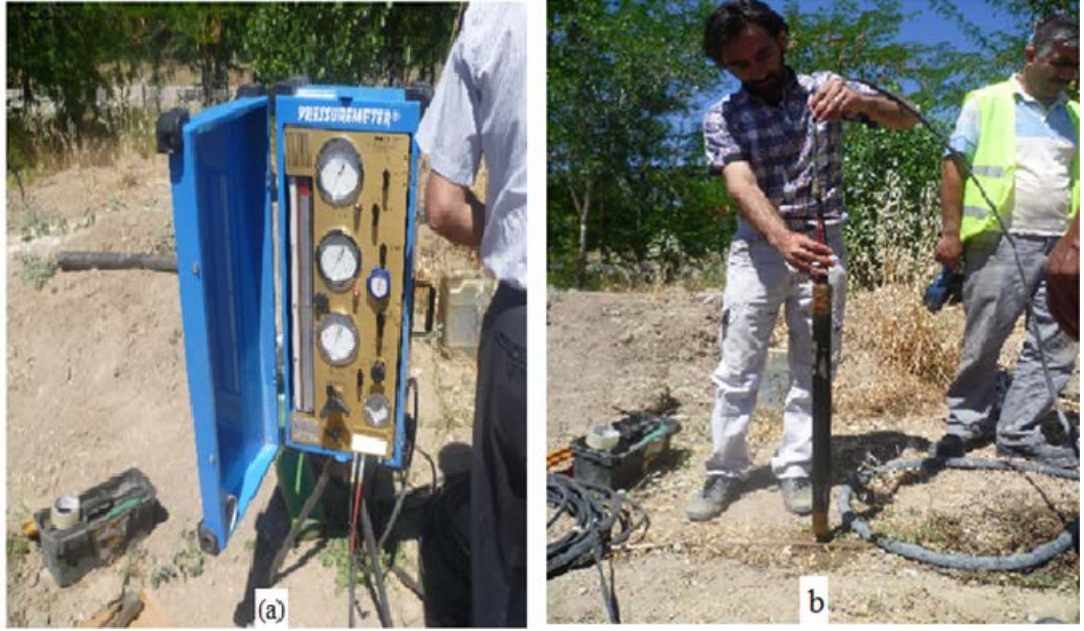


Şekil 3.7 SPT deneyi ve SPT tüpü

Deney sırasında penetrasyon tüpü, 76 cm'lik standart bir yükseklikten, 63,5 kg ağırlığında şahmerdan kullanılarak serbest düşmeye bırakılmış ve zemine girmesi sağlanmıştır. Tüpün zemine her 15 cm girmesi için gereken darbe sayısı kaydedilmiş ve bu şekilde tüpün toplam 45 cm giriş yapması sağlanmıştır. Bu işlem sırasında; tüpün zemine girdiği ilk 15 cm'deki darbe sayısı oturma kademesi olarak alınırken, son iki kademedeki (30 cm) toplam darbe sayısı zemin penetrometre direnci (SPT-N) olarak alınmıştır.

### 3.1.3.2. Presiyometre deneyi (PMT)

PMT Garanti Sondaj Firması tarafından yapılmıştır. Çalışmalarda Menard GC tipi presiyometre kullanılmıştır. Presiyometre deney aleti; prob (sonda), kontrol ünitesi ve boru takımı olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır. Prob esnek geçirimsiz ve lastik bir hücredir ve deney sırasında azot gazı ( $\text{NO}_2$ ) kullanılarak şişirilerek kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan Presiyometre probu üç hücreden oluşmaktadır. Alt ve üst hücreler koruyucu hücrelerken ortada yer alan hücre ölçme işleminde kullanılır. GC probu 74 mm çaplı, maksimum  $4 \text{ MN/m}^2$  ( $40.78 \text{ kgf/cm}^2$ ) basınç kapasiteli üç hücreden oluşmaktadır. Şekil 3.8'de arazide yapılan Presiyometre deney aleti (a) ve probu (b) yer almaktadır.



Şekil 3.8 Presiyometre deney aleti (a) ve probu (b)

Açılan zemin sondajlarında 3, 6, 9, 12, 15 ve 18m derinliklerde kuyu temizlenmiş ve PMT yapılmıştır. Deney başlamadan önce hacim kalibrasyonu ve basınç kalibrasyonu (membran düzeltmesi) yapılmıştır. Deney sonucunda;  $P_i$  (ilksel basınç),  $P_L$  (limit basınç),  $E_m$  (elastisite modülü) ve  $P_f$  (akma basıncı) değerleri ölçülmüş ve zeminin mühendislik parametrelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Presiyometre deney sonuçları zeminin taşıma gücü ve oturma hesaplamalarında kullanılmıştır. Deney sonuçları aynı zamanda zeminin konsolidasyon sınıflamasında da kullanılmıştır.

### 3.1.3.3. Jeofizik çalışmalar

Çalışma alanında 32 noktada sismik kırılma yöntemleri ve 22 noktada da düşey elektrik sondaj yöntemleri çalışmaları “Yerfizik – Yeraltı Aramacılık Burhan TÜZÜN” tarafından yapılmıştır.

Jeofizik çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar çalışma alanının litolojik ve jeoteknik özelliklerinin ortaya konulmasında ve diğer çalışmaların desteklenmesinde kullanılmıştır.

**a) Sismik kırılma ve sismik tomografi ölçümü**

Çalışma alanında; zeminin yerinde ve doğal şartlar altında dinamik yöntemle tespit edilebilen fiziksel ve elastik parametrelerini belirlemek amacıyla sismik kırılma ve tomografi çalışması ve elektrik öz direnç çalışması yapılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Çalışma alanında sismik kırılma Masw çalışması

Çalışma alanında hat başı ve hat sonu olmak üzere iki noktadan P ve S atışları yapılmıştır. P ve S hızlarının hassas bir şekilde ölçümü için sinyal biriktirmeli 12 kanallı "Geometrics" marka "Smartseis SE" model sismograf kullanılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Sismik refraksiyon çalışması sırasında kullanılan sismograf

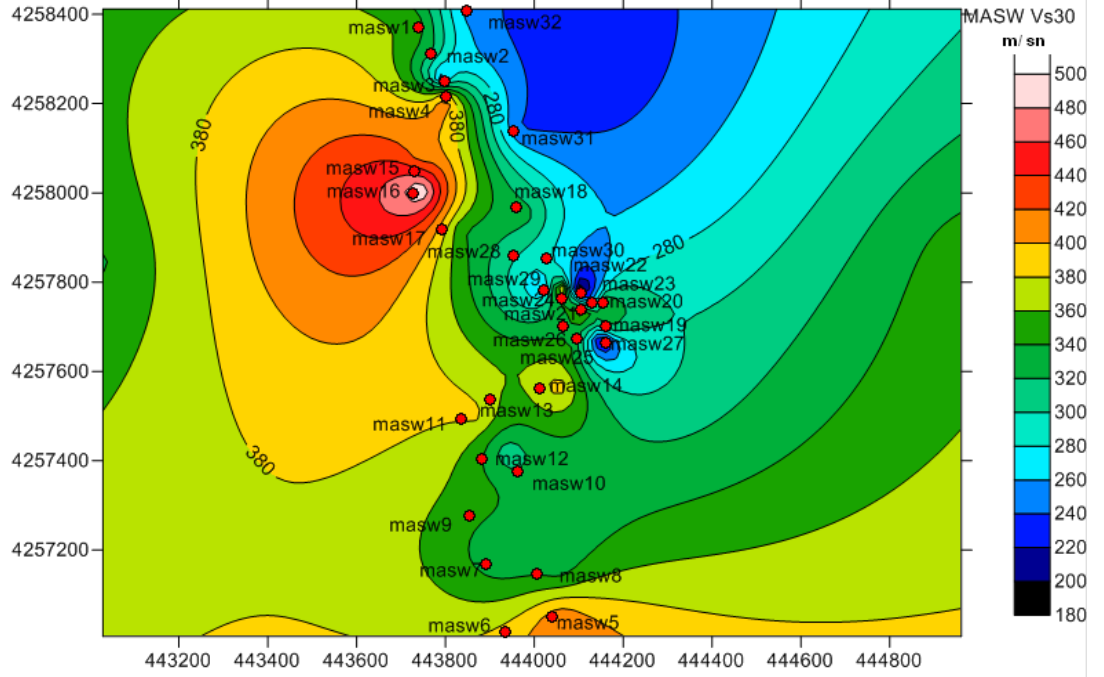
Veri alma işlemlerinde 12 adet P-dalgası, 12 adet S-dalgası jeofonu kullanılmıştır. Çalışma alanında KG ve DB doğrultusundaki değişimleri belirleyebilmek amacıyla; sismik kırılma ve Masw (Multi-channel analysis of surface wave) ölçüm çalışmalarında seçilen doğrultular Çizelge 3.4’de verilmiştir. Ölçüm alınan doğrultularda, arazi koşullarının izin verdiği ölçüde birbirine paralel ve eşit mesafede olmasına dikkat edilmiştir.

Çizelge 3.4 Sismik Kırılma Masw arazi ölçüm noktalarının çalışma alanındaki koordinatları

PAFTA		MALATYA L 40 b1				
Sismik kırılma	X	Y	Sismik kırılma	X	Y	Jeofon - ofset aralığı
SİS 1	443735	4258381	SİS17	443792	4257920	5 - 10 m
SİS2	443770	4258320	SİS18	443982	4257953	5 - 10 m
SİS3	443790	4258255	SİS19	444171	4257697	5 - 10 m
SİS4	443800	4258212	SİS20	444151	4257762	5 - 10 m
SİS5	444058	4257044	SİS21	444109	4257732	5 - 10 m
SİS6	443956	4257006	SİS22	444096	4257785	5 - 10 m
SİS7	443921	4257189	SİS 23	444133	4257761	5 - 10 m
SİS8	444057	4257154	SİS24	444062	4257760	5 - 10 m
SİS9	443895	4257317	SİS25	444089	4257652	5 - 10 m
SİS10	444006	4257349	SİS26	444063	4257712	5 - 10 m
SİS11	443873	4257500	SİS27	444153	4257671	5 - 10 m
SİS 12	443937	4257421	SİS28	443961	4257865	5 - 10 m
SİS13	443952	4257539	SİS29	444025	4257782	5 - 10 m
SİS14	444060	4257567	SİS30	443029	4257842	5 - 10 m
SİS15	443744	4258080	SİS31	443961	4258143	5 - 10 m
SİS16	443746	4258005	SİS 32	443842	4258412	5 - 10 m

## b) Masw yüzey dalgası analizi yöntemi

Masw 1-2-3-4-9-11-12-15-17-19-20-21-22-23 noktalarında yapılan çalışmalarda KG doğrultulu ölçümler yapılmıştır. Masw 5-6-7-8-10-13-14-16-18-24-25-26-27-28-29-30-31-32 noktalarında yapılan çalışmalarda D-B doğrultulu ölçümler yapılmıştır. Şekil 3.11’de çalışma alanında ölçüm yapılan Masw noktaları yer almaktadır.



Şekil 3.11 Masw çalışması  $V_{s30}$  alansal dağılım haritası

## c) Düşey elektrik sondajı (DES) çalışmaları

Çalışma alanında elektrot dizilimi için kullanılan yöntem Schlumberger dizilimidir. Çalışmalarda çok elektrotlu yöntem seçilmiş ve elektrot sayısı 48 adet olarak belirlenmiştir. Açılım doğrultuları mümkün olduğu kadar, topoğrafik eş yükselti eğrilerine paralel olacak, topografyadan gelmesi muhtemel bozucu tesirleri minimuma indirecek şekilde ayarlanmıştır. Arazi çalışmaları kapsamında jeofizik elektrik öz direnç yöntemi doğrultuları; K-G doğrultusunda araziye ortalayacak şekilde yaklaşık 1750 m boyunca tek hatta ve yine D-B doğrultusunda araziye temsil edecek şekilde 3 ana hatta toplam 1250 m boyunca uygulanmıştır. Ölçümler sırasında arazinin uygun olması durumuna göre 100m ile 150m arası

açılımlar gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında 0-30 m arası yeraltı tabakaları belirlenebilmiştir.

Arazi eğrileri çok tabakalı eğri karakterinde olduğundan ölçülerin değerlendirilmesi, bilgisayar ortamında RES2D-RES3D programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.12’de çalışma alanında gerçekleştirilen DES çalışmaları ve Çizelge 3.5’de ise ölçüm alınan koordinat noktaları yer almaktadır.



Şekil 3.12. Çalışma alanında çok kanallı DES arazi ölçümü

Çizelge 3.5 Çok kanallı DES arazi ölçüm noktalarının çalışma alanındaki koordinatları

Malatya L40b1 Paftası							
	X	Y	AB/2		X	Y	AB/2
DES11	443791	4258250	96 m	DES22	443998	4257077	96 m
DES12	443801	4258197	96 m	DES23	443998	4256950	96 m
DES13	443812	4258093	96 m	DES24	443781	4257926	96 m
DES14	443823	4257996	96 m	DES25	443892	4257933	96 m
DES15	443846	4257855	96 m	DES26	444064	4257797	96 m
DES16	443858	4257748	96 m	DES29	443835	4257684	96 m
DES17	443922	4257582	96 m	DES30	443990	4257597	96 m
DES18	443930	4257482	96 m	DES31	444069	4257607	96 m
DES19	443941	4257358	96 m	DES32	444200	4257673	96 m
DES20	443955	4257280	96 m	DES33	443941	4257004	96 m
DES21	443979	4257161	96 m	DES34	444052	4257030	96 m

## 3.2. Laboratuvar Çalışmaları

### 3.2.1. Deneysel numunelerin hazırlanması

Araştırma çukurlarından veya araştırma sondajlarından alınan örselenmiş (DS) ve örselenmemiş (UDS) zemin numuneleri “AÇ” veya “SK” koduyla kaydedilmiş ve Araştırma Çukur / Araştırma sondaj kuyu numarası ve alındığı derinlik bu simgenin sonuna ilave edilmiştir. Çizelge 3.6’da araştırma çukurlarından ve araştırma sondajlarından alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler verilmiştir.

Çizelge 3.6 Araştırma çukurlarından ve sondajlardan alınan numune derinlikleri ve türleri

Araştırma çukuru	Numune Derinliği	Numune türü	Sondaj No	Numune derinlikleri	Numune Türü	Sondaj No	Numune derinlikleri	Numune Türü
AÇ1	3 m, 5 m	DS UDS	SK1	1.5 m	DS	SK9	1.5 m	DS
AÇ2	3 m, 5 m	DS UDS	SK2	4.5 m		SK10	4.5 m	
AÇ3	3 m, 5 m	DS UDS	SK3	7.5 m		SK11	7.5 m	
AÇ4	3 m	DS UDS	SK4	10.5 m		SK12	10.5 m	
AÇ5	3 m	DS UDS	SK5	13.5 m		SK13	13.5 m	
AÇ6	3 m	DS UDS	SK6	16.5 m		SK14	16.5 m	
AÇ7	3 m, 5 m	DS UDS	SK7	19.5 m		SK15	19.5 m	
AÇ8	3 m, 5 m	DS UDS	SK8					

Araştırma çukurlarından alınan örselenmiş numuneler torba numuneler olarak muhafaza edilmiştir. Örselenmemiş numuneler ise; araştırma çukurlarından 3 ve 5 m derinliklerden çapı 15 cm ve boyu 45 cm olan demir borular yardımıyla alınmıştır. Numuneler zaman kaybetmeden arazide alt ve üst kısımları parafinlenerek etiketlenmiş ve muhafaza altına alınmıştır. Örselenmiş numuneler üzerinde zeminin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla; su içeriği, elek analizi, hidrometre deneyi, kıvam limitleri, ve özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Örselenmemiş numune almada kullanılan demir borular, laboratuvarında hidrolik numune çıkarma aletine yerleştirilmiş ve buradan konsolidasyon deneyinde kullanmak için konsolidasyon numune ringine, kesme kutusu deneyinde kullanmak için kesme kutusu kare numune aparatına örselenmemiş numuneler alınmıştır. Şekil 3.13’de örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri yer almaktadır.



Şekil 3.13 Örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri

### 3.2.2. Laboratuvar deneyleri

#### 3.2.2.1. Tane boyu dağılım analizi

##### a) Elek analizi

İri taneli zeminlerin tane boyutu dağılımını belirlemek için TS 1900-1’de iki yöntem tanımlanmıştır. Yıkamalı eleme metodu ve kuru eleme metodu olarak belirtilen yöntemlerden çalışmalarda kuru eleme yöntemi kullanılmıştır [67].

Elek analizinde kullanılan elekler ve göz açıklıkları Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Elek analizi deneyinde kullanılan elekler ve elek göz açıklıkları

Elek No	Elek göz açıklığı	Elek No	Elek göz açıklığı
3 inch	75,00 mm	No.10	2,00 mm
2 inch	50,00 mm	No.16	1.18 mm
1 ½ inch	37.50 mm	No.30	60 µm
1 inch	25,00 mm	No.40	425 µm
¾ inch	19,00 mm	No.60	250 µm
3/8 inch	9.50 mm	No.100	150 µm
No.4	4.75 mm	No.200	75 µm

Deneyde kullanılacak elekler seçilirken, numunenin en küçük ve en büyük tane boyutunu içermesine dikkat edilmiştir. Şekil 3.14’de elek analiz deneyinde kullanılan karıştırıcı ve elek seti yer almaktadır.



Şekil 3.14 Elek analizi deney düzeneği

Elek analizi sonunda oluşturulan tane boyu dağılım eğrileri kullanılarak üniformluk katsayısı ( $C_u$ ) ve süreklilik katsayısı ( $C_r$ ) değerleri Eşitlik 2.1 ve Eşitlik 2.2'ye göre hesaplanmıştır [68].

Araştırma çukurlarından alınan örselenmiş numuneler üzerinde elek analizi yapılarak tane boyu dağılım eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğriler kullanılarak tane karışımları için oluşturulan üçgen diyagramlar yardımıyla sediman taneler için isimlendirmeler yapılmıştır [20].

Yine elek analiz verileri kullanılarak sedimanların boylanma ( $\sigma_1$ ), çarpıklık ( $Sk_1$ ) ve tepelenme ( $K_G$ ) değerleri hesaplanmıştır. Elek analiz sonucu elde edilen  $\phi 5$ ,  $\phi 16$ ,  $\phi 25$ ,  $\phi 50$ ,  $\phi 75$  ve  $\phi 95$  tane boyu değerleri Eşitlik 2.3 kullanılarak phi birimine çevrilmiştir [69].

Sedimantolojik çalışmalarda kullanılmak üzere; araştırma çukurlarından alınan torba numuneler üzerinde tane biçimi ve dokusal olgunluk özelliklerini belirlemek amacıyla elektronik kumpas yardımıyla ölçümler alınmıştır. Elek analizi sonucu elde edilen 4 nolu elek üzeri çakıl boyu malzemeler üzerinde boy ( $h$ ), çap ( $r$ ) ve kalınlık ( $d$ ) ölçümleri alınmıştır.

## b) Hidrometre deneyi

Araştırma çukurlarından alınan örselenmiş numuneler üzerinde “American Society of Testing Materials (ASTM) D 422-63 (2003) standardına göre hidrometre deneyi yapılmıştır [70].

Deney için killi zeminlerden 50 gr, kumlu zeminlerden ise 100 gr etüvde kurutulmuş numune kullanılmıştır. 1000 ml saf suda 40 gr sodyum hegzametazofosfat ilave edilerek hazırlanmış çözeltiden, örneğin üzerini örtecek miktarda eklenmiş ve cam çubuk ile karıştırılmıştır. Zemin numunesi bu şekilde 24 saat bekletilmiştir.

24 saat sonunda örnek saf su kullanılarak mikserle boşaltılmış ve örnek üzerinde önceden yapılan kıvam limitleri deneyi dikkate alınarak Çizelge 3.8’de belirtilen süre kadar karıştırılmıştır.

Çizelge 3.8 Hidrometre deneyi elektrik mikseri ile karıştırma süreleri [70]

Plastisite İndeksi ( $I_p$ )	Karıştırma Süresi (dk)
$I_p < 5$	5
$5 \leq I_p \leq 20$	10
$I_p > 20$	15

Karıştırma işlemi bittiğinde, karışım saf su kullanılarak mezura boşaltılmış ve mezürün 1000 ml çizgisine kadar saf su eklenmiştir. Okumalara başlamadan önce mezürün açık ağzı kapatılarak mezür birkaç kez baş aşağı getirilmiş böylece karışımın homojen olması sağlanmıştır. Mezür düz bir yüzeye konulmuş ve hidrometre deney aleti içerisine bırakılmıştır. Bu andan itibaren; 15, 30, 60, 120 saniyelerde hidrometre okumaları alınarak kaydedilmiştir. Sonrasında hidrometre çıkartılmış ve mezürün açık ağzı tekrar kapatılarak 1dk süre ile tekrar çalkalanmıştır. Mezür düz bir yüzeye konmuş ve aynı sürelerde hidrometre okumaları alınarak kaydedilmiştir. Bu işlem birbirine yakın iki hidrometre değeri elde edilinceye kadar yapılmıştır. İlk 120 saniyedeki okumalar alınırken

hidrometre karışımdan çıkartılmamıştır. Şekil 3.15’de hidrometre deney düzeneği yer almaktadır.



Şekil 3.15 Hidrometre deney düzeneği

Bu aşamadan sonra; termometre kullanılarak karışımın sıcaklığı ölçülmüş, 5, 10, 20, 30 dk’larda ve bunu takip eden 1, 2, 4, 8 ve 24 saatlerde hidrometre okumaları alınmış ve sıcaklık değerleri kaydedilmiştir.

Deneyde kullanılan hidrometreler 20 °C’de kalibre edilmiştir. Deney sırasında kaydedilen hidrometre okumaları üzerinde düzeltme yapmak gerekmektedir. Bunun için her hidrometre okuması sırasında mezür içerisindeki karışımın ölçülen sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Böylece belirli zaman aralıklarında süspansiyon yoğunluk değişimleri ölçülüp, Stokes Yasası

kullanılarak belirli tane boylarında süspansiyonda kalan yüzde miktarları ve bu yüzde miktarlarına karşılık gelen tane çapları hesaplanmıştır [71].

Deney sırasında okumalar, menüsküs nedeniyle hidrometre üzerinde yükselen su seviyesinde yapılmalıdır. Bu şekilde yapılan okuma ilksel okumadır ve  $R_h'$  olarak kaydedilir.  $R_h'$  okumasına, su seviyesi ile menüsküs tepe okuması arasındaki fark ( $C_m$ ) ilave edilerek gerçek hidrometre okuması ( $R_h$ ) elde edilir [71].

Hidrometre okumaları tamamlandığında; süspansiyonda kalan yüzde miktarı ( $P$ ) ve tane çapı ( $D$ ) Eşitlik 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$P = \left( \frac{G_s}{G_s - 1} \right) * \left( \frac{100}{W_o} \right) * (R_h + M_t - C_d) \quad (3.1)$$

$P$  : Süspansiyonda kalan yüzde miktarı

$G_s$  : Deneyde kullanılan zeminin özgül ağırlığı

$W_o$  : Deneyde kullanılan etüvde kurutulmuş örnek miktarı (gr)

$R_h$  : Düzeltilmiş hidrometre okuması ( $R_h' + C_m$ )

$R_h'$  : Deney sırası hidrometre okuması

$C_m$  : Hidrometre su seviyesi ve menüsküs tepe okuması arasındaki fark

$M_t$  : Süspansiyon sıcaklık düzeltmesi (EK-11)

$C_d$  : Dağıtıcı madde için düzeltme ; %4'lük  $(NaPO_3)_6$  için  $C_d$  değeri 4 olarak alınmıştır [71].

Bu şekilde hesaplanan yüzde miktarının tüm deney numunesini temsil etmesi için; 200 nolu elekten geçen numune yüzdesine göre hesaplanması gerekir ( $P'$ ).

Süspansiyonda kalan yüzde miktarına karşılık gelen tane boyunun hesaplanmasında Eşitlik 3.2 kullanılmıştır [71].

$$D = K \cdot \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (3.2)$$

D : Süspansiyonda kalan yüzde miktarına karşılık tane boyu

K : Zemin numunesinin özgül ağırlığına bağlı olarak belirlenen katsayı (EK-13)

L : Etkin derinlik (Ek-11)

t : Okumanın yapıldığı zaman (dk)

### 3.2.2.2. Kıvam limitleri deneyi

İnce taneli zeminlerin kıvam limitlerini belirlemek amacıyla yapılan deney, kıvam limitleri deneyidir. Sondaj ve araştırma çukurlarından alınan örselenmiş numuneler üzerinde; TS 1900-1'e göre; likit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır [67].

#### a) Likit limit deneyi

Likit Limit deneyi; kurutulmuş ve 425 µm (40 nolu elek) göz açıklıklı elek altı malzeme kullanılarak yapılmıştır. Yaklaşık 200 gr zemin numunesi porselen bir potada saf su ile karıştırılmıştır. Palet bıçağı kullanılarak hamur kıvamına getirilen karışım, saf suyun numunenin her tarafına ilerlemesini sağlamak amacıyla desikatöre alınmış ve bu haliyle 24 saat bekletilmiştir.

Bekleme süresi sonunda deneye başlamadan önce numune tekrar en az 10 dk süre ile karıştırılmıştır. Bu karışımdan bir miktar alınarak ve TS 1900-1'de özellikleri tanımlanan likit limit cihazına yerleştirilmiştir. Bu işlem sırasında zemin numunesinin üst yüzeyinin tabana paralel olmasına dikkat edilmiştir. Palet bıçağı kullanılarak, menteşenin ortasından geçen ve çap boyunca devam eden bir oluk açılmış ve numune bu şekilde ikiye bölünmüştür. Likit limit aletinin yan tarafında yer alan Krank kolu kullanılarak, saniyede iki devirlik bir hızla likit limit kalıbı kaldırılıp düşürülmüş ve oluğun her iki tarafında yer alan zemin numunesi, 13 mm boyunca birleşene kadar bu işleme devam edilmiştir. Birleşme

sağlandığındaki en son darbe sayısı, darbe sayısı olarak kaydedilmiştir. Bu sırada oluk tabanındaki kapanmanın, zeminin akma şeklindeki hareketi ile olmasına dikkat edilmiştir ( Şekil 3.16).



Şekil 3.16 Likit limit deney aleti

Kapanma gerçekleştiğinde palet bıçağı kullanılarak, kapanan kısım ve yakın civarından en az 10 gr numune alınarak tartılmış ve bu kıvamdaki su içeriğini belirlemek amacıyla  $105\pm 5$  °C'deki fırında 24 saat süre ile kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan kuru numune oda sıcaklığında bekletilerek soğutulmuş ve tekrar tartılmıştır. Su içeriği deneyinde belirtildiği şekli ile hesaplanan su içeriği değeri (Eşitlik 2.13), likit limit (LL) değeri olarak kaydedilmiştir.

Porselen potadaki aynı zemin numunesi; su içeriği her deneyde arttırılarak, en az üç defa daha deneye tabi tutulmuştur. Her seferinde elde edilen darbe sayıları ve su içeriği değerleri yukarıda anlatıldığı şekli ile hesaplanarak kaydedilmiştir. Bu sırada darbe sayılarının 10-50 arasında ve yaklaşık eşit şekilde dağılmasına dikkat edilmiştir. Aynı zamanda her deney öncesinde likit limit cihazının kabı ve oluk açma bıçağı yıkanıp kurulanmıştır.

Likit limit deney sonuçları; yatayda logaritmik eksenle darbe sayıları, düşeyde su içeriği değerlerinin yer aldığı bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Grafikte yer alan noktalardan en az üç noktaya en çok yaklaşan doğru çizilmiş ve bu doğru üzerinde 25 darbeye denk gelen su içeriği deneyde kullanılan zemin numunesinin likit limit değeri (LL) olarak kaydedilmiştir.

**b) Plastik limit deneyi:**

TS 1900-1'e göre deney; 425 µm göz açıklıklı elek altı malzemeden yaklaşık 20 gr kullanılarak yapılmıştır. Cam plaka üzerine alınan numune saf su ile yoğrulmuş ve bu şekilde yoğrulan numuneden yaklaşık ceviz büyüklüğünde iki top hazırlanmıştır.

Hazırlanan top numunelere, cam plaka üzerinde el ile uzun silindir şekli verilmiştir. Silindir çapı 3mm olduğunda, üzerinde çatlama meydana gelene kadar bu işleme devam edilmiştir. Deney sırasında karşılaştırma yapabilmek amacıyla 3 mm çapında metal silindir çubuk kullanılmıştır ( Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Plastik limit deneyi

Silindir şeklindeki numune üzerinde çatlama meydana geldiğinde, bu numuneden en az 10 gr tartılarak kaydedilmiştir. Tartılan numune üzerinde su

içeriği deneyi yapılmış ve elde edilen değer plastik limit su içeriği (PL) değeri olarak kaydedilmiştir.

Tüm bu işlemlerin tamamı deney öncesinde hazırlanan diğer top numune üzerinde de yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarının ortalaması plastik limit değeri (PL) olarak kaydedilmiştir.

Likit limit ve plastik limit deney sonuçları kullanılarak plastisite kartları hazırlanmıştır. Zemin numunelerinin plastisite kartları EK-12’de verilmiştir.

### 3.2.2.3. Birim hacim ağırlık deneyi

Birim hacim ağırlık değerleri dönüşüm formülleri ile hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan formüller Eşitlik 3.3 ve Eşitlik 3.4 ‘de verilmiştir [6, 15].

$$\gamma_d = \frac{G_s}{1+G_s \cdot w} \cdot \gamma_w \quad (3.3)$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_n}{1+w} \quad (3.4)$$

$\gamma_d$  : Kuru birim hacim ağırlık değeri (gr/cm<sup>3</sup>)

$G_s$  : Özgül ağırlık değeri

$\gamma_w$  : Suyun birim hacim ağırlık değeri (gr/cm<sup>3</sup>)

$w$  : Su içeriği değeri (%)

#### 3.2.2.4. Özgül ağırlık deneyi

Özgül ağırlık deneyi American Society of Testing Materials ASTM D 854 (2010) standardına göre yapılmıştır [72]. Deney iki farklı yöntem kullanılarak yapılabilir. Birinci yöntemde (Metot A) zemin numunesi fırında kurutulmaz. Özellikle organik, yüksek plastik ve ince taneli zeminlerde tercih edilen bir uygulamadır. İkinci yöntemde ise (Metot B) zemin numunesi etüvde 24 saat süre ile kurutularak kullanılır. Bu yöntem her türlü zeminde uygulanabilir. Özgül ağırlık deneyleri zemin numunesi kurutularak yapılmıştır.

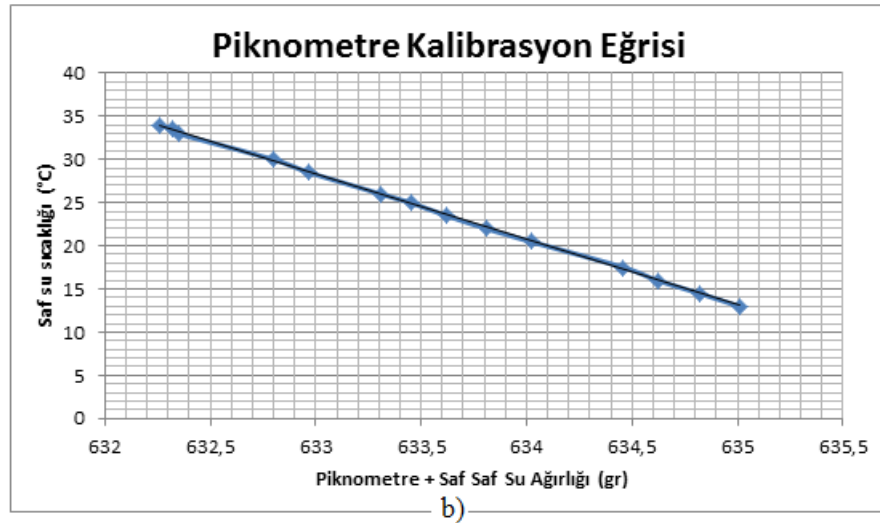
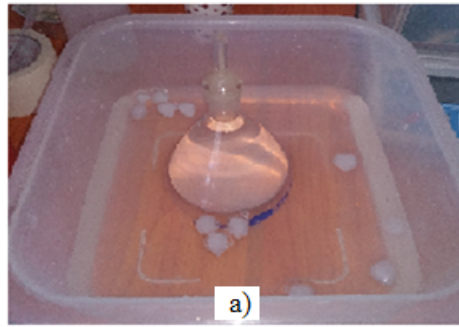
Deneye başlamadan piknometrenin kalibrasyonu yapılmıştır. Bunun için; piknometre yıkanarak kurutulmuş ve üzerindeki işaretli çizgiye kadar havası alınmış saf su ile doldurulmuştur.

Piknometrenin dış yüzeyi ve su yüzeyi üzerindeki iç kısmı kağıt havlu ile dikkatlice kurulanmıştır. Piknometre ve su ağırlığı 0,01 gr hassasiyetle tartılarak kaydedilmiştir. Piknometre, içerisindeki suyun uniform ısıda olmasını sağlamak için birkaç kez baş aşağı çalkalanmış, su sıcaklığı ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

Piknometre, içinde soğuk su bulunan su kabında bir süre bekletilmiş ve su sıcaklığının oda sıcaklığının yaklaşık 4-5 °C altına düşmesi sağlanmıştır. Piknometre tekrar kurulanmış ve 0,01 gr hassasiyetle tartılarak bu sıcaklıktaki piknometre ve saf su ağırlığı kaydedilmiştir. Bu sırada piknometre içerisindeki saf suyun sıcaklığı düştüğünden hacmi azalabilir. Ağırlık ölçümü yapılmadan önce piknometre üzerindeki işaretli çizgiye kadar saf su doldurulmalıdır. Kalibrasyon eğrisinin çizilmesi için ihtiyaç duyulan üçüncü nokta, piknometre içerisinde yer alan suyun ısıtılması ile elde edilir. Bu işlem için; oda sıcaklığının yaklaşık 5 °C üzerine çıkıncaya kadar içinde saf su bulunan piknometre sıcak su kabında bekletilmiştir. Bu sırada ısınan suyun hacmi artacağından piknometre içerisinden bir miktar suyun alınması gerekebilir. Piknometre üzerindeki işaretli çizgiye menisküsün alt sınırı denk getirildiğinde, piknometre sıcak sudan çıkarılmış, kurularak tartılmış ve ağırlığı kaydedilmiştir.

Kalibrasyon eğrisinin doğru olarak oluşturulması için dördüncü bir ölçüm daha yapmak gerekir. Bu ölçümde de yine oda sıcaklığı referans alınarak yaklaşık 10 °C altı veya üstü elde edildiğinde tüm yukarıdaki işlemler yinelenir.

Ölçümler tamamlandığında, koordinat sistemi üzerinde sıcaklık değerleri apsiste, piknometre ve saf su ağırlıkları ordinatta olacak şekilde eğri oluşturulmuştur. Şekil 3.18'de piknometrenin kalibrasyon işlemi ve kalibrasyon eğrisi yer almaktadır.



Şekil 3.18 Piknometrenin kalibrasyon işlemi (a) ve kalibrasyon eğrisi (b)

Özgül ağırlık deneyi için; zemin numuneleri 24 saat süre ile etüvde  $110 \pm 5$  °C'de kurutulmuş, plastik tokmakla hafifçe dağıtılmış ve 4 no'lu elekten elenmiştir. Elenen malzemedan, piknometre türü ve zemin numunesinin cinsine bağlı olarak Çizelge 3.9'de belirtilen miktarlarda kullanılmıştır.

Çizelge 3.9. Özgül ağırlık deneyinde kullanılacak zemin miktarı [72]

Zemin Türü	250 ml piknometre için gereken kuru zemin miktarı (gr)	500 ml piknometre için gereken kuru zemin miktarı (gr)
SP, SP-SM	60 ±10	100 ±10
SP-SC, SM, SC	45 ±10	75 ±10
Silt veya kil	35 ±10	50 ±10

Belirlenen miktardaki kuru numune deney için seçilen 500 ml'lik piknometreye huni yardımıyla boşaltılarak piknometrenin yarısını dolduracak kadar saf su ilave edilmiştir. Bu sırada huni içerisinde veya piknometrenin iç yüzeyine yapışan zemin numunesinin de piknometre içinde yıkanması sağlanmıştır.

Karışım içerisindeki havanın çıkarılması için ısıtma işlemi veya vakum kullanılır. Deney sırasında vakum kullanılarak karışım içindeki havanın çıkışı sağlanmıştır.

Hava çıkışı tamamen duruncaya kadar vakum uygulanmış ve hava çıkışı durduğunda, piknometre içerisindeki karışımın fazla çalkalanmamasına dikkat edilerek, üzerinde yer alan işaretli çizgiye kadar saf su ilave edilmiştir. Piknometre kağıt havlu ile kurulanmış ve bu haliyle tartılarak piknometre, su ve numune ağırlığı ( $w_{psw}$ ) olarak kaydedilmiştir. Şekil 3.19'da özgül ağırlık deneyinde kullanılan vakum pompası ve piknometre yer almaktadır.



Şekil 3.19 Özgül ağırlık deney düzeneği

Numunelerin özgül ağırlık değerleri aşağıdaki Eşitlik 3.5 kullanılarak hesaplanmıştır [72]:

$$G_{S(Tx)} = \frac{W_d * G_{w(Tx)}}{W_d + W_{pw(Tx)} - W_{psw(Tx)}} \quad (3.5)$$

$G_{S(Tx)}$  : Zemine ait özgül ağırlık

$W_d$  : Kuru numune ağırlığı (gr)

$G_{w(Tx)}$  : Suyun Tx sıcaklığındaki özgül ağırlığı (EK-13)

$W_{pw(Tx)}$  : Tx sıcaklığında piknometre ve su ağırlığı (kalibrasyon eğrisinden)

$W_{psw(Tx)}$  : Tx sıcaklığında piknometre, su ve numune ağırlığı (gr)

### 3.2.2.5. Kesme kutusu deneyi

Kesme kutusu deneyi TS 1900-2’de belirtildiği şekli ile yapılmıştır [73]. Deneyler, İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Laboratuvarı’nda yapılmıştır. Kesme kutusu deney aleti 5kN kapasiteli “Yüksel Kaya Makina” makaslama deney cihazıdır.

Kesme kutusu deneyi; araştırma çukurlarından demir borularla alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılmıştır. Hidrolik numune çıkarma aleti kullanılarak 60x60x20 mm boyutundaki kalıplar yardımıyla örselemeden alınan zemin numunesinin alt ve üst yüzeyleri tıraşlanmış ve bu haliyle tartılmıştır.

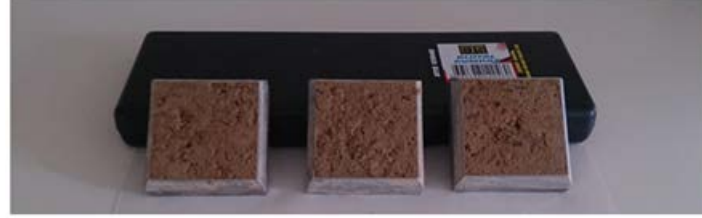
Hazırlanan numune, kare kesitli makaslama kalıbının içerisine yükleme başlığı yardımıyla, altında ve üstünde poroz taşlar olacak şekilde yerleştirilmiştir. En üst kısma yükleme başlığı yerleştirilerek düzenek hazırlanmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 Kesme kutusu deney aleti

Deneye belirlenen ağırlıkta (2 kg) düşey yük kullanılarak başlanmıştır. Düşey yük sabit tutularak uygulanan yatay kesme kuvveti ile 1 mm/dk hızla

numune kesmeye tabi tutulmuştur. Gittikçe artan kesme kuvveti sonucu zemin numunesi iki parçayı ayıran düzlem boyunca kesilmiştir (Şekil 3.21).



Deney Öncesi



Deney Sonrası

Şekil 3.21 Kesme kutusu deney numunesi

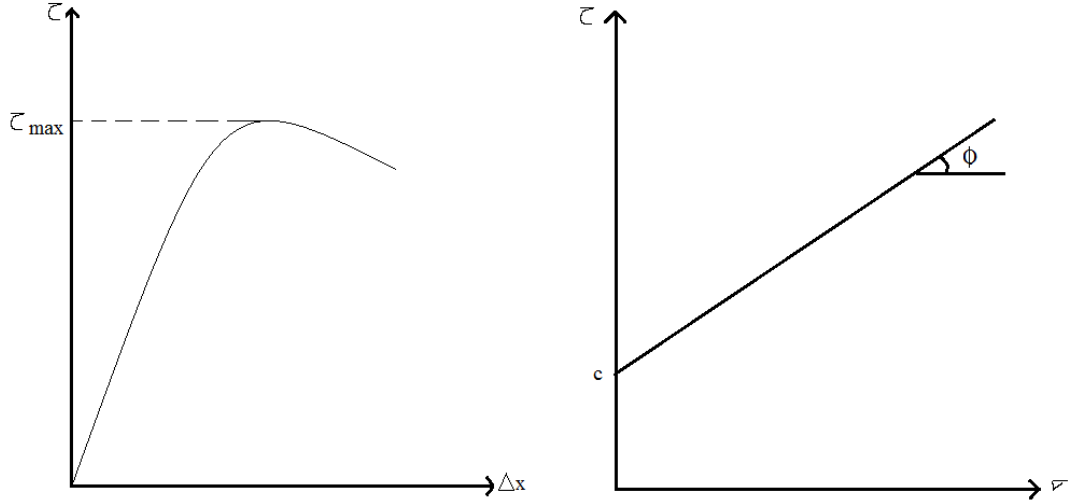
Deney süresince hem yük hem de düşey deformasyon saati okumaları 10, 15, 20, 25 s gibi sürelerde okunarak kaydedilmiştir.

Yatay kuvvet uygulandığı halde yatay kesme kuvveti artmamış veya belirli bir değerden sonra azalmaya başladıysa, bu durumda deney kısa bir süre daha devam ettirilip sonlandırılmıştır.

Yenilme gerçekleştiği anda normal ve kayma gerilmeleri Eşitlik 3.6 ve Eşitlik 3.7 kullanılarak hesaplanmıştır. Sonrasında düşey yük iki kat arttırılarak deney en az üç kez tekrarlanmıştır. Deney sonuçları kullanılarak Şekil 3.22'deki gibi kayma gerilmesi ( $\tau$ ) – yatay yer değiştirme ( $\Delta x$ ) eğrileri çizilir. Oluşturulan eğrinin maksimum noktası kayma gerilmesini verir. Yine deneyde uygulanan farklı normal gerilmelere ( $\sigma$ ) karşılık kayma gerilmesi ( $\tau$ ) değerlerinin koordinat ekseninde işaretlenmesiyle yenilme zarfı oluşturulmuştur. Oluşturulan grafik kullanılarak; doğrunun y eksenini kestiği noktadan kohezyon (c) değeri ve doğrunun eğiminden de içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) değerleri elde edilmiştir.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (3.6)$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (3.7)$$



Şekil 3.22 Kesme kutusu deney sonuçları kullanılarak oluşturulan eğriler

### 3.2.2.6. Konsolidasyon deneyi

Konsolidasyon deneyi; ASTM D- 2435’de belirtildiği şekli Hekimhan Meslek Yüksekokulu Geoteknik Laboratuvarı’nda araştırma çukurlarından alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılmıştır [74]. Konsolidasyon deneyi “Yüksel Kaya Makina” marka deney aleti ile gerçekleştirilmiştir.

Konsolidasyon deneyi; araştırma çukurlarından demir borularla alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılmıştır. Çapı 6 cm ve yüksekliği 2,5 cm olan bir ucu keskin dairesel ring deney öncesinde tartılarak ağırlığı kaydedilmiştir. İç kısmı gres yağı ile yağlanmış ve dikkatli bir şekilde hidrolik numune çıkarıcıdan çıkan numune üzerinde bastırılarak numunenin ring içine girmesi sağlanmıştır. Dairesel ringin alt ve üst yüzeyleri tel testere yardımıyla düzeltilerek tekrar tartılmış ve ağırlığı kaydedilmiştir. Halka içerisindeki numune, alt ve üstüne birer süzgeç kağıdı konularak gözenekli diskin (poroz taş) ortasına yerleştirilip, üst gözenekli disk ve yükleme plakası numune ortasına

yerleştirilmiştir. Konsolidasyon hücresi, yükleme cihazındaki yerine oturtularak dengelenmiş yükleme kolu, yatay konuma getirilip yükü numuneye aktaran parçası yükleme plakasına degecek şekilde ayarlanmış ve hücre saf suyla doldurulmuştur. Yükleme kolu büyütme oranı 1:10 olacak şekilde ayarlanmıştır ve su terazisi kullanılarak yatay konuma getirilerek konsolidasyon hücresinin üst kısmına teması sağlanmıştır. Deneyin tüm aşamalarında konsolidasyon hücresinin saf su ile dolu olması gerekmektedir. Bu nedenle deney sırasında saf suda bir eksilme olduğunda tamamlanmıştır. Şekil 3.23’de konsolidasyon hücresi ve numunesi yer almaktadır.



Şekil 3.23 Konsolidasyon hücresi ve numunesi

Aynı zamanda belirlenen sürelerde kronometre kullanılarak yük okumaları yapılmıştır. Deneye başlamadan önce hidrolik numune çıkarıcıdan alınan bir miktar numune kullanılarak zemin numunesinin su içeriği belirlenmiştir.

Deney sırasında kullanılan yükler 12.5, 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 kPa sırasıyla uygulanmıştır. Zaman aralıkları ise; 0, 0.25, 1, 2.25, 4, 6.25, 9, 12.25, 20.25, 25, 36, 60, 120, 240, 480 ve 1440 dakika olarak seçilmiştir. 24 saat süre sonunda basınç göstergesi okunmuş, kronometre değeri ile birlikte kaydedilmiştir.

24 saatin sonunda bir üst yükleme değeri ile işlem tekrarlanmıştır. Tüm yükleme kademeleri tamamlandıktan sonra, numunenin boşalma eğrisini oluşturmak için yükler kademelerine uygun olarak boşaltılmıştır. Okuma zamanları olarak, yükleme sırasındaki zaman aralıkları kullanılmıştır. Deney sonunda numunenin su içeriği tekrar belirlenmiştir. Şekil 3.24’de konsolidasyon deneyi verilmiştir.



Şekil 3.24 Konsolidasyon deneyi

Deney süresince elde edilen veriler yardımıyla bir takım hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar aşağıda sırasıyla verilmektedir.

Deney başlangıcında konsolidasyon ringinin çapı ve yüksekliği elektronik kumpas yardımıyla en az dört farklı noktadan ölçülmüş ve ortalama değerleri alınarak kaydedilmiştir. Bu veriler yardımıyla ringin alanı ve hacmi hesaplanmıştır. Deney sonunda ring ve yaş numune tartılmıştır. Bu hali ile etüvde

105-110 ±5°C’de 24 saat süre bekletilmiş ve desikatörde soğumaya bırakılmıştır. Oda sıcaklığına geldiğinde ring ve kuru numune tartılarak kaydedilmiştir. Deney başında belirlenen ring ağırlığı, etüv öncesi ve etüv sonrası tartım sonuçlarından çıkartılarak yaş numune ağırlığı ( $W_n$ ) ve kuru numune ağırlığı ( $W_d$ ) belirlenmiştir.

Deneye başlamadan önce numune yüksekliği ring yüksekliğindedir ( $h_o$ ). Numunenin deney sonu yüksekliği ( $h_k$ ) Eşitlik 3.8 ile hesaplanır.

$$h_k = \frac{W_d}{G_s \cdot A} \quad (3.8)$$

$h_k$  : Kuru numune yüksekliği

$G_s$  : Numune özgül ağırlığı

$W_d$  : Kuru numune ağırlığı

$A$  : Numune alanı

Elde edilen  $h_k$  değeri kullanılarak başlangıç boşluk oranı ( $e_o$ ) Eşitlik 3.9 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$e_o = \frac{h_o - h_k}{h_k} \quad (3.9)$$

$e_o$  : Başlangıç boşluk oranı

$h_o$  : Ring yüksekliği

$h_k$  : Kuru numune yüksekliği

Kuru numune yüksekliği ve başlangıç boşluk oranları değerleri sonrası hesaplanan değerler, her yükleme ve boşaltma kademesinden sonra hesaplanan değerlerdir. Sırasıyla bu değerler aşağıda Eşitlik 3.10, Eşitlik 3.11, Eşitlik 3.12, Eşitlik 3.13 ve Eşitlik 3.14’de verilmiştir.

Numune yüksekliği (h):

$$h = h_0 - \delta_e \quad (3.10)$$

h : Numune yüksekliği

$h_0$  : Ring yüksekliği

$\delta_e$  : Oturma miktarı

Boşluk yüksekliği ( $h_b$ ) ve boşluk oranı (e):

$$h_b = h - h_k \quad (3.11)$$

$$e = \frac{h_b}{h_k} \quad (3.12)$$

$h_b$  : Boşluk yüksekliği

h : Numune yüksekliği

$h_k$  : Kuru numune yüksekliği

Sıkışabilirlik katsayısı ( $a_v$ ):

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma} \quad (3.13)$$

$a_v$  : Sıkışabilirlik katsayısı

$\Delta e$  : Her kademe için boşluk oranı değişimi

$\Delta \sigma$  : Her kademe için basınç değişimi

Hacimsel sıkışabilirlik katsayısı ( $m_v$ ):

$$m_v = \frac{a_v}{(1+e_o)} \quad (3.14)$$

$m_v$  : Hacimsel sıkışma katsayısı

$a_v$  : Sıkışabilirlik katsayısı

$e_o$  : Başlangıç boşluk oranı

Zeminlerin durağan yükler altında sıkışma hızını kontrol eden konsolidasyon katsayısı ( $C_v$ ), her yük kademesi için Eşitlik 3.15'e göre hesaplanmıştır [75].

$$C_v = \frac{0,848 \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2}{t_{90}} \quad (3.15)$$

$C_v$  : Konsolidasyon katsayısı

$H$  : Kil tabaka kalınlığı

$t_{90}$  : %90 konsolidasyon için geçen zaman

#### **3.2.4. XRD analizi**

Çalışılan numunelerin XRD analizleri Rigaku RadB-DMax II X Işını Difraktometresi ile İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi XRD Laboratuvarında yaptırılmıştır.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Çalışma Alanının Jeolojik Konumu

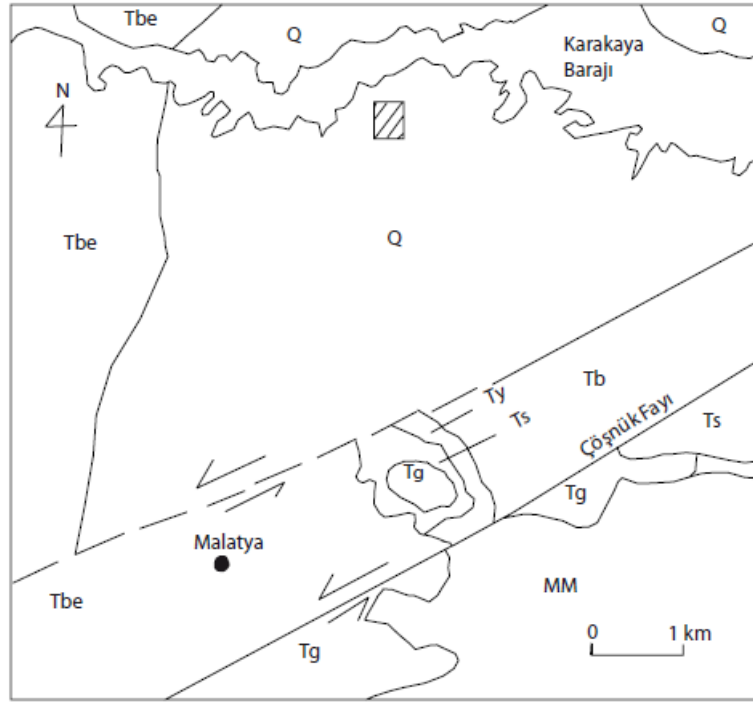
Çalışma alanı; Malatya ili kuzeyindeki Battalgazi İlçesi kuzeyinde yer alan Malatya Baseninin Kuvaterner yaşlı aluviyal-flüviyal çökellerini kapsamaktadır. Şekil 4.1’de çalışma alanının yer bulduru haritası verilmiştir.



Şekil 4.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası [76]

#### 4.1.1. Stratigrafi

Çalışma alanı ve yakın dolayının basitleştirilmiş jeoloji haritası Şekil 4.2'de ve genelleştirilmiş kolon kesiti Şekil 4.3'de verilmiştir.



#### AÇIKLAMALAR

Kuvaterner	Q		↔ Doğru atımlı fay
Pliyosen	Tbe	Beylerderesi Fm	~ Dokanak
Ü. Miyosen	Tb	Ballıçay Fm	▨ Çalışma Alanı
Oligosen	Tg	Gedik Fm	
Orta- Üst Eosen	Ts	Suludere Fm	
	Ty	Yıldıztepe Fm	
Permo- Triyas	MM	Malatya Masifi	

Şekil 4.2 Çalışma alanının basitleştirilmiş jeoloji haritası [77, 78, 79, 80]

Yaş		Formasyon	Litoloji	AÇIKLAMALAR	Oluşum Ortamı
Kuvaterner		Kalınlık			
			50-70 m	Çamur ara tabakalı çimentolanmamış çakıl, kum, silt ve kil	Alüvyal Flüvyal
TERSİYER	Ü. Miyosen Pliyosen	Beylerdere	50-150 m	Uyumsuzluk Çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı ardalanması	Alüvyal Yelpaze Flüvyal
	Oligosen	Balıçay	200-600 m	Uyumsuzluk Kireçtaşı ara tabakalı çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı	Denizel
	Orta- Üst Eosen	Suludere	1000 m	Yersel Uyumsuzluk	Denizel
		Yıldıztepe		Filiş benzeri istif	Alüvyal Flüvyal
Permo- Triyas			Metamorfikler	Şist, dolomit ve mermer	

Şekil 4.3 Çalışma alanının genelleştirilmiş kolon kesiti [78, 81]

#### 4.1.1.1. Temel kaya birimleri (Allohtonlar)

##### Malatya Masifi (Keban Metamorfikleri) (Permo-Triyas) (MM)

Sungurlu (1972) Gölbaşı-Gerger arasında yaptığı çalışmasında metamorfik kayaları Kilkayak Formasyonu olarak adlanmış, Perinçek (1979) Çelikhana-Koçali-Sincik yöresinde yaptığı çalışmada Malatya Metamorfikleri adını kullanarak bu birimi alt ve üst metamorfikler şeklinde iki bölüme ayırarak incelemiştir. Daha sonra Yiğitbaş ve Yılmaz (1996) Malatya Masifi adını kullanmışlardır [82, 83, 84].

Birim koyu gri renkli kireçtaşları, kalkışist, mermer, kristalize kireçtaşı, fillit ve sık rastlanan pelitik şistlerle temsil edilir. Malatya metamorfiklerinin tümü sintektonik olarak Baskil Magmatiklerinin granitleri tarafından kesilmiştir.

Gözübol ve Önal (1986)'nın adlaması dikkate alınarak metapelitik kayalar Pınarbaşı Formasyonu, metakarbonatlar ise Kalecik Formasyonu adı altında tanıtılmıştır. Bu birimlerin üzerinde uyumsuzlukla Üst Kretase-Tersiyer yaşlı örtü birimleri yer alır [85]. Saptanan fosillere göre birimin yaşı Permo- Triyasdır.

#### **4.1.1.2. Malatya havzası (Otoktonlar)**

##### **Yıldıztepe Formasyonu (Ty)**

Bej-gri-mavimsi, gri-koyu gri renklerde, kalın-çok kalın tabakalı, som, nummulitli kireçtaşı ve karbonatlı çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ile karbonatlı çamurtaşı aratabakalarından oluşan bir istif için Yıldıztepe adı, ilk olarak, Gözübol ve Önal (1986) tarafından verilmiştir [85]. Birim adını Yukarı Banazı nahiyesi (Malatya) güneybatısında bulunan Yıldıztepe'den almıştır.

Tipik yeri Yıldıztepe'dedir. Formasyon ismini aldığı Yıldıztepe'de (L40-b3 ½ G) tipik yüzlek verdiği ve tüm istifi kapsayan tip kesit sunar.

Birim Muşardağı güney ve kuzeyinde (K40-c3 ½ KB) Hor Mahallesi doğu ve batısında (K41-d4 ½ GB) ve Bacalı Muhallesi (K40-b3 ¼ KD) ve Yeşilyurt güneyinde yaklaşık D-B gidişli oldukça iyi kesitler sunar.

Formasyon altta kırmızı-kahverengi karbonatlı çamurtaşı ile başlar ve bol nummulit içerir. Üste doğru karbonat oranının artması ile açık-koyu gri, sert ince-kalın arası düzgün tabakalı, algli ve nummulitli kireçtaşına dönüşür. Daha üstte ak renkli, masif, algli ve mercanlı kireçtaşı yer alır. Birim, alttan üste doğru genelde karbonatlı çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı, karbonatlı istiftaşı, karbonatlı tanetaşı ve bağlamtaşı özelliğindedir [91].

Birim yanal yönde inceliyor kalınlaşır ve çok sık fasiyes değişiklikleri gösterir. Muşardağı antiklinali dolayında (K40-c3 ¼ KB) som kumlu nummulitli çakıltaşı ile başlar, üste doğru açık-koyu gri 20 m kireçtaşı içerir. Sipahiuşağı

köyü dolayında (K40-b3 ½ KD) 7 m açık-koyu gri algli ve nummulitli kireçtaşı, üstte ise 4m resifal kireçtaşı ile sonuçlanır. Hor Mahallesi kuzeyinde (K41-d4 ½ GB) karbonatlı çakıltaşı ve kumtaşı ile başlayan birim 10 m açık-koyu gri bol küçük nummulitli kireçtaşı ile temsil edilir. Formasyonun kalınlığı 10-200 m arasındadır [91].

Birim Sipahiuşağı köyü ve Bacalı Mahallesi dolayında (K40-b3 ½ KD) Malatya metamorfiklerinin aşınma yüzeyi üzerinde açısal diskordanslı, Muşardağı antiklinali çekirdeğin (K40-c3 ½ KD) ve Hor Mahallesi kuzeyinde (K41-d4 ½ GB) altlayan Karakayatepe Formasyonu'na yanal ve düşey geçişlidir. Hor Mahallesi kuzeyinde Oligosen yaşlı Ballıçay Formasyonu üzerine itilmelidir. Ger Tepe dolayında (K40-c2 ½ KB) kırmızı- kahverengi ve üstü doğru karbonat oranı artan bol nummulitli taban çakıltaşı ile alttaki Malatya Masifi'ni açısal uyumsuz olarak üstler. Üste fliş fasiyesindeki Suludere Formasyonu'na geçişlidir [91].

Birimin içerdiği litolojisi, fosil kapsamı ve sedimanter özelliklerine göre, çalkantılı sığ denizel ve sakin derin şelf alanı arası ortamlarında çökelmiştir. Birim kuzeyden güneye doğru gelişen Eosen transgresyonun ilk istifini oluşturur ve saptanan fosillere göre birimin yaşı Orta Eosendir [85, 86, 90, 91].

### **Suludere Formasyonu (Ts)**

Birim Demir (1997) tarafından ‘Fliş tipi tortullardan oluşan bir istif’ için adlanmıştır. Tipik yeri Yeşilyurt (Malatya) kuzeydoğusunda (L40-b4) bulunan Uludere'dedir.

Formasyon çalışma alanında Muşardağı kuzey ve doğusunda (K40-c3 ½ K) Saluşağı Mahallesi, Üşükan Köyü ve Seherdağı (K41-d4 ½ K) dolayında oldukça iyi görüntüler sunar.

Formasyon genelde (K41-d4 ½ K) alt düzeylerde kireç taşı şeyl ve marn ardalanması, orta düzeylerde kumtaşı çakıltaşı aratabakalı çamurtaşı (Bouma Ta-e ve Td-e), üst düzeyler ise çakıltaşı, kumtaşı ve kalkarenit aratabakalı, yersel jipsli çamurtaşı ile temsil edilir. Batıda (K40-c3 ½ K ve K40-c2 ¼ GB) kumtaşı, çakıltaşı ve kireçtaşı aratabakalı çamurtaşından oluşur [91].

Birim Sıddızeynep türbesi kuzeyinde (K40-c3 ¼ KB), üste doğru kırmızı, kahverenkli, çamurtaşı, jips ve bitümlü şeylden oluşan 2 m kalınlıkta karasal fasiyesle temsil edilir.

Üşükan köyü ve Saluşağı Mahallesi yol yarmasında (K41-d4 ½ K) tortullaşmayla yaşıt kayma, oturma ve kıvrılma yapıları olağandır. Gelge Tepe (K40-c3 ¼ KD) dolayında yer yer bol nummulit içeren merceksel kireçtaşı bulunur. Bu kireçtaşı ara seviyeleri detritiklerle yanal ve düşey geçişlidir. Türbiditik kumtaşları tabanında kaval yapısı, oluk ve yük yapıları içerir.

Birim doğu kesimde, İbşir köyü Seher Dağı arasında, altta 148m koyu yeşil-kahve renkli çamurtaşı ve açık gri ince-orta tabakalı killi kireçtaşı ardalanması, çört aratabakalı ve kireçtaşı ve türbiditik kumtaşı aratabakalı çamurtaşı, 375 m olistostromal çakıltaşı ve üst düzeylerde 680 m çakıltaşı aratabakalı kumtaşı ve çamurtaşı ardalanması yer alır. En üst seviyelerde ise 30m bol nummulitli kalkarenit ve çamurtaşı ardalanmasından oluşur [91].

Formasyon, çalışma alanı doğusunda (İbşir Köyü-Seher Deresi arasında), 1300 m kalınlıktadır. Muşurdağı dolayında ise birimin Gömülü tepe (Muşurdağı çekirdeğindeki Devoniyen ve Permo-Karbonifer yaşlı kaya birimleri) üzerine aşamalı oluşu, türbidit akıntının olmayışı nedeniyle daha ince olup 38 m kalınlıkta çamurtaşı ve 11 m karasal çamurtaşı, jips ve bitümlü şeylden oluşur [91].

Birim İbşir köyü kuzeyinde (K41-d4 ½ K) Yıldıztepe Formasyonu ve Beretebüyük köyü dolayında (K40-c3 ¼ KD) Zorban Formasyonu ile düşey ve yanal geçişlidir. Üstte Ballıçay Formasyonu ile geçişli ve yersel (kenarsal) diskordanslıdır. Karaca Formasyonu tarafından açısal uyumsuz olarak örtülür [91].

Birimde gözlenen tortul dolgu geometrisi, olistostromal çakıltaşı, ortaç ve iraksak türbiditler Bathiyal ve Abisal ortamı karbonatlı çamurtaşı ve nummulitli kireçtaşı sığ denizel, üst düzeylerde gözlenen kırmızı, kahverenkli, çamurtaşı, jips ve bitümlü şeyl bataklık ortamını belirtir. Birim tipik olarak üste doğru regresif bir istif sunar ve saptanan fosillere göre birimin yaşı Orta Eosen'dir [85, 86, 90, 91].

### **Gedik Formasyonu (Tg)**

Birim Gözübol ve Önal (1986) tarafından adlanmıştır [85]. Açık gri-bej renkli, orta-çok kalın tabakalı, bol nummulitli, algli, mercanlı, biyoklastik ve mikritik sığ kireçtaşlarından oluşur, seyrek olarak kumtaşı ve marn katkıları içerir.

Formasyon güneybatı-kuzeydoğu uzanımlı olarak İsmetpaşa ilçesi kuzeyinde (L40-a<sub>3</sub> 1/4 GD), Malatya güneyinde (L40-b<sub>4</sub> 1/4 GB, L40-b<sub>4</sub> 1/4 NE, L40-b<sub>3</sub> 1/4 KB, L40-b<sub>2</sub> 1/4 GD, L41-a<sub>1</sub> 1/4 GB, K40-c<sub>3</sub> 1/4 GB) kesimlerinde yüzeyler.

Birim İsmetpaşa kuzeyinde, altta Suludere Formasyonu ile geçişlidir. Buradan doğuya doğru Banaz Gediği kuzeyinden itibaren altta Suludere Formasyonu olmaksızın birim ofiyolitli melanj ve Malatya Masifi üzerine taban çakıltaşı ile açısız uyumsuz olarak gelir.

Daha doğuda Venk mahallesinden (L40-b<sub>4</sub> 1/4 KD) kuzeydoğuya doğru birim tabanında Suludere Formasyonu marnlarıyla geçişlidir. Bu geçişler Pınarbaşı gölü piknik alanı (L40-b<sub>3</sub> 1/4 KB) kuzeyinde, Maltepenin kuzeydoğu yamaçlarında açık olarak izlenir. Doğuya doğru geçişler Haydarlar Mahallesi (L41-a<sub>1</sub> 1/4 GB) güney ve güneydoğusundan, Fadıltepe güney yamacında iyi izlenir [90].

Gedik Formasyonu üzerine Üst Eosen-Alt Oligosen yaşlı Ballıçay Formasyonu ve Neojen çökelleri uyumsuz olarak gelir. Bu uyumsuzluk İsmetpaşa-Malatya yolu güneylerinde, doğuda Karaköy Mahallesi (L40-b<sub>2</sub> 1/4 GB) batısında izlenir. Buradan doğudan batıya doğru Gedik Formasyonu tabandaki Zorban Formasyonu ile üstteki Ballıçay Formasyonu arasında uyumsuzluk nedeniyle kamalanır [90].

Gedik Formasyonu İsmetpaşa ve Malatya arasındaki kesimde sığ fasiyeste olup 400-500 m kalınlığa varır. Birim doğuya doğru Karaköy ve daha doğusunda Türbiditik fasiyeste olup incelerek 150 m kalınlığa düşer. Fırat Nehrinin doğu yakasında Şeyhasan Köyü civarında birim yine sığ fasiyeste olup bol nummulit, intraformasyonel çakıltaşı ve çamurtaşı katkıları içerir.

Gedik Formasyonu İsmetpaşa ilçesi (L40-b<sub>4</sub> 1/4 GB) doğusunda yeni yapılan ana sulama kanalının, Malkuye tepenin 1km kadar doğusundan geçen kesiminde ölü asfalt emarelidir [90].

Birimde saptanan litolojik özellikler ve fosil kapsamına göre sığ deniz-resifal ortamı simgeler ve saptanan fosillere göre, birimin yaşı Orta-Üst Eosendir [85, 86, 90].

### **Ballıçay Formasyonu (Tb)**

Birim yeşilimsi gri, boz ve kül renkli, çok ince-kalın tabakalı çamurtaşı-kumtaşı ardalanması, kumtaşı aratabakalı çamurtaşı ve kumtaşı aratabakalı kiltaşından oluşan bir istif için Demir (1997) tarafından adlanmıştır [90]. Çalışma alanında, birim kireçtaşı, killi kireçtaşı aratabakalı çamurtaşından oluşur. İsmi Ballıçay vadisinden (L40-b2 ¼ GB) almıştır.

Birimin tip kesiti iyi yüzlek verdiği Ballıçay Vadisinde (K40-b2 ¼ GB) bulunur.

Muşardağı kuzeyinde (K40-c3 ¼ KB ve K40-c2 ¼ GB), Mataruşağı kuzeyinde (K40-c2 ¼ GD), Zengolar Mahallesi Gübeydoğusunda (K40-c2 ½ K), Doydum, Sipahiuşağı ve Satikli Köyleri ile Fırat Nehri kuzeyinde (K40-b3) ve Baskil vapur iskelesi 500 m kuzeyinde (k40-c3 ½ G) birim tümsel ve bölümsel kesitler sunar [91].

Çamurtaşları açık-koyu yeşil, ortaç sert, yersel düzlemsel laminalı, genelde som, alt düzeyler karbonatlı ve genelde masif tabakalıdır. Kireçtaşları ak açık gri, sert, kalın-çok kalın tabakalı, yer yer masif, yersel çok iyi poroziteli, bol alg, mercan ve seyrek foraminiferli ve yersel çok iyi gözlenebilen mercan resiflidir. Bazı kireçtaşı alt düzeyleri formasyon içi breşik yapılara sahiptir. Kireçtaşı düzeyleri 1-22 m kalınlıktadır. Orta düzeylerdeki kireçtaşları bol killidir. Kumtaşları sarı, ortaç-iyi tutturulmuş, orta-masif tabakalı, düzlemsel laminalı, dereceli, yersel iyi boylanmış, orta düzeylerde türbiditik, üst düzeylerde ise plaj kumtaşı niteliklidir. Kumtaşı düzeyleri 2-10 m kalınlıktadır. Tüfit Muşardağı kuzeyinde yersel olarak bulunur ve sarı, iyi tutturulmuş, ince tabakalı, düzlemsel laminalı ve mercekseldir. Bitümlü şeyl Sipahiuşağı Köyü batısında ve killi kireçtaşının tabanında 20-40 cm kalınlıkta temsil edilir [91].

Birim Sipahiuşağı Köyü batısında (K40-b3 ½ K) 145m, Muşardağı kuzeyinde (K40-c3 ½ KB, K40-c2 ¼ GB) 360m, güneydoğusunda (K40-c3 ½ K) 290,5m ve Fırat Nehri kuzeyinde (K40-b3 ¼ GD) 10-20m kalınlıktadır.

Formasyon Muşardağı kuzeyinde (K40-c2 ¼ GB ve K40-c3 ¼ KB) ve güneydoğusunda (K40-c3 ½ K) Suludere Formasyonu'nu düşük açısız uyumsuzlukla üstler. Fırat Nehri kuzeyinde (K40-b3 ¼ GD) Yıldıztepe Formasyonu ile hem faylı hem de geçişli, Sipahuşığı ve Satıklı köyleri (K40-b3 ½ K) dolayında Yıldıztepe Formasyonu ile geçişlidir. Birim üstteki Akıar Formasyonu ile geçişli, Karaca Formasyonu tarafından açısız uyumsuzlukla altlanır. Birimin çalışma alanı güneyindeki (Muşardağı kuzey ve güneyi) uyumsuzluk dokanağı yerseldir. Bunun nedeni, Üst Eosen sonu-Oligosen başında gelişen yersel regresyon ve transgresyon sonucu olabilir [91].

Birim fosil kapsamı, litolojik, sedimanter ve tortul dolgu özelliklerine göre plaj, şelf ve şelf yamacı alanlarında çökelmiştir. Birimin alt düzeyleri yüksek enerjili ve sığ, orta düzeyleri şelf içi, üst düzeyler ise şelf yamacı ve plaj ortamını yansıtır. Formasyon genelde üste doğru regresif bir istif yansıtır. Birimin alt düzeylerinde Muşardağı kuzey ve güneyinde ise yersel bir transgresif istif görülmektedir [90, 91]. Saptanan fosillere göre, birimin yaşı Oligosendir [91].

### **Beylerderesi Formasyonu (Tbe)**

Birimin "Kumtaşı ve çamurtaşı aratabakalı çakıltaşından oluşan bir istif" için Gözübol ve Önal (1986) tarafından adlandırılmıştır. Çalışma alanında da benzer litolojik özellikler gösterir [85]. İsmi Malatya batısındaki Beylerderesi'nden almıştır.

Tipik yeri Beylerderesi şevleridir. Birim Malatya-Kayseri yolunun Beylerderesi şevlerini kestiği yol yarmasında oldukça açık ve tümsel bir kesit sunar. Kuruçay kuzey-güney-doğu (K40-c4, L40-b2ve L41-a1) dolaylarında genelde yarı açık kesitler ve Sipahuşığı Köyü batısında (K40-c3 ½ K) açık kesitler sunar [91].

Çakıltaşları koyu kırmızı-kahve-sarı renklere, az-iyi pekişmiş, kötü boylanmış ve orta ile masif düzensiz tabakalıdır. Bileşenler daha yaşlı kayalardan türemeli, yersel tane destekli, kum ve çamur matriksli kireçtaşı, mermer, çeşitli şistler, kuvars ve kumtaşından oluşur. Taneler çakıl ile blok arası büyüklük sınırları içerisinde olup genellikle köşeli yersel, yarı köşeli ve yuvarlaktır. Kaba kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşan aratabakalar ve bloklu

düzeyler çakıltası kesiti içinde yersel olarak bulunur. Kumtaşı ve çamurtaşları genelde istifin üst düzeylerinde yer alır. Normal ve ters derecelenme, büyük ölçekli düzlemsel çapraz tabakalanma ve yersel tane dizilimi gibi tortul yapılar görülür [91].

Tohma Çayı kuzeyinde, Malatya-Yazıhan yol yarmasında, birimin en üst düzeyleri kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşur ve yersel çok ince (2-5 cm) jips ara tabakaları içerir.

Bölgesel ölçekte önemli kalınlık değişimleri gösterir. Altınuşağı Köyü batısında 100m ve Malatya-Arguvan yol yarmasından 61 m ölçülmüştür [91].

Birim Muşardağı güneyinde, Altınuşağı - Beretehacıhasan Köyleri yol yarmasında (K40-c3 ¼ GD) ve Malatya-Arguvan yol yarmasında (K40-c4 ¼ KB) alttaki Karaca Formasyonu'nu düşük açısız uyumsuzlukla üzerler, yersel olarak da Muşardağı güneyinde (K40-c3 ½ K ve ¼ GB) Akya ve Karaca Formasyonunu açısız uyumsuzlukla üzerler.

Birimde yaş verecek fosil saptanamamıştır. Ancak, bölgesel ölçekte, stratigrafik ilişkiler gözetildiğinde, birimin Orta Miyosen yaşlı Karaca Formasyonunu açısız uyumsuzlukla örtmesi nedeniyle muhtemelen Üst Miyosen yaşında olabilir.

Birimin litolojik, sedimanter, stratigrafik özellikleri ve tortul dolgu geometrisi gözetildiğinde alüvyon yelpaze ve akarsu-taşkın ovası ortamlarında çökeli mi yansıtır [90, 92]. **Saptanan ostrakot fosillerine göre Beylerderesi formasyonunun yaşı Üst Miyosen- Pliyosendir [semih ercan].**

### **Kuvaterner (Q)**

Genel olarak Malatya Baseninin orta kesimlerinde, yersel olarak da dere yataklarında gözlenmektedir. Çalışma alanında gözlenen alüvyon çökeller genellikle işlenmiş-işlenmemiş çakıl, kum, silt ve kil ara tabakalı çamurdan oluşmaktadır (Şekil 4.3). Bu istif jeofizik sismik verilere göre yaklaşık 70 m kalınlıktadır ve en üste 0,5 m kalınlıkta kırmızı-kahverengi okside tarım toprağı yer alır.

Çakıllar genelde gri, kahverengi ve sarımsı renklerde, maksimum 47 mm, minimum 2 mm arasında olup ortalama 3-4 cm arasındadır. Çakıllar genelde tane destekli, iyi-orta derecede yuvarlaklaşmış, yer yer yassıdır. Litolojik olarak incelendiğinde; çakıl bileşenlerin kumtaşı, silttaşı, kireçtaşı, mermer, tuf, serpantin, andezit, bazalt, kuvars, çört ve şist gibi kaya kırıntılarında oluştuğu görülmektedir. Çakıllar genellikle tane yönelmesine bağlı olarak gelişmiş düzlemsel laminalıdır. Tane büyüklüğü üstten alta ve alttan üste azalmaktadır. Çakıllar kanal dolguları şeklinde kum, silt ve çamur kesiti içinde gelişmiş olarak bulunur.

Genelde bağımsız yersel yanal ve düşey yönde birbirlerine geçişli olan merccekler şeklinde bulunan kum ve siltler sarımsı çok iyi boylanmış, genelde kuvars ve çeşitli kaya kırıntılılarından oluşurlar ve çoğunlukla laminalıdır.

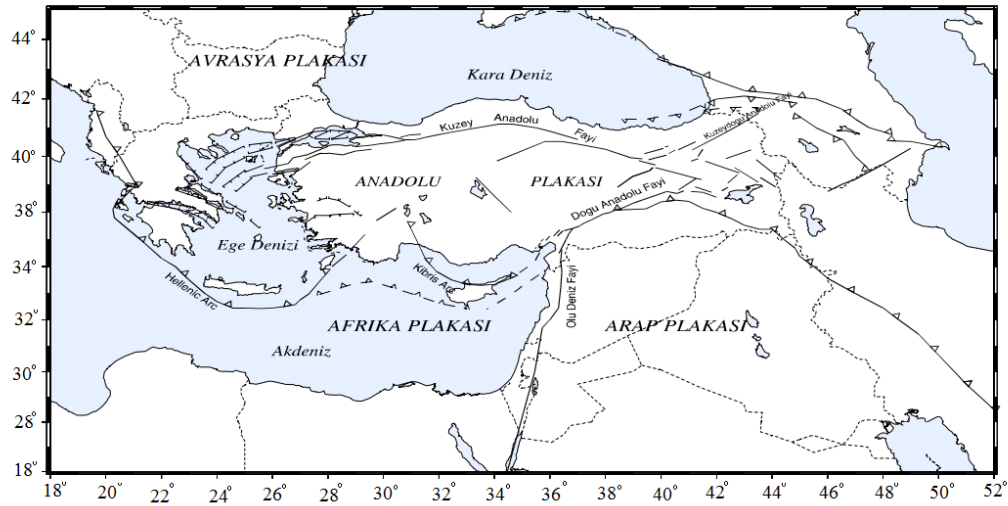
Çamurlar kırmızı, kahverengi, grimsi yeşilimsi renklerde, tutturulmamış, yer yer yer laminalı, lamina düzeyinde gelişmiş organik maddece zengin sapropeller yersel olarak çamur içinde bulunur.

#### **4.1.2. Yapısal jeoloji**

Doğu Toros orojenik kuşağının Malatya-Elazığ bölümü bugünkü jeolojik yapısını aşağıdaki safhalardan sonra kazanmıştır. Bölgede, Üst Triyas'ta, Avrasya ile Arap plâkası arasında açılmaya başlayan okyanus, Alt Kretase sonuna kadar gelişimini sürdürmüştür [94]. Üst Kretase başlarından itibaren (Senomaniyen- Türoniyen) etkin olmaya başlayan kuzeye eğimli bir dalma batma zonu ile ilişkili olarak bölgedeki yay magmatizma ürünleri oluşmuştur (Yüksekova Grubu). Yay magmatizması ilk safhada ensimatik karakterde iken daha ileriki aşamalarda ise ensialik (Keban Kıtasının altında geliştiği yerlerde) karakterde olduğu görülmektedir [94, 95]. Bu dönemde pasif olan güney kenara ise ofiyolitik kütleler yerleşmiştir (İspendere ve Kömürhan ofiyolitleri). Bu fazı Üst Mestrihtiyen transgresyonu izlemiş olup, Kırmızıgüney, İnekpınarı ve Kapullu Formasyonları çökelmiştir. Denizin Üst Mestrihtiyen'den sonra tamamen

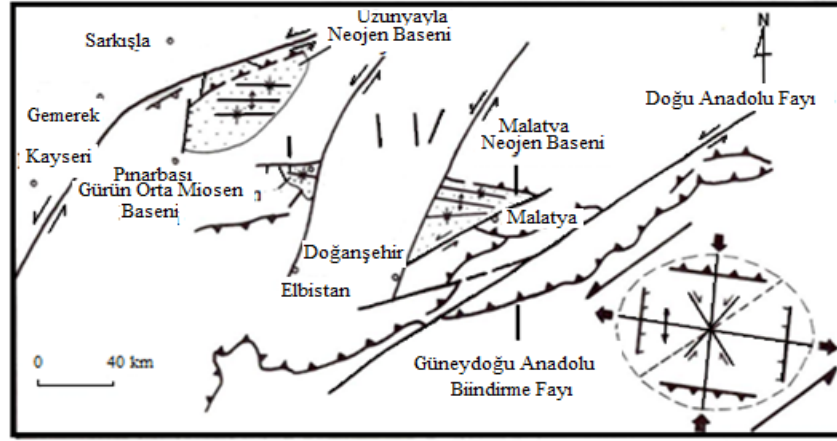
çekilmesi sonucunda, Alt Paleosende, bölgede karasal rejim hâkim olmuş, kıvrımlanma ve yükselmeler meydana gelmiştir [86].

Tersiyer başlarında bölgede Avrasya Levhası üzerinde ve yat gerisinde genişlemeye bağlı olarak gelişen blok faylanmalı çökel alanı gelişmiştir [91]. Orta Miyosen'de bölgede gerçekleşen kıta-kıta çarpışması sonrasında devam eden sıkışma gerilmesi sonucunda, Güneydoğu Anadolu bindirme kuşağı ve Doğu Anadolu fay kuşağı gibi tektonik yapıların oluşumu, bölgeye bugünkü yapısal konumunu kazandırmıştır [84].



Şekil 4.4 Arap Plakası ile Anadolu Blokunun çarpışması [96]

Malatya ve yakın dolayında bulunan faylar Şekil 4.5 de verilmiştir [97]. Bunlar; Doğu Anadolu Fayı, Çöşnük Fayı, Malatya Fayı, Suçatı Fayı, Mudarasın Fayı ve Güney Doğu Anadolu Bindirme Fayı'dır. Bu faylardan sadece Malatya Fayı pasifdir. Bu faylar içinde geçmişte de olduğu gibi, Malatya'yı etkileyecek büyük depremler üretebilecek olan Doğu Anadolu Fayı'dır.



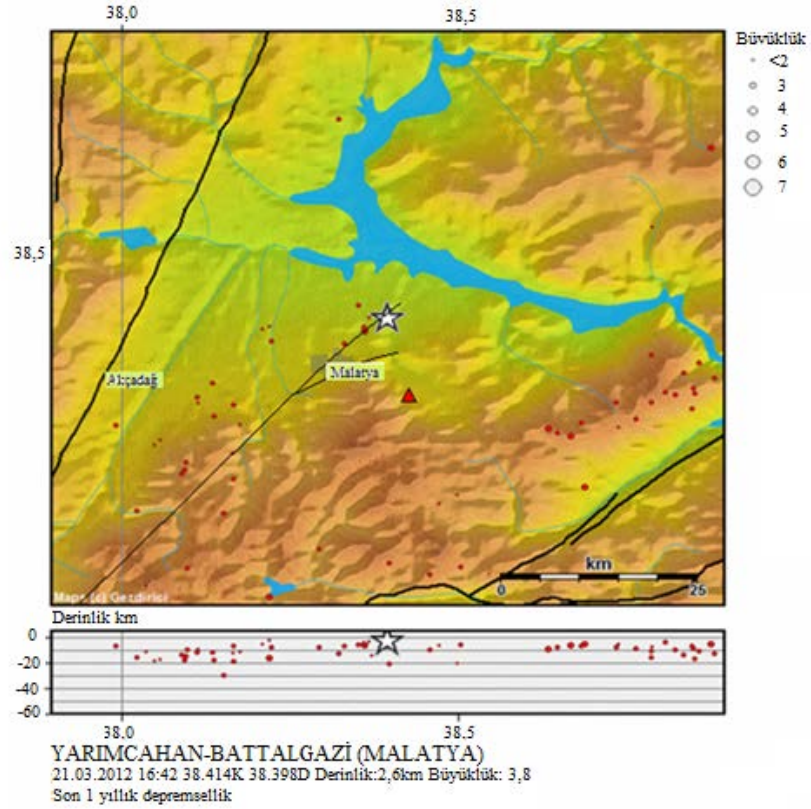
Şekil 4.5 Malatya ve yakın dolayındaki faylar [97]

#### 4.1.2.1. Doğu Anadolu Fay Zonu

Arap Levhasının kuzeye itilmesi sonucu oluşan Doğu Anadolu Fayı Malatya'nın 25 km güneyinden geçmektedir (Şekil 2.4). Malatya ve yakın dolay için önemli bir deprem kaynağı olan Doğu Anadolu Fay Zonu'nun varlığı ilk kez Allen (1969) tarafından belirlenmiştir. Fayın Karlıova ilçesi ile Bingöl il merkezi arasındaki bölümünün bir parçası MTA tarafından 1964 yılında yayınlanan 1/500.000 ölçekli jeoloji haritasında gösterilmiştir. 22 Mayıs 1971 Bingöl Depremi dikkatleri bu fay üzerine çekmiştir. Arpat ve Şaroğlu (1975) bu fay için günümüzde kullanılan Doğu Anadolu Fayı (DAF) adını önermişlerdir [98, 99].

#### 4.1.2.2. Çöşnük Fayı

Çöşnük Fayı Önal, Helvacı ve Ceyhan (2004) tarafından tanımlanmıştır [97]. Malatya Ovası'nın güney batısını sınırlayan ve Çöşnük-Doğanşehir arasında bölüntüler şeklinde uzanan bir fay olup, Miyosen sonunda meydana gelerek Pliyosen'de havzanın açılması ve bir göl ortamı haline gelmesine yol açmıştır [79, 100]. Çöşnük Fayı aktif bir faydır. Çöşnük Fayının 2012 yılında ürettiği depremler aşağıda Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 Çöşnük Fayı'nın 2012 yılında ürettiği depremler [101]

#### 4.1.2.3. Malatya Fayı

Malatya havzası kenarları fay kontrollü bir Pliyo-Kuvaterner çökel alanıdır. Havzanın temelini Permo-Karbonifer'den Pliyo-Kuvaterner'e kadar uzanan zaman aralığında oluşmuş kayalar meydana getirir. Kampaniyen veya öncesindeki ofiyolitli melanj yerleşimini takiben Geç Kretase'de denizel tortullarla başlayan istif Eosen sonuna kadar zaman zaman sığlaşmalar ve su dışına çıkmalar gösterirse de bazı kesimlerde kesintisiz sürer. Malatya Havzası'nın yakın çevresinde Oligosen kısmen denizel fasiyeste sınırlı yayımlı olarak görüldükten sonra, Alt Miyosen'de önce sığ denizel olarak başlayan çökeltim Orta ve Üst Miyosen'de lagüner ve gölsel fasiyeste devam eder. Geç Kretase'den Miyosen'e kadar olan istifte, havzayı kuzeybatı-güneydoğu doğrultuda kateden sismik kesitlerde; havzanın batısını sınırlayan, Malatya Fayı'nın sedimentasyonu kontrol ettiği ve üçgen şekilli havzanın başlangıçta bir

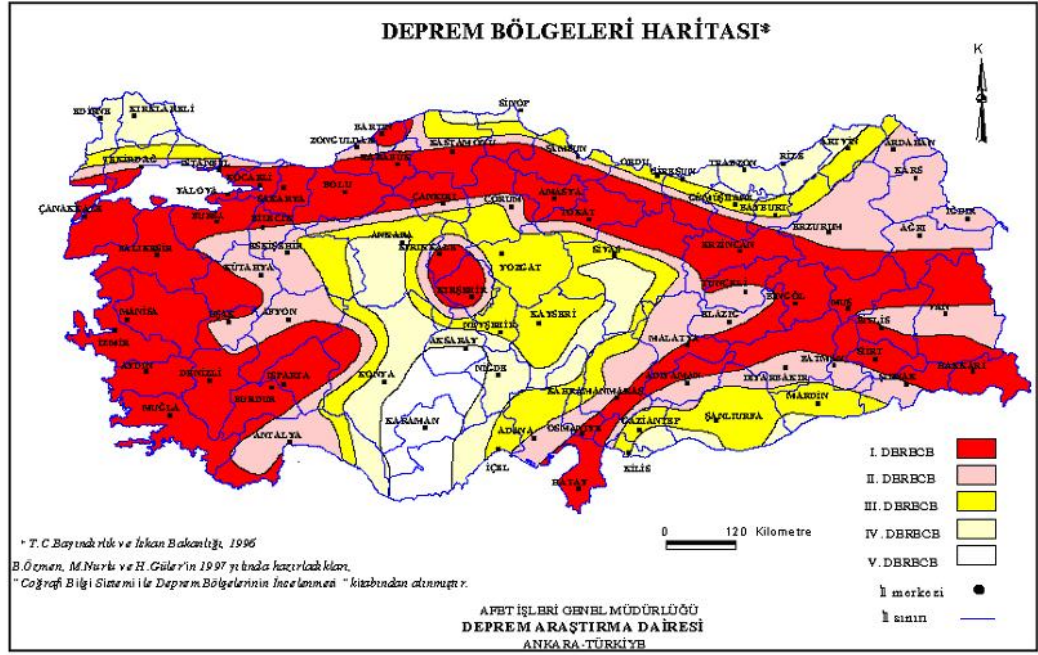
graben şeklinde olduğu gör÷lmektedir. Sonuç olarak, Geç Kretase'den Miyosen'e kadar sedimantasyonu kontrol eden Malatya Fayı, Orta-Üst Miyosen'e doğru verev atımlı normal fay karakterinden sol yönlü doğrultu atımlı karaktere geçerek havzanın doldurmasını sağlamıştır [100].

#### **4.1.2.4. Güney Doğu Anadolu Bindirme Kuşağı**

Malatya'nın güneyindeki Beydağları tabanında yataya yakın eğimi olan bir bindirmedir. Geç Paleosen, Erken Eosen ve Eosen sonunda kuzey-güney sıkışma kuvvetiyle hareket etmiştir. Fay bir ekay paketi şeklindedir. Tabanında Üst Kretase yaşlı ofiyolitik kayalar ile Alt-Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı birimleri, üste ise Permo-Triyas yaşlı Malatya Masifi bulunur [77, 102].

#### **4.1.2.5. Malatya ve yakın dolayının depremselliğı**

Malatya İli; Bakanlar Kurulu'nun 18.04.1996 tarih ve 96/8109 sayılı kararı ile geçerlilik kazanan "Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasında 1. ve 2. derece deprem bölgesi içerisinde yer almaktadır (Şekil 4.7). Aynı raporda çalışma alanının içerisinde yer aldığı Battalgazi İlçesi 2. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır [103].



Şekil 4.7 Türkiye deprem bölgeleri haritası [103]

Malatya İli Doğu Anadolu Fay Zonunda bulunmaktadır. Bu fay zonunda ilk deprem serisi 1544 yılında sona ermiştir. Bu seri içerisindeki 1513 depremi Adana ve Malatya'yı, 1544 depremi ise Zitun ve Malatya'yı yıkmıştır. Doğu Anadolu Fay Zonunda ikinci büyük deprem serisi, yaklaşık 250 yıllık bir suskunluk döneminden sonra 1789 yılında başlamış ve 1905 yılında sona ermiştir. Daha sonra 1971 yılında Bingöl depremi ile yeni bir deprem serisi başlamıştır (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9). Çizelge 4.1'de ise Malatya ve yakın civarında yıllara göre depremler yer almaktadır.

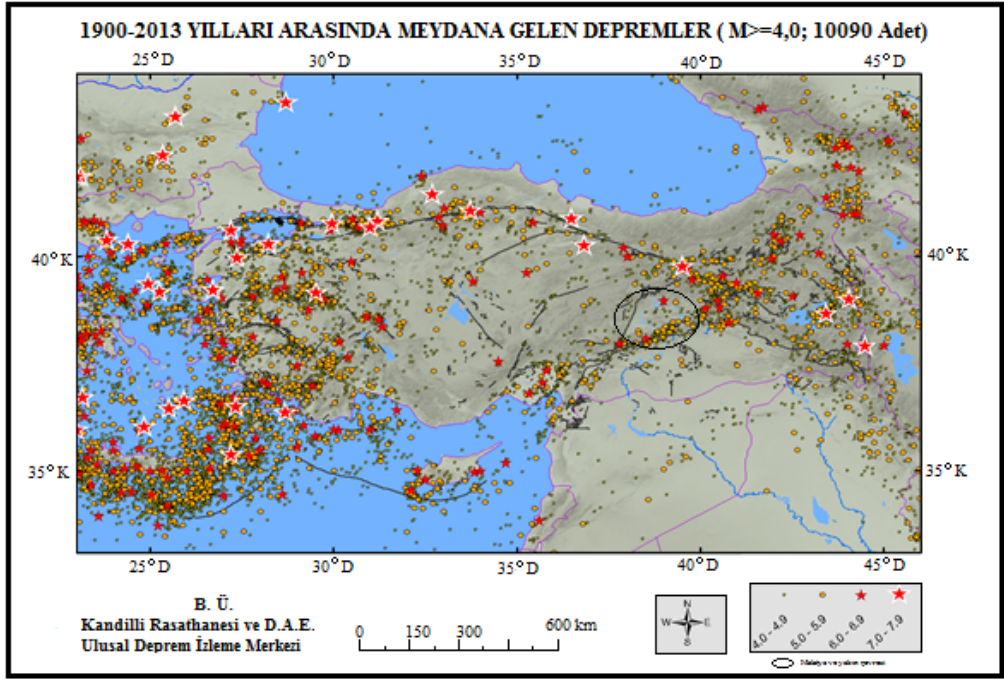
Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ), her bir depremde kırılması beklenen belirgin bölümleri aşağıdaki şekildedir [104]:

- 1- Karlıova-Bingöl fayı; 65 km uzunluğundadır.
- 2- Palu-Hazar fayı; 50 km uzunluğundadır.
- 3- Hazar-Sincik fayı; 85 km uzunluğundadır.
- 4- Çelikhan-Gölbaşı fayı; 50 km uzunluğundadır.
- 5- Gölbaşı-Türkoğlu fayı; 9 km uzunluğundadır.
- 6- Türkoğlu-Antakya fayı; 145 km uzunluğundadır

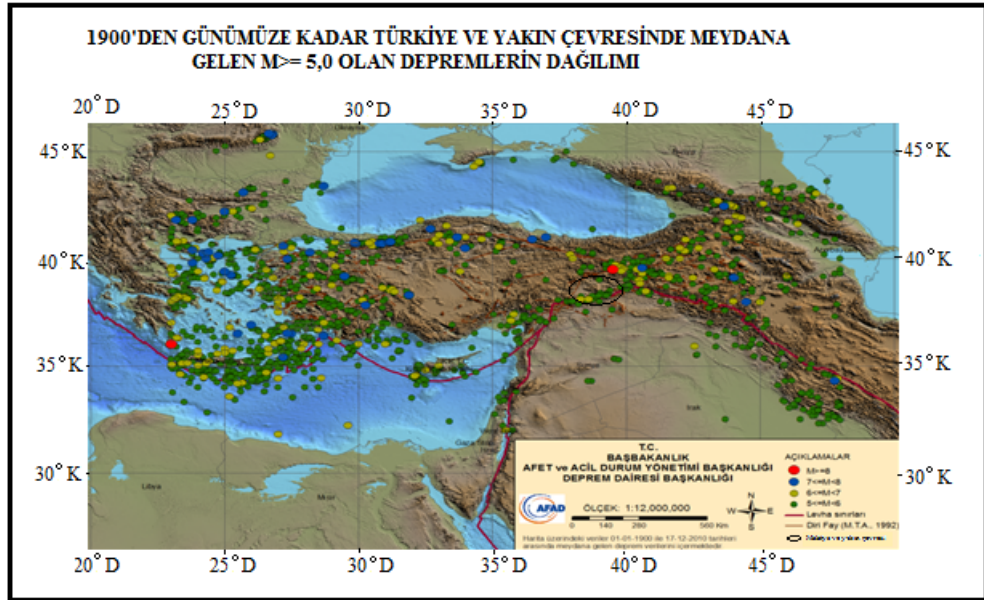
Deprem olduğunda Malatya ve yakın dolayını etkileyecek bölümler Hazar-Sincik fayı ve Çelikhan-Gölbaşı fayı bölümleridir.

Çizelge 4.1 Malatya ve yakın dolayında yıllara göre depremler ( $M_s \geq 6.6$ ) [105]

No	Yıl	Merkez (K-D)	( $M_s$ )	(Io)	Yer
1	995	38,7-40,0	7,0-7,8	---	Palu
2	28.03.1513	37,5-36,5	7,4+	IX	Malatya-Tarsus
3	29.05.1789	38,8-39,5	7,0+	---	Palu
4	20.06.1866	38,5-40,9	6,8-	IX	Kulp
5	03.05.1874	38,5-39,5	7,1+	X	Gölcük 1 (Lake Hazar)
6	27.03.1875	38,5-39,5	6,7	VII	Gölcük 2 (Lake Hazar)
7	02.03.1893	38,0-38,3	7,1+	X	Malatya Güneyi (Çelikhan-Adıyaman)
8	04.12.1905	38,1-38,6	6,8	IX	Malatya (Şiro Çayı-Pütürge)
9	22.05.1971	39,0-40,7	6,8	IX	Bingöl
10	06.09.1975	38,5-40,7	6,6	IX	Lice
11	23.10.2011		7,2	1X	Erciş / Van



Şekil 4.8 1900-2013 yılları arasında Malatya ve yakın dolayında  $3,5 < M < 9$  arasında meydana gelen depremler [106]



Şekil 4.9 1900-2013 yılları arasında Malatya ve yakın dolayında meydana gelen depremler [107]

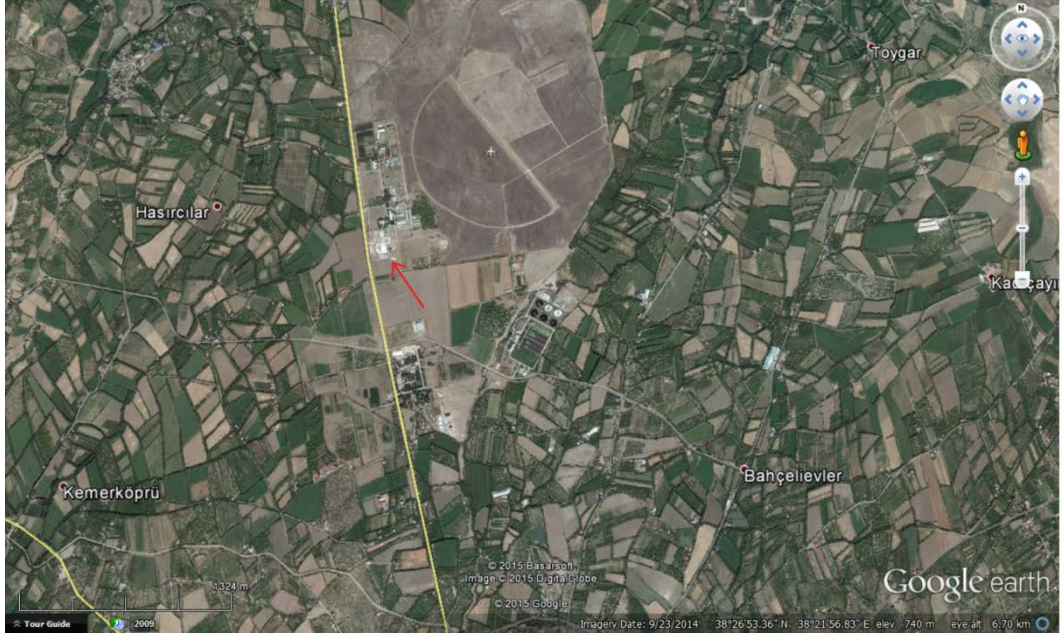
## 4.2. Çalışma Alanının Sedimantolojik Özellikleri

### 4.2.1 Eski akıntı yönü

Çalışma alanında çakıllara ait eski akıntı yönünün tespiti amacıyla, dört nolu araştırma çukurunda (AÇ4) jeoloji pusulası kullanılarak ölçümler alınmış ve yüzeylenen çakılların eğim yönleri belirlenmiştir. Alınan ölçümlerde eğim yönlerinin aksi yönü akarsu eski akıntı yönü olarak belirlenmiştir. Araştırma çukurunda alınan ölçümler Çizelge 4.2’de ve belirlenen eski akıntı yönü Şekil 4.10’da yer almaktadır.

Çizelge 4.2 Sediman numuneleri üzerindeki eski akıntı ölçümleri

Ölçüm No	Ölçüm (°)	Ölçüm No	Ölçüm (°)
1	80	6	311
2	312	7	45
3	325	8	320
4	325	9	325
5	325	10	325



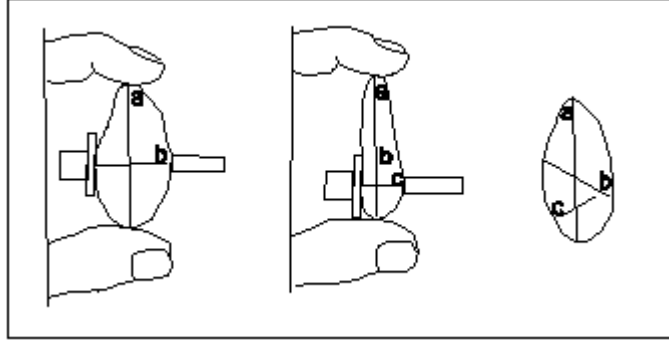
Şekil 4.10 Çalışma alanı eski akıntı yönü

Sediman numuneler üzerinde alınan ölçümler değerlendirildiğinde, eski akıntı yönünün güneydoğudan kuzeybatıya doğru olduğu belirlenmiştir.

#### 4.2.2. Sedimanların dokusal özellikleri

##### 4.2.2.1. Tane şekli

Sedimentolojik çalışmalar kapsamında araştırma çukurlarından alınan örselenmiş numuneler üzerinde sedimentolojik yapı ve doku çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda alınan numunelere ait kısa kenar, uzun kenar ve kalın kenar ölçüleri dijital kumpas kullanılarak tek tek ölçülmüştür. Ölçümlerde her tanenin uzun kenarı (a), buna dik doğrultuda kısa kenarı (b) ve son olarak yine her iki yöne dik doğrultuda kalınlıkları (c) en az üç noktadan ölçülmüş ve ortalama değerler kaydedilmiştir. Şekil 4.11’de sediman taneleri üzerinde ölçüm yapılan doğrultular gösterilmektedir.



Şekil 4.11 Sediman taneler üzerinde ölçüm yapılan doğrultular

Sediman numunelerin tane şekli tanımlamaları için Zinng Küresellik sınıflaması kullanılmıştır. Bunun için öncelikle, ölçümleri alınan kısa ve uzun kenar oranı ( $b/a$ ), kalınlık ve kısa kenar oranları ( $c/b$ ) belirlenmiştir. Sonuçlar Zinng sınıflamasına göre tanımlanmıştır. Çizelge 4.3'de ölçüm sonuçları ve tanımlamalar yer almaktadır.

Çizelge 4.3 Sediman numunelerin Zinng küresellik sınıflaması

b/a	c/b	Tanım	b/a	c/b	Tanım	b/a	c/b	Tanım
0,798	0,461	Disk	0,639	0,782	Çubuk	0,894	0,671	Küre
0,887	0,385	Disk	0,677	0,671	Küre	0,834	0,690	Küre
0,522	0,536	Pul	0,694	0,970	Küre	0,821	0,293	Disk
0,691	0,621	Disk	0,767	0,820	Küre	0,783	0,788	Küre
0,740	0,327	Disk	0,906	0,590	Disk	0,946	0,748	Küre
0,807	0,464	Disk	0,721	0,944	Küre	0,746	0,880	Küre
0,993	0,539	Disk	0,552	0,635	Pul	0,616	0,423	Pul
0,625	0,814	Çubuk	0,620	0,803	Çubuk	0,862	0,329	Disk
0,717	0,648	Disk	0,674	0,715	Küre	0,895	0,302	Disk
0,773	0,728	Küre	0,590	0,943	Çubuk	0,442	0,886	Çubuk
0,823	0,679	Küre	0,651	0,879	Çubuk	0,524	0,579	Pul
0,763	0,673	Küre	0,798	0,669	Küre	0,989	0,486	Disk
0,766	0,448	Disk	0,701	0,888	Küre	0,501	0,657	Pul
0,802	0,979	Küre	0,639	0,845	Çubuk	0,988	0,578	Disk
0,959	0,714	Küre	0,807	0,865	Küre	0,684	0,614	Disk
0,540	0,786	Çubuk	0,947	0,874	Küre	0,858	0,637	Disk
0,703	0,579	Disk	0,930	0,772	Küre	0,664	0,959	Çubuk
0,776	0,825	Küre	0,776	0,815	Küre	0,645	0,827	Çubuk
0,751	0,647	Disk	0,849	0,906	Küre	0,899	0,528	Disk
0,834	0,946	Küre	0,956	0,432	Disk	0,771	0,689	Küre
0,669	0,553	Disk	0,728	0,773	Küre	0,784	0,510	Disk
0,658	0,322	Pul	0,719	0,612	Disk	0,688	0,494	Disk
0,741	0,403	Disk	0,570	0,803	Çubuk	0,850	0,948	Küre
0,463	0,988	Çubuk	0,596	0,724	Çubuk	0,844	0,967	Küre
0,848	0,471	Disk	0,657	0,808	Çubuk	0,516	0,710	Çubuk
0,898	0,517	Disk	0,811	0,843	Küre	0,856	0,709	Küre
0,727	0,686	Küre	0,555	0,776	Çubuk	0,778	0,827	Küre
0,618	0,785	Çubuk	0,485	0,974	Çubuk	0,782	0,916	Küre
0,589	0,886	Çubuk	0,503	0,493	Pul	0,602	0,625	Pul
0,689	0,336	Disk	0,625	0,797	Çubuk	0,458	0,581	Pul
0,829	0,740	Küre	0,554	0,706	Çubuk	0,862	0,684	Küre
0,863	0,637	Disk	0,564	0,587	Pul	0,753	0,396	Disk
0,491	0,726	Çubuk	0,773	0,899	Küre	0,672	0,570	Disk
0,553	0,731	Çubuk	0,942	0,790	Küre	0,789	0,452	Disk
0,693	0,964	Küre	0,702	0,911	Küre	0,678	0,567	Disk
0,715	0,573	Disk	0,911	0,829	Küre	0,662	0,482	Pul
0,435	0,610	Pul	0,790	0,462	Disk	0,666	0,752	Küre
0,512	0,592	Pul	0,958	0,665	Disk	0,620	0,953	Çubuk
0,764	0,721	Küre	0,784	0,940	Küre	0,418	0,911	Çubuk
0,981	0,457	Disk	0,928	0,515	Disk	0,593	0,717	Çubuk
0,780	0,738	Küre	0,915	0,454	Disk	0,378	0,740	Çubuk
0,742	0,599	Disk	0,783	0,692	Küre	0,739	0,646	Disk
0,611	0,976	Çubuk	0,545	0,958	Çubuk	0,906	0,562	Disk

Çizelge 4.3 Sediman numunelerin Zinng küresellik sınıflaması (Devam)

b/a	c/b	Tanım	b/a	c/b	Tanım	b/a	c/b	Tanım
0,901	0,489	Disk	0,680	0,632	Disk	0,991	0,688	Küre
0,639	0,974	Çubuk	0,950	0,493	Disk	0,664	0,630	Pul
0,607	0,495	Pul	0,491	0,498	Pul	0,560	0,574	Pul
0,909	0,590	Disk	0,725	0,806	Küre	0,943	0,386	Disk
0,743	0,924	Küre	0,814	0,719	Küre	0,705	0,628	Disk
0,715	0,529	Disk	0,813	0,798	Küre	0,918	0,737	Küre
0,962	0,655	Disk	0,949	0,775	Küre	0,561	0,826	Çubuk
0,702	0,455	Disk	0,547	0,972	Çubuk	0,583	0,978	Çubuk
0,804	0,950	Küre	0,795	0,840	Küre	0,791	0,800	Küre
0,851	0,705	Küre	0,881	0,442	Disk	0,760	0,702	Küre
0,681	0,896	Küre	0,727	0,904	Küre	0,625	0,719	Çubuk
0,980	0,542	Disk	0,672	0,646	Disk	0,982	0,750	Küre
0,578	0,638	Pul	0,742	0,675	Küre	0,973	0,711	Küre
0,835	0,458	Disk	0,550	0,448	Pul	0,823	0,530	Disk
0,762	0,569	Disk	0,575	0,639	Pul	0,758	0,843	Küre
0,749	0,592	Disk	0,647	0,328	Pul	0,847	0,895	Küre
0,803	0,551	Disk	0,981	0,661	Disk	0,779	0,862	Küre
0,784	0,567	Disk	0,408	0,947	Çubuk	0,773	0,673	Küre
0,848	0,742	Küre	0,590	0,665	Pul	0,826	0,649	Disk
0,592	0,748	Çubuk	0,978	0,616	Disk	0,737	0,733	Küre
0,651	0,850	Çubuk	0,628	0,820	Çubuk	0,700	0,834	Küre
0,706	0,772	Küre	0,589	0,777	Çubuk	0,870	0,891	Küre
0,786	0,918	Küre	0,941	0,687	Küre	0,942	0,484	Disk
0,896	0,756	Küre	0,842	0,342	Disk	0,645	0,899	Çubuk
0,759	0,784	Küre	0,597	0,962	Çubuk	0,798	0,403	Disk
0,866	0,677	Küre	0,825	0,573	Disk	0,727	0,935	Küre
0,773	0,868	Küre	0,662	0,682	Çubuk	0,806	0,701	Küre
0,371	0,689	Çubuk	0,704	0,885	Küre	0,785	0,756	Küre
0,645	0,812	Çubuk	0,646	0,708	Çubuk	0,823	0,511	Disk
0,601	0,851	Çubuk	0,686	0,453	Disk	0,817	0,547	Disk
0,765	0,663	Disk	0,501	0,833	Çubuk	0,973	0,341	Disk
0,887	0,688	Küre	0,564	0,983	Çubuk	0,665	0,819	Çubuk
0,738	0,940	Küre	0,948	0,654	Disk	0,849	0,707	Küre
0,670	0,937	Küre	0,821	0,422	Disk	0,603	0,897	Çubuk
0,669	0,846	Küre	0,722	0,907	Küre	0,758	0,891	Küre
0,828	0,989	Küre	0,787	0,499	Disk	0,899	0,715	Küre
0,465	0,658	Pul	0,800	0,764	Küre	0,911	0,579	Disk
0,768	0,596	Disk	0,876	0,666	Küre	0,627	0,780	Çubuk
0,552	0,791	Çubuk	0,727	0,695	Küre	0,541	0,854	Çubuk
0,790	0,397	Disk	0,641	0,574	Pul	0,549	0,865	Çubuk
0,704	0,608	Disk	0,626	0,753	Çubuk	0,795	0,904	Küre
0,846	0,726	Disk	0,695	0,543	Disk	0,763	0,768	Küre
0,691	0,298	Disk	0,834	0,788	Küre	0,886	0,481	Disk

Çizelge 4.3 Sediman numunelerin Zinng küresellik sınıflaması (Devam)

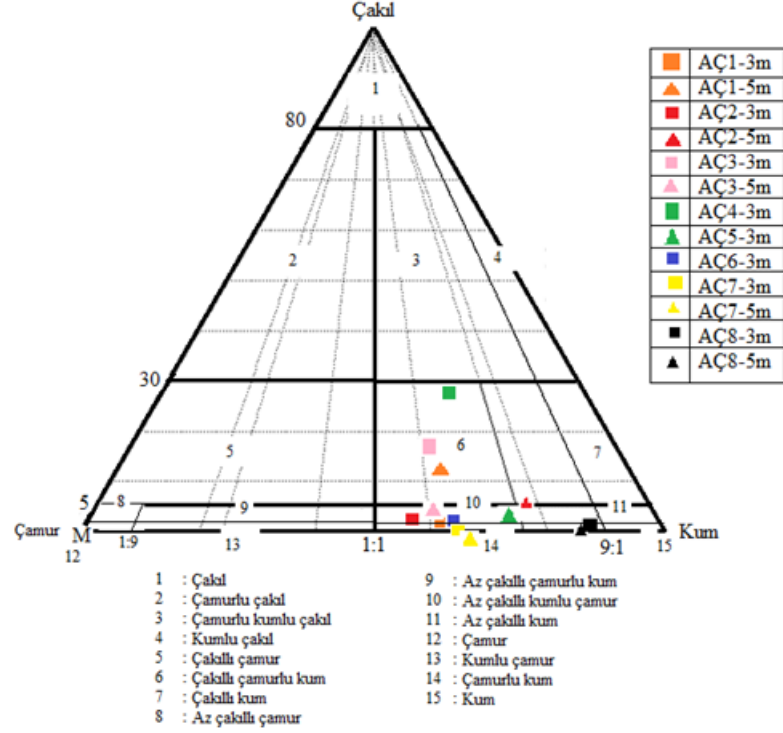
b/a	c/b	Tanım	b/a	c/b	Tanım	b/a	c/b	Tanım
0,958	0,695	Küre	0,498	0,792	Çubuk	0,587	0,655	Pul
0,731	0,755	Küre	0,759	0,596	Disk	0,544	0,688	Çubuk
0,776	0,759	Küre	0,663	0,742	Küre	0,778	0,556	Disk
0,808	0,635	Disk	0,862	0,733	Küre	0,662	0,569	Disk
0,827	0,429	Disk	0,639	0,896	Çubuk	0,495	0,586	Pul
0,721	0,912	Küre	0,688	0,657	Disk	0,790	0,870	Küre
0,780	0,617	Disk	0,657	0,593	Pul	0,676	0,448	Disk
0,667	0,863	Küre	0,746	0,485	Disk	0,935	0,967	Küre
0,672	0,858	Küre	0,816	0,674	Küre	0,721	0,883	Küre
0,792	0,866	Küre	0,681	0,788	Küre	0,775	0,752	Küre
0,869	0,629	Disk	0,804	0,801	Küre	0,599	0,724	Çubuk
0,857	0,984	Küre	0,750	0,624	Disk	0,879	0,536	Disk
0,918	0,647	Disk	0,850	0,627	Disk	0,692	0,794	Küre
0,628	0,991	Çubuk	0,827	0,424	Disk	0,956	0,633	Disk
0,750	0,670	Küre	0,669	0,901	Küre	0,684	0,642	Disk
0,706	0,985	Küre	0,973	0,754	Küre	0,593	0,891	Çubuk
0,741	0,533	Disk	0,707	0,564	Disk	0,604	0,884	Çubuk
0,681	0,722	Küre	0,860	0,881	Küre	0,832	0,832	Küre
0,798	0,777	Küre	0,731	0,828	Disk	0,899	0,640	Disk
0,987	0,428	Disk	0,729	0,663	Disk	0,558	0,633	Pul
0,722	0,619	Disk	0,814	0,563	Disk	0,741	0,504	Disk
0,754	0,651	Disk	0,785	0,679	Küre	0,711	0,659	Disk
0,947	0,496	Disk	0,798	0,522	Disk	0,996	0,448	Disk
0,694	0,598	Disk	0,719	0,331	Disk	0,578	0,953	Çubuk
0,889	0,820	Küre	0,623	0,851	Çubuk	0,936	0,990	Küre
0,721	0,719	Küre	0,677	0,400	Disk	0,634	0,786	Çubuk
0,678	0,812	Küre	0,710	0,872	Küre	0,631	0,596	Pul
0,759	0,855	Küre	0,529	0,562	Pul	0,953	0,932	Küre
0,487	0,691	Çubuk	0,646	0,641	Pul	0,907	0,825	Küre
0,770	0,980	Küre	0,787	0,488	Disk	0,666	0,489	Disk
0,631	0,677	Çubuk	0,807	0,518	Disk	0,935	0,601	Disk
0,868	0,650	Disk	0,990	0,453	Disk	0,973	0,547	Disk
0,869	0,956	Küre	0,843	0,414	Disk	0,713	0,668	Küre
0,742	0,417	Disk	0,839	0,623	Disk	0,379	0,775	Çubuk
0,984	0,684	Küre	0,990	0,510	Disk	0,959	0,589	Disk
0,916	0,880	Küre	0,859	0,462	Disk	0,576	0,763	Çubuk
0,881	0,797	Küre	0,834	0,643	Disk	0,661	0,667	Küre
0,874	0,248	Disk	0,839	0,565	Disk	0,664	0,428	Disk
0,744	0,460	Disk	0,847	0,663	Disk	0,800	0,951	Küre
0,738	0,400	Disk	0,973	0,489	Disk	0,861	0,582	Disk
0,926	0,597	Disk	0,965	0,756	Küre	0,913	0,615	Disk
0,840	0,530	Disk	0,848	0,521	Disk	0,953	0,514	Disk
0,864	0,523	Disk	0,701	0,900	Küre	0,757	0,625	Disk

Çizelge 4.3 incelendiğinde çalışma alanı sediman numuneleri üzerinde yapılan Zinng sınıflamasına göre sediman taneleri çoğunlukla küre şeklindedir.

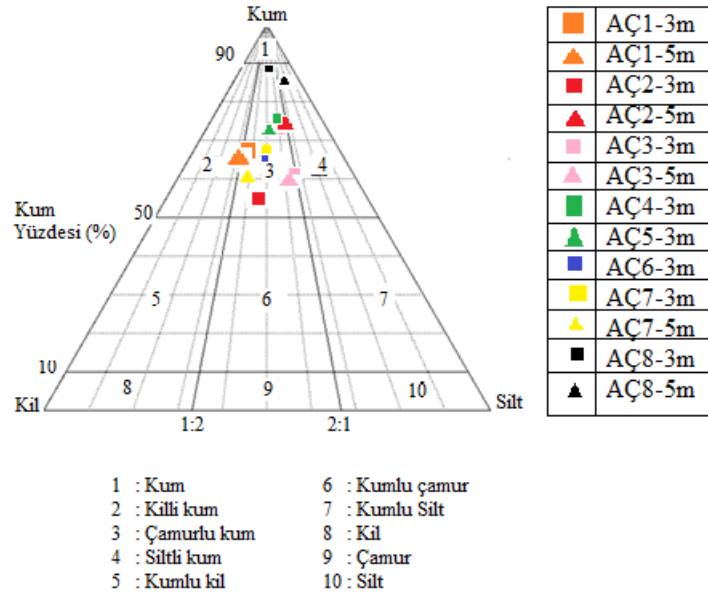
Ortam enerjisi arttıkça veya süresi uzadığında ince taneler ortamdaki uzaklaşır (yıkama), tane keskin sivri köşelerini kaybeder (yuvarlaklaşma), taneler yaklaşık eş boyut kazanır (boylanma) ve zamanla küreselleşir. Kaba taneler yüksek kinetik enerji nedeniyle hızlı, ince taneler düşük kinetik enerji nedeniyle yavaş aşınarak aynı boyda indirgenir [9]. Çalışma alanına ait tanelerin büyük çoğunluğunun küresel şekilli çıkması, ortam enerjisinin yüksek olduğu veya uzun süre çalkantılı ortama maruz kaldığını ifade etmektedir.

#### **4.2.2.2 Sedimanların tane boyu sınıflandırması**

Çalışma alanı sediman numuneleri üzerinde Folk (1954)'e göre tane boyu sınıflaması yapılmıştır. Şekil 4.12'de numunelerin Folk'a göre tane boyu sınıflaması verilmiştir.



a)



b)

Şekil 4.12 Sediman numunelere ait; a) Çakıl- kum- çamur, b) Kum- silt- kil tane boyu sınıflaması [7]

Çalışma alanı sediman numuneleri üzerinde yapılan Folk tane boyu sınıflamasına göre; sediman numuneler yoğun olarak kum boyu tanelerden oluşmaktadır. AÇ8 nolu kuyudan 3 ve 5 m derinliklerden alınan numunelerin % 80-90 oranında kum boyu malzeme içerdikleri, az miktarda da silt ve kil boyu malzemelerden oluştukları ve “az çakıllı kum” sınıflamasında oldukları görülmektedir. AÇ4 ve AÇ3 nolu kuyularda 3m’den alınan numuneler ve AÇ1 nolu kuyudan 5 m’den alınan numuneler “Çakıllı çamurlu kum” sınıflamasındadır. Diğer kuyular ise “Az çakıllı kumlu çamur” sınıfında yer almaktadır.

#### **4.2.2.3. Tane boyu istatistiksel parametreleri**

Araştırma çukurlarından alınan örselenmiş numuneler üzerinde tane boyu dağılım analizi yapılmıştır. Tane boyu dağılım analiz sonuçları EK-6’da verilmiştir.

Sedimanların tane boyu istatistiksel parametreleri hesaplanırken mm birimindeki tane boyları phi ( $\Phi$ ) birimine çevrilerek kullanılmıştır. Hesaplanan tane boyu istatistiksel parametreleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Tane boyu istatistiksel parametrelerine göre; numunelerin grafik orta değerleri 1,1-4,0 arasında değişmektedir.

Numunelerin boylanma verilerine bakıldığında; kuzey ve batı yönlerinde çok kötü boylanma (ÇKB) ve kötü boylanma (KB) gözlenirken, doğu ve güney yönlerinde orta boylanma (OB) ve orta derecede iyi boylanma (ODİB) gözlenmektedir.

Numunelerin çarpıklık değerlerine bakıldığında; aşırı derecede kaba çarpık (ADKÇ) olduğu gözlenmektedir.

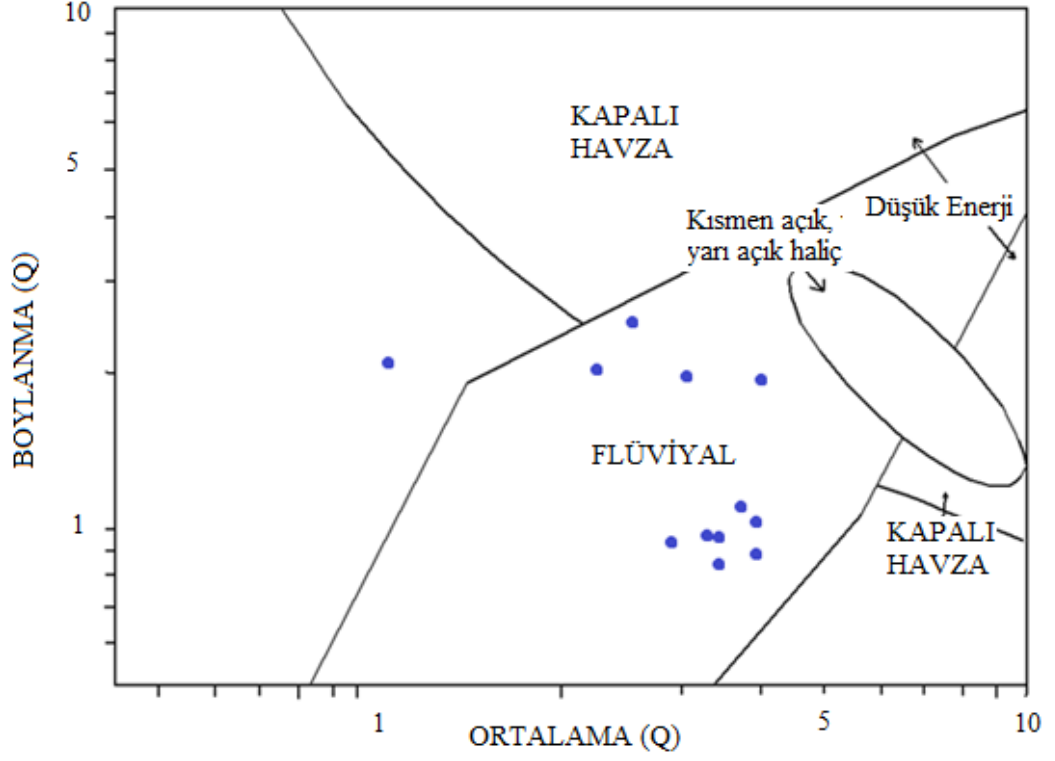
Numunelerin tepelenme değerlerine bakıldığında; mezokurtik (normal eğri) olduğu gözlenmektedir. Sadece 8 nolu araştırma çukurunda leptokurtik (bükey eğri) olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 4.4 Sediman numunelerin tane boyu istatistiksel parametreleri (ÇKB: Çok Kötü Boylanma, KB: Kötü Boylanma, OB: Orta Boylanma, ODİB: Orta Derecede İyi Boylanma, ADKÇ: Aşırı Derecede Kaba Çarpık)

A.Ç. No	1.Yüzde (C1)	Medyan	Aritmetik Ortalama	Boylanma		Çarpıklık		Tepelenme	
				σ1	Tanım	SK1	Tanım	Kg	Tanım
AÇ1-3m	-5,5	4,5	3,9	2,11	ÇKB	-0,5	ADKÇ	0,956	Mesokurtik
AÇ1-5m	-10,5	4,5	3,67	3,37	ÇKB	-0,475	ADKÇ	1,096	Mesokurtik
AÇ2-3m	-1,8	3,8	3,57	1,26	KB	-0,378	ADKÇ	1,147	Mesokurtik
AÇ2-5m	-6,8	2,9	2,37	2,03	ÇKB	-0,475	ADKÇ	1,11	Mesokurtik
AÇ3-3m	-3,4	3,4	2,67	2,39	ÇKB	-0,520	ADKÇ	1,12	Mesokurtik
AÇ3-5m	-7,4	3,4	3,13	1,78	KB	-0,301	ADKÇ	0,91	Mesokurtik
AÇ4-3m	-7,6	1,8	1,1	2,22	ÇKB	-0,539	ADKÇ	1,18	Mesokurtik
AÇ5-3m	-1,1	3	2,77	0,94	OB	-0,43	ADKÇ	1,27	Mesokurtik
AÇ6-3m	-0,6	4,2	4	1,11	KB	-0,366	ADKÇ	1,08	Mesokurtik
AÇ7-3m	1,1	3,8	3,67	0,63	ODİB	-0,394	ADKÇ	1,13	Mesokurtik
AÇ7-5m	0	3,6	3,4	0,9	OB	-0,4	ADKÇ	1,02	Mesokurtik
AÇ8-3m	1,4	4,2	4	0,71	OB	-0,464	ADKÇ	1,23	Leptokurtik
AÇ8-5m	-0,2	3,7	3,5	0,85	OB	-0,454	ADKÇ	1,23	Leptokurtik

Tane boyu istatistiksel parametreleri kaynak bölge tanımlamaları için kullanılmıştır. Ortalama tane boyu-boylanma değerlerine göre depolanma

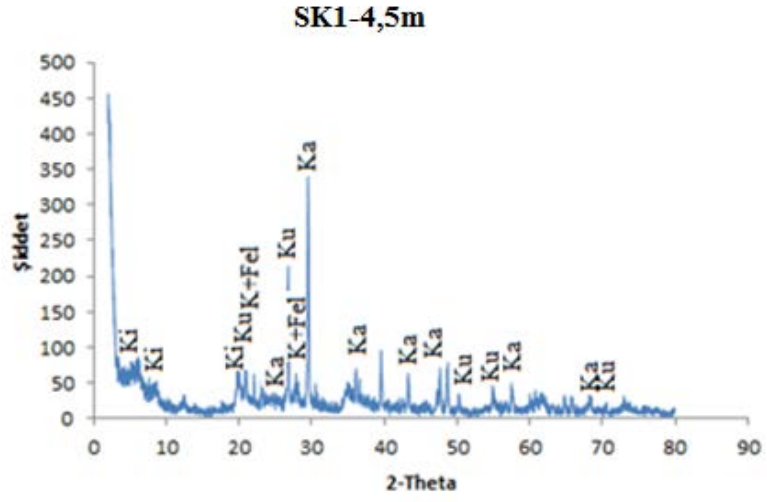
ortamları (Şekil 4.13) şeklinde elde edilen değerler yerleştirildiğinde; flüviyal bölgede yer aldıkları görülmüştür [ 30, 40].



Şekil 4.13 Çalışma alanı ortalama tane boyu- boylanma verilerine göre depolanma ortamı [ 12, 22 uyarlanmıştır]

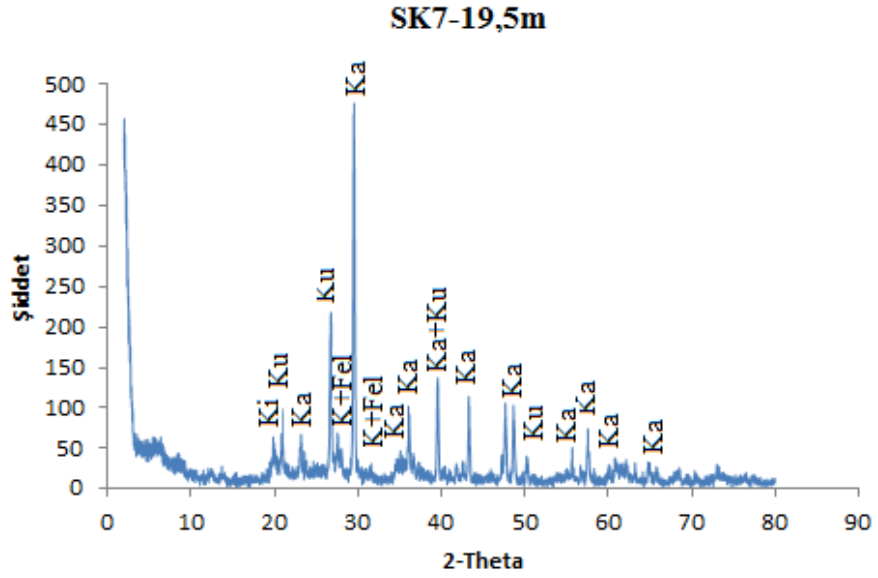
#### 4.2.2.4. Sediman numunelerinin XRD sonuçları

Çalışma alanında açılan araştırma sondajlarından aynı doğrultuda ancak farklı derinliklerden XRD analizi için numuneler alınmıştır. Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de numunelerin XRD analiz sonuçları yer almaktadır.



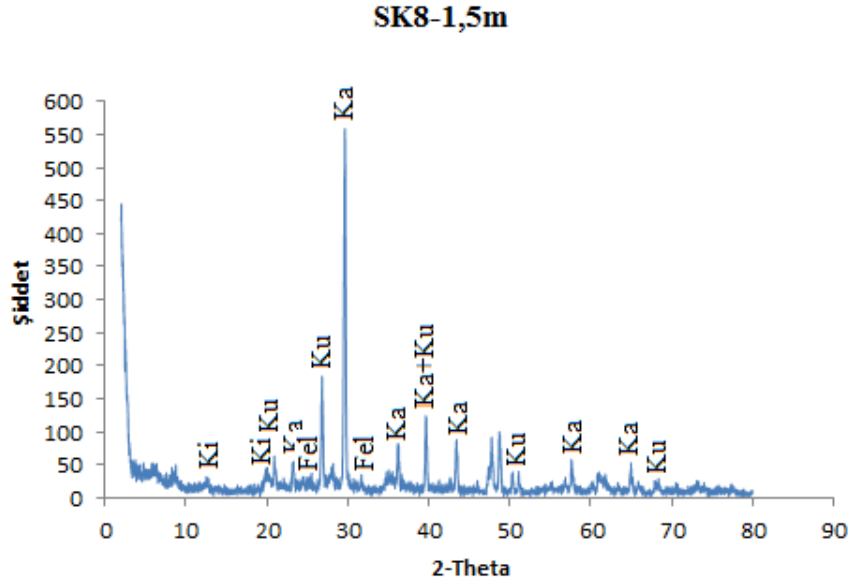
Şekil 4.14 SK1-4,5 m numunesi XRD sonucu

(Ki: Kil, Ku: Kuvars, K+Fel: Potasyum feldispat, Ka: Kalsit)



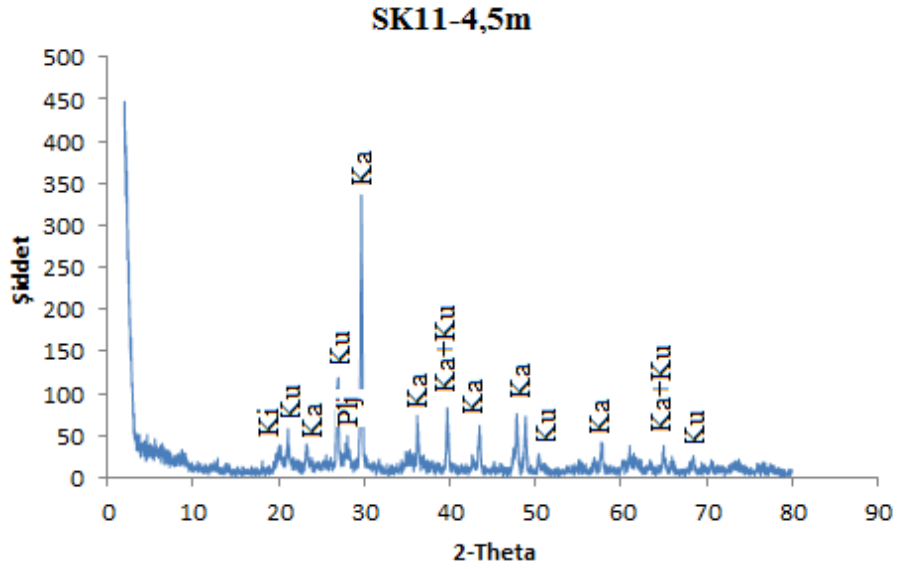
Şekil 4.15 SK7-19,5 m numunesi XRD sonucu

(Ki: Kil, Ku: Kuvars, K+Fel: Potasyum feldispat, Ka: Kalsit)



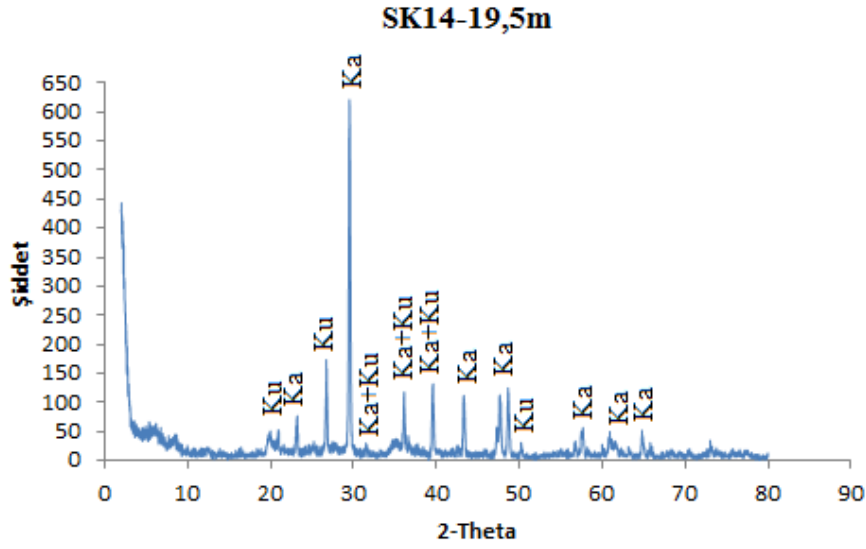
Şekil 4.16 SK8-1,5 m numunesi XRD sonucu

(Ki: Kil, Ku: Kuvars, Fel: Feldispat, Ka: Kalsit)



Şekil 4.17 SK11-4,5 m numunesi XRD sonucu

(Ki: Kil, Ku: Kuvars, Plj: Plajiolklas, Ka: Kalsit)



Şekil 4.18 SK14-19,5 m numunesi XRD sonucu

(Ki: Kil, Ku: Kuvars, Ka: Kalsit)

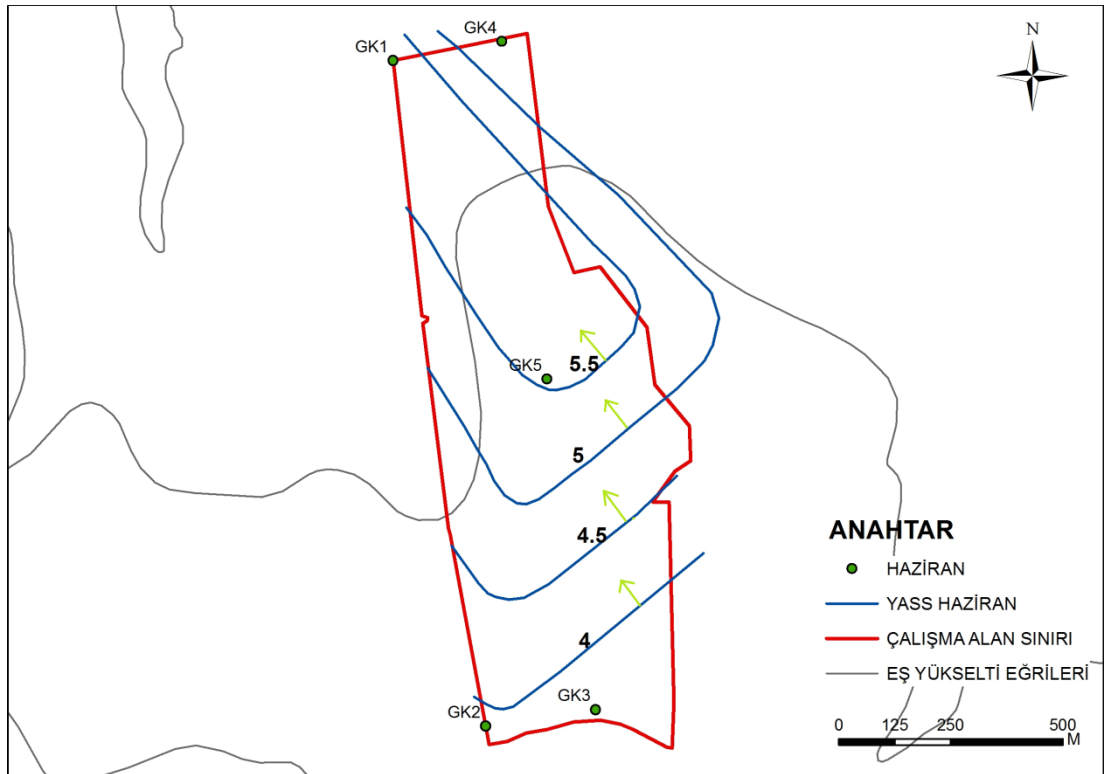
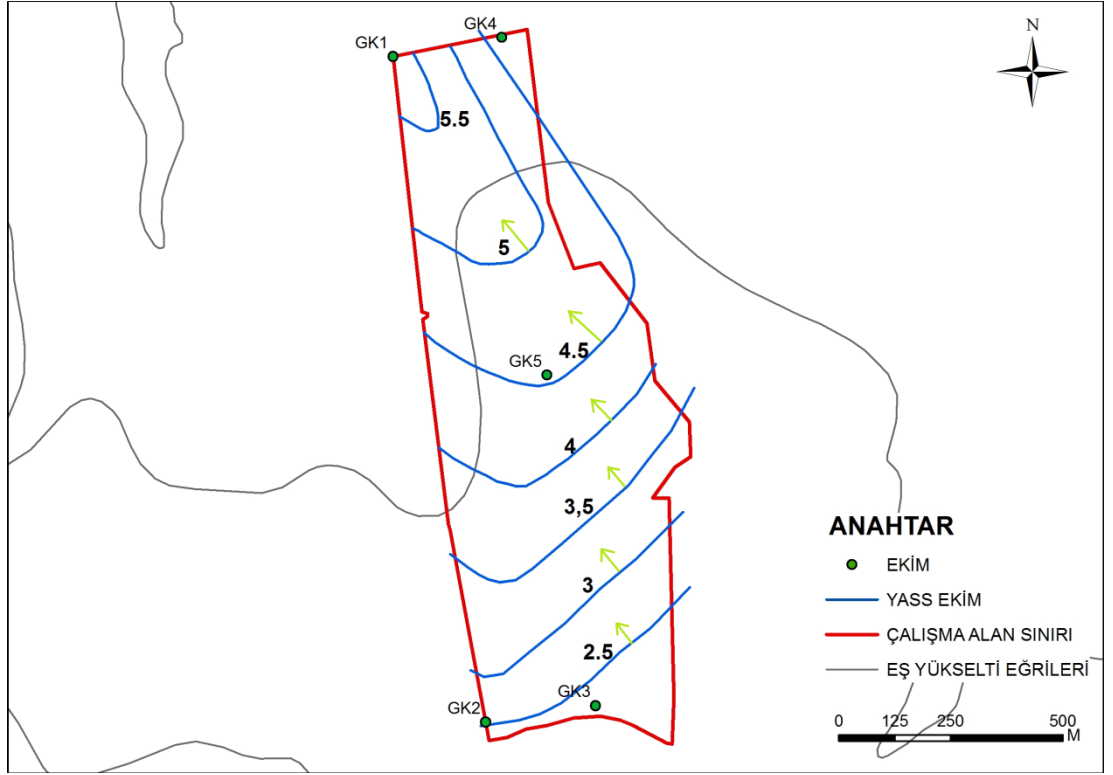
XRD analiz sonuçları incelendiğinde, kalsit mineralinin fazla olduğu görülmektedir.

### 4.3. Çalışma Alanı Hidrojeolojik Özellikleri

Çalışma alanı dahilinde açılan sondajlarda belirlenen 5 adet araştırma sondajı gözlem kuyusu (GK) olarak kullanılmak üzere borulanmıştır. Ayda 1 kez olmak üzere yeraltı su seviyeleri ölçülerek kaydedilmiştir. Ölçülen yeraltı su seviyelerine bağlı olarak yeraltı su seviye haritaları oluşturulmuştur. Çizelge 4.5’de aylık yeraltı su seviye ölçümleri ve Şekil 4.19’da ise Ekim ve Haziran ayına ait yeraltı su seviye haritaları yer almaktadır.

Çizelge 4.5. Çalışma alanında gözlem kuyularında ölçülen aylık yeraltı su seviyeleri

Ay	YASS (m)				
	GK1	GK2	GK3	GK4	GK5
Temmuz-2013	5,85	2,95	3,20	4,48	5,32
Ağustos-2013	5,88	2,96	3,20	4,51	5,32
Eylül-2013	5,91	2,98	3,23	4,53	5,30
Ekim-2013	5,77	2,82	2,29	4,31	4,67
Kasım-2013	6	4,06	3,98	4,6	5,13
Aralık-2013	6,28	5,10	5,15	4,77	5,7
Ocak-2014	6,30	5,17	5,24	4,78	5,88
Şubat-2014	6,35	5,35	5,42	4,81	5,88
Mart-2014	6,42	5,57	5,78	5,00	6,18
Nisan-2014	6,41	4,58	5,76	4,85	6,27
Mayıs-2014	6,14	4,75	4,10	4,78	6,19
Haziran-2014	5,96	4,04	3,84	4,72	5,75



Şekil 4.19 Ekim ve Haziran ayına ait yer atı su seviye haritaları

Çizelge 4.5 incelendiğinde; yeraltı su seviyesinin genel olarak en düşük olduğu ay mart ayıdır. Mevsimsel yağışların oldukça düşük olması ve genel olarak tarım alanı olan bölgede sıcaklığın artmasına bağlı olarak sulama mevsiminin başlamasıyla nisan ayı itibarıyla yeraltı su seviyelerinde yükselim başlamıştır.

Şekil 4.19’da görüldüğü gibi, yeraltı suyu beslenme yönü güneydoğudan kuzeybatıya doğrudur.

#### **4.4. Çalışma Alanı Jeoteknik Özellikleri**

##### **4.4.1. Arazi çalışma bulguları**

###### **4.4.1.1. Araştırma çukur (AÇ) çalışmaları**

Araştırma çukur derinlikleri başlangıçta 3 ve 5 m olarak planlanmış ancak; AÇ-4, AÇ-5 ve AÇ-6 nolu çukurlarda 3 m’den daha derinlerde bol çakıllı malzeme ve yeraltı su seviyesi bulunduğu için daha derine inilememiştir.

Çalışma alanında açılan ve sonrasında genişletilen AÇ8 nolu çukurda, üst kısımda silt, alt kısımda kil birimi ayırtlanmıştır (Şekil 3.4). Silt yüzeyinin yukarı doğru kabarması deprem sırasında sıvılaşmayı gösteren bir örnek olabilir.

Açılan çukurlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvarında bir takım deneyler yapılmıştır. Çizelge 4.6’da araştırma çukurlarından alınan numuneler ve bu numuneler üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deneyler yer almaktadır.

Çizelge 4.6 Araştırma Çukurlarından alınan numuneler ve yapılan deneyler (DS: Bozunmuş numune, UDS: Bozunmamış numune, NA: Numune alınamadı)

Araştırma Çukur No	Numune Türü	Fiziksel Deneyler	Mekanik Deneyler	
			Konsolidasyon Deneyi	Kesme Kutusu Deneyi
AÇ1-3 m	DS+UDS	+	+	+
AÇ1-5 m	DS+UDS	+	+	+
AÇ2-3 m	DS+UDS	+	+	+
AÇ2-5 m	DS+UDS	+	+	+
AÇ3-3 m	DS+UDS	+	+	+
AÇ3-5 m	DS+UDS	+	+	+
AÇ4-3 m	DS+UDS	+	+	+
AÇ5-3 m	DS+UDS	+	+	+
AÇ6-3 m	DS+UDS	+	NA	NA
AÇ7-3 m	DS+UDS	+	+	+
AÇ7-5 m	DS+UDS	+	+	+
AÇ8-3 m	DS+UDS	+	+	+
AÇ8-5 m	DS+UDS	+	+	+

#### 4.4.1.2. Araştırma sondaj (SK) çalışmaları

Arazi çalışmaları kapsamında çalışma alanında zeminin geoteknik özelliklerin belirlenmesi amacıyla; 20'şer metre derinlikte 15 adet araştırma sondajı açılmıştır. Araştırma sondajları ve araştırma çukurları aralarında yaklaşık eşit mesafeler olacak şekilde belirli bir düzen içinde konumlandırılmıştır.

##### a) Standart penetrasyon deney (SPT) sonuçları

Araştırma sondajlarında, zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerini ortaya koyabilmek için bütün sondajlarda yaklaşık aynı derinlikte olacak şekilde her 3m'de bir SPT yapılmış ve örselenmiş zemin numuneleri alınmıştır. EK-2'de SPT sonuçları yer almaktadır.

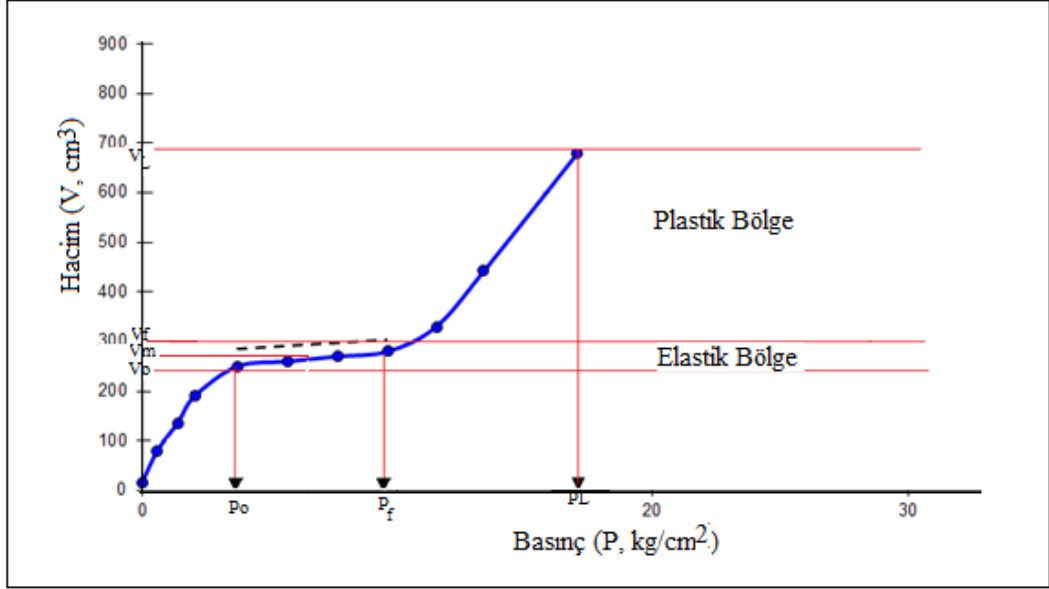
SPT-N değerleri üzerinde gerekli düzeltmeler yapılmış ve sonuçlar taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma hesaplamalarında kullanılmıştır. Çizelge 4.7’de SPT-N değerleri üzerinde taşıma gücü ve sıvılaşma hesaplamalarında kullanılmak amacıyla yapılan düzeltmeler yer almaktadır. Düzeltilmiş SPT darbe sayıları EK-16’da verilmiştir.

Çizelge 4.7 SPT-N değerleri üzerinde yapılan düzeltmeler

Düzeltilme		Özellik	Değer
CN	Derinlik düzeltme faktörü		
CE	ER/60	Halka Tipi	0,75
CR	Tij Uzunluğu (m)	<3 m	-
		3-4 m	0,75
		4-6 m	0,85
		6-10 m	0,95
		>10 m	1
		> 9 m	-
		9-30 m	1,0
		> 30 m	< 1,0
CS	Numune alıcı	Kılıfsız	1,2
CB	Sondaj Çapı (mm)	65-115	1
CC	YASS için düzeltme	$N_{arazi} > 15$	$N = 15 + \frac{(N_{arazi} - 15)}{2}$

#### b) Presiyometre (PMT) deney sonuçları

Presiyometre deneyinde deney sonuçları kalibre edilerek basınç (P) hacim (V) eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğriler yardımıyla; başlangıç gerilmesi (Po), elastisite modülü (Em), limit basınç (PL) ve akma basıncı (Pf) değerleri belirlenmiştir. Şekil 4.20’de örnek deney sonucu yer almaktadır.



Şekil 4.20 PMT deney sonuçlarına ait örnek gösterim

PMT eğrisinde pratikte lineer kabul edilen bölge elastik bölgedir. Bu bölgede  $P_o$  değeri toplam yatay gerilmeye karşılık gelen gerilmedir.  $P_f$  değeri ise akma basıncı olup bu noktadan sonra plastik deformasyon başlar. Zeminde göçmeye neden olan basınç ise limit basınç ( $P_L$ ) değeridir. Deney sırasında elde edilen diğer bir parametre de elastisite modülü ( $E_m$ ) değeridir ve Eşitlik 4.1 ile hesaplanır [40].

$$E_m = 2(1 + \nu)(V_c + V_m) \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad (4.1)$$

$E_m$  : Elastisite modülü

$\nu$  : Poisson oranı ( genelde 0,33 alınır)

$V_c$  : Ölçüm hücresinin başlangıç kavite hacmi

$V_m$  : Elastik bölgede ortalama hacim

$V_o$  : Başlangıç hacmi

$V_f$  : Elastik bölgenin bitişindeki hacim

Çalışma alanında açılan araştırma sondajlarında, her sondajda 3, 6, 9, 12, 15 ve 18 m derinliklerde Mernard Tipi Presiyometre aleti ile PMT yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8'de ve deney eğrileri ise EK-18'de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Presiyometre deney sonuçları

Kuyu No	Derinlik (m)	Elastisite Modülü (Em, kg/cm <sup>2</sup> )	Limit Basınç (PL, kg/cm <sup>2</sup> )	Net limit Basınç (PL*, kg/cm <sup>2</sup> )	Yatay İçsel Basınç (Po, kg/cm <sup>2</sup> )
SK1	3	419	17,1	13,4	3,7
	6	426	19,1	15,1	4
	9	183	14,1	12,3	1,8
	12	251	16,1	14,8	1,3
	15	519	16,1	13	3,1
	18	569	26,8	23,5	3,3
SK2	3	128	12,1	9,8	2,3
	6	155	13,1	11,1	2
	9	276	17,1	14,9	2,2
	12	654	28,7	26,5	2,2
	15	749	28,7	24,7	4
	18	767	27,7	22,7	5
SK3	3	156	11,1	9,3	1,8
	6	146	10,1	8,1	2
	9	166	12,1	10,4	1,7
	12	415	17,7	13,3	3,8
	15	239	14,1	12	2,1
	18	224	11,1	8,7	2,4
SK4	3	122	8,1	6,7	1,4
	6	134	11,1	9,9	1,2
	9	94	10,1	8,8	1,3
	12	341	19,1	15	4,1
	15	693	26,6	22,8	3,8
	18	660	29,7	25,5	4,2
SK5	3	290	13,1	10,7	2,4
	6	412	19,1	15,1	4
	9	611	26,6	22,7	3,9
	12	434	22,1	20	2,1
	15	736	26,6	22,7	3,9
	18	686	28,7	26,5	2,2
SK6	3	349	19,1	15,1	4
	6	338	15,1	11,3	3,8
	9	332	17,1	15,3	1,8
	12	770	28,5	22,8	5,7
	15	809	28,6	25,7	2,9
	18	656	28,7	25,6	3,1

Çizelge 4.8 Presiyometre deney sonuçları (Devam)

Kuyu No	Derinlik (m)	Elastisite Modülü (Em, kg/cm <sup>2</sup> )	Limit Basınç (PL, kg/cm <sup>2</sup> )	Net limit Basınç (PL*, kg/cm <sup>2</sup> )	Yatay İçsel Basınç (Po, kg/cm <sup>2</sup> )
SK7	3	136	9,1	7	2,1
	6	797	19,1	15,4	3,7
	9	349	21,1	18,1	3
	12	606	27,8	25,4	2,4
	15	649	27,5	23,8	3,7
	18	486	23,1	19,2	3,9
SK8	3	146	9,1	7,2	1,9
	6	135	7,1	6,3	0,8
	9	265	13,1	11,4	1,7
	12	374	18,1	17,3	0,8
	15	675	27,6	23,7	3,9
	18	878	29,4	23,9	5,5
SK9	3	156	8,1	7,3	0,8
	6	182	12,1	10,5	1,6
	9	170	16,1	14,8	1,3
	12	360	21,1	17,3	3,8
	15	279	19,1	16,8	2,3
	18	391	22,1	17,6	4,5
SK10	3	106	8,1	7,5	0,6
	6	144	7,1	5,9	1,2
	9	303	13,1	11,5	1,6
	12	286	18,1	16,4	1,7
	15	212	14,1	13,3	0,8
	18	276	14,1	12,6	1,5
SK11	3	135	5,1	4,4	0,7
	6	164	7,1	5,4	1,7
	9	271	15,1	13,2	1,9
	12	349	19,1	15,4	3,7
	15	474	24,1	20,4	3,7
	18	292	21,1	18,9	2,2
SK12	3	152	11,1	10	1,1
	6	147	6,1	5	1,1
	9	176	6,1	4,4	1,7
	12	143	12,1	10,8	1,3
	15	173	10,1	9,4	0,7
	18	332	17,1	13,3	3,8

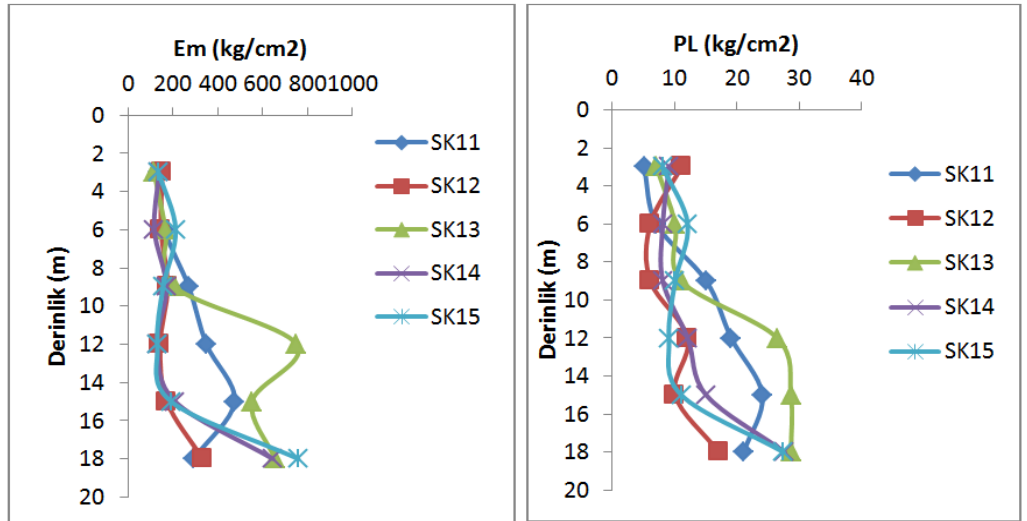
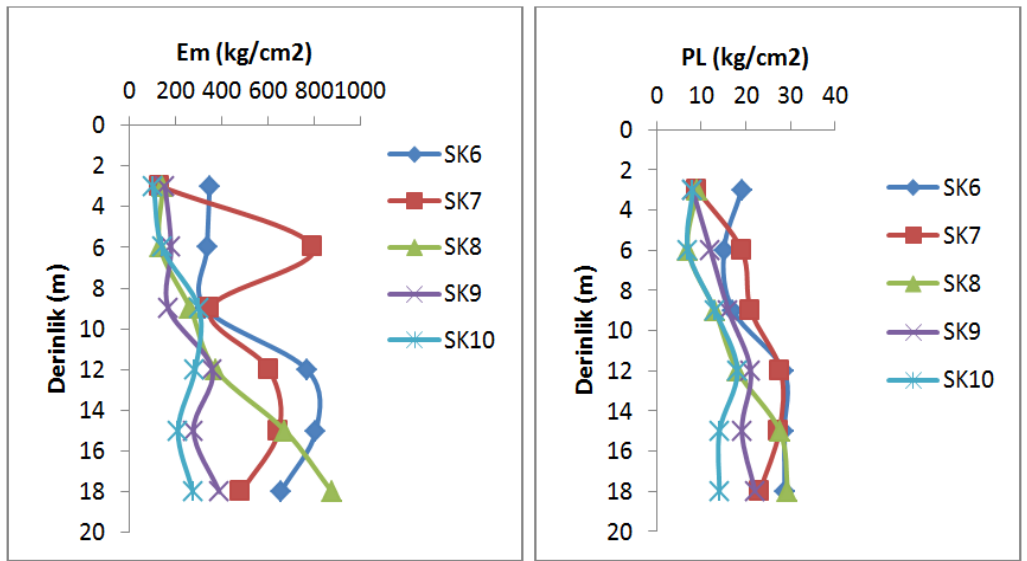
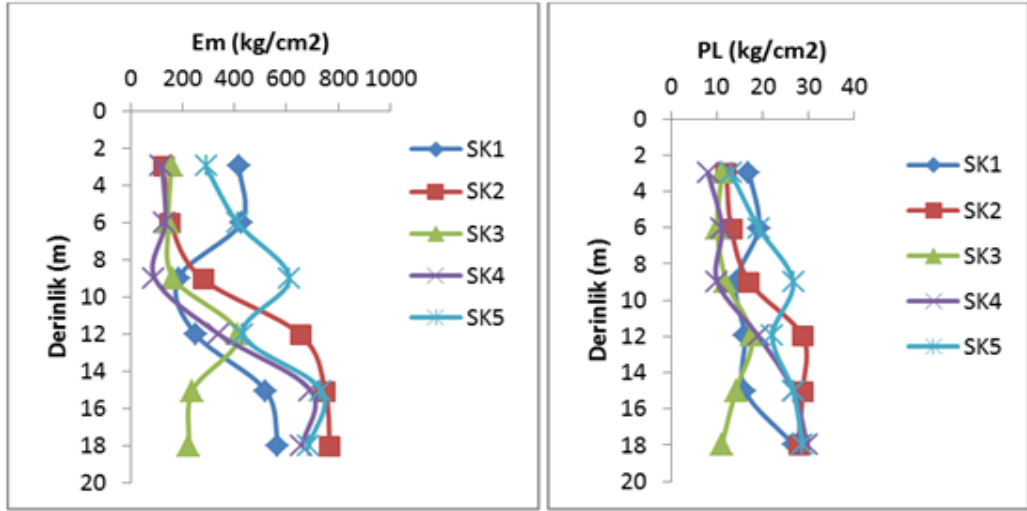
Çizelge 4.8 Presiyometre deney sonuçları (Devam)

Kuyu No	Derinlik (m)	Elastisite Modülü (Em, kg/cm <sup>2</sup> )	Limit Basınç (P <sub>L</sub> , kg/cm <sup>2</sup> )	Net limit Basınç (P <sub>L</sub> <sup>*</sup> , kg/cm <sup>2</sup> )	Yatay İleşel Basınç (P <sub>o</sub> , kg/cm <sup>2</sup> )
SK13	3	116	7,1	6,5	0,6
	6	168	10,1	9,5	0,6
	9	209	11,1	9,3	1,8
	12	751	26,5	22,8	3,7
	15	552	28,7	25,5	3,2
	18	654	28,7	23,7	5
SK14	3	138	9,1	8,1	1
	6	117	8,1	7,5	0,6
	9	171	8,1	7,4	0,7
	12	130	12,1	10,7	1,4
	15	210	15,1	13,5	1,6
	18	645	27,7	25,6	2,1
SK15	3	136	8,1	7,1	1
	6	212	12,1	9,6	2,5
	9	156	10,1	9,3	0,8
	12	131	9,1	7,9	1,2
	15	192	11,1	9,6	1,5
	18	758	27,5	23,8	3,7

Elastisite modülü (Em) ve limit basınç (P<sub>L</sub>) değerleri zemin türüne göre değişmektedir. Çizelge 4.9’da zemin türüne bağlı olarak Em ve P<sub>L</sub> değerleri verilmiştir [40]. Çalışma alanına ait Em ve P<sub>L</sub> değerleri Şekil 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Zemin tipine göre Em ve P<sub>L</sub> ilişkisi [40].

Zemin Tipi	Em (kg/cm <sup>2</sup> )	P <sub>L</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Zemin Tipi	Em (kg/cm <sup>2</sup> )	P <sub>L</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
Yumuşak kil	5-30	0,5-3	Silt	20-100	2-15
Orta katı kil	30-80	3-8	Kum ve çakıl	80-400	12-50
Katı kil	80-400	6-20	Kireçtaşı	800-200000	30-100
Sert kil	50-600	6-40	Yeni Dolgu	5-50	0,5-3
Gevşek siltli kum	5-20	1-5	Eski dolgu	40-150	4-10



Şekil 4.21 Çalışma alanı Em ve PL değerleri

Çalışma alanı yoğun olarak kumlu ve sıkı kilden oluşmaktadır. Em ve  $P_L$  değerleri dikkate alındığında, çoğu noktada kum ve çakıl, sert kil özellikleri gözlenmektedir.

Zemin türüne bağlı olarak Em/ $P_L$  oranı Çizelge 4.10'de verilmiştir [108].

Çizelge 4.10. Zemin türüne bağlı olarak Em/ $P_L$  değerleri [108].

Zemin türü	Em/ $P_L$			
	Kil	Silt	Kum	Kum-Çakıl
Aşırı konsolide	> 16	> 14	> 12	> 10
Normal konsolide	9-16	8-14	7-12	6-10
Ayrılmış ve/veya yoğrulmuş	7-9	5-8	5-7	-

Çalışma alanına ait Em/ $P_L$  değerleri 9,3 - 41,7 arasında değişmektedir. Yoğun olarak kumlu birimlerden oluşan çalışma alanında bu değerler, aşırı konsolide kumu ifade etmektedir. PMT deney sonuçları taşıma gücü hesaplamalarında kullanılmıştır.

### c) Jeofizik deney sonuçları

Zemin özelliklerini dinamik koşullarda belirleyen jeofizik çalışmalarını yeraltı jeolojisinin ortaya konulması çalışmalarında oldukça sık kullanılan bir yöntemdir. Arazi çalışmaları kapsamında çalışma alanının yeraltı jeolojisinin ortaya konulabilmesi amacıyla jeofizik çalışmalar kapsamında sismik kırılma ve sismik tomografi çalışmaları ve düşey elektrik sondaj çalışmaları yapılmıştır.

#### i. Sismik kırılma ve sismik tomografi çalışma bulguları

Mühendislik çalışmalarında  $V_p$  ve  $V_s$  dalgalarının doğrudan ölçülmesi poisson oranı ( $\nu$ ) ve elastik modülünün (Em) belirlenmesi, yerin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi açısından önemlidir [109].

Çalışma alanında 32 noktada yapılan sismik kırılma ve sismik tomografi sonuçları P dalga hızında düz ve ters olarak ölçülmüş ve Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11 V<sub>p</sub> düz ve V<sub>p</sub> ters dalga hızları

SİS	V <sub>p</sub> DÜZ (m/s)			V <sub>p</sub> TERS (m/s)		
	1.TABAKA	2.TABAKA	3.TABAKA	1.TABAKA	2.TABAKA	3.TABAKA
SİS1	430	728	1060	438	732	1066
SİS2	401	742	1100	407	748	1105
SİS3	363	716	1021	372	729	1027
SİS4	400	901	1209	411	918	1214
SİS5	466	915	1189	472	925	1204
SİS6	389	830	1129	402	851	1142
SİS7	420	761	1093	423	772	1099
SİS8	398	810	1012	396	816	1022
SİS9	374	756	1130	399	768	1135
SİS10	351	763	1070	374	801	1088
SİS11	377	730	1060	393	767	1089
SİS12	380	784	1108	403	812	1123
SİS13	405	762	1002	423	784	1022
SİS14	381	836	1130	393	845	1139
SİS15	463	832	1201	483	851	1214
SİS16	359	820	1162	379	833	1178
SİS17	394	801	1108	406	816	1120
SİS18	373	813	1096	397	828	1109
SİS19	361	721	990	371	729	1002
SİS20	336	740	978	344	748	989
SİS21	328	700	982	338	712	991
SİS22	396	702	1000	413	719	1011
Sİ23	333	715	1010	355	730	1022
Sİ24	301	702	1081	330	718	1097

Çizelge 4.11 V<sub>p</sub> düz ve V<sub>p</sub> ters dalga hızları (Devam)

SİS	V <sub>p</sub> DÜZ (m/s)			V <sub>p</sub> TERS (m/s)		
	1.TABAKA	2.TABAKA	3.TABAKA	1.TABAKA	2.TABAKA	3.TABAKA
SİS25	372	717	958	393	728	978
SİS26	348	740	1011	362	754	1028
SİS27	321	704	990	327	711	1003
SİS28	286	717	1002	402	737	1028
SİS29	348	723	1093	363	741	1017
SİS30	397	873	1100	429	923	1118
SİS31	419	853	1090	442	901	1117

Çalışma alanında yapılan sismik çalışmalar sonucunda oluşturulan Çizelge 4.11 incelendiğinde V<sub>p</sub> hızlarına göre; üç tabakalı ortam tespit edilmiştir. 1. tabaka 286-483 m/s, 2. tabaka 702-925 m/s ve 3. tabaka 958-1214 m/s arasında değerler almaktadır.

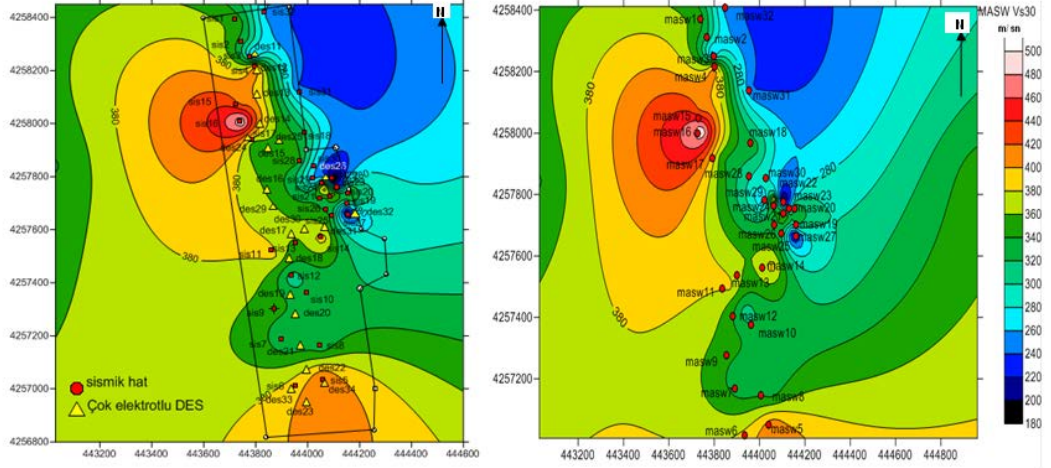
#### ii. Masw yüzey dalgası analizi yöntemi çalışma bulguları

Çalışma alanında 32 noktada alınan ölçümlerde ilk 30 m kalınlık için ortalama V<sub>s</sub> değerlerini ifade eden V<sub>s30</sub> dalga hız değerleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Çalışma alanı Masw yüzey analiz yöntemi sonuçları

Çalışma Hattı	$V_{s30}$ (m/s)	Çalışma Hattı	$V_{s30}$ (m/s)
Masw 1	352	Masw 17	344
Masw 2	324	Masw 18	329
Masw 3	250	Masw 19	321
Masw 4	414	Masw 20	331
Masw 5	421	Masw 21	375
Masw 6	392	Masw 22	180
Masw 7	319	Masw 23	235
Masw 8	330	Masw 24	409
Masw 9	350	Masw 25	338
Masw 10	328	Masw 26	326
Masw 11	385	Masw 27	195
Masw 12	307	Masw 28	352
Masw 13	351	Masw 29	252
Masw 14	391	Masw 30	338
Masw 15	409	Masw 31	246
Masw 16	501	Masw 32	249

Tüm sahada elde edilen  $V_{s30}$  değerlerinin alansal dağılımlarının Şekil 4.22’de verilmiştir. Şekil 4.22 incelendiğinde  $V_{s30}$  değerleri 180-501 m/s arasında kalmıştır. Renklendirme hızın sahaya göre düşük olduğu yerlerde mavi yüksek olduğu yerlerde kırmızı olarak yapılmıştır.



Şekil 4.22 Çalışma alanına ait sismik ölçümlerin doğrultu ve sonuçları

$V_{s30}$  ölçüm sonuçları NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) verilerine göre sınıflandırılmıştır. Çizelge 4.13’de  $V_{s30}$  değerlerine göre zemin sınıflaması yer almaktadır [110]. Bu sınıflamaya göre sahanın güney ve kuzey batıda kalan kısmı C zemin sınıfı ( $V_{s30} > 200$  m/s ) kuzey ve güneydoğuda kalan kısmı D sınıfına ( $V_{s30} < 200$  m/s ) girmektedir.

Çizelge 4.13  $V_{s30}$  değerlerine göre zemin sınıfı [110]

Zemin Sınıfı	$V_{s30}$ (m/s)
A	> 1500
B	750-1500
C	360-760
D	180-360
E	< 180

Alınan ölçüm sonuçları, Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 2007’de yayınlanan ve Çizelge 4.14’de verilen zeminlerin sismik sınıflaması ve Çizelge 4.15’de verilen zemin türü sınıflamasına göre de değerlendirilmiştir [111].

Çizelge 4.14 Deprem yönetmeliğine göre zeminlerin sismik sınıflaması [111]

Zemin Sınıfı	Vs (m/s)	Ta- Tb	Vp/Vs	G (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	q (kg/cm <sup>2</sup> )
Z1 Çok sıkı zemin	> 700	0,1-0,30	1,5-2,0	> 10000	> 30000	10-100
Z2 Sıkı- katı	400-700	0,15-0,40	2,0-2,5	3000-10000	10000-30000	3-10
Z3 Orta sıkı - Bozuşmuş	200-400	0,15-0,60	2,5-3,0	600-3000	1700-10000	1-3
Z4 Gevşek- Yumuşak	< 200	0,20-0,90	3,0-10,0	< 600	< 1700	< 1

Çizelge 4.15 2007 Deprem yönetmeliğine göre zemin türünün sınıflaması [111]

Toprak Türü	Tanım	SPT-N	Relatif Sıklık (% Dr)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma dalga hızı (Vs, m/s)
A	1. Kütleli püskürük ve ayrılmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar 2. Sıkı kum, çakıl 3. Çok katı kil, sert kil	> 50	85-100	> 1000 > 400	> 1000 > 700 > 700
B	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek püskürük kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrılmış çimentolu tortul kayalar 2. Sıkı kum, çakıl 3. Çok katı kil, siltli kil	30-50 16-32	65-85	500-1000 200-400	700-1000 400-700 300-700
C	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan ayrılmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar 2. Orta sıkı kum, çakıl 3. Katı kil, siltli kil	10-30 8-16	35-65	< 500 200-400	400-700 200-400 200-300
D	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğuyumuşak, kalın alüvyon tabakaları 2. Gevşek kum 3. Yumuşak kil, siltli kum	0-10 0-8	< 35	< 100	< 200 < 200 < 200

Çizelge 4.14'e göre çalışma alanında elde edilen ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde Z3 ve Z4 zemin sınıfı ve Çizelge 4.15'e göre değerlendirildiğinde ise; sahanın güney ve kuzey batıda kalan kısmı orta sıkı kum, çakıl zeminleri içeren C zemin sınıfı zemini temsil etmektedir. Arazi kuzey ve güneydoğusunda kalan kısmı yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakasını yani D sınıfı zemini ifade etmektedir. Bu tip zeminler yerleşim açısından oldukça zayıftır. Bu verilerin hidrojeolojik çalışmalar, araştırma çukur çalışmaları ve araştırma sondaj çalışmaları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

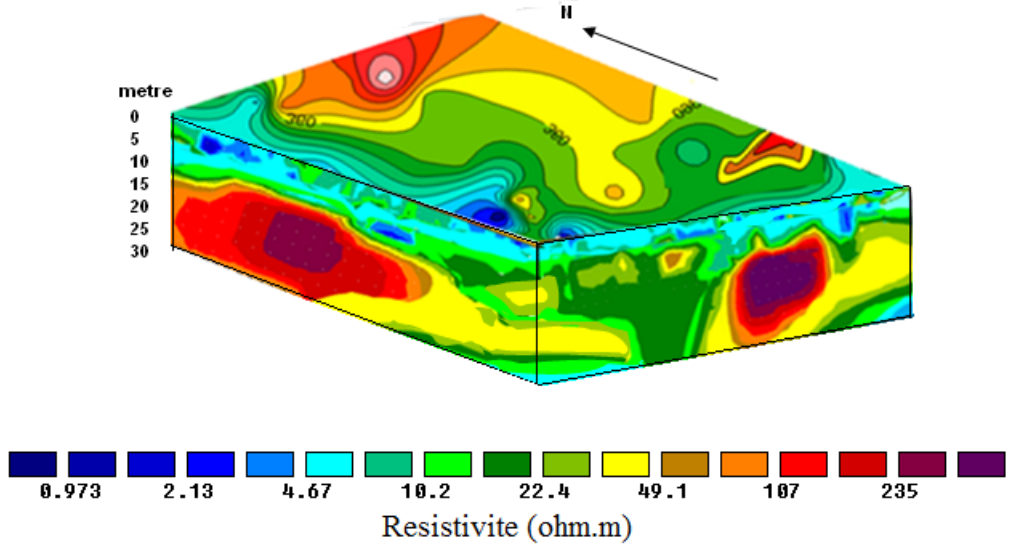
Çalışma alanında derinliğe bağlı olarak ölçülen Vs dalga hızları zemin sıvılaşıma hesaplamalarında kullanılmıştır. Vs dalga hızlarının derinlikle değişimi EK 'de verilmiştir.

### **iii. Düşey elektrik sondajı (DES) çalışma bulguları**

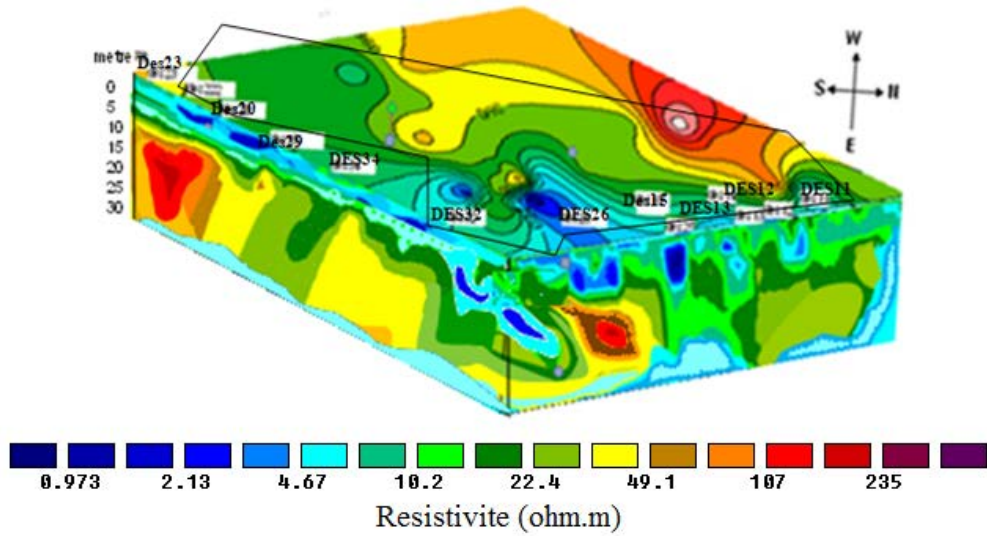
DES yöntemi, yüzeyde yapılan ölçümlerle yeraltındaki jeolojik yapıların elektriksel iletkenlik farklarının belirlenerek ayırt edilmesi ilkesine dayanır. Özdirenci kontrol eden en önemli özellik gözeneklilik olup, genellikle gözeneklilik arttıkça özdirenç de artar. DES yönteminin uygulamasında, akım ve potansiyel elektrotlar olmak üzere iki tip elektrot kullanılmaktadır. Elektrotların birçok dizilim şekline en çok kullanılanlardan biri elektrotlar arası mesafenin sabit tutulduğu Wenner Dizilimi, diğeri ise potansiyel elektrotlar arası mesafenin sabit kaldığı ve sadece akım elektrotlarının merkezden hareket ettiği Schulumberger Dizilimidir. Wenner Dizilimi'nde 4 elektrot birden hareket ettirilirken, Schulumberger Dizilimi'nde potansiyel elektrotlar sabit kalır ve akım elektrotları merkeze göre simetrik açılırlar [109]. DES yönteminde yaygın olarak çift elektrot kullanılırken, son yıllarda çok elektrotlu cihazlar da kullanılmaktadır.

Çalışma alanında Schulumberger Dizilimi ile 22 ayrı noktada çok elektrotlu DES ölçümü yapılarak temel zeminini oluşturan birimlerin derinlikleri ve elektrik özellikleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Birimlerin özdirenç değerlerinin geçirimsizlik özelliklerine göre yer elektrik yapısı oluşturulmaya çalışılmış ve yeraltı yapısı üç boyutlu olarak modellenmiştir. Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de ölçüm yapılan noktalar ve DES sonuçlarına göre yeraltı yapısı verilmiştir.

Her noktada alınan ölçüm değerleri ise EK-4’de yer almaktadır. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde RES2D-RES3D programı kullanılmıştır.



Şekil 4.23 Çalışma alanı DES sonuçlarına göre KD-GB yönlü yeraltı yapısının 3 boyutlu görünümü



Şekil 4.24 Çalışma alanı DES sonuçlarına göre B-D yönlü yeraltı yapısının 3 boyutlu görünümü

Çalışma alanında yapılan DES ve sismik çalışmalar sonucunda 0-100m arası tabakalara ait öz direnç ve sismik veriler, Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16 Çalışma alanı 0-100m arası zemin yapısı ve jeofizik verileri

Tabaka	Zemin yapısı	Kalınlık (m)	Derinlik (m)	Özdirenç (Ohm-m)	Sizmik Hız (m/s)	
					V <sub>p</sub>	V <sub>s</sub>
1	Çakıl-kum-silt ara katkılı kil	1,33	1,33	34,1	325	104
2	Silt ara katkılı kum	3,45	5	14	709	195
3	Kum ara katkılı çakıl	25,3	30	50,7	993	480
4	Silt ara katkılı kum	70,3	100	16,2		
5	Marn	100	140	11,3		

Çalışma alanında yapılan jeofizik ölçümler sonucunda 0-30m arası tabakalara ait elde edilen parametreler Çizelge 4.17’de verilmiştir. Çizelge 4.17’ye göre; poisson oranı ( $\nu$ ) 0,35-0,44 arasında değişmektedir. Poisson oranı kayacın gözenekliliğini, çimentolaşma derecesini ve gözeneklerin dolu olup olmadığını yansıtan elastik bir parametredir. 0,3-0,4 arası değerler gevşek, yumuşak zemin tabakalarının varlığını, 0,4-0,5 arası değerler gözenekli suya doygun zemin tabakalarının varlığını ifade etmektedir [110]. Çalışma alanı genelinde 5-30m derinliklerde bu değer 0,35 olarak belirlenmiş ve gevşek, yumuşak zemin özelliğini ifade etmektedir.

Çizelge 4.17 Çalışma alanı 0-30m arası jeofizik ölçüm sonuçları

Özellik	Simge	Birim	1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka
P (Sıkışma) Dalga Hızları	V <sub>p</sub>	m/s	325	709	993
S (Kayma) Dalga Hızları.	V <sub>s</sub>	m/s	104	195	480
Tabaka Kalınlıkları	h	m	1,33	3,45	25,3
Özdirenç Değerleri	ρ	ohm-m	34,1	14	50,7
30 m için ortalama S dalga hızı	V <sub>s30</sub>	m/s	195		
Boyuna ve Enine Dalga Hız Oranı	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>		3,13	3,64	2,07
Poisson Oranı	ν	-	0,44	0,46	0,35
Elastisite Modülü	E	kg/cm <sup>2</sup>	410,8	1775,0	10805,8
Hakim Titreşim Periyodu	T <sub>0</sub>	s	0,59		
Zemin Büyütmesi	Z <sub>B</sub>	Göreceli	1,49		
Yerin Sınıfı ve Yerel Yer Gurubu			Z4-D4	Z4-D4	Z3-C3
Spektral Periyotlar (T <sub>a</sub> , T <sub>b</sub> )			20-90	20-90	15-60
Taşıma Gücü		kg/cm <sup>2</sup>	1,37	3,12	4,04
Zeminde Oturma		cm	5,00	2,64	1,16

#### 4.4.2. Laboratuvar çalışma bulguları

Laboratuvar çalışmaları zeminin ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla Hekimhan Mehmet Emin Sungur Meslek Yüksekokulu Geoteknik Laboratuvarı'nda ve İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

#### 4.4.2.1. Fiziksel deneyler

##### a. Su içeriği

Su içeriği deneyi TS 1900-1'e göre yapılmıştır. Deney sonuçları EK-2'de verilmiştir [67]. Çalışma alanı dahilinde açılan sondaj kuyularından ve araştırma çukurlarından alınan numuneler üzerinde yapılan su içeriği deney sonuçları büyük çoğunlukla %20'nin üzerinde çıkmıştır.

##### b. Elek analizi

TS 1900-1'e göre yapılan elek analiz sonuçları incelendiğinde numunelerin büyük çoğunluğunun kum boyu tanelerden oluştuğu tespit edilmiştir. Elek analiz deneyi sonuçları EK-6'da verilmiştir [67].

##### c. Hidrometre

Araştırma çukurlarından alınan numuneler üzerinde, Hidrometre deneyi "American Society of Testing Materials (ASTM) D 422-63 (2003) standardına göre yapılmıştır [70]. Hidrometre deney sonuçları EK-6'da verilmiştir.

##### d. Kıvam limitleri

TS 1900-1'e göre yapılan kıvam limitleri deney sonuçları EK-12'de verilmiştir. İnce taneli zeminlerin su içerikleri değerleri onların dayanımları hakkında bilgi vermektedir. Bu amaçla oluşturulan likitlik indeksi ( $I_L$ ) veya relatif konsistans ( $I_c$ ) gibi katsayılar zeminlerin kıvamları hakkında bilgi verilebilmektedir. Likitlik indeksi ( $I_L$ ) için Eşitlik 4.2, relatif konsistans ( $I_c$ ) için Eşitlik 4.3 kullanılarak hesaplanan değerler Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19 ile karşılaştırılabilir [15, 27].

$$I_L = \frac{w-PL}{LL-PL} \quad (4.2)$$

$$I_c = \frac{LL-w}{LL-PL} \quad (4.3)$$

$I_L$  : Likitlik indeksi

- w : Su içeriği
- PL : Plastisik limit
- LL : Likit limit
- I<sub>c</sub> : Relatif konsistans

Çizelge 4.18 İnce taneli zeminlerin şişme potansiyeli sınıflaması [15, 27]

Likit Limit (LL)	Plastisite İndeksi (I <sub>p</sub> )	Şişme Potansiyeli
< 50	< 25	Düşük
50-60	25-35	Orta
> 60	> 35	Yüksek

Çizelge 4.19 İnce taneli zeminlerin kıvamı [15, 27]

Zemin Kıvamı	Likitlik İndeksi (I <sub>L</sub> )	Relatif Konsistans (I <sub>c</sub> )
Viskoz Sıvı	I <sub>L</sub> > 1	I <sub>c</sub> < 0
Plastik	0 < I <sub>L</sub> < 1	0 < I <sub>c</sub> < 1
Katı	I <sub>L</sub> < 0	I <sub>c</sub> > 1

Çalışma alanında açılan sondaj kuyularından alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan kıvam limitleri değerleri kullanılarak çalışma alanında yer alan birimlerin şişme potansiyeli ve kıvamları değerlendirilerek Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20 Çalışma alanı ince taneli zeminlerin kıvamları ve şişme potansiyelleri

Derinlik (m)	SK-1		SK-2		SK-3		SK-4		SK-5	
	Şişme Potansiyeli	Zemin Kıvamı	Şişme Potansiyeli	Zemin Kıvamı	Şişme Potansiyeli	Zemin Kıvamı	Şişme Potansiyeli	Zemin Kıvamı	Şişme Potansiyeli	Zemin Kıvamı
1,5	Düşük	Katı	-	Katı	Orta	Plastik	NP	NP	Düşük	Plastik
4,5	Düşük	Katı	Düşük	Plastik	Düşük	Katı	NP	NP	-	-
7,5	Düşük	Katı	Düşük	Plastik	Düşük	Plastik	Düşük	Plastik	Düşük	Katı
10,5	Düşük	Plastik	Düşük	Katı	NP	-	NP	NP	-	-
13,5	Düşük	Katı	Düşük	Viskoz Sıvı	Düşük	Katı	Yüksek	Katı	NP	NP
16,5	-	-	-	-	-	Plastik	Orta	Katı	Düşük	Plastik
19,5	-	-	-	-	Yüksek	Plastik	Düşük	Plastik	-	Plastik

Çizelge 4.20 Çalışma alanı ince taneli zeminlerin kıvamları ve şişme potansiyelleri (Devam)

Derinlik (m)	SK-6		SK-7		SK-8		SK-9		SK-10	
	Şişme Potansiyeli	Zemin Kıvamı	Şişme Potansiyeli	Zemin Kıvamı	Şişme Potansiyeli	Zemin Kıvamı	Şişme Potansiyeli	Zemin Kıvamı	Şişme Potansiyeli	Zemin Kıvamı
1,5	Düşük	Plastik	Düşük	Katı	Düşük	Plastik	Orta	Plastik	Orta	Plastik
4,5	Düşük	Katı	NP	NP	Düşük	Plastik	Düşük	Plastik	Düşük	Katı
7,5	Düşük	Plastik	NP	NP	Düşük	Plastik	Düşük	Plastik	Düşük	Plastik
10,5	-	Plastik	Düşük	Katı	Orta	Katı	Düşük	Katı	Düşük	Katı
13,5	-	Plastik	Düşük	Plastik	NP	NP	Düşük	Katı	Yüksek	Plastik
16,5	Düşük	Katı	Düşük	Plastik	NP	NP	NP	NP	Düşük	Katı
19,5	Düşük	Plastik	Düşük	Plastik	Düşük	Katı	Düşük	Katı	Orta	Plastik

Çizelge 4.20 Çalışma alanı ince taneli zeminlerin kıvamları ve şişme potansiyelleri (Devam)

Derinlik (m)	SK-11		SK-12		SK-13		SK-14		SK-15	
	Şişme Potansiyeli	Zemin Kıvamı	Şişme Potansiyeli	Zemin Kıvamı	Şişme Potansiyeli	Zemin Kıvamı	Şişme Potansiyeli	Zemin Kıvamı	Şişme Potansiyeli	Zemin Kıvamı
1,5	Düşük	Katı	Düşük	Katı	Orta	Katı	Orta	Plastik	-	Plastik
4,5	Düşük	Plastik	Yüksek	Katı	Düşük	Plastik	Yüksek	Katı	Düşük	Plastik
7,5	-	-	Yüksek	Plastik	Orta	Plastik	Yüksek	Plastik	NP	NP
10,5	Np	NP	Düşük	Plastik	Düşük	Plastik	Düşük	Plastik	Düşük	Plastik
13,5	Yüksek	Katı	Düşük	Plastik	NP	NP	-	-	Düşük	Plastik
16,5	-	-	Düşük	Katı	NP	NP	-	-	-	-
19,5	-	-	NP	NP	NP	NP	Orta	Plastik	-	-

Kıvam limitleri deney sonuçları incelendiğinde; ince taneli numunelerin çoğunlukla düşük şişme potansiyeline ve plastik kıvama sahip oldukları belirlenmiştir.

#### **e. Birim hacim ağırlık**

Hesaplanan kuru ve doğal birim hacim ağırlık değerleri Eşitlik 2.9, Eşitlik 2.10 ve Eşitlik 2.111 kullanılarak hesaplanmış ve EK-2’de verilmiştir.

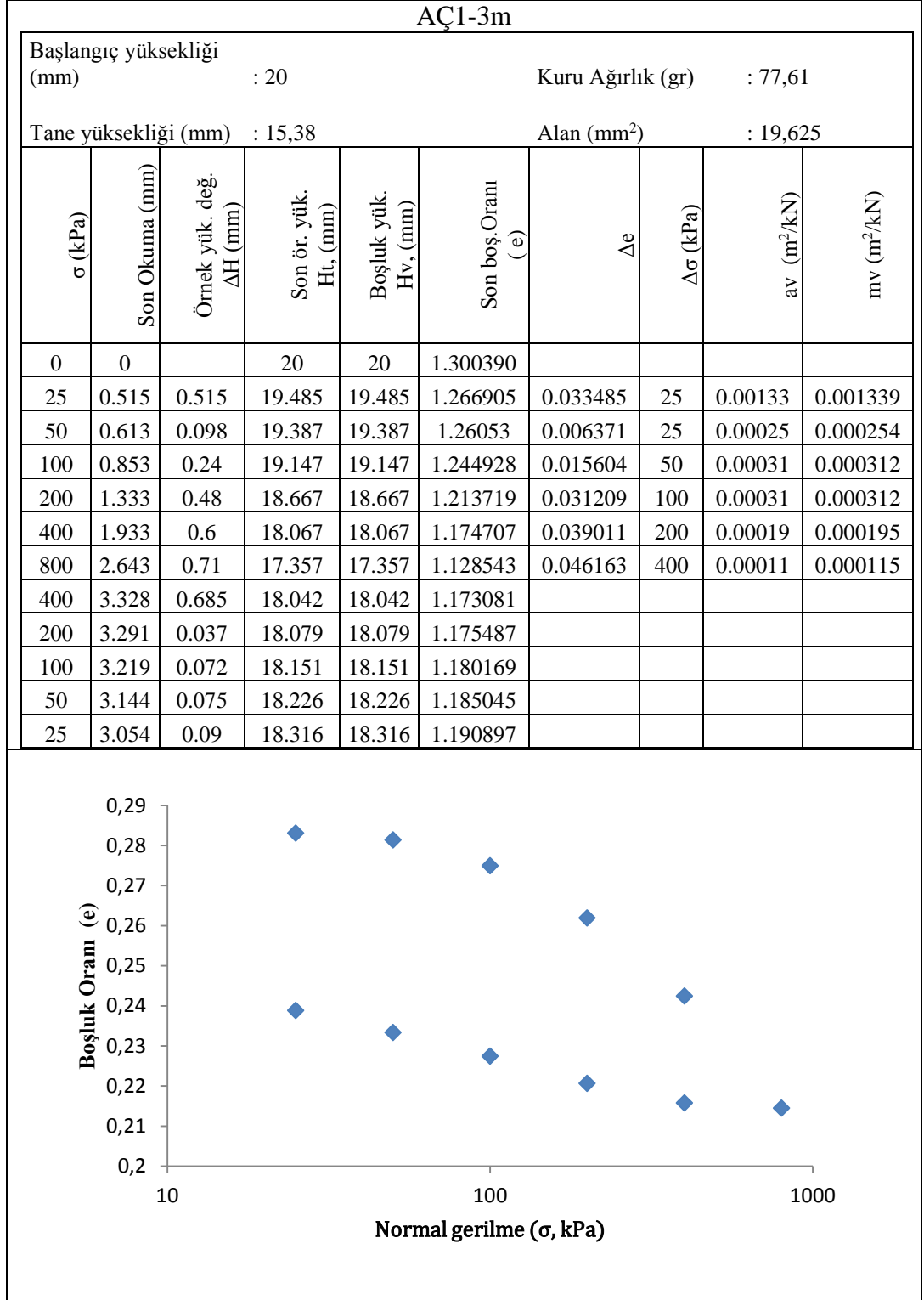
#### **f. Özgül ağırlık**

Özgül ağırlık deneyi American Society of Testing Materials ASTM D 854-10 (2010) standardına göre yapılmıştır [72]. Eşitlik 2.12’e göre hesaplanan özgül ağırlık deney sonuçları EK-2’de verilmiştir. Çalışma alanı özgül ağırlık değerleri 2,54’ün üzerinde çıkmıştır.

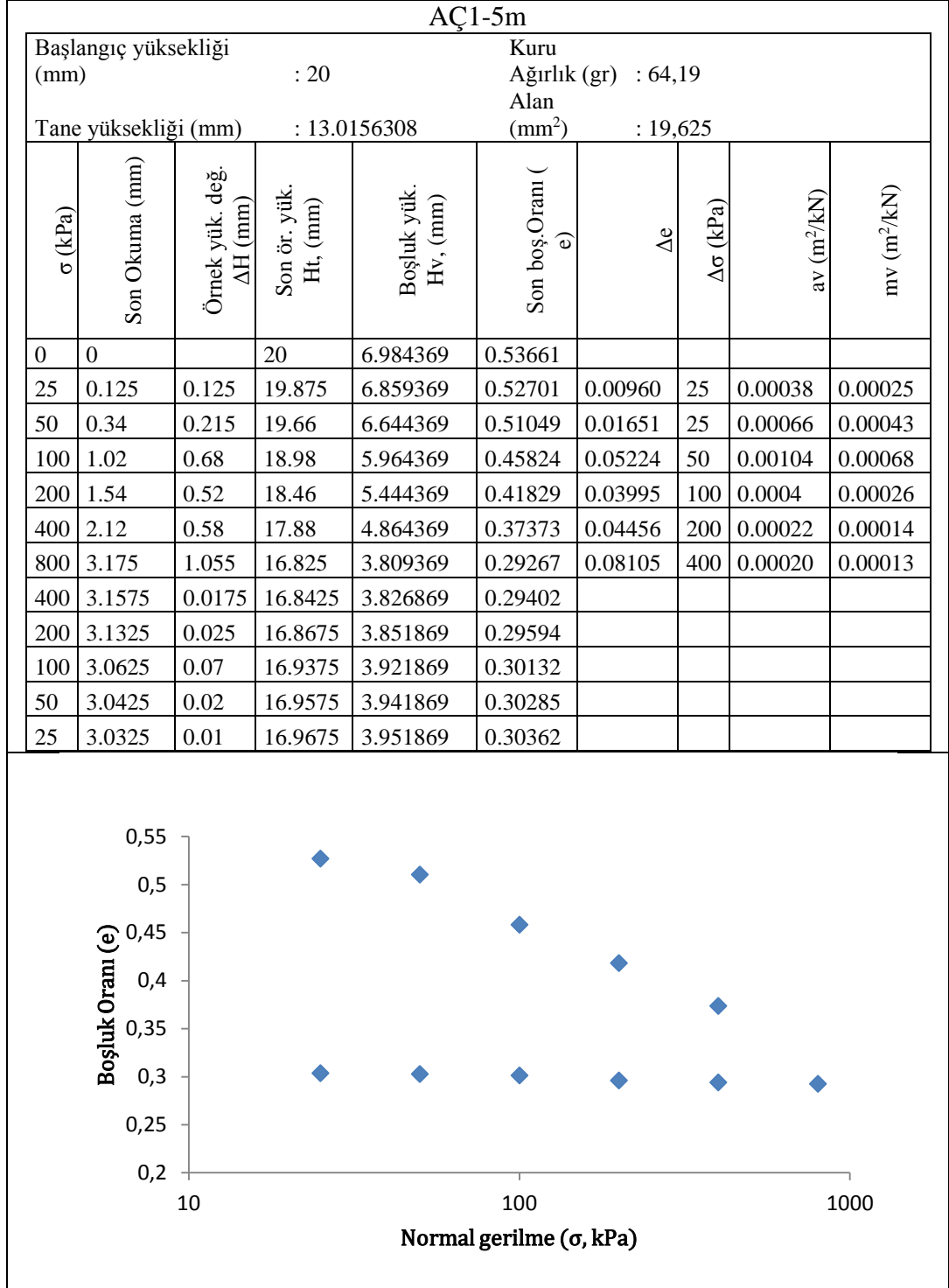
### **4.4.2.2. Mekanik deneyler**

#### **a. Konsolidasyon deneyi**

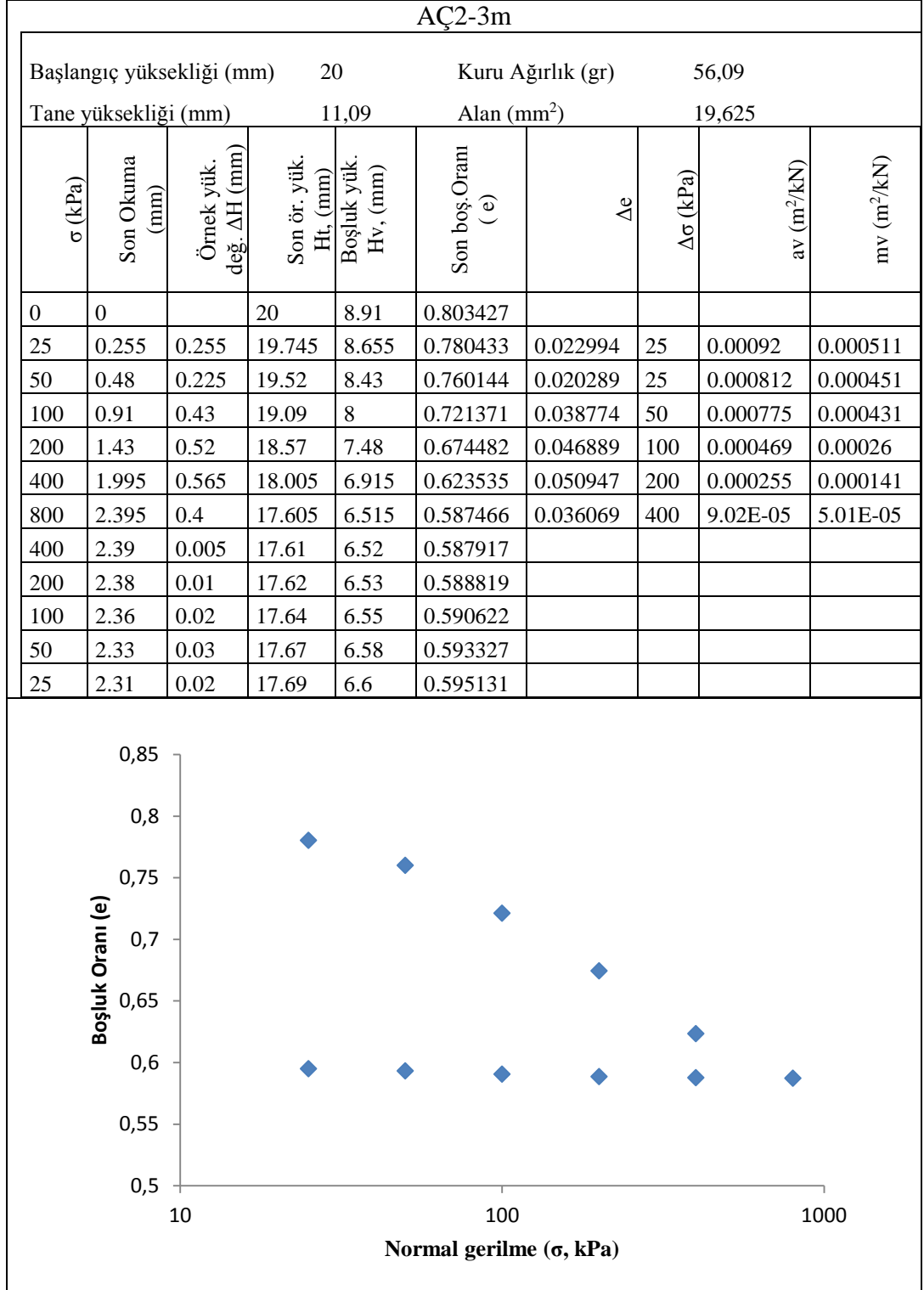
Konsolidasyon deneyi; TS 1900-2’de belirtildiği şekli ile tek yönlü konsolidasyon özelliklerinin tayini yöntemi kullanılarak yapılmıştır [73]. Deney sonuçları kullanılarak oluşturulan  $e-\sigma_0$  grafikleri Şekil 4.25 ve Şekil 4.36 arasında verilmiştir. Konsolidasyon deney sonuçları ise EK-15’de verilmiştir.



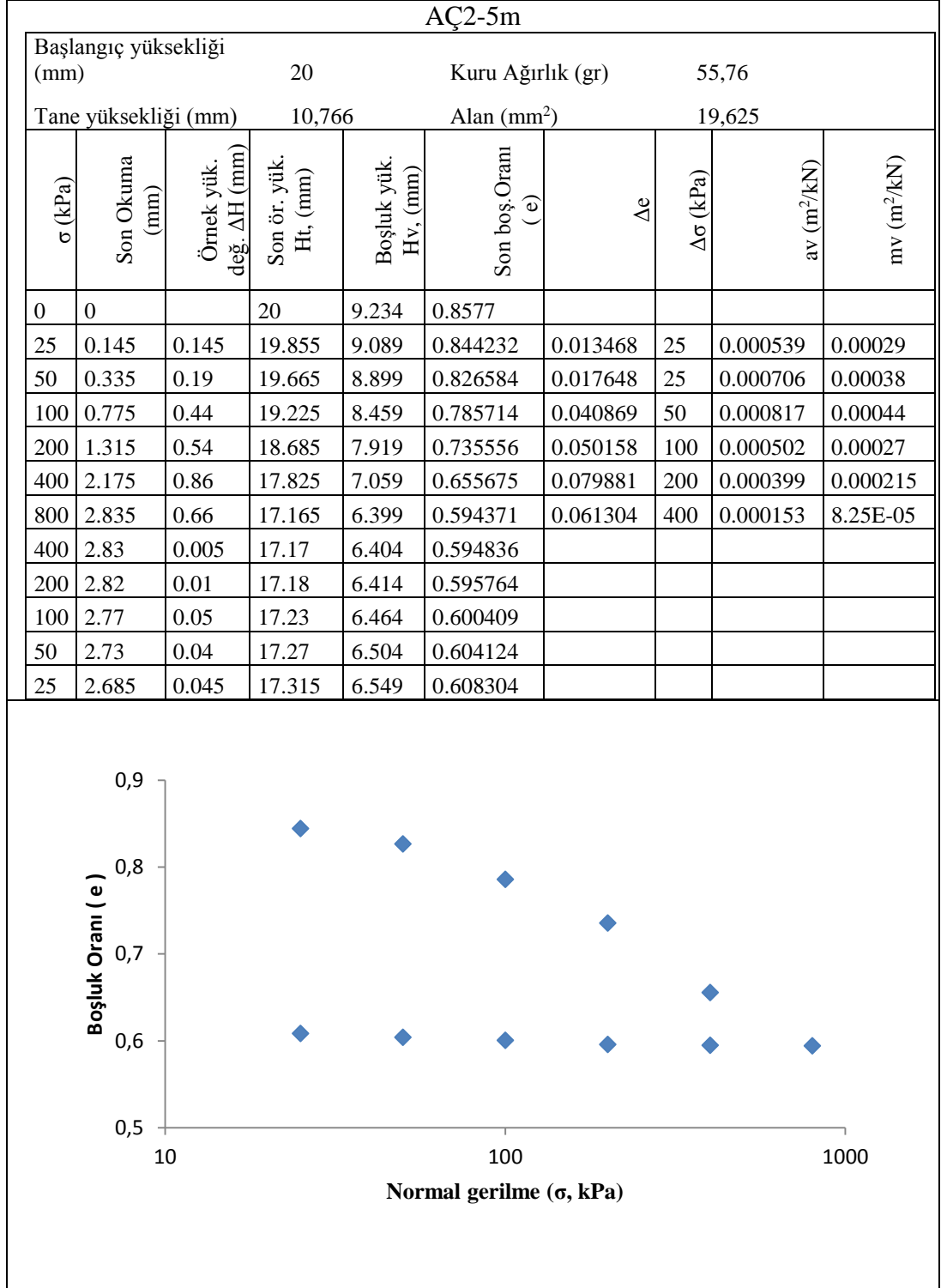
Şekil 4.25 Konsolidasyon deneyi AÇ1-3m e- $\sigma$  grafiği



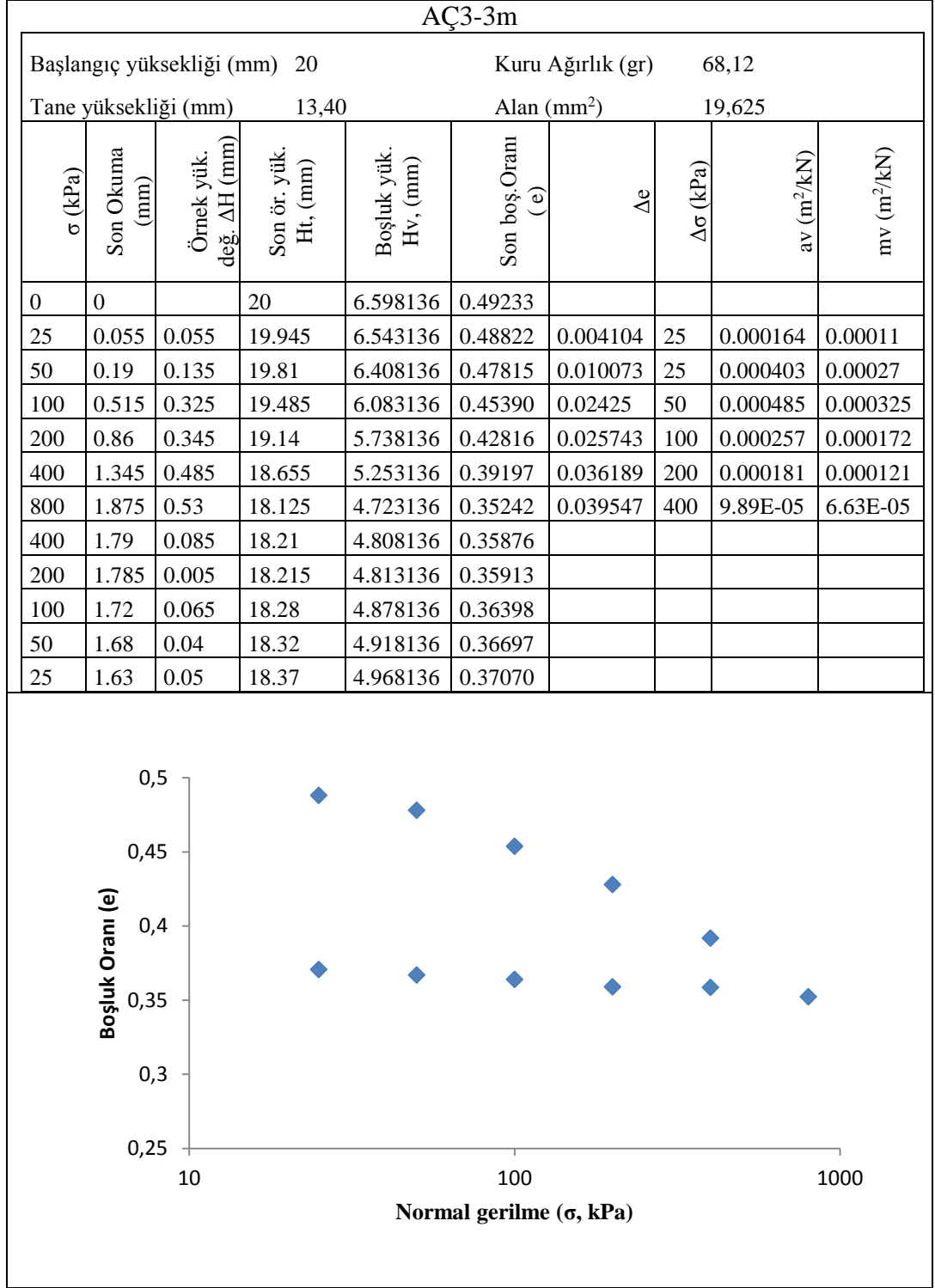
Şekil 4.26 Konsolidasyon deneyi AÇ1-5m e- $\sigma$  Grafiği



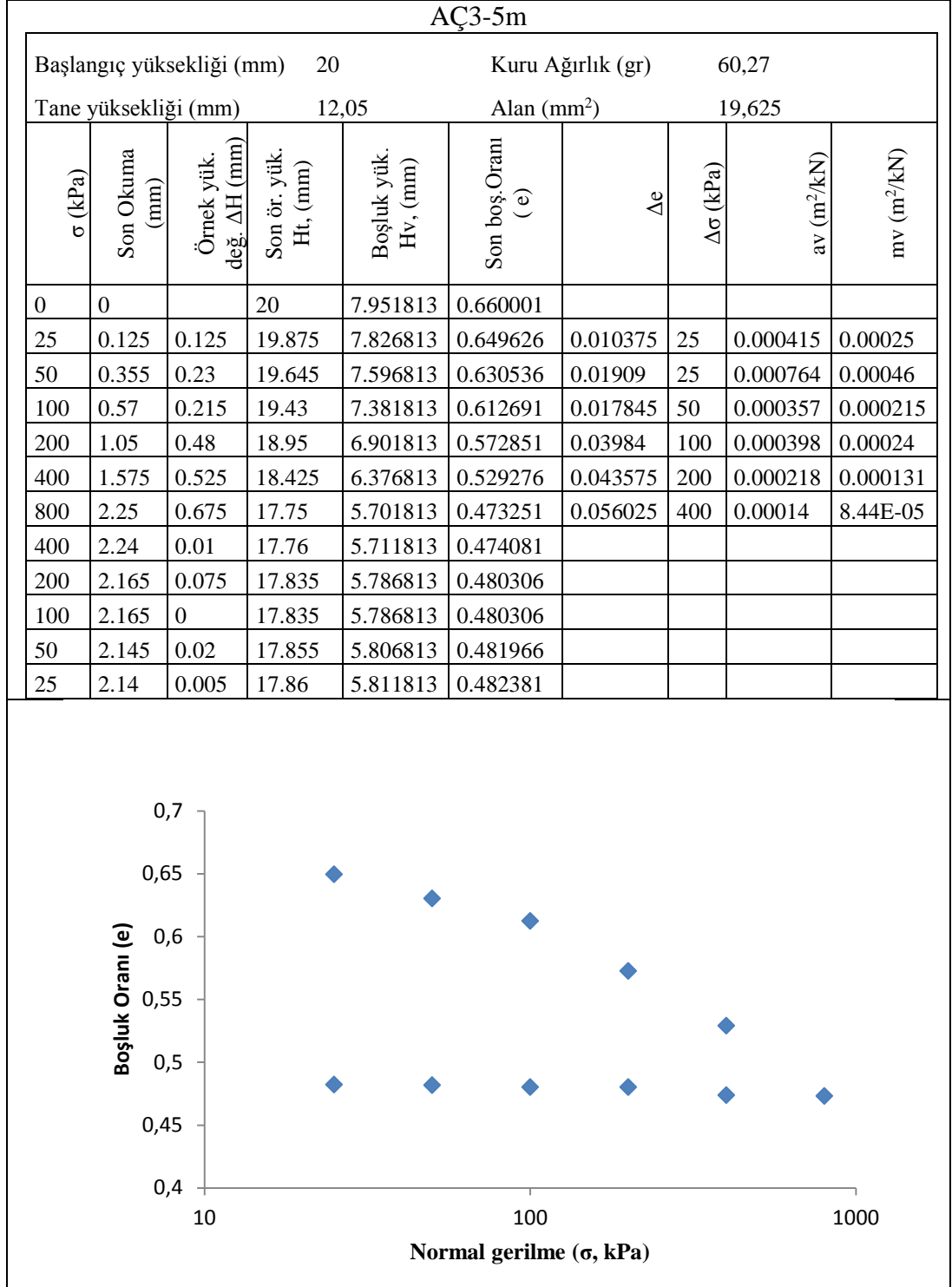
Şekil 4.27 Konsolidasyon deneyi AÇ2-3m e- $\sigma$  Grafiği



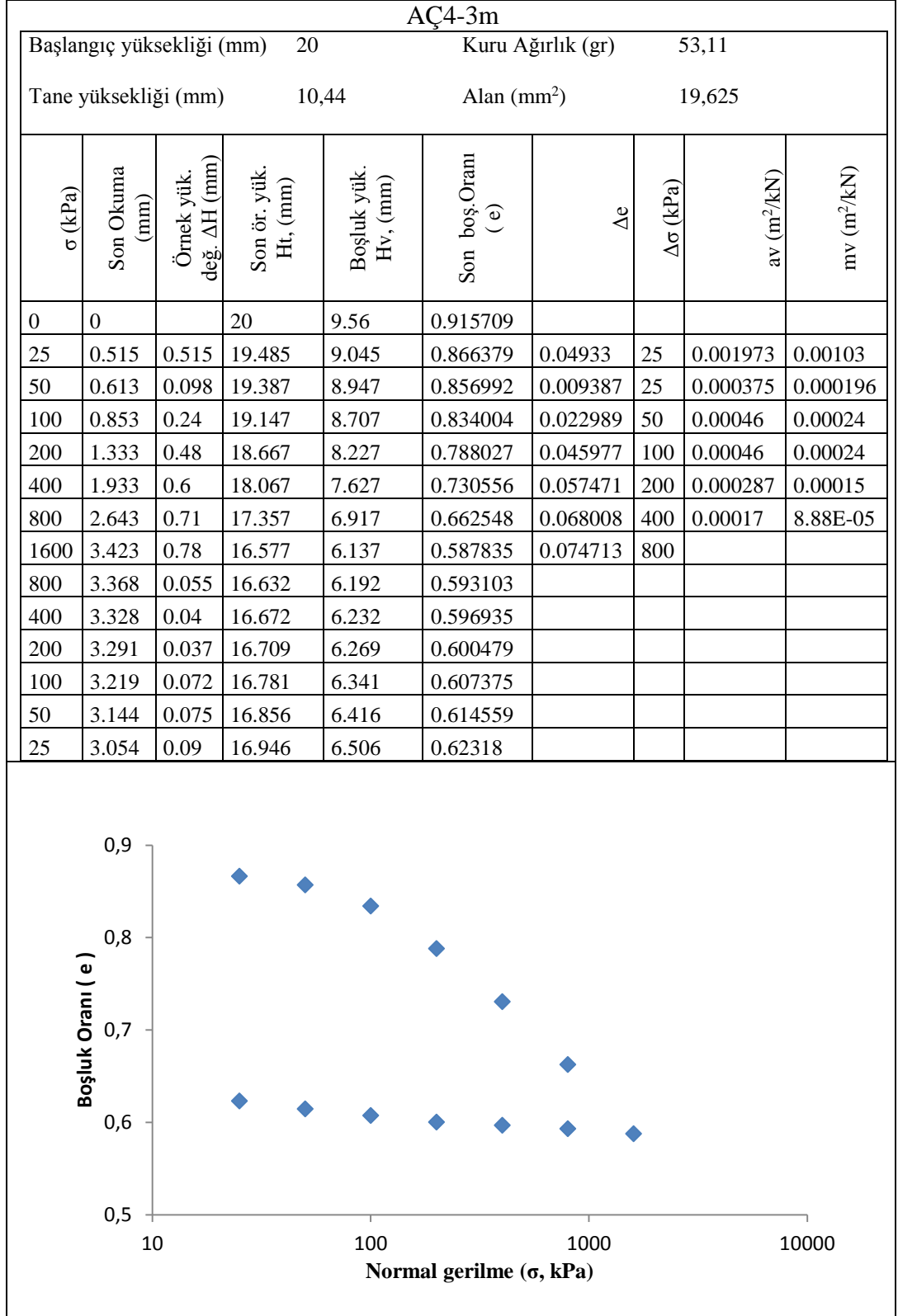
Şekil 4.28. Konsolidasyon deneyi AÇ2-5m e- $\sigma$  Grafiği



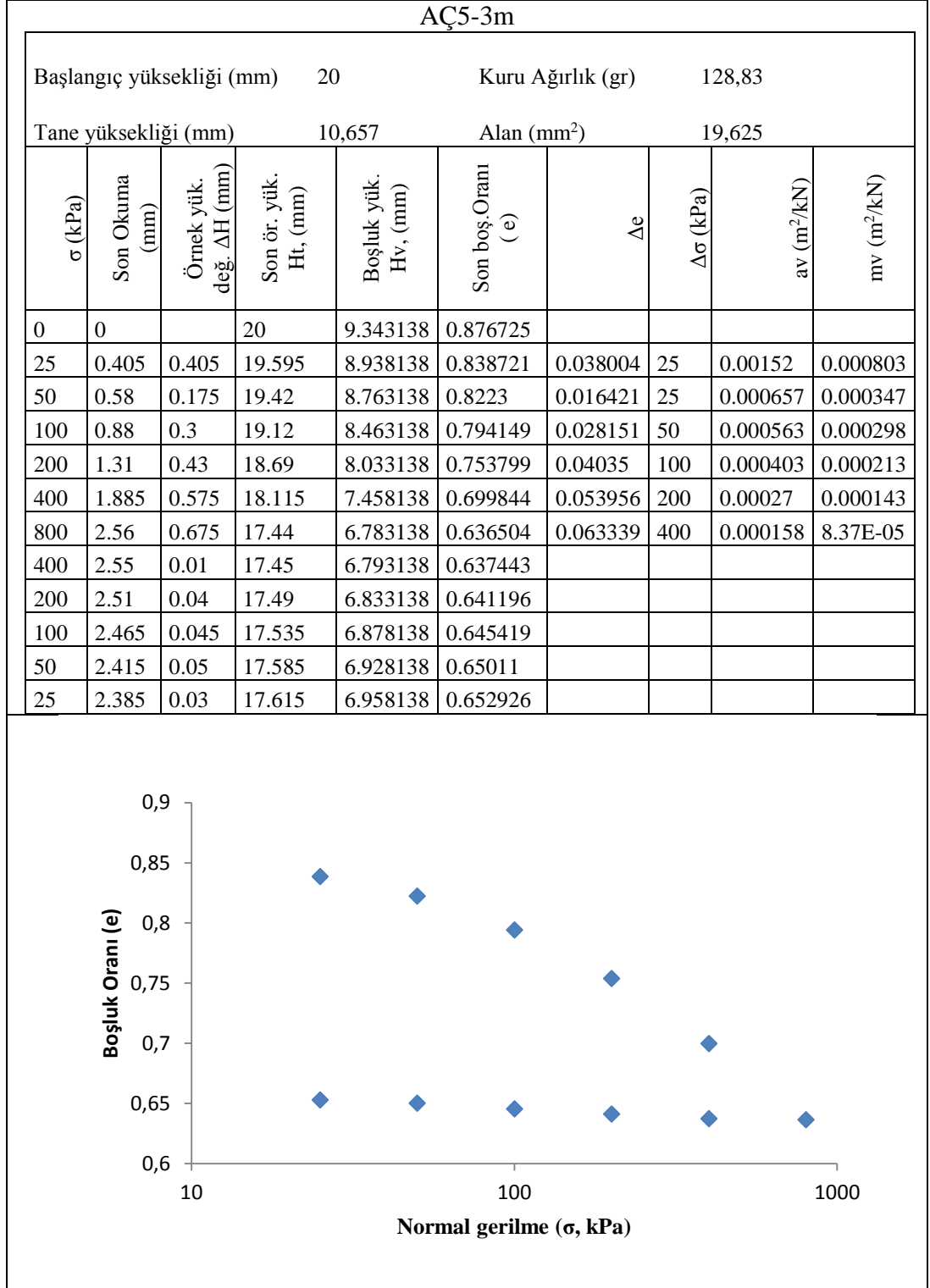
Şekil 4.29 Konsolidasyon deneyi AÇ3-3m e- $\sigma$  Grafiği



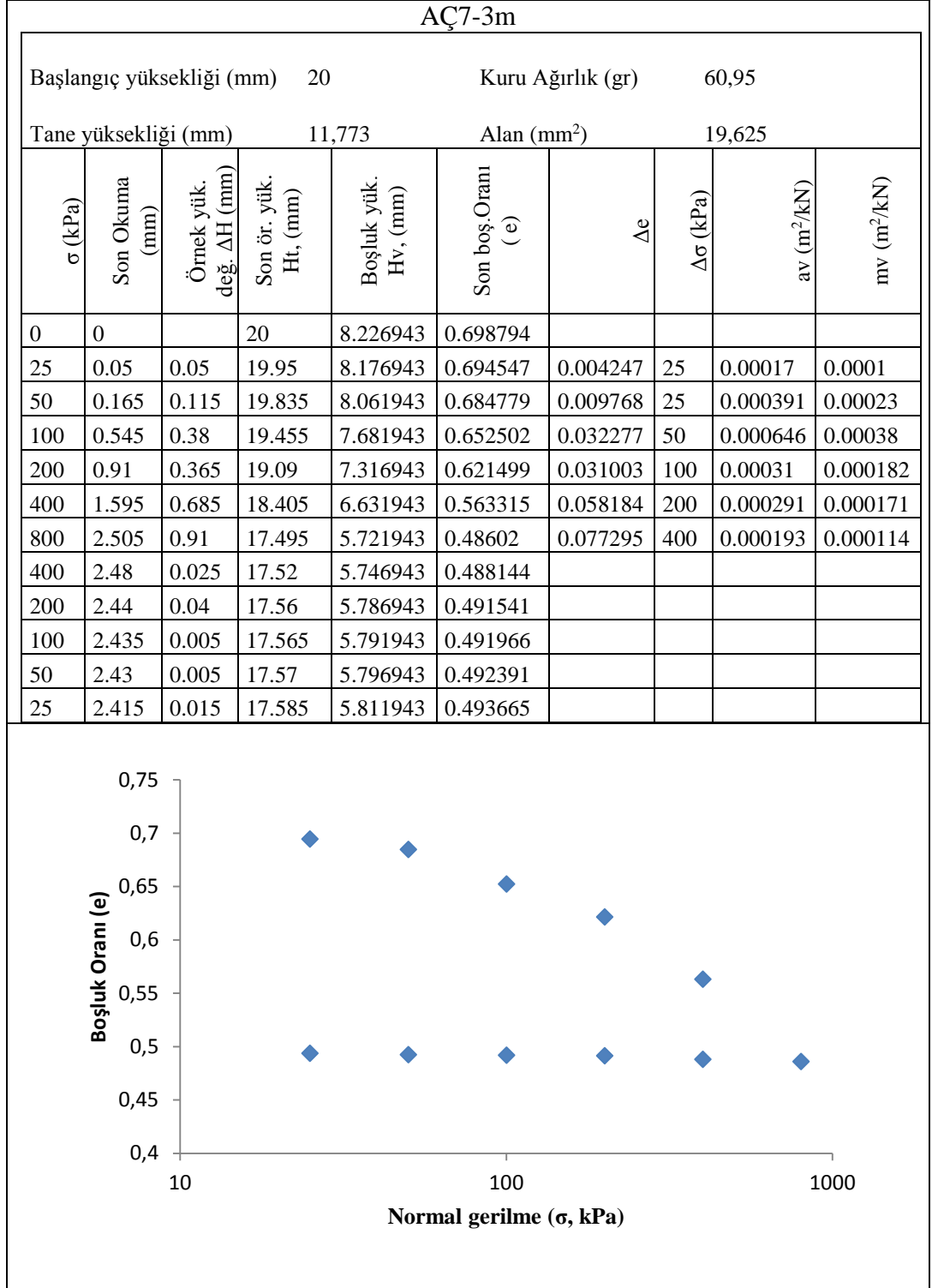
Şekil 4.30 Konsolidasyon deneyi AÇ3-5m e- $\sigma$  Grafiği



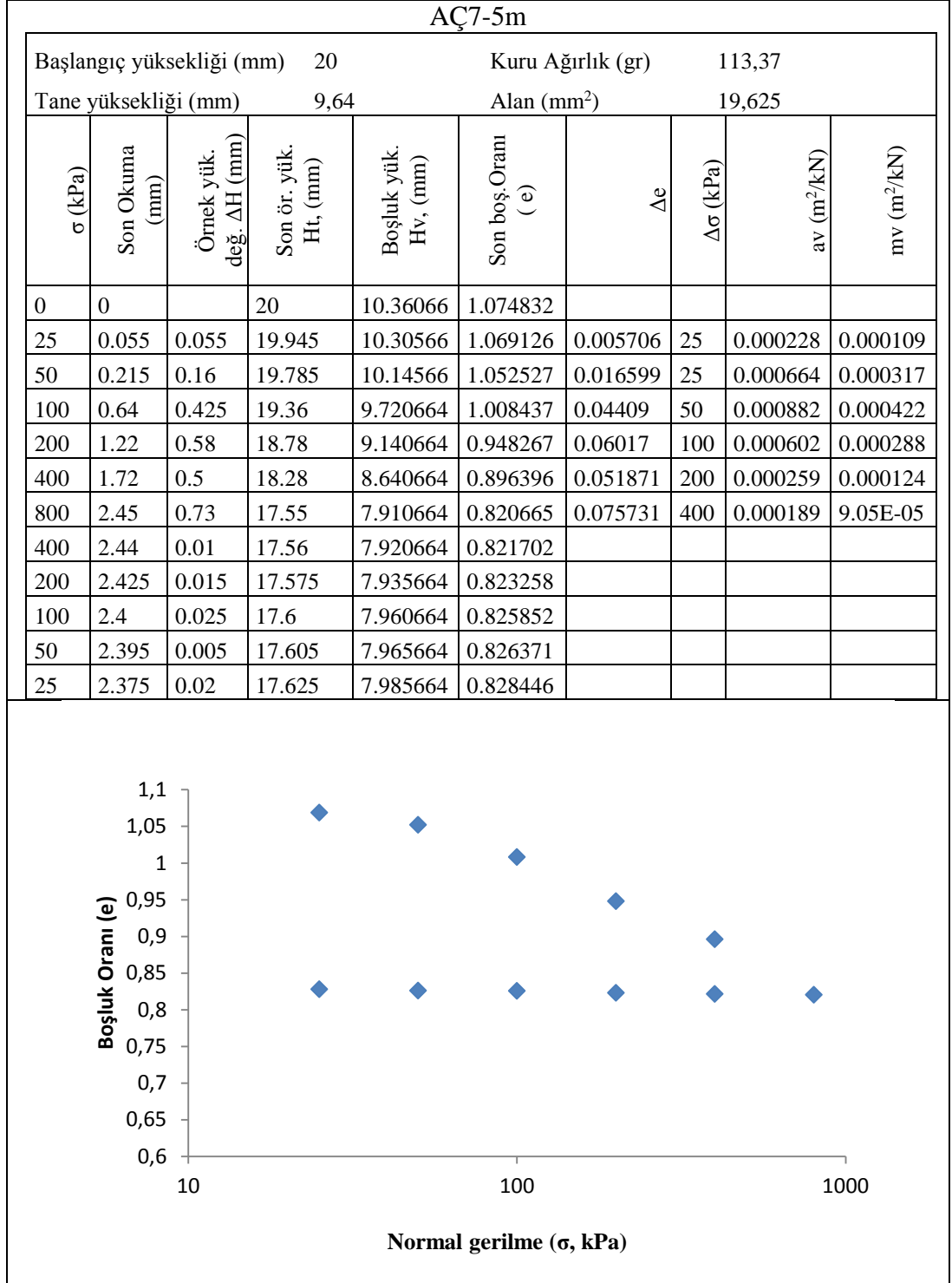
Şekil 4.31 Konsolidasyon deneyi AÇ4-3m e- $\sigma$  Grafiği



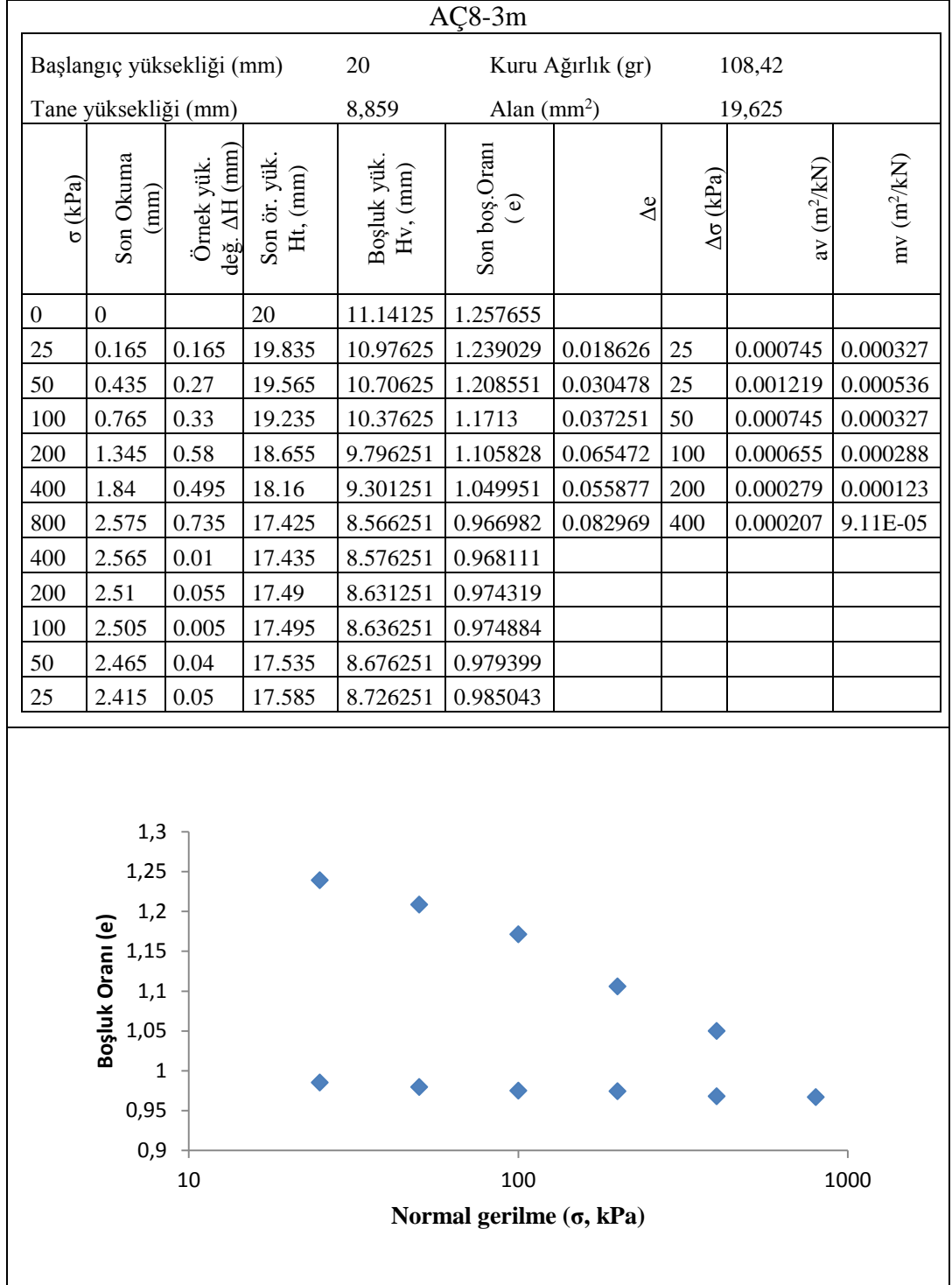
Şekil 4.32 AÇ5-3m e-  $\sigma$  Grafiği



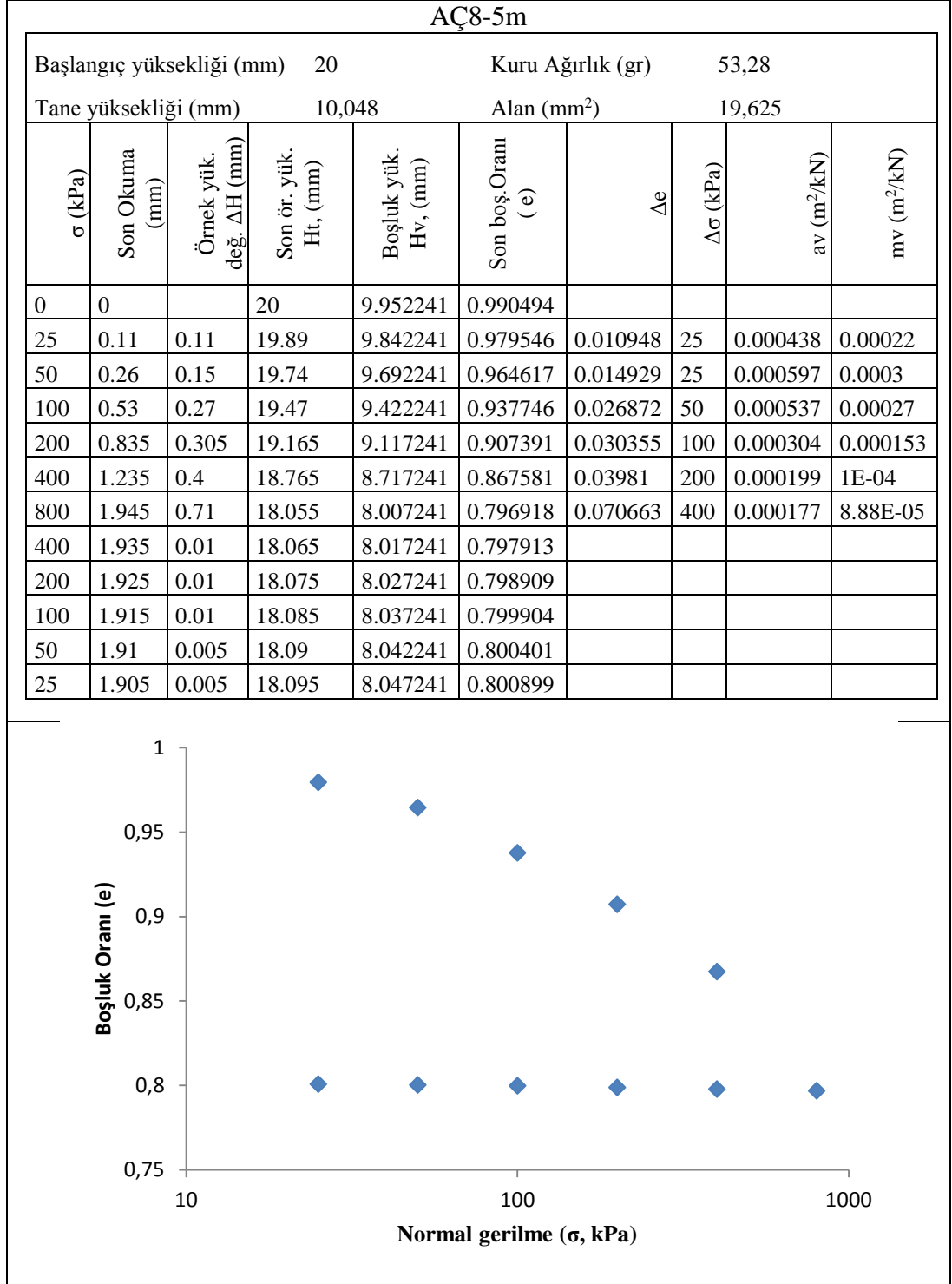
Şekil 4.33 AÇ7-3m e-  $\sigma$  Grafiği



Şekil 4.34 AÇ7-5m e-  $\sigma$  Grafiği



Şekil 4.35 8-3m e -  $\sigma$  Grafiği



Şekil 4.36 AÇ8-5m e -  $\sigma$  Grafiği

Konsolidasyon deney sonucunda; araştırma çukurlarından alınan örselenmemiş zemin numunelerine ait  $e$ ,  $a_v$  ve  $m_v$  değerleri Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21 Konsolidasyon deneyi  $a_v$  ve  $m_v$  sonuçları

AÇ No	e	$a_v$ ( $m^2/kN$ )	$m_v$ ( $m^2/kN$ )
1-3m	0,262	0,00013	0,00010
1-5m	0,418	0,00040	0,00026
2-3m	0,674	0,00047	0,00026
2-5m	0,736	0,00050	0,00027
3-3m	0,428	0,00026	0,00017
3-5m	0,570	0,00040	0,00024
4-3m	0,788	0,00046	0,00024
5-3m	0,754	0,00040	0,00021
7-3m	0,621	0,00031	0,00018
7-5m	0,948	0,00060	0,00029
8-3m	1,106	0,00065	0,00029
8-5m	0,907	0,00030	0,00015

Zeminlerin hacimsel sıkışma katsayısı ( $m_v$ ) değerleri dikkate alınarak yapılan sıkışma sınıfı Çizelge 4.22’de verilmiştir [112]. Sıkışma katsayısı ( $a_v$ ) değerleri dikkate alınarak yapılan sınıflama ise Çizelge 4.23’da yer almaktadır [110].

Çizelge 4.22.  $m_v$  değerlerine göre sıkışabilirlik sınıflaması [112].

Kil Türü	Sıkışabilirlik sınıfı	$m_v$ ( $m^2/kN$ )
Yüksek organik killer ve turba	Çok yüksek	> 1,5
Körfez ve delta çökelleri gibi alüviyal ve hassas killer (NL)	Yüksek	0,3-1,5
Sert killer, göl çökelleri, marn, tropik kırmızı killer	Orta	0,1-0,3
Çakıllı kil, marn, katı kırmızı kil	Düşük	0,05-0,1
Sert, OC killer ve yumuşak kayalar	Çok düşük	< 0,005

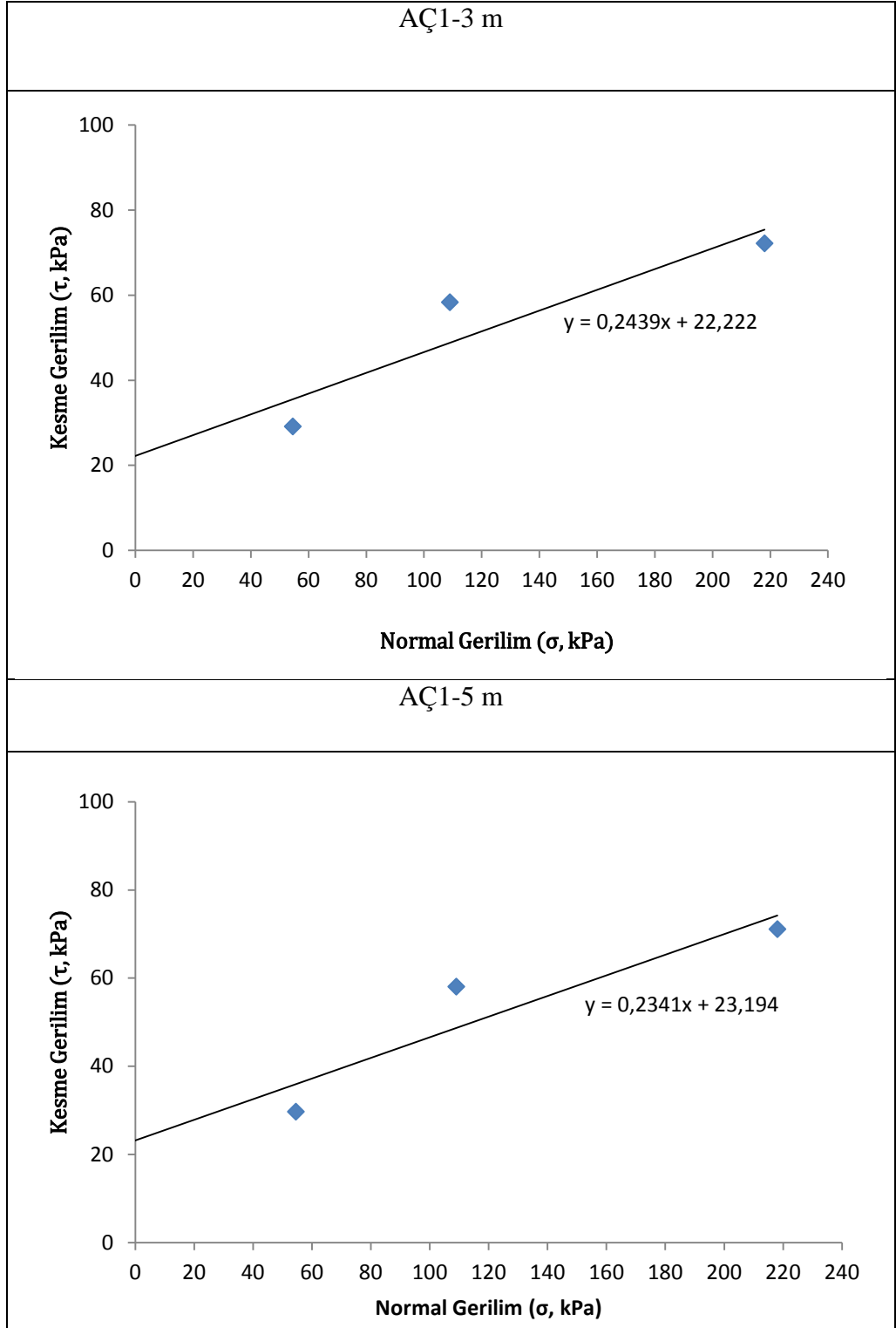
Çizelge 4.23  $a_v$  değerlerine göre sıkışabilirlik sınıflaması

$a_v$	Sınıflama
< 0,001	Pratik sıkışmayan
0,001-0,005	Zayıf sıkışan
0,005-0,01	Orta sıkışan
0,01-0,1	Fazla sıkışan
> 0,1	Çok fazla sıkışan

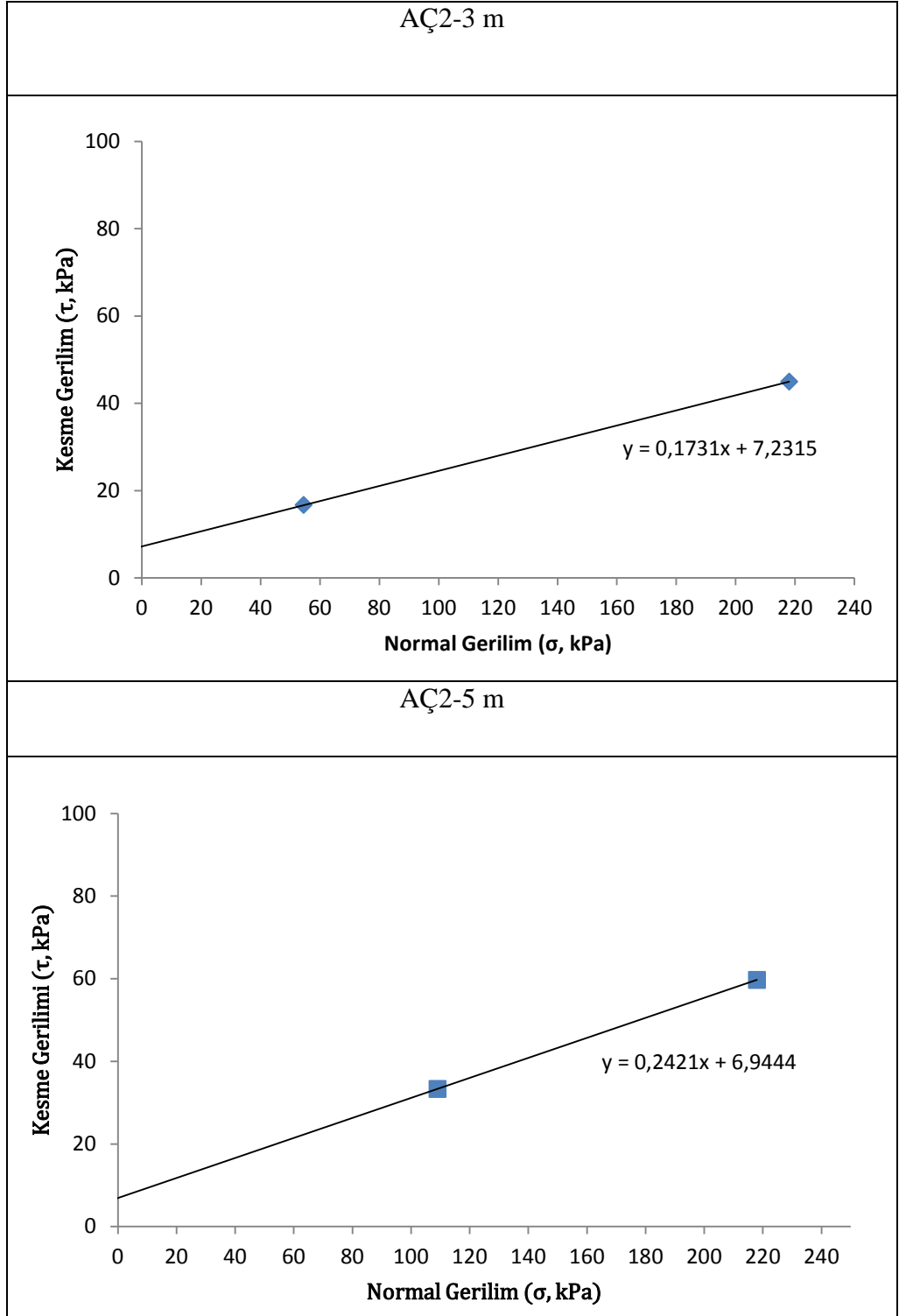
Çizelge 4.22 incelendiğinde; çalışma alanına ait hesaplanan  $m_v$  değerlerinin hepsi 0,005  $m^2/kN$  değerinden küçüktür. Yine Çizelge 4.23'e göre  $a_v$  değerleri de 0,001  $m^2/kN$  değerinden küçüktür. Çizelge 4.22 ve Çizelge 4.23'e göre elde edilen bulgular çok düşük sıkışabilir, pratik olarak sıkışamayan özellik göstermektedir. Konsolidasyon deney sonuçları oturma hesaplamalarında kullanılmıştır.

#### **b. Kesme kutusu deneyi**

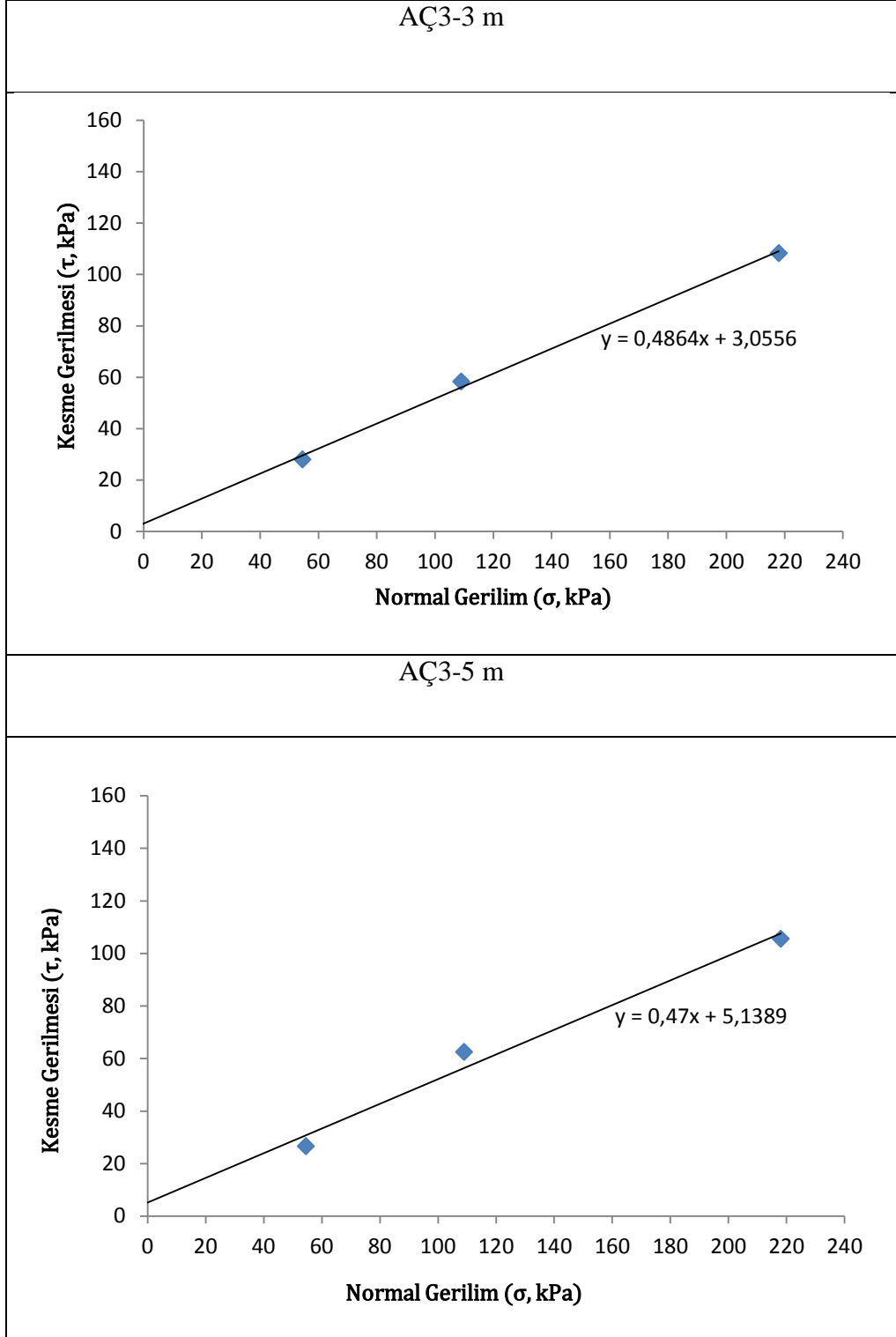
Kesme kutusu deneyi TS 1900-2'de belirtildiği şekli ile yapılmıştır [73]. Kesme kutusu deney sonuçları kullanılarak oluşturulan normal - kesme gerilme grafikleri Şekil 4.37 ve Şekil 4.42 arasında verilmiştir. Kesme kutusu deney sonuçları ise EK-14'de verilmiştir.



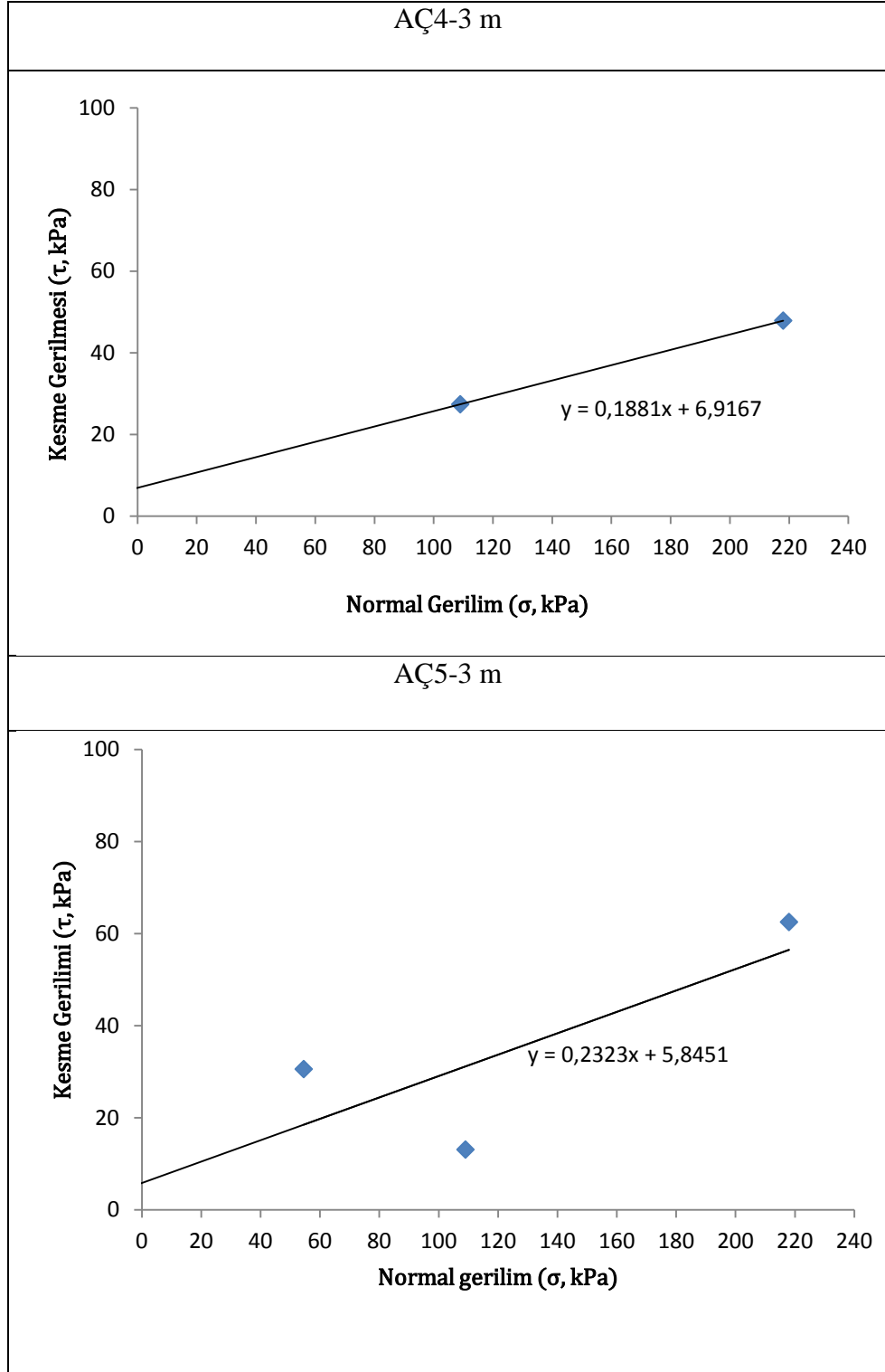
Şekil 4.37 AÇ1 Kesme kutusu deney sonuçları



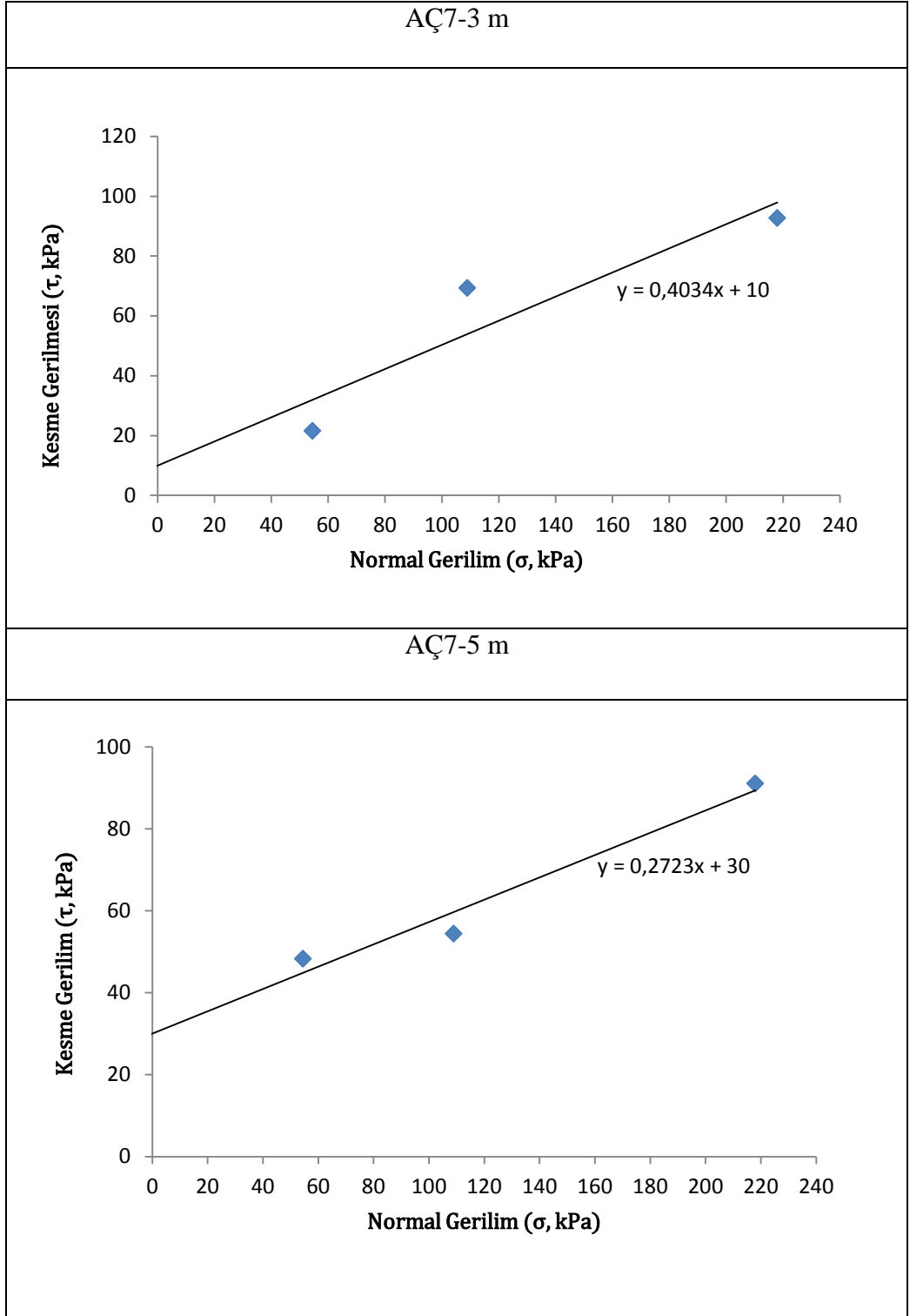
Şekil 4.38 AÇ2 Kesme kutusu deney sonuçları



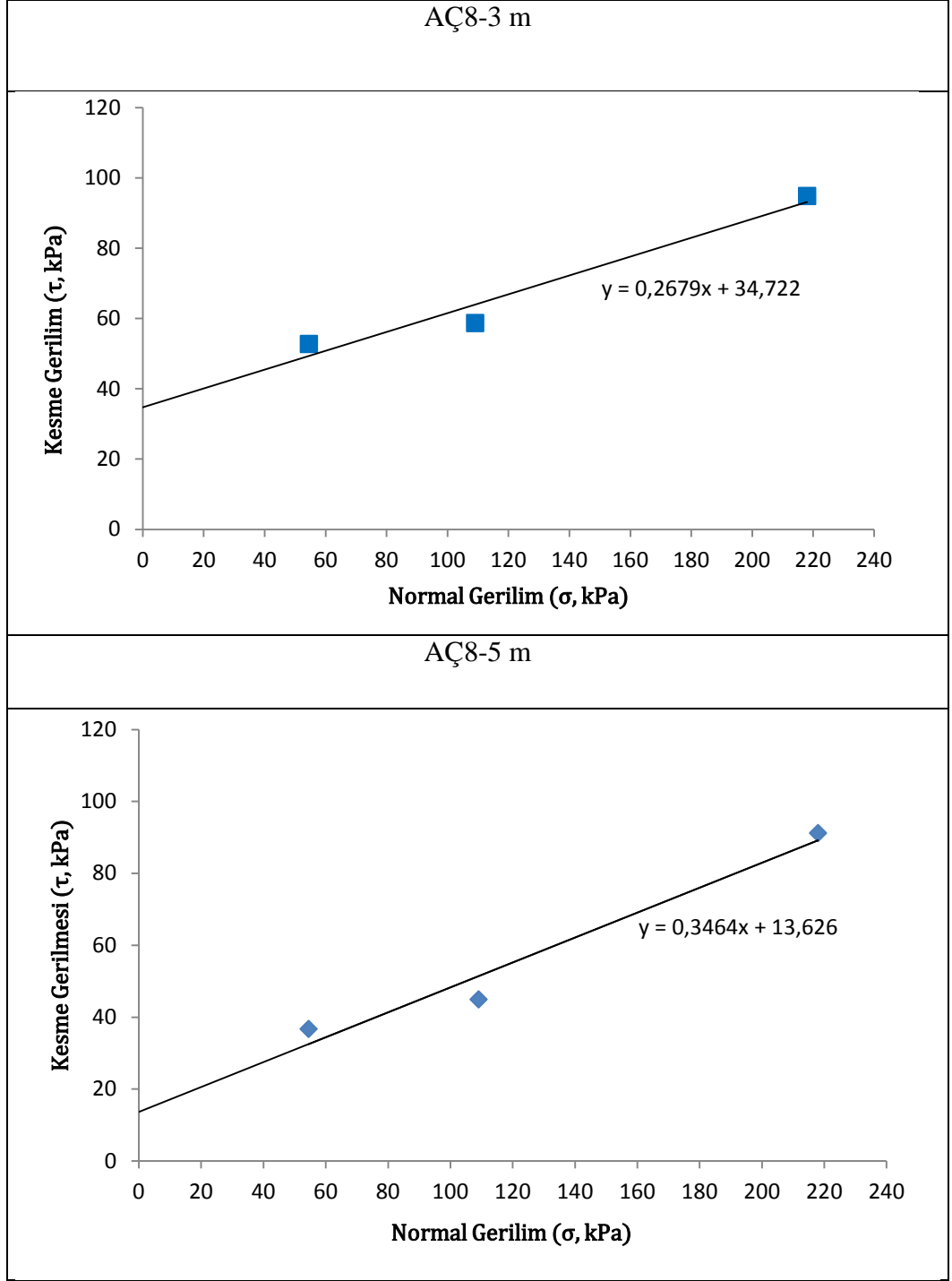
Şekil 4.39 AÇ3 Kesme kutusu deney sonuçları



Şekil 4.40 AÇ4 ve AÇ5 Kesme kutusu deney sonuçları



Şekil 4.41 AÇ7 Kesme kutusu deney sonuçları



Şekil 4.42 AÇ8 Kesme kutusu deney sonuçları

Kesme kutusu deney sonucunda oluşturulan grafiğe göre kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.24 Kesme kutusu deneyi kohezyon ve içsel sürtünme açı değerleri

AÇ No	Kohezyon (c, kPa)	İçsel sürtünme açısı ( $\phi$ , °)
1-3m	22,22	13,71
1-5m	23,19	13,18
2-3m	7,23	9,82
2-5m	6,94	13,61
3-3m	3,06	25,94
3-5m	5,14	25,17
4-3m	6,92	10,65
5-3m	5,84	13,08
7-3m	10	21,97
7-5m	30	15,23
8-3m	34,72	15
8-5m	13,63	19,11

Kesme kutusu deney sonuçları taşıma gücü hesaplamalarında kullanılmıştır.

#### 4.5. Çalışma Alanı Taşıma Gücü Hesaplamaları

Çalışma alanı taşıma gücü hesaplamaları; Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), Presiyometre Deneyi (PMT) ve laboratuvar deney verileri kullanılarak yapılmıştır.

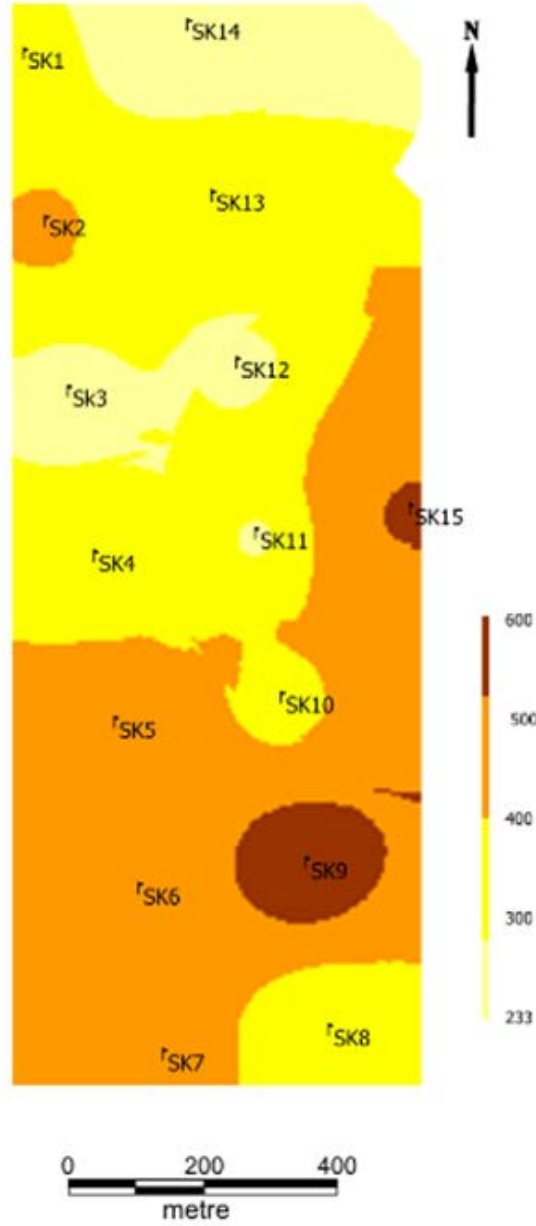
#### 4.5.1 Standart penetrasyon deney (SPT) verileri kullanılarak taşıma gücü hesaplamaları

SPT-N değerleri yardımıyla taşıma gücü hesaplamaları Eşitlik-2.26 kullanılarak yapılmıştır. Hesaplamalarda temel derinliği ( $D_f$ ) 5 m ve temel genişliği (B) 10 m olarak alınmıştır. SPT darbe sayıları olarak temel derinliği üzerindeki darbe sayıları hesaba katılmazken sadece 7,5 m ve 10,5 m derinlikteki düzeltilmiş darbe sayılarının ( $N_{1,60}$ ) ortalama değerleri kullanılmıştır. YASS yüzeye yakın olduğundan yeraltı suyu düzeltme faktörü ( $C_w$ ) de hesaplamalarda kullanılmıştır. SPT deney verileri kullanılarak taşıma gücü hesaplamaları Çizelge 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.25 SPT deney verileri kullanılarak taşıma gücü hesaplamaları

Sondaj No	$N_{1,60}$	$C_w$	$q_{all}$ (kPa)
SK1	20,05	0,695	328,07
SK2	26,00	0,675	425,42
SK3	16,80	0,661	274,89
SK4	22,20	0,642	363,24
SK5	28,85	0,607	472,06
SK6	29,50	0,607	482,69
SK7	27,70	0,599	453,24
SK8	20,50	0,607	335,43
SK9	34,55	0,617	565,32
SK10	22,70	0,629	371,43
SK11	17,65	0,678	288,80
SK12	16,57	0,677	271,12
SK13	23,45	0,677	383,70
SK14	14,25	0,649	233,16
SK15	30,80	0,673	503,96

SPT verileri kullanılarak yapılan taşıma gücü hesaplamaları sonucunda oluşturulan çalışma alanı taşıma gücü haritası Şekil 4.43’de yer almaktadır.



Şekil 4.43 Çalışma alanı SPT verileri ile taşıma gücü haritası

Radye temeller için qall değerleri; ince ve orta tane boyutunda kumlu birimler veya killi siltli kaba kumlar (SW, SC, SM) 322-537kPa arasında değişmektedir (EK-1) [34]. Çalışma alanı taşıma gücü haritası incelendiğinde; kuzey doğu, doğu ve güney doğu kesimlerde bu değerlerin altında olduğu

görülmektedir. Güney batı ve batıya doğru gidildikçe taşıma gücü verileri bu aralığın içinde kalmaktadır.

#### 4.5.2. Presiyometre deney (PMT) verileri kullanılarak taşıma gücü hesaplamaları

PMT verileri kullanılarak yapılan taşıma gücü hesaplamalarında; Eşitlik 4.4 kullanılmıştır. Temel derinliği (Df) 5 m, k katsayısı 0,8 ve emniyetli taşıma gücü hesaplamaları için Fk 3 olarak alınmıştır. Hesaplamalar ve yorumlamalar “İmaksu Müh. İnş. Jeo. Son. Tic. Ltd. Şti.” tarafından yapılmıştır. Net limit basınç değeri ( $P_L^*$ ) hesaplamalarında ise homojen olmayan birimler için oluşturulan Eşitlik 4.5 kullanılmıştır [40].

$$q = k \cdot (P_L^*) + \sigma_v \quad (4.4)$$

$$P_L^* = \sqrt[n]{P_{L1}^* \times P_{L2}^* \times \dots \times P_{Ln}^*} \quad (4.5)$$

q : Sınır taşıma gücü

k : Katsayı

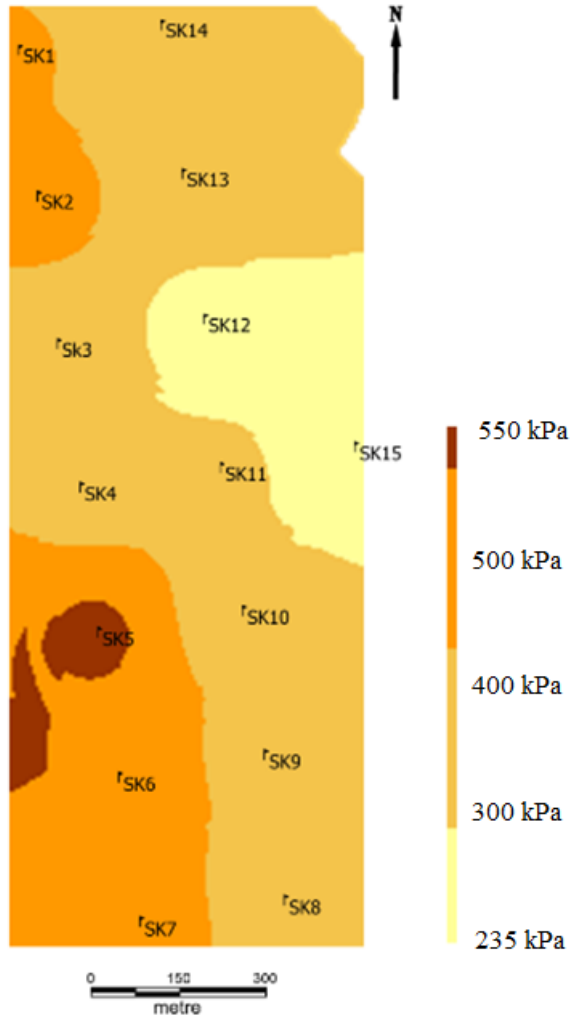
$P_L^*$  : Net limit basınç

$\sigma_v$  : Temel seviyesinde toplam gerilme

PMT deney verileri kullanılarak yapılan taşıma gücü hesaplamaları Çizelge 4.26’da verilmiştir. Şekil 4.44’da ise PMT verileri kullanılarak hazırlanan taşıma gücü haritası yer almaktadır.

Çizelge 4.26 PMT verileri kullanılarak taşıma gücü hesaplamaları

Sondaj No	Y <sub>ort</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	q <sub>o</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	PL*	q <sub>ult</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>all</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>all</sub> (kPa)
SK1	1,65	0,825	15	12,825	4,275	419,38
SK2	1,664	0,832	17	14,432	4,811	471,93
SK3	1,759	0,879	12	10,479	3,493	342,68
SK4	1,616	0,808	13	11,208	3,736	366,50
SK5	1,63	0,815	19	16,015	5,338	523,69
SK6	1,493	0,746	18	15,146	5,087	495,29
SK7	1,832	0,916	17	14,516	4,839	474,67
SK8	1,407	0,703	13	11,103	3,701	363,08
SK9	1,618	0,809	13	11,209	3,736	366,53
SK10	1,602	0,801	11	9,601	3,200	313,95
SK11	1,651	0,825	11	9,625	3,208	314,75
SK12	1,566	0,783	8	7,183	2,394	234,88
SK13	1,564	0,782	14	11,982	3,998	391,81
SK14	1,553	0,776	11	9,576	3,192	313,15
SK15	1,549	0,774	10	8,774	2,925	286,93



Şekil 4.44 Çalışma alanı PMT verileri ile taşıma gücü haritası

#### 4.5.3. Laboratuvar verileri ile taşıma gücü hesaplamaları

Çalışma alanında araştırma çukurlarından 5 m'den alınan bozunmamış numuneler üzerinde laboratuvarında yapılan kesme kutusu deney verileri kullanılarak taşıma gücü değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda Terzaghi, Meyerhof ve Hansen taşıma gücü Eşitlikleri (Eşitlik 2.22, Eşitlik 2.23 ve Eşitlik 2.25) kullanılmış ve temel genişliği (B) 10 m ve temel derinliği (Df) 5 m alınmıştır. Kesme kutusu deney verileri kullanılarak yapılan taşıma gücü hesaplamaları Çizelge 4.27'de verilmiştir. Taşıma gücü faktörleri EK17'de verilmiştir.

Çizelge 4.27 Kesme kutusu verileri kullanılarak taşıma gücü hesaplamaları

	AÇ No	c (kPa)	$\Phi$	qult (kPa)	qall (kPa)
Terzaghi	1-5m	23,19	13,18	716,55	238,85
	2-5m	6,94	13,61	519,17	173,06
	3-5m	5,14	25,17	1880,09	626,7
	7-5m	30	15,23	893,41	297,8
	8-5m	13,63	19,11	1118,66	372,89
Meyerhof	1-5m	23,19	13,18	670,49	223,50
	2-5m	6,94	13,61	453,91	151,30
	3-5m	5,14	25,17	1795,74	598,58
	7-5m	30	15,23	862,87	287,62
	8-5m	13,63	19,11	1047,11	349,04
Hansen	1-5m	23,19	13,18	450,92	150,01
	2-5m	6,94	13,61	223,62	74,54
	3-5m	5,14	25,17	654,75	218,25
	7-5m	30	15,23	558,49	186,16
	8-5m	13,63	19,11	513,67	171,22

#### 4.6. Çalışma Alanı Oturma Hesaplamaları

Çalışma alanında, araştırma çukurlardan alınan örselenmemiş numuneler üzerinde; konsolidasyon deneyi yapılmış ve sonuçlar zemin nihai oturma hesaplamalarında kullanılmıştır. Eşitlik 2.20 kullanılarak yapılan hesaplamalarda, konsolidasyon derinliği olarak 10 m alınmış ve 25-400 kPa arası ortalama  $m_v$  değerleri kullanılmıştır. Yine yaklaşık 10 m derinlikte ortalama  $\Delta\sigma$  değeri olarak 130 kPa ve yapı yükü olarak 16 kPa alınarak toplam 146 kPa gerilim kullanılmıştır. Çizelge 4.28'de hesaplanan nihai oturma değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.28 Konsolidasyon deney sonuçlarına göre nihai oturma hesaplamaları

AÇ No	$m_v$ ( $m^2/kN$ )	S (mm)	AÇ No	$m_v$ ( $m^2/kN$ )	S (mm)
AÇ1-3m	0,00017	124,1	AÇ4-3m	0,00037	270,1
AÇ1-5m	0,00035	256	AÇ5-3m	0,00036	262,8
AÇ2-3m	0,00036	262,8	AÇ7-3m	0,00021	153,3
AÇ2-5m	0,00032	233,6	AÇ7-5m	0,00025	182,5
AÇ3-3m	0,00020	146	AÇ8-3m	0,00032	233,6
AÇ3-5m	0,00026	198,8	AÇ8-5m	0,00021	153,3

Eşitlik 2.20 kullanılarak hesaplanan nihai oturma miktarları kullanılarak çalışma alanında çift yönlü drenaj koşulunda ( $d=H/2$ ); 3, 6, 9 ve 12 ay sonundaki toplam oturma miktarları Eşitlik 4.6 ve Eşitlik 4.7 kullanılarak hesaplanmıştır [30]. Hesaplamalarda 25-400 kPa arası  $C_v$  değerlerinin ortalama değerleri kullanılmıştır. Konsolidasyon deneyi sonucunda elde edilen  $C_v$  değerleri EK-19'da verilmiştir. Hesaplanan oturma miktarları ise Çizelge 4.29'de yer almaktadır.

$$S_t = U.S \quad (4.6)$$

$S_t$  : t zamanında oturma (mm)

U : Ortalama konsolidasyon derecesi (%)

S : Nihai oturma (mm)

$$U = 1,15. (T_v)^{0,5} \quad (4.7)$$

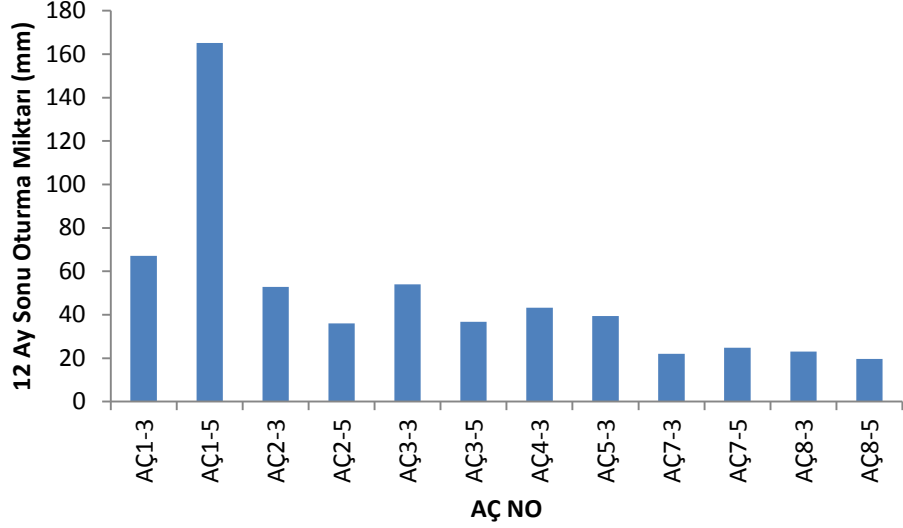
Çizelge 4.29 Aylara göre zemin oturma miktarları

AÇ No	Özellik	S (mm)			
		3ay	6ay	9ay	12ay
AÇ1-3m	Cv (m <sup>2</sup> /yıl)	1,379	1,379	1,379	1,379
	Tv	0,055	0,110	0,165	0,221
	U (%)	26,97	38,14	46,70	54,10
	S (mm)	33,47	47,33	57,95	67,14
AÇ1-5m	Cv (m <sup>2</sup> /yıl)	3,871	3,871	3,871	3,871
	Tv	0,079	0,158	0,237	0,316
	U (%)	32,30	45,70	56,00	64,60
	S (mm)	82,58	116,79	143,04	165,17
AÇ2-3m	Cv (m <sup>2</sup> /yıl)	0,619	0,619	0,619	0,619
	Tv	0,0076	0,0150	0,0230	0,0310
	U (%)	0,101	0,142	0,174	0,201
	S (mm)	26,42	37,36	45,76	52,84
AÇ2-5m	Cv (m <sup>2</sup> /yıl)	0,544	0,544	0,544	0,544
	Tv	0,0045	0,0090	0,0135	0,0180
	U (%)	7,7	10,9	13,4	15,4
	S (mm)	18,01	25,47	31,20	36,02
AÇ3-3m	Cv (m <sup>2</sup> /yıl)	4,368	4,368	4,368	4,368
	Tv	0,026	0,052	0,077	0,103
	U (%)	18,49	26,15	32,02	36,98
	S (mm)	26,99	38,17	46,75	53,98
AÇ3-5m	Cv (m <sup>2</sup> /yıl)	1,602	1,602	1,602	1,602
	Tv	0,0071	0,0142	0,0214	0,0285
	U (%)	9,7	13,72	16,81	19,4
	S (mm)	18,42	26,05	31,90	36,84
AÇ4-3m	Cv (m <sup>2</sup> /yıl)	1,398	1,398	1,398	1,398
	Tv	0,0048	0,0097	0,0145	0,0193
	U (%)	8,0	11,30	13,80	16,00
	S (mm)	21,60	30,55	37,42	43,21

Çizelge 4.29 Aylara göre zemin oturma miktarları (Devam)

AÇ No	Özellik	S (mm)			
		3ay	6ay	9ay	12ay
AÇ5-3m	Cv (m2/yıl)	1,540	1,540	1,540	1,540
	Tv	0,0043	0,0085	0,0128	0,0171
	U (%)	7,5	10,6	13,0	15,0
	S (mm)	19,74	27,92	34,19	39,48
AÇ7-3m	Cv (m2/yıl)	1,729	1,729	1,729	1,729
	Tv	0,0039	0,0078	0,0118	0,0157
	U (%)	7,2	10,2	12,5	14,4
	S (mm)	11,04	15,61	19,12	22,08
AÇ7-5m	Cv (m2/yıl)	1,845	1,845	1,845	1,845
	Tv	0,0035	0,0070	0,0105	0,014
	U (%)	6,8	9,6	11,8	13,6
	S (mm)	12,40	17,53	21,47	24,79
AÇ8-3m	Cv (m2/yıl)	1,154	1,154	1,154	1,154
	Tv	0,0018	0,0037	0,0055	0,0074
	U (%)	4,94	6,99	8,56	9,88
	S (mm)	11,54	16,32	19,99	23,09
AÇ8-5m	Cv (m2/yıl)	2,275	2,275	2,275	2,275
	Tv	0,0031	0,0062	0,0094	0,0125
	U (%)	6,42	9,08	11,12	12,85
	S (mm)	9,85	13,93	17,06	19,70

Konsolidasyon deney verileri kullanılarak 12 ay sonu oturma miktarları Şekil 4.45'de yer almaktadır.



Şekil 4.45 Konsolidasyon deneyi sonucu hesaplanan 12 ay sonu oturma miktarları

Şekil 4.45 incelendiğinde en düşük oturma miktarı AÇ7-3 m’de ve en yüksek oturma miktarı AÇ1-5 m’de belirlenmiştir. Bu AÇ1-5 m’de zeminin daha gevşek özellikte olduğunu göstermektedir.

#### 4.7. Çalışma Alanı Sıvılaşma Hesaplamaları

Çalışma alanı araştırma sondaj kuyularında SPT tüpü ile alınan örselenmiş numuneler üzerinde elek analizi yapılmış ve tane boyu dağılım eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar sıvılaşma duyarlılığı açısından Şekil 2.8’e göre değerlendirilmiştir (EK-20L). Çizelge 4.33’da çalışma alanı örselenmiş numunelere ait tane boyu dağılımlarının sıvılaşma duyarlılığı açısından değerlendirilmesi yer almaktadır.

Çizelge 4.30 Çalışma alanı SPT numunelerine ait  $C_u > 6$  için tane boyu dağılımlarının sıvılaşma duyarlılığı (SY: Sıvılaşma Yok, SO: Sıvılaşma Olasılığı, YSO: Yüksek Sıvılaşma Olasılığı, NY: Numune Yok)

	1,5m	4,5m	7,5m	10,5m	13,5m	16,5m	19,5m
SK1	YSO	YSO	YSO	YSO	YSO	NY	NY
SK2	YSO	YSO	YSO	YSO	SO	-	-
SK3	YSO	YSO	YSO	SO	YSO	YSO	YSO
SK4	SO	YSO	YSO	YSO	YSO	YSO	YSO
SK5	YSO	-	YSO	YSO	YSO	YSO	YSO
SK6	YSO	YSO	YSO	YSO	YSO	YSO	SO
SK7	YSO	YSO	YSO	YSO	YSO	YSO	SO
SK8	YSO	YSO	YSO	YSO	YSO	YSO	YSO
SK9	YSO	YSO	YSO	YSO	YSO	YSO	YSO
SK10	SO	YSO	SO	YSO	SO	YSO	YSO
SK11	YSO	YSO	NY	SO	YSO	NY	NY
SK12	YSO	YSO	YSO	YSO	YSO	YSO	SO
SK13	SO	SO	SO	SO	YSO	SO	SO
SK14	SO	YSO	SO	SO	NY	NY	SO
SK15	SO	SO	SO	YSO	YSO	NY	NY

Çizelge 4.30 incelendiğinde sondaj kuyularından alınan numunelerinin tane boyu dağılımları büyük çoğunlukla “Yüksek Sıvılaşma Olasılığı” göstermektedir.

Çalışma alanında araştırma sondajlarında yapılan SPT çalışmaları sonucunda elde edilen SPT-N değerleri üzerinde Çizelge 2.15 verilen düzeltmeler yapılmış ve SPT- $N_{1,60}$  değerleri elde edilmiştir. Yine Eşitlik 2.28 ve Eşitlik 2.29 kullanılarak sıvılaşma hesaplamaları yapılmıştır.

Sıvılaşma hesaplamaları yapılırken  $F_s$  değeri için;  $N_{1,60}$  değerinin 30'dan büyük olduğu durumlarda ve SPT çalışmalarında numune alınmadığı derinliklerde 1,2 olarak alınmıştır. Sıvılaşma hesaplamalarında  $a_{maks}$  değerleri 0,4g

ve deprem büyüklüğü de 7,5 olacağı kabul edilmiştir. Çizelge 4.31’de SPT verileri kullanılarak hesaplanan  $F_s$  değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.31 SPT-  $N_{1,60}$  verileri ile elde edilen  $F_s$  değerleri

SK No	Derinlik	$N_{1,60}$	İTO	CSR	CSR	$F_s$
1	7,5	24,43	17,69	0,418554	0,308	1,49
	10,5	30,31	13,21	0,369155	0,303	1,2
	13,5	27,84	29,36	0,363575	0,281	1,2
	16,5	31,36	NY	NY	0,258	1,2
	19,5	28,68	NY	NY	0,252	1,2
2	7,5	45,29	5,83	0,372065	0,31	1,2
	10,5	43,46	9,57	0,406975	0,339	1,2
	13,5	38,66	5,56	0,397918	0,332	1,2
	16,5	34,82	NY	NY	0,305	1,2
	19,5	31,67	NY	NY	0,279	1,2
3	7,5	22,83	18,77	0,364341	0,308	1,18
	10,5	22,81	1,43	0,254089	0,331	0,77
	13,5	35,95	6,70	0,386799	0,322	1,2
	16,5	35,56	7,46	0,355825	0,297	1,2
	19,5	9,92	10,86	0,125088	0,271	0,46
4	4,5	13,71	7,31	0,150247	0,261	0,58
	7,5	31,96	21,82	0,396365	0,33	1,2
	10,5	31,49	7,01	0,4229	0,352	1,2
	13,5	37,97	5,80	0,410165	0,342	1,2
	16,5	34,46	23,86	0,376228	0,314	1,2
	19,5	31,55	34,92	0,343082	0,286	1,2
5	4,5	46,01	NY	0,37175	0,31	1,2
	7,5	47,71	16,26	0,447404	0,373	1,2
	10,5	44,57	NY	0,466552	0,389	1,2
	13,5	40,06	39,85	0,446415	0,372	1,2
	16,5	36,38	24,42	0,405813	0,338	1,2
	19,5	31,83	25,64	0,355441	0,296	1,2
6	4,5	46,29	31,86	0,373097	0,311	1,2
	7,5	48,06	19,93	0,450193	0,375	1,2

Çizelge 4.31 SPT-  $N_{1,60}$  verileri ile elde edilen  $F_s$  değerleri (Devam)

SK No	Derinlik	$N_{1,60}$	İTO	CRR	CSR	$F_s$
6	10,5	44,93	19,90	0,46985	0,392	1,2
	13,5	40,41	45,35	0,449743	0,375	1,2
	16,5	36,72	26,24	0,408927	0,341	1,2
	19,5	13,20	11,50	0,159659	0,309	0,52
7	4,5	18,44	11,54	0,220071	0,315	0,70
	7,5	45,95	23,01	0,442223	0,369	1,2
	10,5	42,58	6,03	0,455476	0,38	1,2
	13,5	38,03	11,36	0,432829	0,361	1,2
	16,5	34,36	18,46	0,391739	0,326	1,2
	19,5	30,11	75,369	0,353861	0,295	1,2
8	4,5	22,43	44,97	0,370545	0,309	1,2
	7,5	7,42	17,58	0,122401	0,37	0,33
	10,5	46,72	21,92	0,462622	0,386	1,2
	13,5	58,23	26,11	0,442213	0,369	1,2
	16,5	52,81	24,44	0,401728	0,335	1,2
	19,5	48,32	30,49	0,363821	0,303	1,2
9	4,5	44,03	8,68	0,355062	0,296	1,2
	7,5	49,02	25,95	0,426682	0,356	1,2
	10,5	70,67	5,88	0,441219	0,368	1,2
	13,5	37,52	13,92	0,419333	0,349	1,2
	16,5	44,87	20,03	0,379256	0,316	1,2
	19,5	30,51	30,26	0,342292	0,285	1,2
10	4,5	42,93	48,94	0,332252	0,277	1,2
	7,5	23,89	72,76	0,408073	0,34	1,2
	10,5	41,95	8,93	0,42984	0,358	1,2
	13,5	37,56	38,06	0,413786	0,345	1,2
	16,5	42,67	47,52	0,377682	0,315	1,2
	19,5	21,32	51,44	0,343204	0,286	1,2
11	7,5	21,07	NY	0,355288	0,296	1,2

Çizelge 4.31 SPT-  $N_{1,60}$  verileri ile elde edilen  $F_s$  değerleri (Devam)

SK No	Derinlik	$N_{1,60}$	İTO	CRR	CSR	$F_s$
11	10,5	28,30	10,92	0,386581	0,322	1,2
	13,5	59,27	40,12	0,379322	0,316	1,2
	16,5	32,65	NY	0,35064	0,292	1,2
	19,5	29,87	NY	0,321524	0,268	1,2
12	7,5	3,36	45,91	0,108106	0,296	0,36
	10,5	39,96	32,79	0,386137	0,322	1,2
	13,5	35,86	33,50	0,3787	0,316	1,2
	16,5	32,52	36,20	0,349957	0,292	1,2
	19,5	36,17	10,47	0,320829	0,267	1,2
13	7,5	22,98	60,87	0,351914	0,293	1,2
	10,5	42,69	15,42	0,380549	0,317	1,2
	13,5	34,79	8,86	0,372168	0,31	1,2
	16,5	31,48	47,24	0,343313	0,286	1,2
	19,5	28,75	18,44	0,314358	0,262	1,2
14	4,5	28,73	34,95	0,303306	0,253	1,2
	7,5	23,56	41,32	0,393809	0,328	1,2
	10,5	7,64	73,97	0,155727	0,354	0,44
	13,5	27,54	NY	0,414111	0,345	1,2
	16,5	35,50	NY	0,381167	0,318	1,2
	19,5	32,56	60,74	0,348411	0,29	1,2
15	7,5	26,69	18,27	0,393809	0,328	1,2
	10,5	22,84	43,04	0,424597	0,354	1,2
	13,5	14,83	13,24	0,170824	0,345	0,50
	16,5	32,65	NY	NY	0,318	1,2
	19,5	29,86	NY	NY	0,29	1,2

Çalışma alanında arazi çalışmaları kapsamında yapılan jeofizik çalışmalar sonucu elde edilen Vs dalga hızları kullanılarak sıvılaşma hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalarında Eşitlik 2.29a, Eşitlik 2.29b, Eşitlik 2.29e ve Eşitlik 4.8 kullanılmıştır [55, 113]. Arazi genelinde araştırma sondajlarından alınan örselenmiş numunelere ait ortalama birim hacim ağırlık değerleri olarak YASS üzerinde 1,77 gr/cm<sup>3</sup>, YASS altında 2,00 gr/cm<sup>3</sup> kullanılmış, YASS 5 m alınmıştır. İnce tane oranı (İTO) olarak da en yakın araştırma kuyusu verileri kullanılmıştır. Çalışma alanı Fs değerleri Çizelge 4.32’de, sıvılaşma hesaplaması ise EK-21’de verilmiştir.

$$CRR = \alpha \left( \frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + \beta \left( \frac{1}{V_{S1}^* - V_{S1}} - \frac{1}{V_{S1}^*} \right) \quad (4.88a)$$

$$\alpha = 0,022$$

$$\beta = 2,8$$

$$\text{İTO} > 35 \quad V_{S1}^* = 200$$

$$\text{İTO} < 5 \quad V_{S1}^* = 215$$

$$5 \leq \text{İTO} \leq 35 \quad V_{S1}^* = -0,5 \cdot \text{İTO} + 217,5$$

$$V_{S1} = V_S \cdot \left( \frac{P_a}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25} \quad (4.8b)$$

$V_{S1}$  : Efektif gerilme ile düzeltilmiş kayma dalga hızı

$V_{S1}^*$  : Sıvılaşmanın olabileceği düzeltilmiş S dalga hızı

$V_S$  : Kayma dalga hızı

$P_a$  : Atmosferik basınç

$\sigma'_{vo}$  : Efektif gerilme

Çizelge 4.32 Vs dalga hızı kullanılarak çalışma alanı Fs değerleri

Derinlik (m)	5.3	7	8.9	11	13.2	15.6	18.1	20.9
Masw No	Fs							
1	0.26	0.09	0.40	1.06	1.26	1.35	1.35	1.32
2	0.66	1.23	1.41	1.28	1.08	0.90	0.80	0.73
3	0.65	0.28	-0.02	0.42	0.78	0.94	0.98	1.11
4	0.34	0.72	0.88	0.94	1.20	1.27	1.95	2.59
5	0.50	1.13	1.38	1.37	1.33	1.47	1.96	2.70
6	0.70	1.21	1.19	1.11	1.41	2.07	2.72	3.37
7	0.36	0.85	1.06	1.15	1.32	1.52	1.90	2.46
8	0.79	1.01	1.10	1.57	2.13	2.45	2.73	2.83
9	1.34	0.50	1.25	1.68	1.77	1.75	1.63	1.48
10	0.50	1.04	1.29	1.32	1.37	1.53	1.80	2.26
11	0.92	1.45	0.97	0.75	1.11	2.03	3.04	3.90
12	0.36	0.55	0.77	0.98	1.11	1.30	1.53	1.67
13	0.81	1.41	1.39	1.11	1.07	1.34	1.80	2.12
14	0.42	0.71	0.96	1.19	1.43	1.57	1.81	2.13
15	0.37	0.79	1.11	1.38	1.54	1.88	2.37	2.92
16	1.35	1.40	2.01	2.61	2.82	2.54	2.17	1.63
17	0.76	0.98	0.90	1.06	1.35	1.69	1.99	2.12
18	-2.82	0.32	0.33	0.25	0.31	0.40	0.51	0.59
19	0.41	0.19	0.42	0.59	0.73	0.85	0.92	0.95
20	0.62	0.79	0.95	0.96	1.00	1.14	1.32	1.54
21	0.62	0.47	0.57	0.77	0.93	1.01	1.01	0.95
22	1.40	0.07	0.65	0.73	1.12	1.23	1.36	1.58
23	-0.47	0.25	0.57	0.79	1.07	1.29	1.37	1.39
24	-20.13	-0.12	0.46	0.70	0.98	0.97	1.34	1.81
25	-2.78	0.34	0.49	0.58	0.73	0.91	1.15	1.16
26	-4.00	0.51	0.74	0.75	0.73	0.80	1.00	1.26
27	0.35	0.36	0.46	0.56	0.69	0.85	1.00	1.16
28	3.42	0.36	0.64	0.84	1.02	0.90	1.08	1.34
29	1.19	1.38	1.04	0.92	1.19	1.80	2.27	2.62
30	0.85	0.53	0.88	1.04	1.03	1.53	1.88	2.22
31	0.37	0.64	1.05	1.07	0.92	1.13	1.10	1.62
32	0.23	0.50	0.44	0.64	0.74	0.86	0.95	1.02

SPT-N ve Vs değerleri kullanılarak hesaplanan sıvılaşma güvenlik katsayı (Fs) değerlerini karşılaştırabilmek amacıyla; 7,5 m ve 10,5 m derinliklerdeki dağılımları Şekil 4.46 ve Şekil 4.47’de verilmiştir. Fs değerlerinin arazi dağılımları incelendiğinde;

- Genel olarak çalışma alanı doğusu ve kuzey doğusunda Fs değerleri daha düşüktür. Çalışma alanının bu kısımlarında Vs değerleri ile hesaplanan Fs

değerleri büyük çoğunlukla 1'in altındadır ve sıvılaşma ihtimali vardır. Çalışma alanının batı ve güney kısımlarında ise Fs değerleri 1'in üzerindedir.

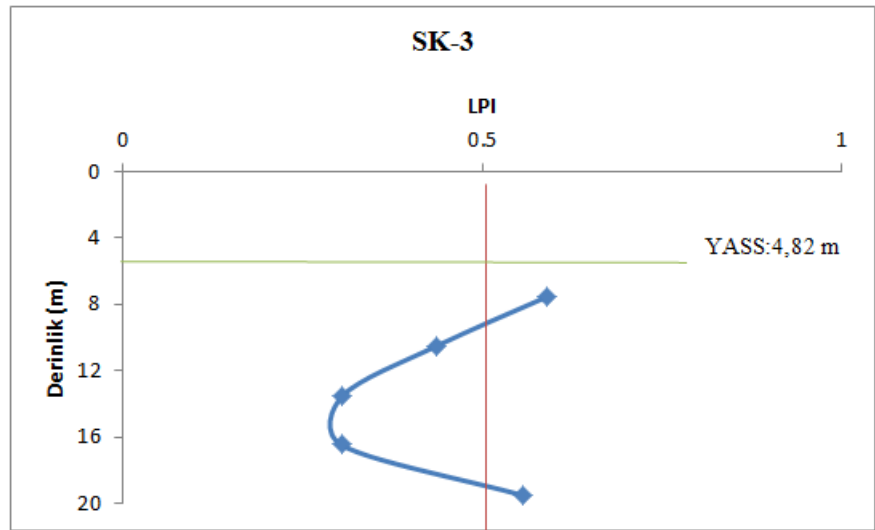
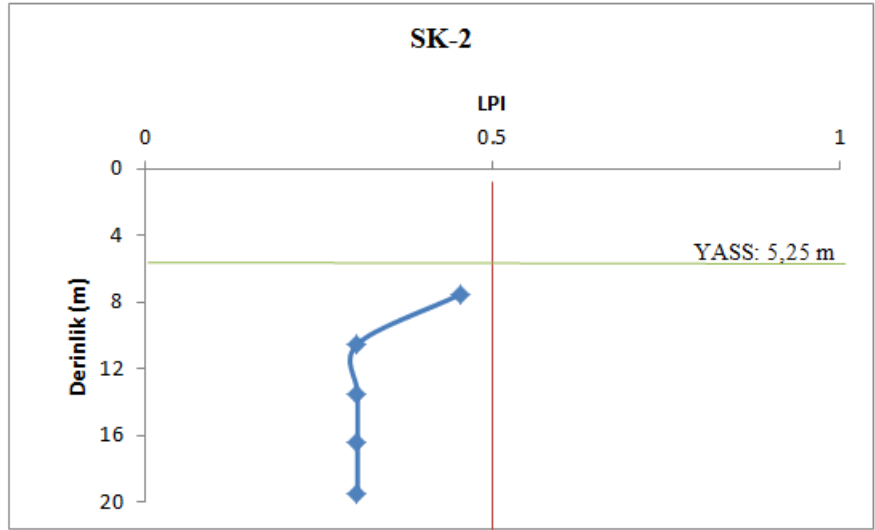
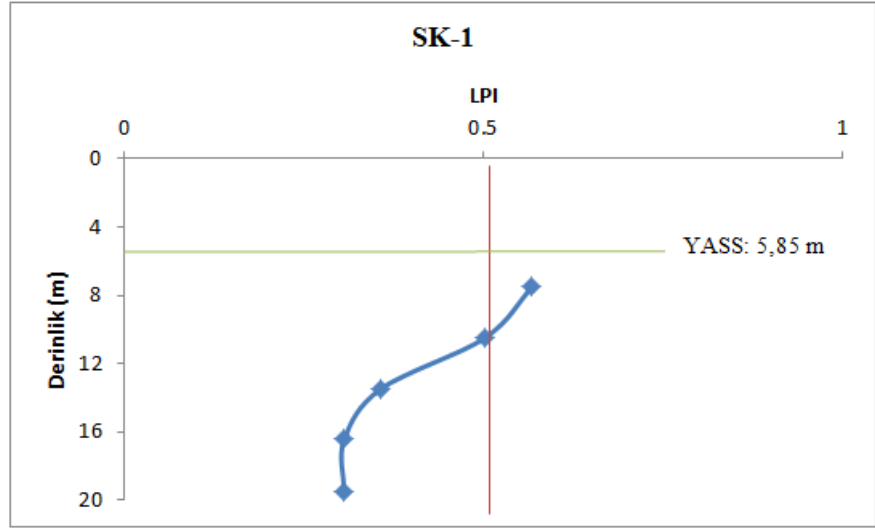
- Fs değerlerinin 1'in altında olduğu doğu kısımlarda litolojik olarak yoğun kumlu siltli birimler olduğu belirlenmiştir. AÇ8 nolu araştırma çukurunda 3 ve 5 m derinliklerde ve SK9, SK10 ve SK11 nolu araştırma sondajlarında 7,5 ve 10,5 m derinliklerde bol kumlu, siltli birimlerin yer aldığı gözlenmiştir. Bu tip birimler sıvılaşmaya duyarlı birimlerdir.
- Çalışma alanında açılan araştırma sondajlarından beş tanesi yılın farklı aylarında YASS gözlemek için Gözlem Kuyusu olarak değerlendirilmiştir. Alanın kuzey doğusunda yer alan GK4 nolu gözlem kuyusunda YASS 4,31-5,00 m arasında iken doğusunda yer alan GK5 nolu gözlem kuyusunda YASS 4,67-6,27 m arasında değişmektedir. Yağışların yoğun olduğu dönemlerde bu seviyeler daha yukarı çıkmaktadır. YASS yüzeye yakın olması sıvılaşmayı tetikleyen unsurlardan biridir.
- Çalışma alanında 7,5 m derinlikte elde edilen Vs değerleri ile hesaplanan Fs değerleri 10,5 m derinlikteki Fs değerlerinden büyük çoğunlukla daha küçüktür. Derinlere inildikçe Fs değerlerinde artış gözlenmiştir. Sıvılaşmanın derinlikle azaldığı gözlenmektedir.
- Çalışma alanında SPT-N verileri kullanılarak yapılan sıvılaşma hesaplamaları ile elde edilen Fs değerleri, jeofizik çalışmalarında elde edilen Vs değerleri kullanılarak hesaplanan Fs değerlerinden daha yüksek çıkmıştır.



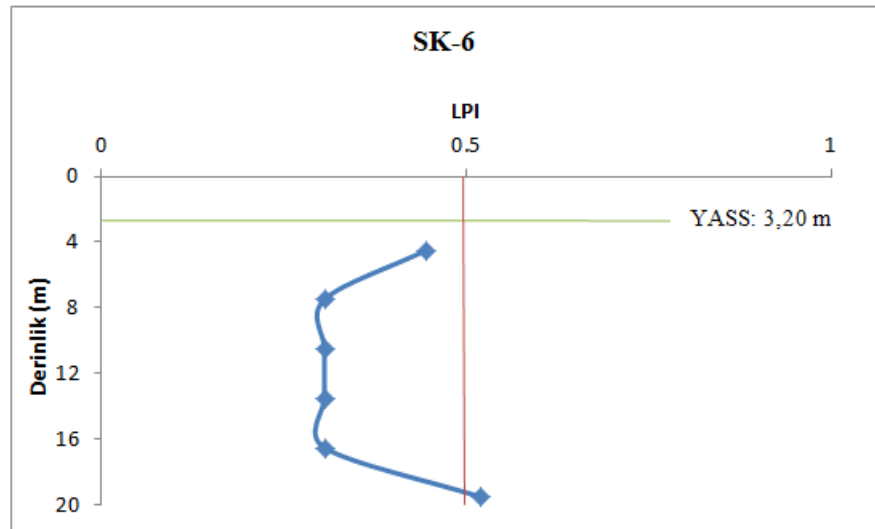
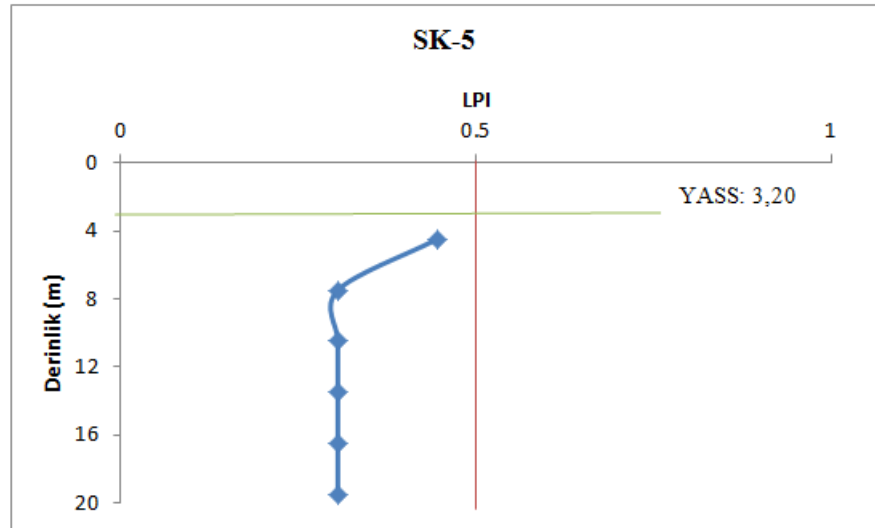
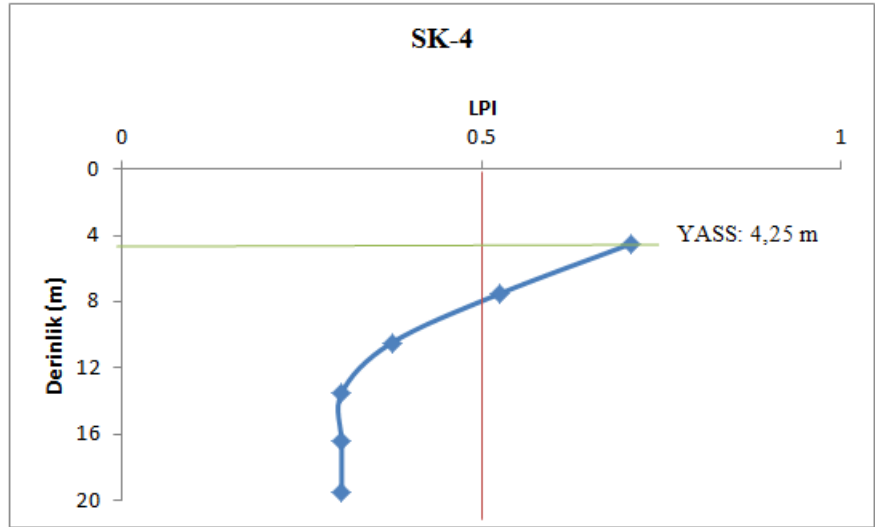
Şekil 4.46 Çalışma alanı 7,5 m SPT ve Vs karşılaştırması



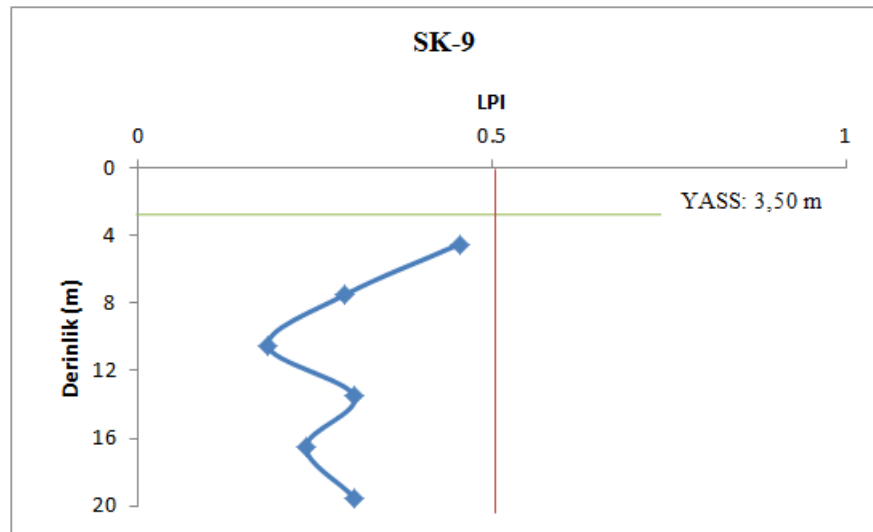
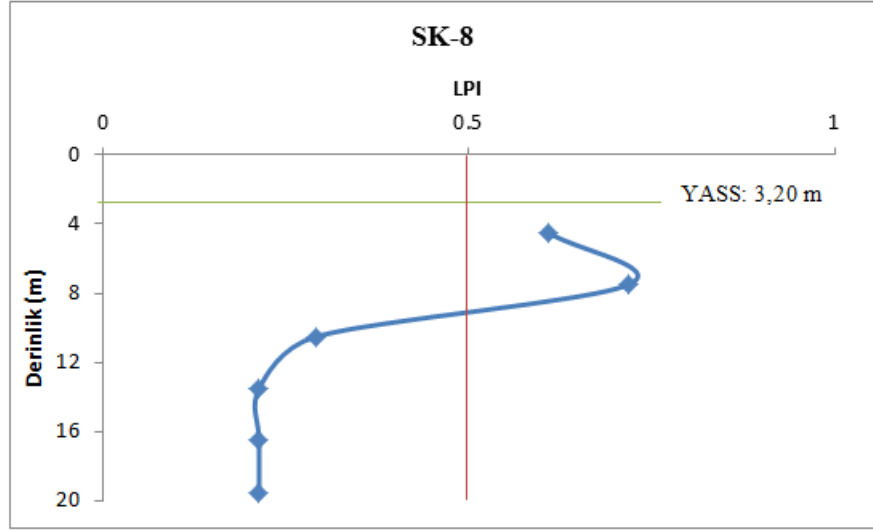
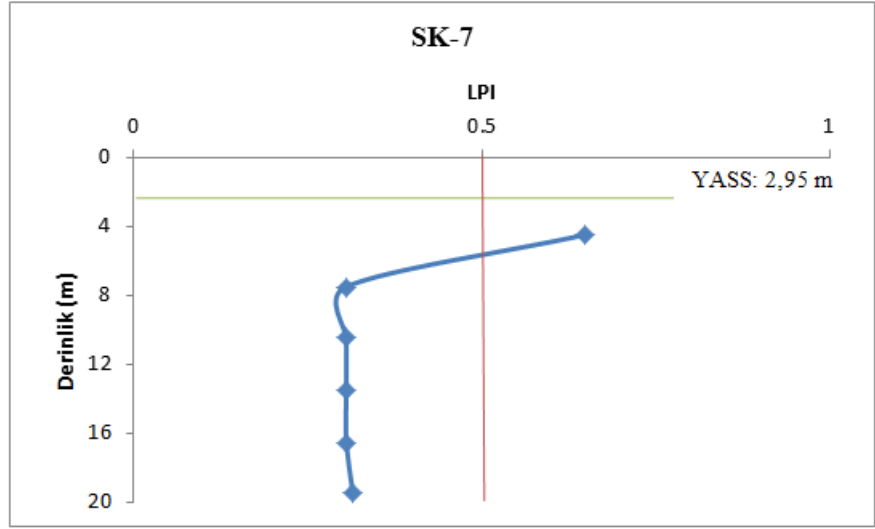
Çalışma alanında sıvılaşma potansiyel indeks değerleri (LPI) SPT-N sonuçları kullanılarak Eşitlik 2.36'ya göre hesaplanmıştır. Hesaplamalarda; moment magnitüt değeri ( $M_w$ ) 7,5 ve ( $a_{max}$ ) değeri 0,4g olarak alınmıştır. Değerlendirmeler Şen, 2010'a göre yapılmıştır [66]. Çalışma alanında araştırma kuyularına bağlı olarak değişen LPI değerleri Şekil 4.48'de, LPI hesaplamaları ise EK-22'de yer almaktadır. Çalışma alanında 7,5 ve 10,5 m derinliklerdeki SPT verileri kullanılarak hesaplanan LPI değerlerinin dağılımı Şekil 4.49 ve Şekil 4.50'de verilmiştir.



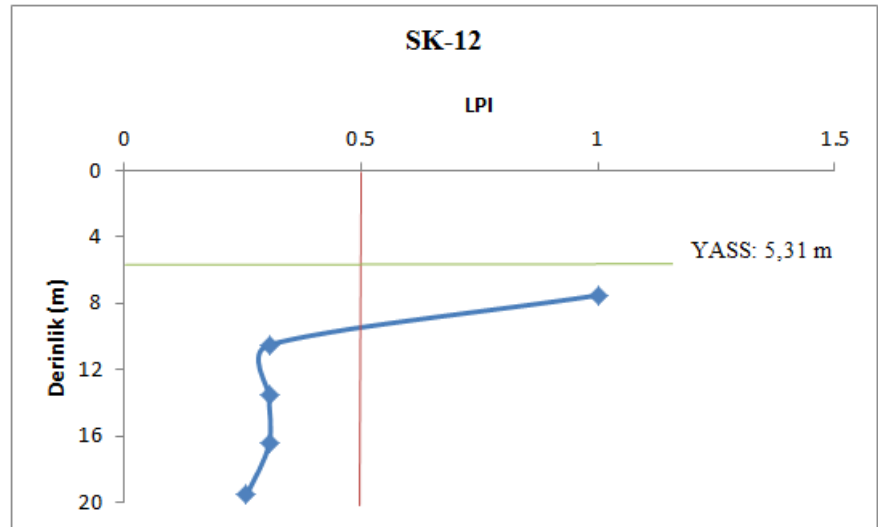
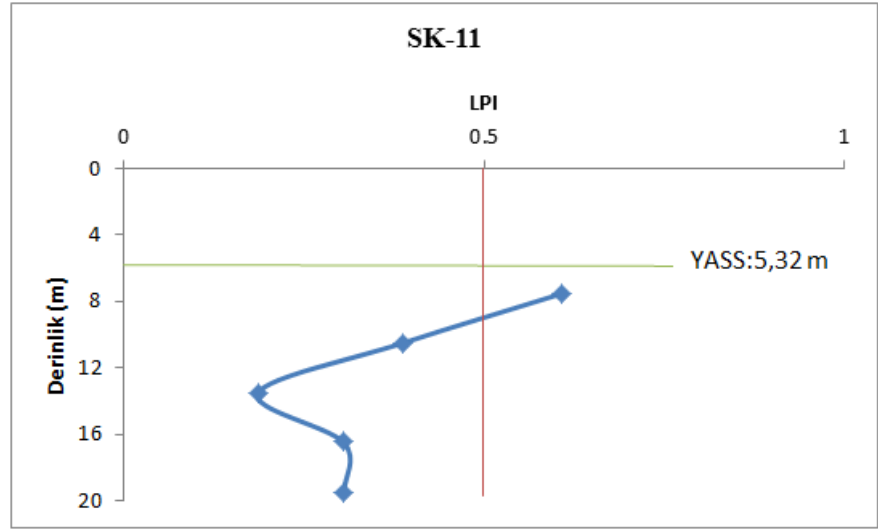
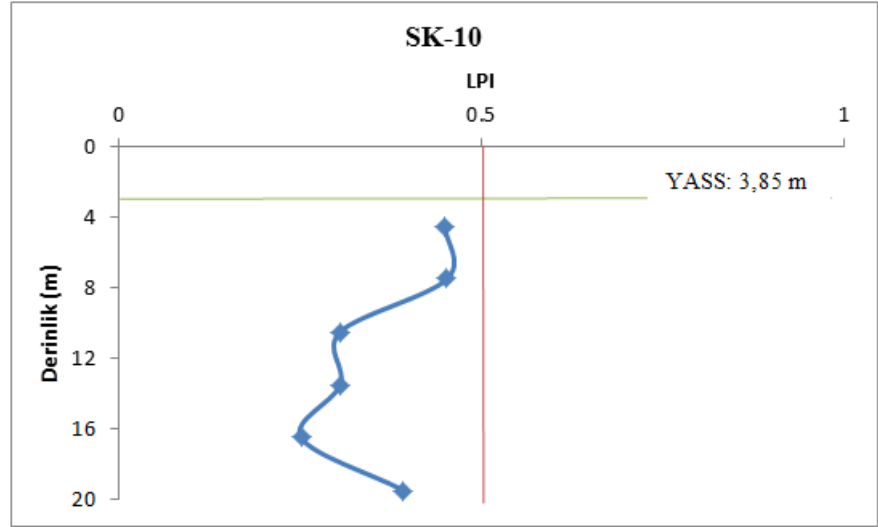
Şekil 4.48 Çalışma alanı LPI değerleri



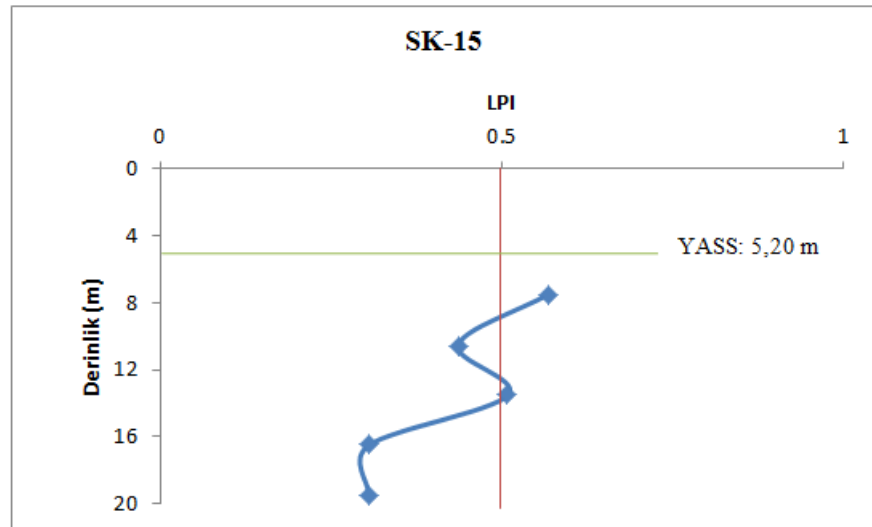
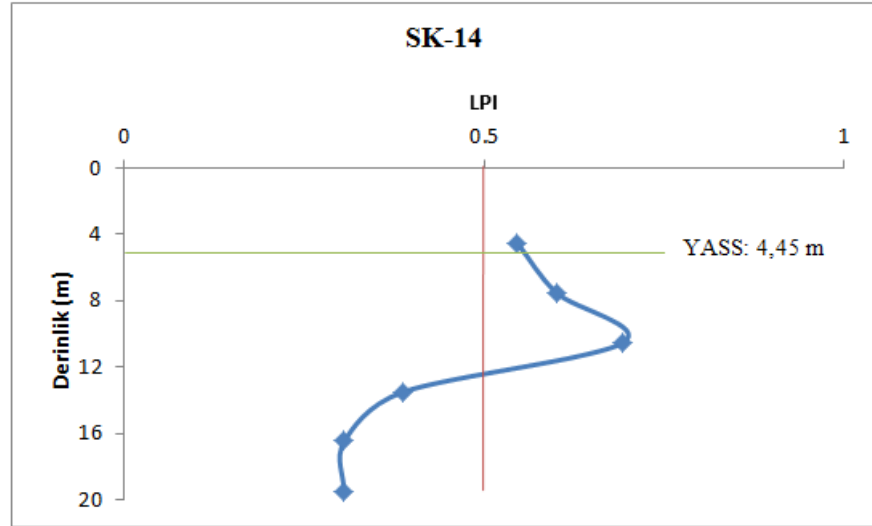
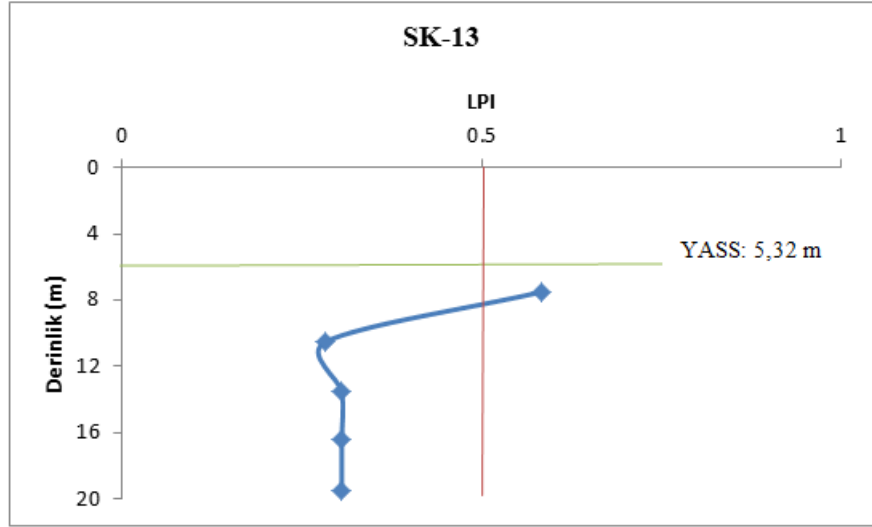
Şekil 4.48 Çalışma alanı LPI değerleri (Devam)



Şekil 4.48 Çalışma alanı LPI değerleri (Devam)



Şekil 4.48 Çalışma alanı LPI değerleri (Devam)



Şekil 4.48 Çalışma alanı LPI değerleri (Devam)



Şekil 4.49 Çalışma alanı 7,5m LPI değerleri dağılımı



Şekil 4.50 Çalışma alanı 10,5m LPI değerleri dağılımı

Şekil 4.49 incelendiğinde 7,5 m için LPI değerlerinin çalışma alanı doğu ve kuzey doğusunda 0,5'den büyük değerler aldığı görülmektedir. Bu kısımlarda LPI verilerine göre sıvılaşma ihtimali vardır. Ancak Şekil 4.50'ye göre 10,5 m verileri dikkate alındığında sadece alanın kuzey doğusunda yer alan kuyu verisi 0,5 değerinden büyüktür.

## 5. SONUÇLAR

### 5.1. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında Battalgazi (Malatya) Kampüsü ve yakın çevresinin sedimantolojik ve geoteknik özelliklerinin belirlenmesine yönelik arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalar kapsamında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- 1- Çalışma alanında AÇ4 nolu araştırma çukurundaki çakıllar üzerinde yapılan ölçümler sonucunda, çalışma alanı eski akıntı yönünün güneybatıdan kuzeydoğuya doğru olduğu belirlenmiştir.
- 2- Araştırma çukurlarından alınan örselenmemiş numuneler üzerinde, sedimanların tane şeklini belirlemek amacıyla elektronik kumpas kullanılarak boy, çap ve uzunluk ölçümleri yapılmıştır. Alınan ölçümler “Zinng Küresellik Sınıflaması” kullanılarak sınıflanmış ve sediman numunelerin büyük çoğunlukla “Küre” şeklinde olduğu tespit edilmiştir.
- 3- Araştırma çukurlarından alınan numuneler üzerinde elek analizi yapılmış ve sonuçlar Folk’un tane boyu sınıflamasına göre değerlendirilmiştir. Buna göre; AÇ8-3 m ve AÇ8-5 m “Az Çakıllı Kum” sınıfında, AÇ3-3 m, AÇ4-3 m ve AÇ1-5 m numuneleri “Çakıllı Kumlu Çamur” sınıfında ve diğer araştırma çukurlarından alınan numuneler ise “Az Çakıllı Kumlu Çamur” sınıfında yer almaktadır.
- 4- Araştırma çukurlarından alınan sediman numuneler üzerinde elek analizi yapılmış ve elde edilen tane boyu dağılım eğrileri kullanılarak tane boyu istatistiksel parametreleri tespit edilmiştir. Bu işlem sırasında tane boyutları phi ( $\phi$ ) ölçeğine çevrilerek kullanılmıştır. Tane boyu istatistiksel parametreleri kapsamında; medyan, aritmetik ortalama, boylanma, çarpıklık ve tepelenme özellikleri değerlendirilmiştir.
  - a. Sediman numunelere ait medyan değerleri 1,8 ile 4,5 arasında çıkmıştır.
  - b. Sediman numunelere ait boylama değerleri; kuzey ve batı doğrultularında “Çok Kötü Boylanma- Kötü Boylanma”

özellikleri gösterirken, güney ve doğu doğrultularında “Orta Boylanma- Orta Derecede İyi Boylanma” özellikleri göstermektedir. Uzun süreli yüksek enerji ortamlarında sediman tanelerinin boylanma özellikleri iyidir [9]. Çalışma alanındaki numunelerin kötü ve çok kötü boylanma özelliğine sahip olan kısımları diğerlerine göre daha düşük enerjiye maruz kaldıklarını göstermektedir.

- c. Sediman numunelere ait çarpıklık değerleri negatif değerler almıştır. Sediman numunelerin negatif çarpıklık değerlerine sahip olmaları fazla miktarda kaba tane içerdiklerini ifade eder [114]. Çalışma alanından alınan örneklere ait çarpıklık değerleri -0,30 ile -1,00 arasında değişmektedir. Çarpıklık sınıflamasına göre “Aşırı Derecede Kaba Çarpık” sınıfındadır [7, 10, 11].
  - d. Sediman numunelere ait Tepelenme değerleri 0,9 ile 1,5 arasında değerler almaktadır. Tepelenme sınıflamasına göre çalışma alanı doğusunda yer alan AÇ8 nolu kuyuda “Leptokürtik” özellik gösterirken, diğer sediman numuneleri “Mezokürtik” özelliktedir [7, 9].
  - e. Çalışma alanı depolanma ortamı belirleme çalışmaları sonucunda, ortalama tane boyu-boylanma verilerine göre sediman numunelerinin flüviyal ortam olduğu belirlenmiştir [22].
- 5- Çalışma alanı genelinde farklı araştırma sondajlarında farklı derinliklerden alınan numuneler üzerinde, içerdikleri mineralleri belirlemek amacıyla bir dizi XRD analizi yapılmıştır. Alınan tüm örneklerin XRD analizi değerlendirmesi sonucunda en çok kalsit mineralinin varlığı tespit edilmiştir. Çalışma alanında yaptırılan XRD analizlerinde çıkan kalsit minerallerinin bolluğu, beslenme alanındaki karbonatlı kayaçlardan kaynaklanabilir. Karbonat mineralleri zeminin pekleşmesine pozitif yönde etki edebilir.
- 6- Çalışma alanında açılan sondajlardan arazi genelini temsil edecek 5 sondaj kuyusu yeraltı su seviye kontrolünün yapılabilmesi amacıyla borularak gözlem kuyusuna çevrilmiştir. Bir yıl boyunca her ay

alınan yeraltı su seviye ölçüm değerlerine göre; YASS değerinin en düşük olduğu ay mart ayıdır. Mevsimsel yağışların oldukça düşük olması ve genel olarak tarım alanı olan bölgede sıcaklığın artmasına bağlı olarak sulama mevsiminin başlamasıyla haziran ayı itibarıyla yeraltı su seviyelerinde yükselim başlamıştır.

- 7- Çalışma alanında arazi deneyleri kapsamında 15 adet araştırma sondajında ve her kuyuda 7 farklı derinlikte olmak üzere toplam 105 noktada SPT yapılmıştır. SPT-N sayısı üzerinde gerekli düzeltmeler yapılarak SPT-N<sub>1(60)</sub> değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere göre zeminin sıklık sınıflaması yapıldığında, zemin sıklığı büyük oranda sıkı - çok sıkı zemin sınıfında çıkmıştır [115].
- 8- Arazi çalışmaları kapsamında 15 araştırma sondajında, 6 farklı derinlikte toplam 90 adet PMT deneyi yapılmıştır. Çalışma alanına ait Em/PL değerleri 9,3-41,7 arasında değişmektedir. Bu değerler kumlu birimlerde aşırı konsolide kum özelliğini göstermektedir.
- 9- Arazi çalışmaları kapsamında yapılan diğer bir çalışma da jeofizik çalışmalardır. Bu amaçla toplam 32 noktada sismik kırılma yöntemleri ve 22 noktada da düşey elektrik sondaj yöntemleri kullanılmıştır.
  - a. Çalışma alanında yapılan sismik çalışmalar sonucunda üç tabakalı ortam tespit edilmiştir. 1. tabakada V<sub>p</sub> boyuna dalga hızı 286-442 m/s aralığında, 2. tabakada V<sub>p</sub> boyuna dalga hızı 702-925 m/s aralığında ve 3. tabakada ortalama V<sub>p</sub> boyuna dalga hızı 958-1214 m/s aralığında değerler göstermektedir. Bu tabakaların V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub> oranları birinci tabaka için 3,125, ikinci tabaka için 3,64 ve üçüncü tabaka için 2,06'dır. Jeofizik veriler dikkate alındığında; birinci ve ikinci tabakalar gevşek, üçüncü tabaka ise az sıkı özelliktedir [116]. Çalışma alanı ilk 6,5 m derinlikte yer alan bir ve ikinci tabakaların sıvılaşma açısından hasas bölgeler olduğu söylenebilir.
  - b. Çalışma alanında 32 noktada alınan ölçümlerde elde edilen V<sub>s30</sub> dalga hızların en yüksek olduğu yer sahanın batısıdır. V<sub>s30</sub> hızlarına göre zemin sınıflaması yapılmış ve arazinin güney ve kuzey batıda kalan kısmı C zemin sınıfında, kuzey ve güneydoğu kısmı D sınıfında tespit edilmiştir [110]. Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün

yayınladığı genelgeye göre zemin sınıflaması yapıldığında, zemin sınıfı olarak Z3 ve Z4, zemin türü olarak da C ve D sınıfı tespit edilmiştir [111]. Z3 ve Z4 zemin sınıfları inşaat çalışmaları dikkate alındığında önlem alınması gereken zayıf zeminlerdir.

- c. Çalışma alanında 22 noktada yapılan DES sonuçlarına göre; üstte yaklaşık 0-1,3 m arası silt ara katkılı kum, 1,3-5 m arası çakıl ve silt ara katkılı kum, 5-30 m arası kum ara katkılı çakıl ve 30-100 m arası ise silt ara katkılı kum olarak belirlenmiştir. 100 m'den sonra marn birimine girilmiştir.
  - d. Jeofizik çalışmalar sonucunda elde edilen veriler kullanılarak, zemin taşıma gücü ve oturma miktarları da hesaplanmıştır. Taşıma gücü değerleri 1,37-4,04 kg/cm<sup>2</sup> arasında hesaplanırken, oturma değerleri 50-11,6 mm arasında hesaplanmıştır.
- 10- Çalışma alanında açılan sondaj kuyularından SPT tüpü ile alınan örselenmiş numuneler ve araştırma çukurlarından alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde bir dizi fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Sondaj kuyularından 105 noktada ve araştırma çukurlarından 13 noktadan alınan örselenmiş numuneler üzerinde; su içeriği, elek analizi, kıvam limitleri, özgül ağırlık deneyleri, araştırma çukurlarından alınan örselenmiş numuneler üzerinde bu deneylere ek olarak 13 adet hidrometre deneyi yapılmıştır. Araştırma çukurlarından alınan örselenmemiş numuneler üzerinde konsolidasyon ve kesme kutusu deneyi yapılmıştır.
- a. Fiziksel deneylerle elde edilen sonuçlar USCS sistemine göre sınıflandırılmış ve arazi genelinde zemin sınıfının büyük çoğunluğu SC (killi kum) sınıfı zemin olarak belirlenmiştir. Kıvam limitleri deney sonuçları; zeminin şişme ve kıvam özellikleri açısından değerlendirilmiştir [13, 27]. Buna göre çalışma alanına ait ince taneli zeminlerin şişme potansiyeli büyük oranda “düşük” olarak belirlenmiştir. Yine zeminlerin kıvamları büyük oranda “katı ve plastik” kıvamda olduğu tespit edilmiştir.
  - b. Mekanik deneyler kapsamında araştırma çukurlarından alınan örselenmemiş numuneler üzerinde konsolidasyon ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Konsolidasyon deneyi sonunda elde edilen

$m_v$  ve  $a_v$  değerleri kullanılarak, zeminin sıkışabilirlik özelliği irdelenmiştir.  $m_v$  değerlerine göre yapılan sınıflamada zeminin çok düşük sıkışabilir özellikte olduğu tespit edilmiştir [104]. Yine  $a_v$  değerleri dikkate alınarak yapılan sıkışabilirlik değerlendirilmesinde, zeminin pratik olarak sıkışamayan özellikte olduğu tespit edilmiştir [111].

- c. Konsolidasyon deney sonuçları kullanılarak elde edilen  $m_v$ ,  $C_v$  ve  $T_v$  değerleri, nihai oturma ve 3, 6, 9 ve 12 ay sonu oturma miktarları hesaplamalarında kullanılmıştır. Konsolidasyon deneyi ile hesaplanan nihai oturma miktarları, SPT alışma bulguları kullanılarak hesaplanan oturma miktarlarından daha büyük değerler almıştır. Bununla birlikte konsolidasyon deney bulguları ile hesaplanan 12 ay sonu oturma miktarları SPT alışma bulguları ile elde edilen oturma miktarları ile daha uyumlu görülmektedir.
- 11- Çalışma alanında SPT alışma bulguları kullanılarak taşıma gücü hesaplamaları yapılmış ve arazi taşıma gücü haritası oluşturulmuştur. Buna göre; çalışma alanı kuzey ve doğu kısımları 233-371 kPa arası değerler alırken, batı ve güney kısımları 335-565 kPa arası değerler almaktadır. Çalışma alanı SPT verilerine göre, taşıma gücü değerleri arazinin batı ve güney kısımları için SC zeminlere göre daha uygundur [34].
- 12- Çalışma alanında PMT alışma bulguları kullanılarak taşıma gücü hesaplamaları yapılmış ve arazi taşıma gücü haritası oluşturulmuştur. Buna göre; çalışma alanının kuzey ve doğu kısımlarının taşıma gücü değerleri 234-314 kPa arası değerler alırken, batı ve güney kısımları 363-524 kPa arası değerler almaktadır. Çalışma alanı PMT verilerine göre, taşıma gücü değerleri arazinin batı ve güney kısımları için SC zeminlere göre daha uygundur [34].
- 13- Çalışma alanında SPT ve PMT ile hesaplanan taşıma gücü değerleri uyum sağlamaktadır. Jeofizik ölçümlerle elde edilen taşıma gücü değerleri SPT ve PMT sonucu elde edilen taşıma gücü değerlerinden daha düşüktür.
- 14- Araştırma çukurlarından alınan örselenmemiş numuneler üzerinde kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. A1, 2, 3, 7 ve 8 nolu çukurlardan

5m derinlikten alınan numuneler üzerinde elde edilen sonuçlar taşıma gücü hesaplamalarında kullanılmıştır. Terzaghi, Meyerhof ve Hansen Eşitlikleri kullanılarak elde edilen hesaplamalar sonucu en yüksek değerler Terzaghi eşitliği ile elde edilirlen, en düşük değerler Hansen eşitliği ile elde edilmiştir. Taşıma gücü en düşük kuyular AÇ1-5m ve AÇ2-5m'de elde edilmiştir. Terzaghi eşitliği kullanılarak elde edilen taşıma gücü değerleri 173-626 kPa arasında hesaplanmıştır.

- 15- Konsolidasyon deneyi ile elde edilen  $m_v$ ,  $C_v$  ve  $T_v$  değerleri kullanılarak 3, 6, 9 ve 12 ay sonu oturma miktarları hesaplanmıştır. 12 ay sonu oturma miktarları dikkate alındığında en düşük oturma miktarı AÇ7-3 m'de 22,08 mm ve en yüksek oturma miktarı AÇ1-5 m'de 165,17 mm olarak belirlenmiştir.
- 16- Araştırma sondaj kuyularında gerçekleştirilen SPT deney sonuçları ve tane boyu dağılım eğrileri kullanılarak çalışma alanı sıvılaşma hesaplamaları yapılmıştır. SPT tüpü ile alınan örselenmiş numunelere ait tane boyu dağılım eğrileri sıvılaşma duyarlılığı açısından değerlendirildiğinde; hemen hemen tamamı “Yüksek Sıvılaşma Olasılığı” riski taşımaktadır.
- 17- SPT deney sonuçları ile Seed Yöntemi kullanılarak sıvılaşma değerlendirilmesi yapılmıştır. 4,5 m derinlikte yapılan hesaplamalarda çalışma alanı batısında SK2, SK4, SK7 ve SK11 nolu kuyularda  $F_s$  değeri 1'in altındadır. 7,5 m derinlikte yapılan sıvılaşma hesaplamalarında ise SK8 ve SK12 nolu araştırma sondaj kuyularının olduğu bölgelerde  $F_s$  değeri 1'in altındadır.
- 18- Arazi çalışmaları kapsamında yapılan jeofizik çalışmalarla elde edilen  $V_s$  dalga hızları kullanılarak sıvılaşma hesaplaması yapılmıştır. Buna göre çalışma alanı doğu ve kuzeydoğusunda  $F_s$  değerleri 1'in altındadır. Bununla birlikte bu kısımlarda özellikle kumlu ve siltli birimlerin yoğun olması, yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması nedeniyle sıvılaşma ihtimali bulunmaktadır.
- 19-  $V_s$  verileri kullanılarak hesaplanan  $F_s$  değerlerine göre 7,5 m'de elde edilen  $F_s$  değerleri 10,5 m'de elde edilen  $F_s$  değerinden daha düşüktür. Derinlere inildikçe sıvılaşma riski azalmaktadır.
- 20- Çalışma alanında SPT ve  $V_s$  dalga hızları kullanılarak yapılan

sıvılaşma hesaplamalarında Şekil 4.46'da 7,5 m ve Şekil 4.47'de 10,5 m derinlikte görüldüğü üzere arazi doğu ve kuzeydoğusunda Vs dalga hızlarıyla elde edilen Fs değerleri daha düşüktür. Çalışma alanının bu kısımları elek analiz çalışmalarında yoğun olarak kumlu olduğu belirlenmiştir. Sondaj uygulamalarında gözlemsel olarak da yoğun kumlu birimlere rastlanmıştır. Yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması da olası bir deprem anında sıvılaşma riskini ortaya koymaktadır. Vs ile elde edilen Fs değerleri, SPT ile elde edilen Fs değerlerinden daha düşüktür.

21- SPT deney sonuçları Eşitlik 2.36 kullanılarak LPI değerlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; çalışma alanı doğu ve kuzey doğusu sıvılaşma riski taşıyan bölgelerdir. Vs dalga hızı ile hesaplanan ve sıvılaşma riski taşıyan bölgeler ile LPI değerleri ile belirlenen sıvılaşma riski taşıyan bölgeler yaklaşık aynı bölgelerdir.

## 5. 2. Öneriler

Bu çalışma ile elde edilen verilere göre:

- a. Sıvılaşma hesaplamalarına göre özellikle arazinin batı kısmında sıvılaşma riski taşıyan bölgeler belirlenmiştir. Derinlere doğru bu risk azalmaktadır. Çalışma alanı YASS'nin yüzeye yakın olması, yakın civarda önemli fay hatlarının bulunması ve yoğun olarak kumlu birimlerden oluşması inşaat çalışmalarında mutlaka dikkate alınması gereken bir durumdur.
- b. Jeofizik veriler dikkate alındığında özellikle ilk 7 m derinlikte taşıma gücü düşük ve birim gevşek özelliktedir. Sıvılaşma ve oturma riski açısından dikkate alınması gereken bir durumdur.

## KAYNAKLAR

- [1] K. Kumar, *Basic geotechnical earthquake engineering*, New Age International p.57, 2008.
- [2] S.L., KRAMER, *Geoteknik Deprem Mühendisliği*, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çeviren Kamil KAYABALI, Temmuz, 2003.
- [3] R.A. GREEN, 2001, *Energy- Based evaluation and Remediation of liquefiable soils*, Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering, Blacksburg, Virginia, 2001.
- [4] M. Greene, M. Power, T.L.Youd, *Earthquake, Liquefaction*, **Earthquake Engineering Research Institu**, California, January, 1994, 1-8.s
- [5] H. Tosun, E. Seyrek, A. Orhan, H. Savaş, M. Türköz, *Soil liquefaction potential in Eskişehir, NW Turkey*, **Natural Hazards and Earth Systems Sciences**, 11 (2011) 1071-1082.
- [6] B. M. Das, *Geotechnical Engineering Handbook*, Ft. Lauderdale, FL USA: J. Ross Publishing Inc., 2010, p.14.
- [7] R. L. Folk, *Petrology of Sedimentary rocks*, Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, 1954.
- [8] G. Nicols, *Sedimentary and Stratigraphy*, Second Edition, United Kingdom, 2009.
- [9] O. Kaya, *Sedimentoloji*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Yayın No: 87, Ankara, 2011.
- [10] S. J. Blott and K. Pye, *Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments*, **Earth Surface Processes and Landforms** 26 (2001) 1237-1248.
- [11] B. Liu, J. Qu, D. Ning, Y. Gao, R. Zu, Z. An, *Grain size study of aeolian sediments found east of Kumtagh Desert*, **Aeolian Research** 13 (2014) 1-6.
- [12] E. B. Watson, G. B. Pasternack, A. B. Gray, M. Gani, A. M. Woolfolk, *Particle size characterization of historic sediment deposition from a closed estuarine lagoon*, **Central California, Estuarine, Coastal and Shelf Science** 126 (2013) 23-33.
- [13] R. F. Craig, *Soil Mechanics*, Spon Press, London, 1997, p.12.
- [14] A.W. Al-Khafaji, O. B. Andersland, *Geotechnical Engineering and Soil Testing*, Oxford University Press, Inc., New York 1992.
- [15] D. Genç, *Zemin Mekaniği ve Temeller*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 100, 2011.
- [16] C. Venkatamamaiah, *Geotechnical Engineering*, Deryaganj, Delhi, 2006.

- [17] N. Kaymakçı, *Sedimentoloji ders notları*, KOÜ Jeoloji Mühendisliği, İzmit,2001.
- [18] C.Luo, Z. Zheng, H. Zou, A. Pan, G. Fang, J. Bai, J. Li, *Paleoenvironmental significance of grain size distribution of river flood deposits: a study of arcaeological sites of the Apengjiang River Draşnage upper Yangtze region China*, **Journal of Archaeological Science**, 40 (2013) 827-840.
- [19] L.R. Martins, *Recent sediments and grain size analysis*, **Gravel**, ISSN 1678-5975 1(2003) 90-105.
- [20] R.L. Folk, W.C. Ward, *Brozos river bar: A study in the significance of grain size parameters*, **Journal of Sedimentary Petrology**, 27 (1957)3-26.
- [21] H. Besler, *The great sand sea in Egypt: Formation, Dynamics and environment change- a sediment- analytical approach*, *Developments in Sedimentology* 59, Oxford, 2008.
- [22] C. P. Priju, A. C. Narayana, *Particle size characterization and late Holocene depositional processes in Vembanad Lagoon, Kerala: İnferences from süite statistics*, **Journal Geological society of India**, Vol. 69, 2007, pp 311-318.
- [23] N. Sivakugan, B.M. Das, *Geotechnical Engineering a problem solving approach*, J.Ross Publishing Inc. 2010.
- [24] S. K. Haigh, P. J. Vardanega, *Fundamental basis of single point liquid limit measurement approaches*, **Applied clay science**, 102 (2014) 8-14.
- [25] F.B.J. Barends *Introduction to soft soil geotechnique*, IOS Press, May, 2011.
- [26] R. D. Holtz, W. D. Kovacs, *Geoteknik Mühendisliğine Giriş*, Çeviren: Kamil Kayabalı, Gazi Kitapevi, Ankara, 2010.
- [27] B. M. Das, *Principle of Geotechnical Engineering*, Fifth Edition, Canada, 2006.
- [28] K. Özaydın, *Zemin Mekaniği*, Birsen Yayınevi, Ankara, 2011.
- [29] K.S. Hdadi, P.Defosseuz, G.Richard, Y.J.Cui, A.M. Tag, V. Chaplain, *A Method for predicting soil susceptibility to the compaction of surface layers as a function of water content and bulk density*, **Soil and Tillage Reserch**, 105 (2009) 96-103.
- [30] A. Özdemir, *Zemin Mekaniği ve Zemin Mühendisliğine Giriş*, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2008.
- [31] M. Salem, R.E. Sherbiny, *Comparision of measured and calculated consolidation settlements of thick underconsolidatedclay*, **Alexandria Engineering Journal**, 2013.
- [32] M. S. A. Zoubi, *Consolidation analysis using the settlement rate- settlement (SRS) method*, **Applied Clay Science**, 50 (2010) 34-40.
- [33] R. Rajapakse, *Geotechnical Engineering Calculations and rules of thumb*, **Elsevier’s Science and technology rights department in Oxford**,2008.

- [34] W.F.Chen, L.Duan, *Shallow Foundations*, Bridge engineering handbook, CRC Press, 2000.
- [35] V. Kumbasar, F. Kip, *Zemin Mekanikği Problemleri*, Çağlayan Kitapevi, Ocak, 1999.
- [36] İ. Akbulut, *Sığ temellerde Jeoteknik Etüt*, MTA Genel Müdürlüğü Yayınları No:40, Ankara, 2005.
- [37] A.Önalp, S. Sert, *Geoteknik Bilgisi II*, Bina Temelleri, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2010.
- [38] H.N. Wazoh, S.J. Mallo, *Standart Penetration Test in Engineering Geological Site Investigations-A Review*, **The International Journal of Engineering and Science (IJES)**, Volume:3, Issur:7 (2014) 40-48.
- [39] O.Sivrikaya, E.Toğrol, *Determination of undrained strength of fine grained soils by means of SPT and its application in Turkey*, **Engineering Geology**, 86 (2006) 52-69.
- [40] O. Sivrikaya, E. Toğrol, *Arazi deneyleri ve Geoteknik tasarımda kullanımları*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2009.
- [41] J.Lee, R.Salgado, *Estimation of footing settlement in sand*, **The International Journal of Geomechanics**, Volume:2, Number:1 (2002) 1-28.
- [42] S. Yağız, E. Akyol, G. Sen, *Relationship between the standart penetration test and the presuremeter test on sandy silty clays: a case study from Denizli*, **Springer- Verlag, Bull Eng Geol Enviren** 67 (2008) 405-410.
- [43] E. B. G. Clarke, *Pressuremeter testing in ground investigation part- I site operaton*, Proc. Instn. Civ. Engng. 119 (1996) 96-108.
- [44] J. Monnet, D. Allagnat, *Interpretation of presuremeter results for design of a diaphragm Wall*, **Geotechnical Testing Journal**, 29 (2006)
- [45] B.G. Clarke, M.P. Gambin, *Pressuremeter testing in onshore ground investigation*, **A report by the ISSMGE Technical Committee** 16, 1998.
- [46] <http://pr.hec.gov.pk/chapters/545s-2.pdf>.
- [47] Y. Di, T. Sato, *Liquefaction analysis of saturated soils taking into account variation in porosity and permeability with large deformation*, **Computers and Geotechnics** 30 (2003) 623-635.
- [48] A.T. Broughton, R. B. V. Arsdale, J. H. Broughton, *Liquefaction Susceptibility Mapping In The City of Membhis and Shelby County, Tennessee*, **Enginneering Geology**, 62 (2001) 207-222.
- [49] G. Owen, M. Moretti, *Identifying triggers for liquefaction induced soft sediment deformation in sands*, **Sedimentary Geology**, 235 (2011) 141-147.
- [50] S. Thevanayagam, G.R. Martin, *Liquefaction In Silty Soils Screening and Remediation Issues*, **Soil Dynamics and Earthquake Engineering** 22 (2002) 1035-1042.

- [51] S.F.Obermier, *Use of liquefaction induced features for paleoseismic analysis an overview of how seismic liquefaction features can be distinguished from other features and how their regional distribution and properties of source sediment can be used to infer the location and strength of holocene paleo earthquake*, **Engineering Geology**, 44 (1996) 1-76.
- [52] D.H. Lee, C. S. Ku, H. Yuan, *A Study of the Liquefaction Risk Potential at Yualin, Taiwan*, **Engineering geology**, 71 (2003) 97-117.
- [53] I.Valverde- Palacios, F.Vidal, J. Chacon, *Spatial variability of liquefaction susceptibility in the Metropolitan area of Granada (Spain)*, 15 WCEE, Lisboa 2012.
- [54] D.B. Chu, J.P.Stewart, S.Lee, J.S. Tsai, P.S. Lin, B.L.Chu, R.B. Seed, CS.C.Hsu, M.S. Yu and M.C.H. Wang, *Documentation of soil conditions at liquefaction and non- liquefaction sites from 1999 Chi-Chi (Twain) earthquake*, **Soil Dynamics and Earthquake Engineering** 24 (2004) 647-657.
- [55] Castro, G.,Ishihara, K., Youd, T.L., Koester, J.P., Idriss, I.M., Liao, S.S.C., Andrus, R.D., Marcuson, F., Arango, I., Martin, G., Christian, J., Mitchell, J., Dobry, R., Finn, L., Moriwaki, J., Harder, F., Power, M., Robertson, P., Seed, R., Stokoe, K., Hynes, M., *Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report Fromthe 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of LiquefactionResistance of Soils*, **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, October 2001.
- [56] K. Mohamed, H. I. Ibrahim, *Liquefaction analysis of alluvial soil deposits in Bedsa South West of Cairo*, **Ain Shams Engineering Journal** 5 (2014) 647-655.
- [57] D. C. A. Andrews and G. R. Martin, *Criteria for liquefaction of silty soils*, 12WCEE 2000.
- [58] B. Muhunthan, D. L. Worthen, *Critical state framework for liquefaction of fine grained soils*, **Engineering Geology** 117 (2011) 2-11.
- [59] M. Chang, C. P. Kuo, R. E. Hsu, *Comparison of SPT-N based analysis methods in evaluation of liquefaction potential during the 1999 Chi- Chi earthquake in Taiwan*, **Computers and Geotechnics** 38 (2011) 393-406.
- [60] W. Zhang, A. T. C. Goh, Y. Zhang, Y. Chen, Y. Xiao, *Assessment of soil liquefaction based on capacity energy concept and multivariate adaptive splines*, **Engineering Geology**, 188 (2015) 29-37.
- [61] S. K. Jha, K. Suzuki, *Reliability analysis of soil liquefaction based on standard penetration test*, **Computers and geotechnics** 36 (2009) 589-596.
- [62] R. Dobry, T. Abdoun, *3rd Ishihara Lecture: An investigation into why liquefaction charts work: A necessary step toward integrating the states of art and practice*, **Soil Dynamics Earthquake Engineering** 68 (2015) 40-56.
- [63] A. Johari, A. R. Khodaparast, *Modelling of probability liquefaction based on standart penetration tests using the jointly distributed random variables methods*, **Engineering Geology**, 158 (2013) 1-14.

- [64] S. K. Jha, K. Suzuki, *Liquefaction potential index considering parameter uncertainties*, **Engineering Geology**, 107 (2009) 55-60.
- [65] H. Sonmez, C. Gokceoğlu, *A Liquefaction severity index suggested for engineering practice*, **Environmental Geology** 48 (2005) 81-91.
- [66] G.Şen, Sıvılaşma Riskinin Belirlenmesinde Genetik Algoritma Yaklaşımı, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Temmuz, 2010, Denizli.
- [67] TS 1900-1, *İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri- Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini*, TSE 2006.
- [68] TS-1500, *İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması*, TSE Aralık 2000.
- [69] M. Singh, I. B. Singh, G. Müller, *Sediment characteristics and transportation Dynamics of the Ganga River*, **Geomorphology** 86 (2007) 144-175.
- [70] ASTM D 422-63, *Standart test Method for particle size analysis of soils*, Reapproved (1998).
- [71] I. Yılmaz, M. Yıldırım, İ. Keskin, *Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri ve Problemler*, Teknik Yayınevi, Ankara, 2009.
- [72] ASTM D 854, *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*, 2010.
- [73] TS 1900-2, *İnşaat mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri- Bölüm:2 Mekanik Özelliklerinin Tayini*, TSE 2006.
- [74] ASTM D 2435, *Standard Test Methods for One- Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading*, ASTM,
- [75] B. M. Das, *Soil Mechanics Laboratory Manual*, 7th Edition, Oxford, 2009.
- [76] <http://www.google.com/intl/earth/index.html>
- [77] A. M. Gözübol ve M.Önal, *Çat Barajı isale tünelinin mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniği incelemesi ve Malatya - Çelikhan alanının jeolojisi*: TÜBİTAK, TBAG-647 nolu proje, 1986.
- [78] M. Önal, *Malatya Baseni doğu kesiminin (Muşardağı dolayı) jeolojisi ve hidrokarbon olanakları: TPAO Arama Grubu, Rap. No: 3863, 91 s., 1986, Ankara.*
- [79] H. Koral and M. Önal, 2007, *Episodic neotectonic escape in the eastern Taurids, SE Turkey: The Malatya Basin: International Geoscience Programmed (UNESCO-IUGS-IGCP)*.
- [80] T. Ayyıldız, B. Varol, M. Önal, E. Tekin and I. Gundogan, 2009, *From reef to pelagic and evaporite evaluation of tansgressive successions in the northwestern part of the Malatya Mesozoic basin, east Anatolia of Turkey: 27<sup>th</sup> IAS Meeting of Sedimentologists*, 11-116, Alghero, Italy, Mendimond, s.r.l.

- [81] M. Önal, Organic geochemical properties of marine Oligocene unit in the Malatya Basin, East Anatolia, Turkey: Energy Sources: Part A , 31: 1406-1414, ISSN: 1556-7036. 2009.
- [82] Sungurlu, O.,1972. VI. Bölge Gölbaşı-Gerger arasındaki sahanımı jeolojisi. TPAO Rapor No:802.
- [83] Perinçek, D., 1979. Çelikhan-Sincik-Koçali alanının Jeolojik incelemesi. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Doktora çalışması, 180s.
- [84] Yiğitbaş, E. ve Yılmaz, Y.,1996. New evidence and solution to the Maden Complex controversy of the southeast Anatolian orogenic belt. Geologische Rundschau 85, 250–263.
- [85] Gözübol, A.M. ve Önal, M.,1986. Çat Barajı isale tünelinin mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniği incelemesi ve Malatya - Çelikhan alanının jeolojisi: TÜBİTAK, TBAG-647 nolu proje, 1986.
- [86] Önal,M and Kaya,M,. 2007. Stratigraphy and tectono-sedimentary evolution of the upper Cretaceous – Tertiary sequence in the southern part of the Malatya Basin, East Anatolia, Turkey, Jeournal of Asian Earth Sciences, 29 878-890.
- [87] Yazgan, E. ve Chessex, R., 1991. Geology and tectonic evolution of the southeastern Taurides in the region of Malatya. TPJD Bülteni 3, 1-23.
- [88] Bendi, Y., Yusufoglu, H., Beyazpirinç, M., Özkan, M. K., Usta, D., Yıldız, H., Baran, C. and Karakuş, E., 2008. Doğu Toroslar'ın jeodinamik evrimi (Doğanşehir-Malatya), MTA Report no. (in preparation)
- [89] Asutay, J., Gültekin, M., Poyraz, N., Sirel, E., Yıldırım, H., 1987. Güneydoğunun Jeolojisi ve Doğu Torosların Jeodinamik Evrimi. MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Arşiv no:297.
- [90] Demir, O., 1997. Malatya, İsmetpaşa, Akçadağ, Kürecik, Hekimhan, Arguvan ve Karakaya Baraj Gölü Arasındaki alanın jeolojisi ve hidrokarbon olanakları.TPAO, Rapor No.3781.
- [91] Önal, M., 1998. Malatya Baseni doğu kesiminin jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. TPAO Rapor no. 3863.
- [92] Önal, M., 1995. Miocene stratigraphy and lignite potential of the northern part of the Malatya Graben Basin E.A. Turkey. International Earth Science Collogium on the Aegean ergion, 11, 607–621.
- [93] Alkan. H., 1997. Malatya Baseninin jeolojisi ve petrol olanakları. TPAO rap. No.3766, 100s.
- [94] Yazgan, E., Asutay, H. J., Gültekin, M. C., Poyraz, N., Sirel, E., and Yıldırım, H., 1987. Malatya güneydoğunun Jeolojisi ve Doğu Toroslar'ın jeodinamik evrimi. MTA Report no. 8722, Ankara.

- [95] Hempton, M.R.ve Savcı, G.,1982.Elazığ volkanik karmaşığının petrolojik ve yapısal özellikleri. TJK Bülteni, 25, 143-150.
- [96] <https://wiki.carleton.edu/display/tec2011/Eurasian+plate++central+Asia>
- [97] M. Önal, C. Helvacı and F. Ceyhan, *Geology and trona potential of the middle Miocene Gürün (Sivas) basin, Central Anatolia, Turkey: Carbonates and Evaporites*, v.19, no.2, 2004, p.118-132.
- [98] E. Arpat, ve F. Şaroğlu, 1975. *Türkiye'deki bazı genç tektonik olaylar*, T.J.K. Bult.,18(1), 91-101.
- [99] C.R. Allen, 1969. Active faulting in northern Turkey.Contr. 1577, Div. Geol. Sciences, Calif. INST. Tech., 32pp.
- [100] E. Gökten, T. Ayyıldız, M. Önal, V. Tekin, V. ve B. Varol 2009, *Malatya Baseninin (GB Türkiye) Neotektonik Özellikleri ve Evrimi: Akif Tektonik Araştırma Grubu ATAG 13. Çalıştay*, s.22, 08-11 Ekim, Çanakkale, 2009.
- [101] <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/map/tr/20120321164207.gif>
- [102] M. Önal and M. Kaya, *Stratigraphy and tectono-sedimentary evolution of the upper Cretaceous – Tertiary sequence in the southern part of the Malatya Basin, East Anatolia, Turkey*, **Journal of Asian Earth Sciences**, 29 (2007) 878-890.
- [103] <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/shared/depremaritalari.aspx>
- [104] “Esen Arpat Doğu Anadolu Fay Sempozyumu” TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Esen Arpat Doğu Anadolu Fay Sempozyumu Sonuç Bildirgesi, 21. Dönem Çalışma Raporu Diyarbakır 2006-2008.
- [105] H. Çetin, H. Güneşli, L.Mayer, *Paleoseismology of the Palu–Lake Hazar segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey*, *Tectonophysics* 374 (2003) 163– 197.
- [106] <http://www.koeri.boun.edu.tr>
- [107] <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/Default.aspx>
- [108] E. Başaran, *Aşırı konsolide ortamlarda mekanik özelliklerin Presiyometre kullanımı ile değerlendirilmesi*, İstanbul Kültür Üniversitesi, Haziran, 2010.
- [109] A. Ateş, *Jeofizik Aramaya Giriş*, Gazi Kitapevi, Ankara, 2007.
- [110] Ö. Karaca, *Fethiye Yerleşim alanı zeminlerinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve Jeoteknik haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak Hazırlanması*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniv. Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 2007.
- [111] *Deprem Bölgelerinde yapılacak Binalar Hakkında yönetmelik*, Resmi Gazete No: 26454, Yayın Tarihi: 06.03.2007.
- [112] A. Önalp, *Geoteknik Bilgisi I*, Birsen Yayınevi, İstanbul 2000.

[113] D. Alkaya, B. Yeşil, 2012, Sıvılaşıma Analizinin VBA Kullanılarak Yapılması, Akademik Bilişim, Uşak Üniversitesi.

[114] Ş.Üşenmez, *Sedimantoloji ve sedimanter kayaçlar*, Gazi Üniversitesi yayın no: 57, Ankara, 1985.

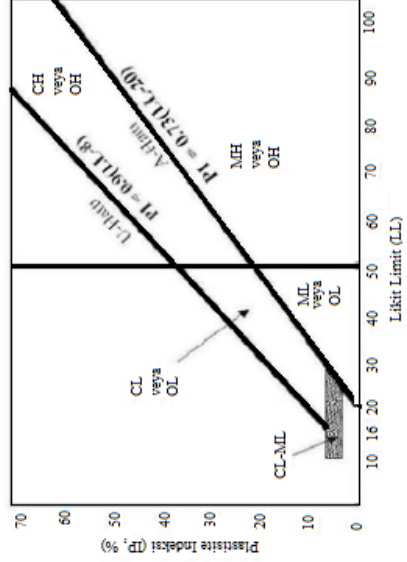
[115] F. Özçep, *Zeminlerin Geoteknik ve Jeofizik Analizi*, Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti, Şubat, 2009.

[116] M. Güzel, *Mikrobölgeleme çalışmalarında jeolojik, jeofizik, jeoteknik verilerin birlikte kullanımı (Kuzey Adana örneği)*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 2009.





















## EKLER

### EK-1 Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemi






















Ana Gruplar		Grup Sembolü	Zemin Cinsi	Laboratuvar Sınıflama Kriterleri		
İrtihahli zeminler (No.200 Elekten geçen <%50)	Çakıllar (Tri kısmın No.4 Elekten geçen %'si <%50)	Temiz çakıllar (No.200 Elek altı <%5)	İyi derecelenmiş temiz çakıllar ve çakıl-kum karışımları	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ ve $C_c = \frac{D_{30}^2}{(D_{10})(D_{60})} = 1-3$  $C_u \leq 4$ veya $C_c \neq 1-3$	$\frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ ve $C_c = \frac{D_{30}^2}{(D_{10})(D_{60})} = 1-3$  $C_u \leq 4$ veya $C_c \neq 1-3$	
		Siltli ve killi çakıllar (No.200 Elek altı >%12)	Kötü derecelenmiş temiz çakıllar ve çakıl-kum karışımları			
Kumlar (Tri kısmın No.4 Elekten geçen %'si >%50)	Kumlar (Tri kısmın No.4 Elekten geçen %'si >%50)	Temiz kumlar (No.200 Elek altı <%5)	Siltli çakıllar, çakıl-kum -silt karışımları	A hattının altında veya $IP < 4$	A hattının üstünde ve $4 < IP < 7$ çift sembol	
		Siltli ve killi kumlar (No.200 Elek altı >%12)	Killi çakıllar, çakıl-kum-killi karışımları	A hattının üzerinde ve $IP > 7$		
İnce taneli zeminler (No.200 Elekten geçe >%50)	Siltler ve Killler	Düşük plastisiteli siltler ve killler ( $LL < \%50$ )	İyi derecelenmiş temiz kumlar, çakıllı kumlar	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ ve $C_c = \frac{D_{30}^2}{(D_{10})(D_{60})} = 1-3$	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ ve $C_c = \frac{D_{30}^2}{(D_{10})(D_{60})} = 1-3$	
		Yüksek plastisiteli siltler ve killler ( $LL > \%50$ )	Kötü derecelenmiş temiz kumlar, çakıllı kumlar	$C_u \leq 6$ veya $C_c \neq 1-3$	$C_u \leq 6$ veya $C_c \neq 1-3$	
		Düşük plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler	ML	Düşük plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler	A hattının altında veya $IP < 4$	A hattının üzerinde ve $4 < IP < 7$ çift sembol
			CL	Düşük plastisiteli inorganik killer ve siltli killer	A hattının üzerinde ve $IP > 7$	
Yüksek plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler	OL	Düşük plastisiteli organik siltler ve killi siltler				
	MH	Yüksek plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler				
Organik Zeminler	Organik Zeminler	CH	Yüksek plastisiteli inorganik killer ve siltli killer			
		OH	Yüksek plastisiteli organik killer ve siltler			
		Pt	Turba zeminler ve diğer organik zeminler			




EK-2 Kuyu Logları

 İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği		JEOTEKNİK SONDAJ LOGU													
Proje Adı	Battalgazi Kampüsü			Başlama Tarihi	03.07.2013										
Kuyu No	SK- 1			Bitiş Tarihi	05.07.2013										
Koordinatlar	37 S 443638			Makina Adı ve Türü	Polsan E-25										
x	42 58361			Sondaj Yöntemi	Rotary										
y	716 m			Sondör	H. Bayır-G. Tekin										
z	20.0 m			Logu Alan	Ö. Kurumural										
Derinlik	5,85 m														
Yeraltı Su Seviyesi															
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Profili	Görsel Tasvir	Tane Boyu Dağılımı			SPT Darbe Sayısı (N)			Doğal su içeriği (%)	Doğal Birim Hac-Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	Çökülme Ajantlık	Kıvam Limitleri		PMT Deneyi PL Em (kg/cm <sup>2</sup> )	Sembol
			Çakıl %	Kum %	Silt-Kil %	SPT						WL	WP		
						0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm							
1.00		Bitkisel yüzeysel toprak													
2.00		Açık kahve renkte, killi kum	0	87,08	32,94	14	19	32	22,94	1,609	2,55	43,74	17,56		SC
3.00														17,1	419
4.00		Açık kahve renkte, killi kum	0	86,18	13,82	17	29	48	22,11	1,651	2,60	50,46	22,33		SC
5.00														19,1	426
6.00		Açık kahve renkte, siltli kum	0	82,31	17,69	8	12	18	29,37	1,903	2,59	49,60	20,13		SM
7.00														14,1	183
8.00		Açık kahve renkte, az çakıllı, killi kum	12,17	74,62	13,21	25	21	19	28,61	1,934	2,64	37,40	14,63		SC
9.00														16,1	251
10.00		Açık kahve renkte, az çakıllı, killi kum	15,49	55,15	29,36	15	17	24	16,99	1,837	2,67	33,1	14,76		SC
11.00														10,1	319
12.00		Açık kahve renkte, az çakıllı, killi kum												26,8	598
13.00															
14.00															
15.00															
16.00															
17.00															
18.00															
19.00															
20.00															


EK-2 Kuyu Logları (Devam)

 İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği		JEOTEKNİK SONDAJ LOGU															
Proje Adı	Battalgazi Kampüsü			Başlama Tarihi	03.07.2013												
Kuyu No	SK-2			Bitiş Tarihi	05.07.2013												
Koordinatlar	37 S 443670			Makina Adı ve Türü	Polsan E-25												
x	42 58112			Sondaj Yöntemi	Rotary												
y	719			Sondör	H. Bayır-G. Tekin												
z	20.0 m			Logu Alan	Ö. Kurumal												
Derinlik	5,25 m																
Yeraltı Su Seviyesi																	
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Profili	Görsel Tasvir	Tane Boyu Dağılımı			SPT Darbe Sayısı (N)			Doğal su içeriği (%)	Doğal Birim Hac. Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	Çözünmüş Ağırlık	Kıvam Limitleri		PMT Deneyi		Sembol	
			Çakıl %	Kum %	Silt-Kil %	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm				WL	WP	LP	Em (kg/cm <sup>2</sup> )		
1.00		Bitkisel yüzeyel toprak															
2.00		Açık kahve renkte kili kum	0	64,17	35,83	14	19	32	20,02	1,684	2,54	49,33	25,09				SC
3.00		Açık kahve renkte kili, siltli kum												12,1	128		
4.00		Açık kahve renkte kili, siltli kum	2,85	91,33	5,82	4	6	9	22,81	1,644	2,63	23,42	6,37				SP-SC
5.00		Açık kahve renkte az çakıllı kili kum												13,1	156		
6.00		Açık kahve renkte az çakıllı kili kum	13,66	80,51	5,83	15	24	24	24,16	1,987	2,61	39,79	21,72				SP-SC
7.00		Açık kahve renkte az çakıllı kili kum												17,1	276		
8.00		Açık kahve renkte az çakıllı kili kum	11,04	79,39	9,57	24	50+	50+	22,71	2,016	2,62	39,42	14,35				SP-SC
9.00		Açık kahve renkte az çakıllı kili kum												28,7	654		
10.00		Bol kumlu, siltli kili Çakıl	48,22	46,22	5,56	50+	50+	50+	31,70	1,908	2,68	22,08	3,94				GP-GC
11.00		Bol kumlu, siltli kili Çakıl												28,7	748		
12.00		Bol kumlu, siltli kili Çakıl															
13.00		Bol kumlu, siltli kili Çakıl															
14.00		Bol kumlu, siltli kili Çakıl															
15.00		Bol kumlu, siltli kili Çakıl															
16.00		Bol kumlu, siltli kili Çakıl															
17.00		Bol kumlu, siltli kili Çakıl															
18.00		Bol kumlu, siltli kili Çakıl															
19.00		Bol kumlu, siltli kili Çakıl															
20.00		Bol kumlu, siltli kili Çakıl															


EK-2 Kuyu Logları (Devam)

 İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği		JEOTEKNİK SONDAJ LOGU													
Proje Adı		Battalgazi Kampüsü				Başlama Tarihi		06.07.2013							
Kuyu No		SK-3				Bitiş Tarihi		09.07.2013							
Koordinatlar		37 S 443704				Makina Adı ve Türü		Polsan E-25							
x						Sondaj Yöntemi		Rotary							
y		42 57860				Sondör		H. Bayır-G. Tekin							
z		719 m				Logu Alan		Ö. Kurumural							
Derinlik		20.0 m													
Yeraltı Su Seviyesi		4,82m													
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Profili	Görsel Tasvir	Tane Boyu Dağılımı			SPT Darbe Sayısı (N)			Doğal su içeriği (%)	Doğal Birim Hac. Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	Çözülme Ağırlığı	Kıvam Limitleri		PMT Deneyi	Sembol
			Çakıl %	Kum %	Silt-Kill %	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm				WL	WP		
1.00		Bitkisel yüzeysel toprak													
2.00		Az çakıllı killi kum	3,99	85,41	10,60	3	6	9	25,48	1,557	2,58	59,54	35,96	11,1	156
3.00															
4.00		Az çakıllı kum	42,59	56,89	0,52	20	24	8	12,82	1,961	2,62	40,70	23,18		SP
5.00														10,1	146
6.00															
7.00		Açık kahve renkte, az çakıllı killi kum	9,23	72,00	18,77	8	10	17	27,87	1,806	2,51	37,74	14,48		SC
8.00														12,1	166
9.00															
10.00		Bol kumlu siltli çakıl	51,32	47,25	1,43	6	8	21	17,79	2,138	2,68	NP	NP		GW
11.00														17,7	415
12.00															
13.00		Bol çakıllı siltli kum	43,65	49,65	6,7	50+	50+	50+	25,15	1,953	2,57	44,47	14,60		SP-SM
14.00														4,1	239
15.00															
16.00		Killi kum	21,05	71,49	7,46	8	12	50+	31,72	1,878	2,803	51,53	23,03		SW-SC
17.00														11,1	224
18.00															
19.00		Az çakıllı killi kum	15,66	73,48	10,86	6	10	7	27,98	1,926	2,60	68,92	41,56		SP-SC
20.00															


EK-2 Kuyu Logları (Devam)

 İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği		JEOTEKNİK SONDAJ LOGU														
Proje Adı		Battalgazi Kampüsü			Başlama Tarihi		06.07.2013									
Kuyu No		SK-4			Bitiş Tarihi		08.07.2013									
Koordinatlar		37 S 443743			Makina Adı ve Türü		Polsan E-25									
x		42 57615			Sondaj Yöntemi		Rotary									
y		721			Sondör		H. Bayır-G. Tekin									
z		20.0 m			Logu Alan		Ö. Kurumural									
Derinlik		4,25m														
Yeraltı Su Seviyesi																
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Profili	Görsel Tasvir	Tane Boyu Dağılımı			SPT Darbe Sayısı (N)			Doğal su içeriği (%)	Doğal Birim Hac. Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	Çözülme Ağırlık	Kıvam Limitleri		FMT Deneysel		Sembol
			Çakıl %	Kum %	Silt-Kil %	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm				WL	WP	Pl	Em (kg/cm <sup>2</sup> )	
1.00		Bitkisel yüzeysel toprak														
2.00		Kumlu, siltli çakıl	63,23	34,66	2,11	20	27	19	20,23	1,686	2,56	NP	NP	8,1	122	GW
3.00																
4.00		Siltli, az çakıllı kum	12,62	80,07	7,31	8	7	9	25,81	1,945	2,57	NP	NP			SP-SM
5.00																
6.00														11,1	134	
7.00		Az çakıllı, siltli kum	7,42	70,76	21,82	12	16	20	33,06	1,827	2,51	46,84	17,12			SM
8.00																
9.00														10,1	94	
10.00		Az çakıllı, siltli kum	20,65	72,34	7,01	14	19	19	29,83	1,909	2,62	NP	NP			SP-SM
11.00																
12.00														19,1	341	
13.00		Az çakıllı, siltli kum	27,30	66,90	5,80	9	50	50+	27,87	1,966	2,69	69,95	34,43			SP-SM
14.00																
15.00														25,6	693	
16.00		Açık kahve renkte, siltli kum	4,7	71,44	23,66	27	50+	50+	29,89	1,875	2,54	65,71	26,57			SM
17.00																
18.00														29,7	660	
19.00		Açık kahve renkte, killi kum	1,28	63,80	34,92	50+	50+	50+	29,00	1,880	2,52	31,84	13,62			SC
20.00																


EK-2 Kuyu Logları (Devam)

 İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği		JEOTEKNİK SONDAJ LOGU															
Proje Adı		Battalgazi Kampüsü			Başlama Tarihi		10.07.2013										
Kuyu No		SK-5			Bitiş Tarihi		12.07.2013										
Koordinatlar		37 S 443773			Makina Adı ve Türü		Polsan E-25										
x					Sondaj Yöntemi		Rotary										
y		42 57368			Sondör		H. Bayır-G. Tekin										
z		724 m			Logu Alan		Ö. Kurumal										
Derinlik		20.0 m															
Yeraltı Su Seviyesi		3,20 m															
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Profili	Görsel Tasvir	Tane Boyu Dağılımı			SPT Darbe Sayısı (N)			Doğal su içeriği (%)	Doğaj Birim Hac-Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	Doğal Ağırlık	Kıvam Limitler		PMT Deneyi		Sembol	
			Çakıl %	Kum %	Silt-Kil %	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm				WL	WP	PL	Em (kg/cm <sup>2</sup> )		
1.00		Bitkisel yüzeysel toprak															
2.00		Az çakıllı, açık katve renkte killi kum	2,46	71,27	26,27	7	12	29	27,00	1,52	2,56	41,19	17,91				SC...
3.00														13,1	290		
4.00									Numune Alınamadı								
5.00														19,1	412		
6.00																	
7.00		Az çakıllı, siltli killi kum	6,26	77,48	16,26	23	50+	50+	19,85	2,086	2,66	26,63	6,62				SC-SM
8.00																	
9.00														26,6	611		
10.00							50+	50+	50+	Numune Alınamadı							
11.00														22,1	434		
12.00																	
13.00		Az çakıllı siltli kum	0,28	59,87	39,85	50+	50+	50+	39,46	1,786	2,59	NP	NP				SM
14.00																	
15.00														26,6	736		
16.00		Az çakıllı killi kum	3,68	71,96	24,43	50+	50+	50+	34,13	1,844	2,59	47,65	25,85				SC...
17.00																	
18.00														26,7	685		
19.00		Az çakıllı killi kum	3,78	70,58	25,64	50+	50+	50+	42,71	1,783	2,68	47,35	26,03				SC...
20.00																	


EK-2 Kuyu Logları (Devam)

 İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği		JEOTEKNİK SONDAJ LOGU													
Proje Adı	Battalgazi Kampüsü		Başlama Tarihi	10.07.2013											
Kuyu No	SK-6		Bitiş Tarihi	13.07.2013											
Koordinatlar	37 S 443809		Makina Adı ve Türü	Polsan E-25											
x			Sondaj Yöntemi	Rotary											
y	42 57121		Sondör	H. Bayır-G. Tekin											
z	726 m		Logu Alan	Ö. Kurumal											
Derinlik	20.0 m														
Yeraltı Su Seviyesi	3,20 m														
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Profili	Görsel Tasvir	Tane Boyu Dağılımı			SPT Darbe Sayısı (N)			Doğal su içeriği (%)	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	Çaplı ağırlık	Kıvam Limitleri		PWT Deneyi	Sembol
			Çakıl %	Kum %	Silt-Kill %	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm				wL	wP		
1.00		Bitkisel yüzeysel toprak													
2.00		Açık kahve renkte, killi kum	0,61	49,69	49,7	3	1	2	30,07	1,462	2,61	34,98	13,01		SC
3.00													19,1	349	
4.00		Açık kahve renkte, az çakıllı siltli kum	8,98	59,16	31,86	16	37	50+	27,44	1,942	2,62	48,1	19,65		SM
5.00														15,1	338
6.00															
7.00		Killi kum	11,48	69,59	19,93	17	25	50+	30,83	1,920	2,68	43,35	18,77		SC
8.00														17,1	332
9.00															
10.00		Az çakıllı siltli kum	3,03	77,07	19,90	50+	50+	50+	54,28	1,674	2,64	57,17	21,34		SM
11.00														28,5	770
12.00															
13.00		Az çakıllı siltli kum	14,31	40,34	45,35	46	50+	50+	35,61	1,834	2,61	56,76	21,26		SM
14.00														28,6	809
15.00															
16.00		Az çakıllı killi kum	2,19	71,57	26,24	16	29	50+	23,99	2,004	2,64	37,29	12,89		SC
17.00														28,7	698
18.00															
19.00		Killi, kumlu çakıl	50,49	38,01	11,50	15	12	8	45,66	1,75	2,66	48,74	23,33		GW-GC
20.00															


EK-2 Kuyu Logları (Devam)

 İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği		JEOTEKNİK SONDAJ LOGU													
Proje Adı	Battalgazi Kampüsü			Başlama Tarihi	14.07.2013										
Kuyu No	SK-7			Bitiş Tarihi	16.07.2013										
Koordinatlar	37 S 443845			Makina Adı ve Türü	Polsan E-25										
x	42 56874			Sondaj Yöntemi	Rotary										
y	730 m			Sondör	H. Bayır-G. Tekin										
z	20.0 m			Logu Alan	Ö. Kurumaral										
Derinlik	2,95 m														
Yeraltı Su Seviyesi															
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Profili	Görsel Tasvir	Tane Boyu Dağılımı			SPT Darbe Sayısı (N)			Doğaltı İlerliği (%)	Doğal Birim Hac-Ağ. Y. (kN/m <sup>3</sup> )	Çözelti Ağırlık	Kıvam Limitleri		PMT Deneyi PL Em (kg/cm <sup>2</sup> )	Sembol
			Çakıl %	Kum %	Silt-Kil %	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm				WL	Wp		
1.00		Bitkisel yüzeysel toprak													
2.00		Az çakıllı killi kum	16,44	63,52	20,04	3	3	11	23,04	1,638	2,63	41,10	17,52		SC
3.00													8,1	136	
4.00		Açık kahve renkte siltli kum	29,13	59,33	11,54	4	7	14	12,19	2,273	2,69	NP	NP		SM
5.00													9,1	797	
6.00															
7.00		Açık kahve renkte siltli kum	23,75	53,24	23,01	50+	50+	50+	33,46	1,743	2,32	NP	NP		SM
8.00													21,1	348	
9.00															
10.00		Az çakıllı killi kum	13,34	80,63	6,03	8	50+	50+	18,45	2,119	2,67	31,44	12,27		SW-SC
11.00													27,8	606	
12.00															
13.00		Az çakıllı killi kum	24,52	64,12	11,36	50+	50+	50+	28,82	1,931	2,64	45,90	21,30		SP-SC
14.00													27,5	649	
15.00															
16.00		Siltli kum	5,04	76,5	18,46	45	50+	50+	34,42	1,848	2,61	50,08	16,28		SM
17.00													23,	486	
18.00															
19.00		Siltli kum	0	24,31	75,69	37	27	22	32,55	1,867	2,60	38,11	16,63		CL
20.00															

EK-2 Kuyu Logları (Devam)

 İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği		JEOTEKNİK SONDAJ LOGU													
Proje Adı	Battalgazi Kampüsü			Başlama Tarihi	15.07.2013										
Kuyu No	SK-8			Bitiş Tarihi	18.07.2013										
Koordinatlar	37 S 444091			Makina Adı ve Türü	Polsan E-25										
x	42 56911			Sondaj Yöntemi	Rotary										
y	729 m			Sondör	H. Bayır-G. Tekin										
z	20.0 m			Logu Alan	Ö. Kurumural										
Derinlik	3,20 m														
Yeraltı Su Seviyesi															
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Profili	Görsel Tasvir	Tane Boyu Dağılımı			SPT Darbe Sayısı (N)			Doğal su İleriği (%)	Doğal Bitin Hac. Ağ. % (kN/m <sup>3</sup> )	Çeşit. Ağırlık	Kıvam Limitleri		PMT Deneyi Pl. Em (kg/cm <sup>2</sup> )	Sembol
			Çakıl %	Kum %	Silt-Kill %	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm				WL	WP		
1.00		Bitkisel yüzeysel toprak													
2.00		Koyu kahve renkte, killi kum	1.4	74.35	24.25	5	6	9	30.77	1.444	2.6	44.07	20.79		SC
3.00														9,1	146
4.00		Kahve renkte siltli kum	0.2	54.83	44.97	6	11	14	34.06	1.837	2.57	39.09	14.41		SM
5.00														7,1	135
6.00															
7.00		Açık kahve renkte, killi kum	30.11	52.31	17.58	11	4	4	32,6	1.893	2.67	36,40	13,61		SC
8.00														13,1	265
9.00															
10.00		Koyu kahve renkte, siltli kum	2.54	75.54	21.92	8	21	33	33,37	1.857	2.60	70,96	29,69		SM
11.00														18,1	374
12.00															
13.00		Açık kahve renkte, siltli kum	6.21	67.68	26.11	25	50+	50+	43,46	1.751	2.60	NP	NP		SM
14.00														27,6	575
15.00															
16.00		Açık kahve renkte, siltli kum	10.18	65.38	24.44	50+	50+	50+	27.59	1.953	2.65	NP	NP		SM
17.00														29,4	678
18.00															
19.00		Açık kahve renkte, killi kum	0.1	69.41	30.49	50+	50+	50+	20.49	2.039	2.59	35.58	14.99		SC
20.00															


EK-2 Kuyu Logları (Devam)

 İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği		JEOTEKNİK SONDAJ LOGU													
Proje Adı	Battalgazi Kampüsü			Başlama Tarihi	18.07.2013										
Kuyu No	SK-9			Bitiş Tarihi	20.07.2013										
Koordinatlar	37 S 444057			Makina Adı ve Türü	Polsan E-25										
x				Sondaj Yöntemi	Rotary										
y	42 57159			Sondör	H. Bayır-G. Tekin										
z	727 m			Logu Alan	Ö. Kurumural										
Derinlik	20.0 m														
Yeraltı Su Seviyesi	3,50 m														
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Profili	Görsel Tasvir	Tane Boyu Dağılımı			SPT Darbe Sayısı (N)			Doğal su içeriği (%)	Doğal Birim Hac. Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	Oran Ağırlık	Kıvam Limitleri		PL Em (kg/cm <sup>2</sup> )	Sembol
			Çakıl %	Kum %	Silt-Kil %	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm				wL	WP		
1.00		Bitkisel yüzeysel toprak													
2.00		Acık kahve renkte Killi kum	0	77.17	22.83	2	4	9	35.4	1.338	2.543	52.93	30.33	8,1 156	SC
3.00															
4.00		Az çakıllı killi kum	23.81	67.51	8.68	21	42	7	15.06	2.185	2.660	28.76	15.83	12,1 182	SW,SC
5.00															
6.00															
7.00		Killi kum	7.44	66.61	25.95	16	20	34	22.12	2.018	2.604	28.66	10.86	16,1 170	SC
8.00															
9.00															
10.00		Az çakıllı siltli kum	35.86	58.26	5.68	30	45	40	18.42	2.105	2.643	36.17	10.51	21,1 360	SP,SM
11.00															
12.00															
13.00		Killi kum	21.56	64.52	13.92	38	50+	50+	19.72	2.099	2.680	47.92	21.80	19,1 279	SC
14.00															
15.00															
16.00		Siltli kum	29.57	50.4	20.03	20	33	33	29.01	1.933	2.65	NP	NP	22,1 391	SM
17.00															
18.00															
19.00		Siltli kum	6.26	63.48	30.26	33	50+	50+	23.46	1.970	2.55	41.31	12.08		SM
20.00															


EK-2 Kuyu Logları (Devam)

İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği		JEOTEKNİK SONDAJ LOGU													
Proje Adı	Battalgazi Kampüsü	Başlama Tarihi	22.07.2013												
Kuyu No	SK-10	Bitiş Tarihi	24.07.2013												
Koordinatlar		Makina Adı ve Türü	Polsan E-25												
x	37 S 444020	Sondaj Yöntemi	Rotary												
y	42 57405	Sondör	H. Bayır-G. Tekin												
z	723 m	Logu Alan	Ö. Kurumral												
Derinlik	20.0 m														
Yeraltı Su Seviyesi	3,85 m														
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Profili	Görsel Tasvir	Tane Boyu Dağılımı			SPT Darbe Sayısı (N)			Doğal Su İçerği (%)	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	Organik İçerik	Kıvam Limitleri		PI (MUT Deneyi) Pl. Et (kg/cm <sup>2</sup> )	Sembol
			Çakıl %	Kum %	Sil-Kil %	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm				W <sub>L</sub>	W <sub>p</sub>		
1.00		Bitkisel yüzeysel toprak													
2.00		Açık kahve renkte, plastik kil	0	30,16	69,84	6	13	17	22,73	1,838	2,61	51,14	29,35		CH
3.00													8,1	106	
4.00		Açık kahve renkte, kili kum	14,12	36,95	48,93	8	18	32	25,52	1,966	2,61	48,69	23,10		SC
5.00															
6.00													7,1	144	
7.00		Açık kahve renkte, kil	0	27,24	72,76	8	11	16	35,19	1,837	2,60	46,5	23,93		CL
8.00															
9.00															
10.00		Az çakıllı, kili kum	20,61	61,46	8,93	45	38	50+	17,96	2,139	2,69	33,42	12,21		SP-SC
11.00															
12.00													18,1	286	
13.00		Siltli kum	0,21	61,73	38,06	21	42	50+	50,71	1,673	2,54	72,08	36,24		SM
14.00															
15.00													4,1	212	
16.00		Açık kahve renkte, kili kum	6,77	45,71	47,52	30	32	32	17,41	2,135	2,66	40,96	21,13		SC
17.00															
18.00													14,1	276	
19.00		Açık kahve renkte, plastik kil	16,23	30,33	51,44	13	18	17	27,49	1,929	2,59	55,59	30,01		CH
20.00															

EK-2 Kuyu Logları (Devam)

 İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği		JEOTEKNİK SONDAJ LOGU													
Proje Adı	Battalgazi Kampüsü			Başlama Tarihi	22.07.2013										
Kuyu No	SK-11			Bitiş Tarihi	24.07.2013										
Koordinatlar	37 S 443982			Makina Adı ve Türü	Polsan E-25										
x	42 57649			Sondaj Yöntemi	Rotary										
y	723 m			Sondör	H. Bayır-G. Tekin										
z	20.0 m			Logu Alan	Ö. Kurumal										
Derinlik	20.0 m														
Yeraltı Su Seviyesi	5,32 m														
Sondaj Derinliği (cm)	Zemin Profili	Görsel Tasvir	Tane Boyu Dağılımı			SPT Darbe Sayısı (N)			Doğal su içeriği (%)	Doğal Birim Hac-Ağ. % (40mm)	Çözümlü Ağırlık	Kıvam Limitleri		PMT Deneyi	Sembol
			Çakıl %	Kum %	Silt-Kill %	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm				WL	WP		
1.00		Bitkisel yüzeysel toprak													
		Az çakıllı killi kum	11,88	62,21	25,91	11	16	20	18,41	1,777	2,64	33,67	14,07		SC...
2.00														5,1	135
3.00															
4.00		Killi kum	14,03	50,55	35,42	2	2	5	25,99	1,526	2,53	44,48	25,54		SC...
5.00															
6.00														7,1	164
7.00		Bol kumlu, siltli gevşek malzeme				10	13	12		Numune alınamadı					
8.00														15,1	271
9.00															
10.00		Az çakıllı, siltli kum	0	89,08	10,92	11	15	21	26,34	1,972	2,65	NP	NP		SP-SM
11.00															
12.00														19,1	349
13.00		Siltli kum	19,81	40,07	40,12	19	34	50	27,24	1,932	2,59	74,73	36,9		SM..
14.00														24,1	474
15.00															
16.00		İnce çakıllı, kumlu birim				50	50	50		Numune alınamadı					
17.00															
18.00														21,1	252
19.00		İnce çakıllı, kumlu birim				27	50	50		Numune alınamadı					
20.00															










EK-2 Kuyu Logları (Devam)

 İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği		JEOTEKNİK SONDAJ LOGU													
Proje Adı		Battalgazi Kampüsü				Başlama Tarihi		25.07.2013							
Kuyu No		SK- 12				Bitiş Tarihi		27.07.2013							
Koordinatlar		37 S 443954				Makina Adı ve Türü		Polsan E-25							
x						Sondaj Yöntemi		Rotary							
y		42 57902				Sondör		H. Bayır-G. Tekin							
z		720 m				Logu Alan		Ö. Kurumal							
Derinlik		20.0 m													
Yeraltı Su Seviyesi		5,31 m													
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Profili	Görsel Tasvir	Tane Boyu Dağılımı			SPT Darbe Sayısı (N)			Doğal su içeriği (%)	Doğal Birim Hac. Ağ. T <sub>v</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	Özellik Ağırlık	Kıvam Limitleri		PI/T Deneysel	Sembol
			Çakıl %	Kum %	Silt-Kill %	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm				wL	wP		
1.00		Bitkisel yüzeysel toprak													
2.00		Açık kahve renkte, killi kum	0,93	76,33	22,74	8	9	12	20,18	1,705	2,60	41,46	19,44		SC
3.00														11,1	152
4.00		Açık kahve renkte, killi kum	1,27	81,85	16,88	14	19	23	32,39	1,426	2,85	83,06	45,93		SC
5.00														6,1	147
6.00															
7.00		Açık kahve renkte, killi kum	7,44	46,65	45,91	3	2	2	36,73	1,80	2,55	75,99	48,36		SC
8.00														6,1	176
9.00															
10.00		Az çakıllı, killi ku	20	47,21	32,79	14	38	50+	21,22	2,031	2,60	38,70	19,36		SC
11.00															
12.00														12,	143
13.00		Az çakıllı, killi kum	22,46	44,04	33,50	50+	50+	50+	28,86	1,951	2,69	33,13	13,61		SC
14.00															
15.00														10,1	173
16.00		Killi kum	16,50	47,30	36,20	4	8	43	24,16	1,987	2,61	38,04	13,74		SC
17.00															
18.00														17,1	332
19.00		Az çakıllı kumlu siltli birim	61,59	37,94	10,47	14	13	49	15,86	2,167	2,66	NP	NP		SM
20.00															







EK-2 Kuyu Logları (Devam)

Sondaj Derinliği (m)		Zemin Profili	Görsel Tasvir	Tane Boyu Dağılımı			SPT Darbe Sayısı (N)			Doğal su İçeriği (%)	Doğal Birim Hac. Ağ. % (W <sub>100</sub> )	Doğru Ağırık	Kıvam Limitleri		PL Em (kg/cm <sup>2</sup> )	FL Em (kg/cm <sup>2</sup> )	Sembol
					Çakıl %	Kum %	Silt-Kil %	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm			wL	wP			
1.00		Bitkisel yüzeysel toprak	Açık kahve renkte, plastik kil	4.15	42.19	53.66	10	17	20	19.70	1.761	2.65	55.26	30.24			CH...
2.00																	
3.00		Açık kahve renkte, kil	Açık kahve renkte, kil	0.13	35.88	63.99	10	14	15	33.62	1.387	2.60	42.03	17.84			CL...
4.00																	
5.00		Açık kahve renkte, plastik kil	Açık kahve renkte, plastik kil	0	39.13	60.87	11	13	15	33.30	1.838	2.55	58.78	34.06			CH...
6.00																	
7.00		Açık kahve renkte, killi kum	Açık kahve renkte, killi kum	40.49	44.09	15.42	15	27	29	15.99	1.876	2.68	30.29	14.38			SC...
8.00																	
9.00		Az çakıllı, siltli kum	Az çakıllı, siltli kum	37.11	54.03	8.86	50+	50+	50+	17.12	1.842	2.69	NP	NP			SP-SM
10.00																	
11.00		Siltli çakıl	Siltli çakıl	29.70	23.06	47.24	50+	50+	50+	19.29	2.092	2.65	NP	NP			GM
12.00																	
13.00		Açık kahve renkte, siltli kum	Açık kahve renkte, siltli kum	36.45	45.12	18.44	50+	50+	50+	21.46	2.057	2.66	NP	NP			SM
14.00																	
15.00																	
16.00																	
17.00																	
18.00																	
19.00																	
20.00																	

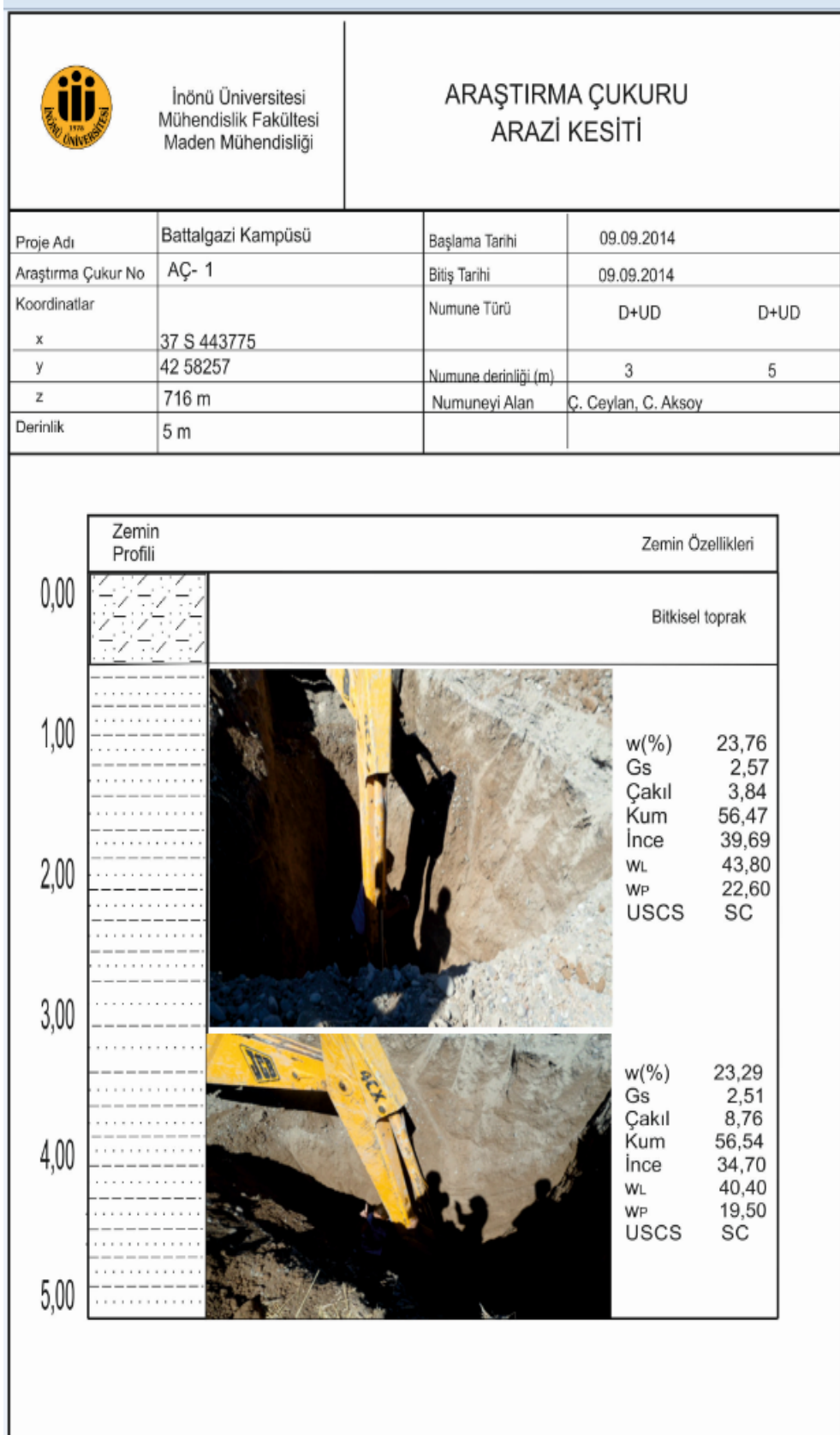
EK-2 Kuyu Logları (Devam)

 İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği		JEOTEKNİK SONDAJ LOGU													
Proje Adı	Battalgazi Kampüsü			Başlama Tarihi	29.07.2013										
Kuyu No	SK- 14			Bitiş Tarihi	01.08.2013										
Koordinatlar	37 S 443881			Makina Adı ve Türü	Polsan E-25										
	x				Sondaj Yöntemi	Rotary									
	y	42 58404			Sondör	H. Bayır-G. Tekin									
z	716 m			Logu Alan	Ö. Kurumural										
Derinlik	20.0 m														
Yeraltı Su Seviyesi	4,48 m														
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Profili	Görsel Tasvir	Tane Boyu Dağılımı			SPT Darbe Sayısı (N)			Doğal su içeriği (%)	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	Çoğulu Ağırlık	Kıvam Limitler		PMT Deneyi Pl. Em (kg/cm <sup>2</sup> )	Sembol
			Çakıl %	Kum %	Silt-Kil %	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm				WL	Wp		
1.00		Bitkisel yüzeysel toprak													
2.00		Plastik kil	0	43,13	56,87	6	18	23	25,37	1,556	2,57	53,13	28,20	9,1	138
4.00		Killi kum YASS	9,57	55,48	34,95	12	15	18	25,90	1,952	2,58	69	40,47		SC
7.00		Killi kum	0,07	58,61	41,32	6	10	16	49,44	1,758	2,81	64,94	35,43	8,1	117
10.00		Koyu kahve renkte kil	0,21	25,82	79,97	3	4	5	43,27	1,743	2,57	49,97	27,35	8,1	171
13.00		Killi kum				8	18	18	Numune Alınmadı						
17.00		Killi kum				28	50+	50+	Numune Alınmadı						
19.00		Plastik kil	0,33	38,93	60,74	50+	50+	50+	25,44	1,964	2,602	52,37	31,18	27,7	646
20.00															

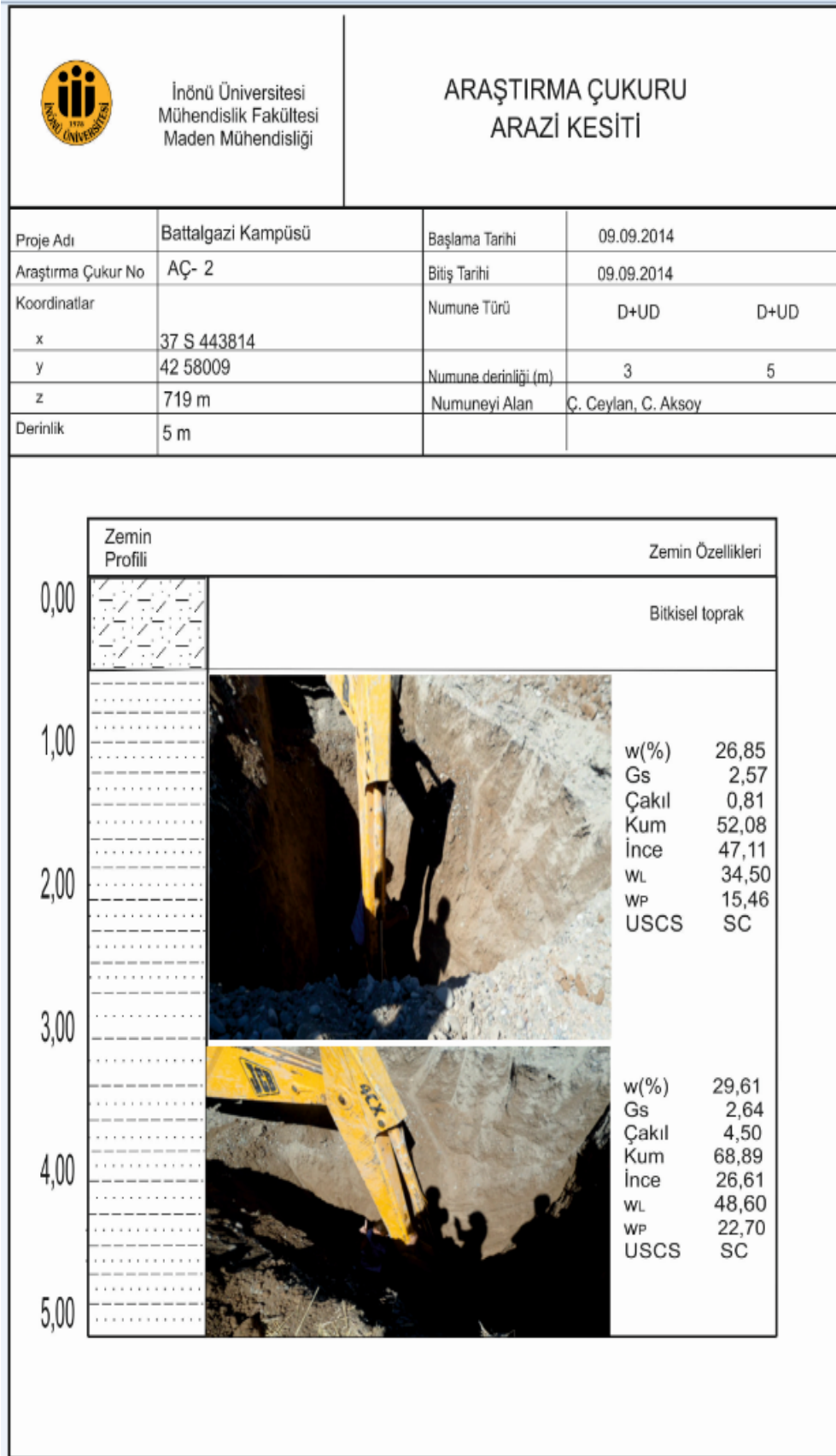
EK-2 Kuyu Logları (Devam)

 İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği		JEOTEKNİK SONDAJ LOGU													
Proje Adı	Battalgazi Kampüsü			Başlama Tarihi	31.07.2013										
Kuyu No	SK- 15			Bitiş Tarihi	01.08.2013										
Koordinatlar	37 S 444211			Makina Adı ve Türü	Polsan E-25										
x				Sondaj Yöntemi	Rotary										
y	42 57684			Sondör	H. Bayır-G. Tekin										
z	725 m			Logu Alan	Ö. Kurumural										
Derinlik	20.0 m														
Yeraltı Su Seviyesi	5,20 m														
Sondaj Derinliği (m)	Zemin Profili	Görsel Tasvir	Tane Boyu Dağılımı			SPT Darbe Sayısı (N)			Doğal su içeriği (%)	Doğal Birim Hac. Ağ. % (kVim <sup>3</sup> )	Doğal Ağ. ağırlık	Kıvam Limitleri		PL/TT Deney PL Em (kg/cm <sup>2</sup> )	Sembol
			Çakıl %	Kum %	Silt-Kil %	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm				WL	Wp		
1.00		Bitkisel yüzeysel toprak Az kumlu, çakıllı kil	53,59	12,32	34,09	8	5	11	30,12	1,474	2,65	49,34	27,72		GC
2.00														6,1	138
3.00															
4.00		Açık kahve renkte kil	0	28,84	71,16	14	35	50+	23,54	1,624	2,63	46,57	26,09		CL
5.00		YASSI												12,1	212
6.00															
7.00		Siltli kum	1,56	80,17	18,27	5	13	17	25,77	1,998	2,69	NP	NP		SM
8.00														10,1	156
9.00															
10.00		Killi kum	0,85	56,11	43,04	7	14	15	26,38	1,971	2,65	38,97	15,23		SC
11.00														9,1	131
12.00															
13.00		Killi kum	0,24	86,52	13,24	6	9	12	25,48	1,998	2,68	28,72	11,21		SC
14.00														11,1	192
15.00															
16.00		Az çakıllı kumlu birim				50+	50+	50+		Numune Alınmadı					
17.00															
18.00														27,5	758
19.00		Az çakıllı kumlu birim				24	43	50+		Numune Alınmadı					
20.00															

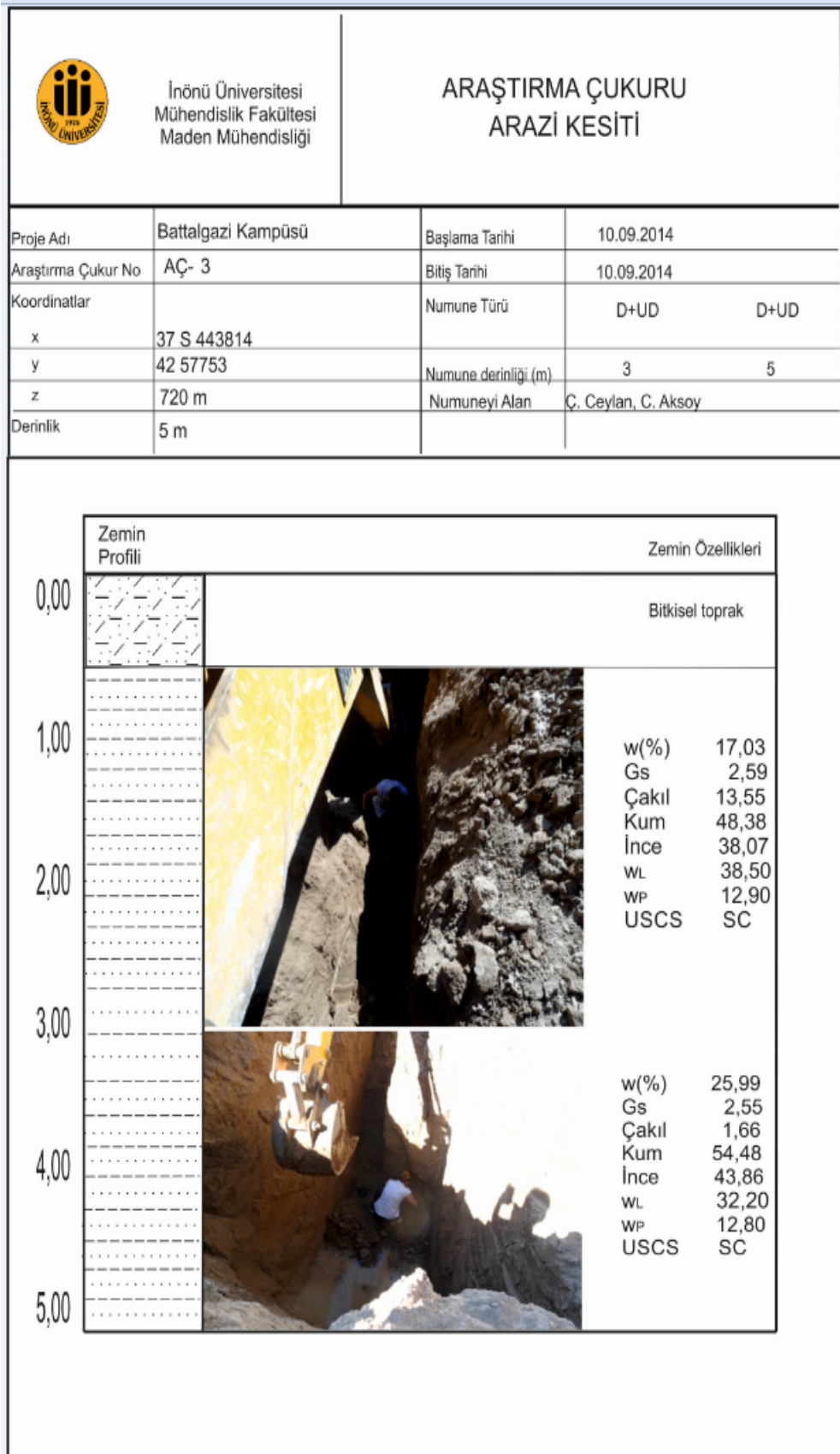
EK-3 Araştırma Çukur Kesiti



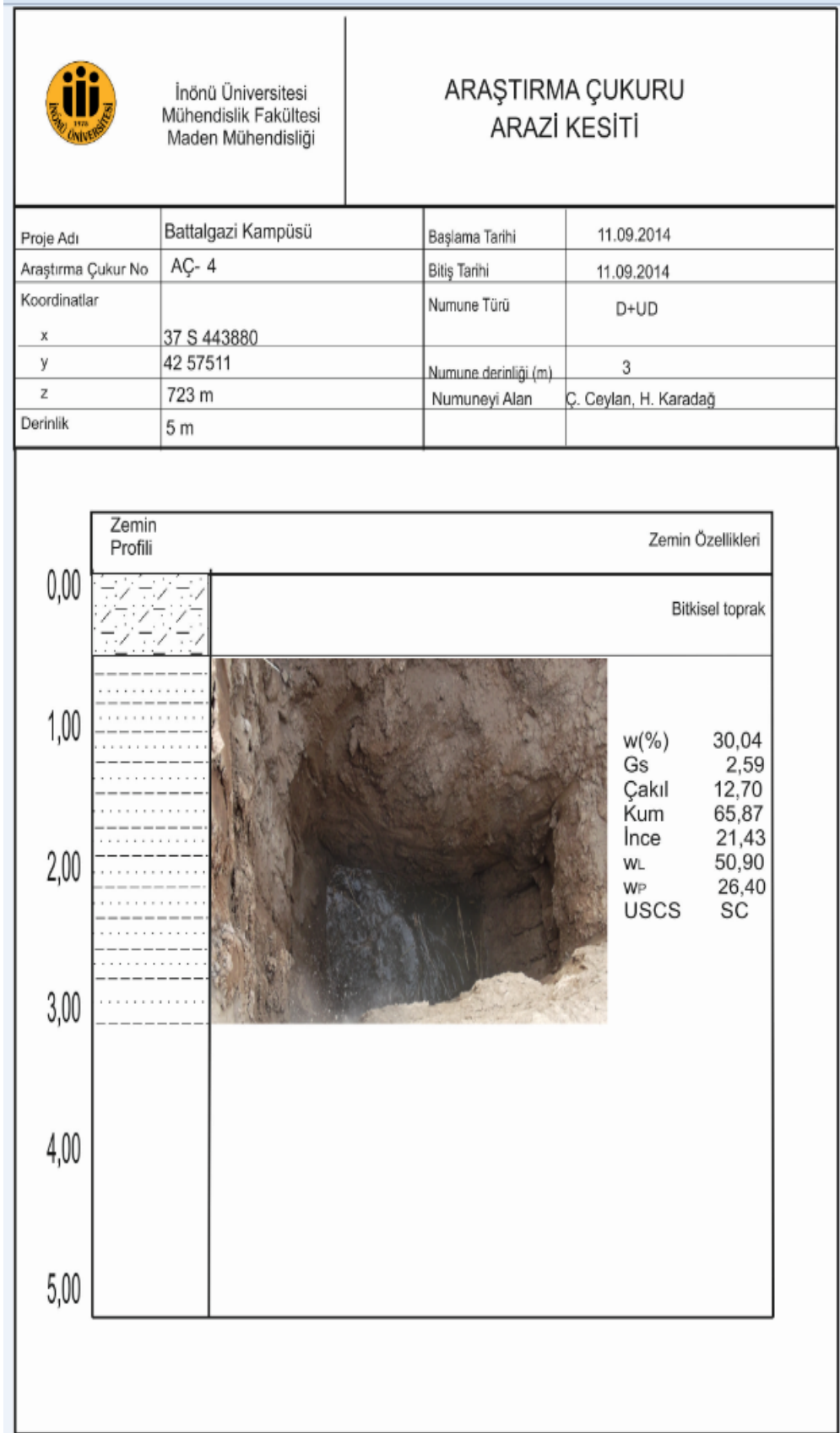
EK-3 Araştırma Çukur Kesiti (Devam)




EK-3 Araştırma Çukur Kesiti (Devam)




EK-3 Araştırma Çukur Kesiti (Devam)



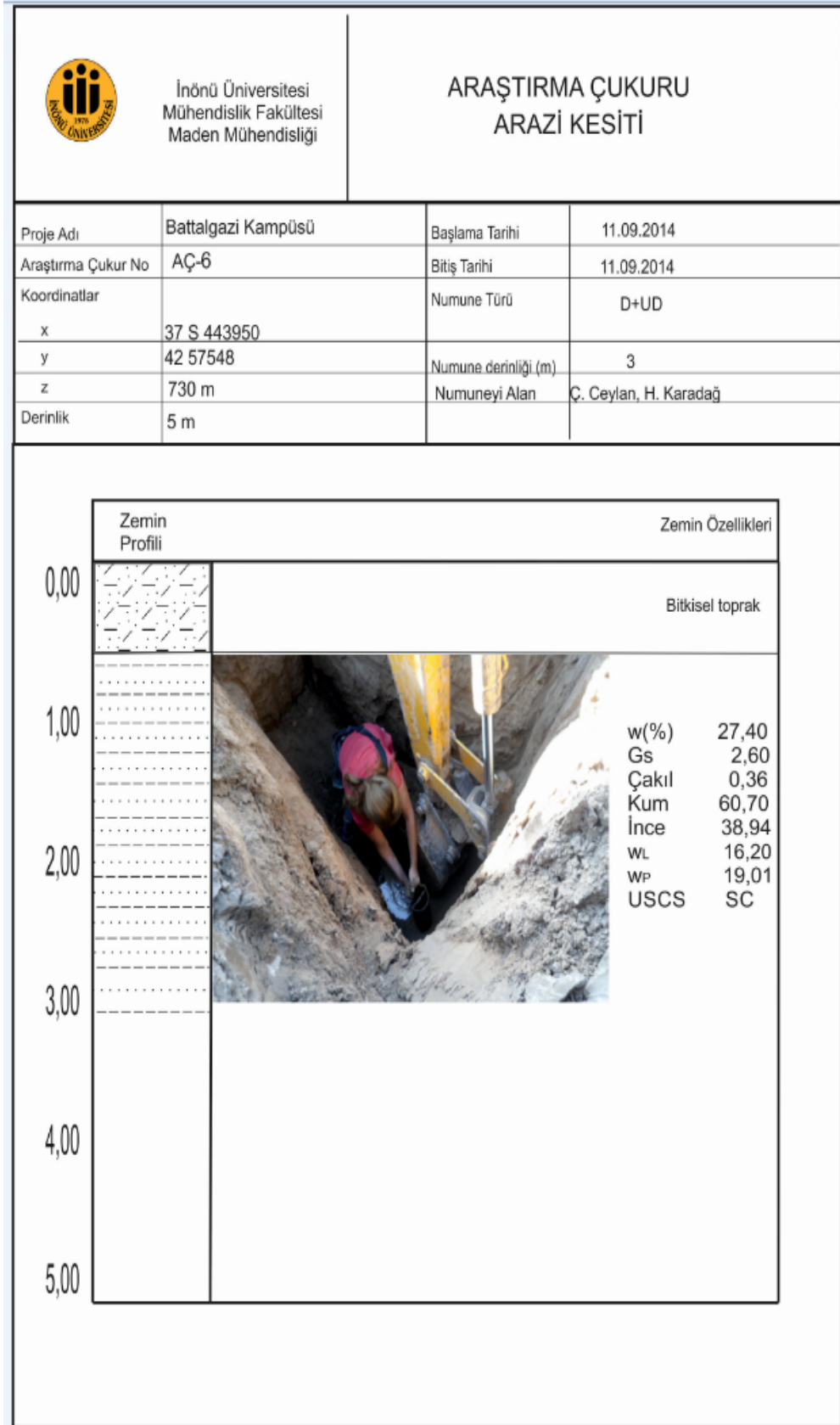
EK-3 Araştırma Çukur Kesiti (Devam)

 İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği		ARAŞTIRMA ÇUKURU ARAZİ KESİTİ	
Proje Adı	Battalgazi Kampüsü	Başlama Tarihi	11.09.2014
Araştırma Çukur No	AÇ-5	Bitiş Tarihi	11.09.2014
Koordinatlar		Numune Türü	D+UD
x	37 S 443915	Numune derinliği (m)	3
y	42 57264	Numuneyi Alan	C. Ceylan, C. Aksoy
z	725 m		
Derinlik	5 m		

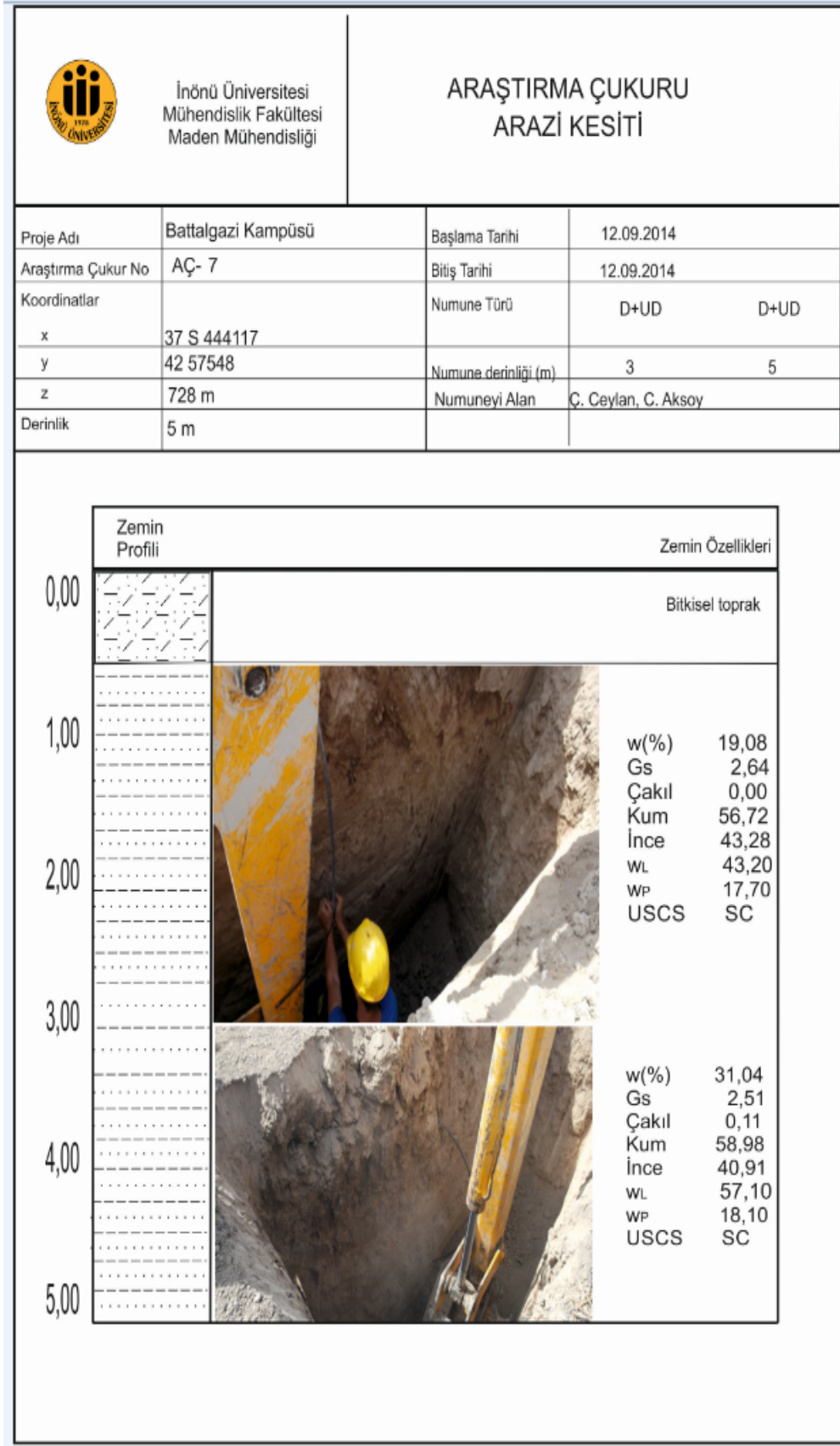
  

Zemin Profili	Zemin Özellikleri
0,00	Bitkisel toprak
1,00	 w(%) 28,20 Gs 2,58 Çakıl 0,26 Kum 70,19 İnce 29,55 w <sub>L</sub> 16,30 WP 18,90 USCS SC
2,00	
3,00	
4,00	
5,00	


EK-3 Araştırma Çukur Kesiti (Devam)



EK-3 Araştırma Çukur Kesiti (Devam)



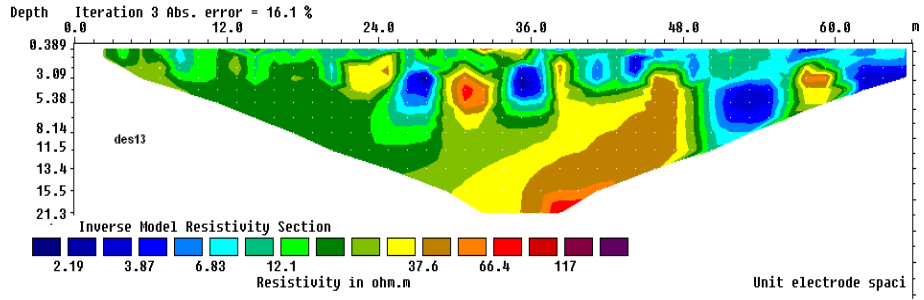
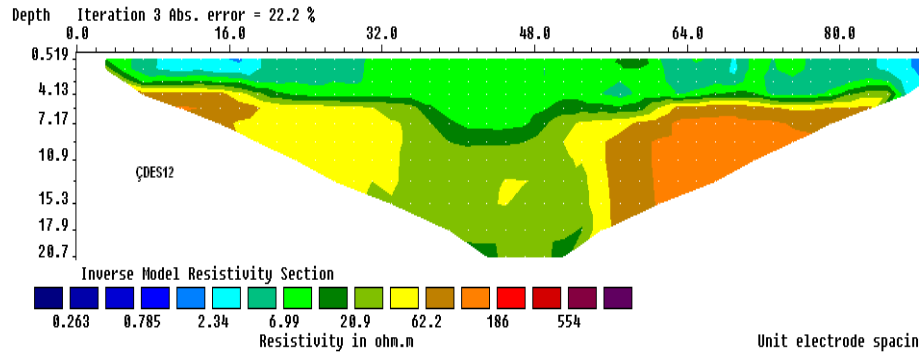
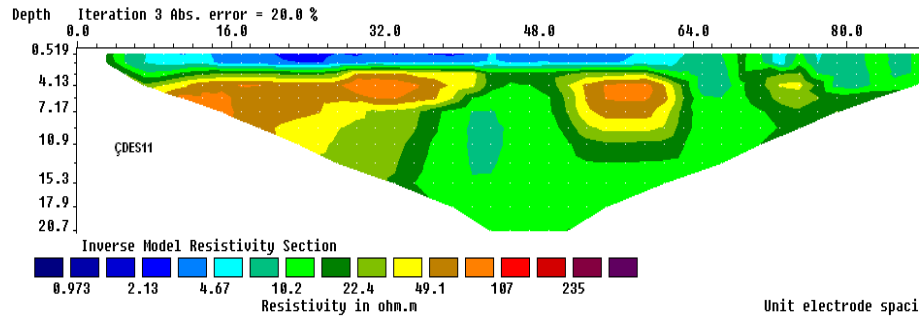
EK-3 Araştırma Çukur Kesiti (Devam)

 İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği		ARAŞTIRMA ÇUKURU ARAZİ KESİTİ	
Proje Adı	Battalgazi Kampüsü	Başlama Tarihi	12.09.2014
Araştırma Çukur No	AÇ- 8	Bitiş Tarihi	14.09.2014
Koordinatlar		Numune Türü	D+UD D+UD
x	37 S 444086	Numune derinliği (m)	3 5
y	42 57790	Numuneyi Alan	Ç. Ceylan, C. Aksoy, H. Karadağ
z	718 m		
Derinlik	5 m		

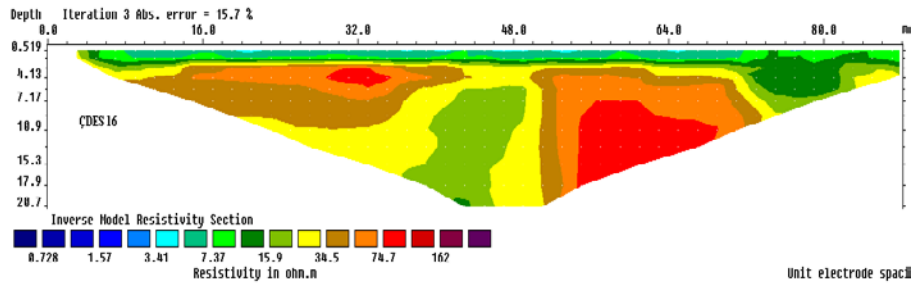
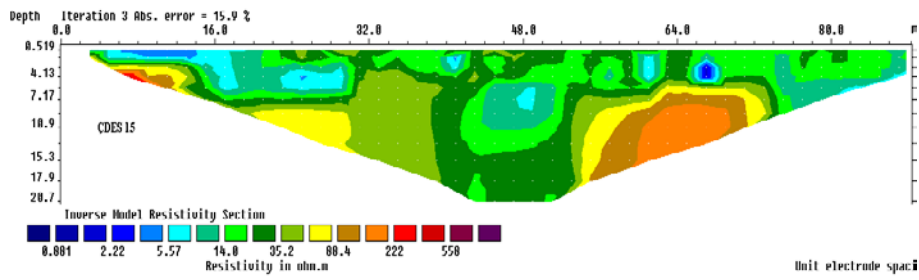
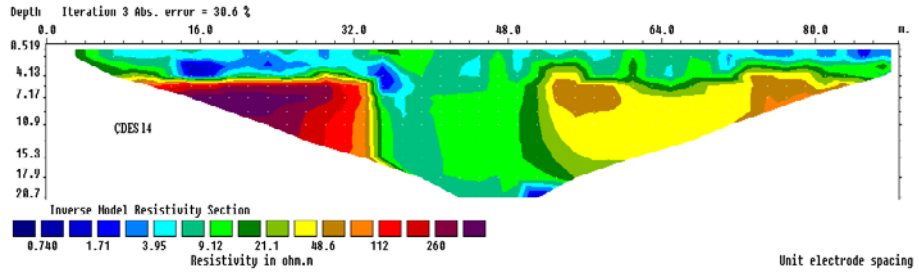
  

Zemin Profili	Zemin Özellikleri
0,00	Bitkisel toprak
1,00	w(%) 14,42 Gs 2,61 Çakıl 0,03 Kum 76,29 İnce 23,68 WL NP WP NP USCS SM
2,00	
3,00	
4,00	w(%) 25,17 Gs 2,70 Çakıl 0,18 Kum 79,84 İnce 19,98 WL NP WP NP USCS SM
5,00	

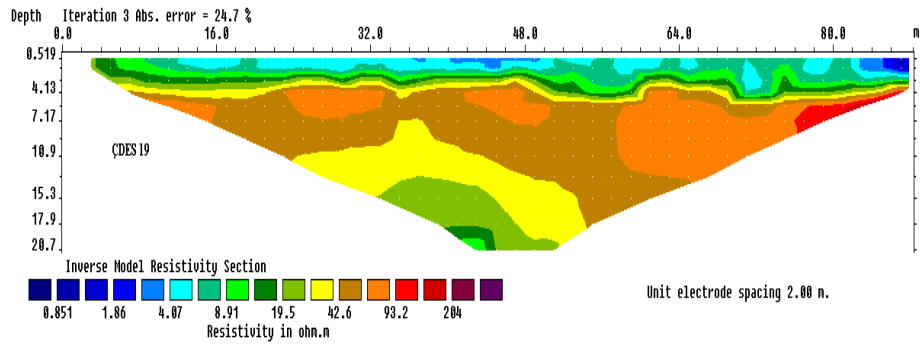
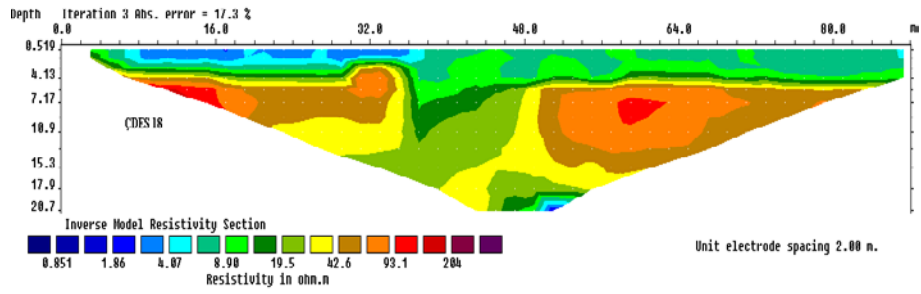
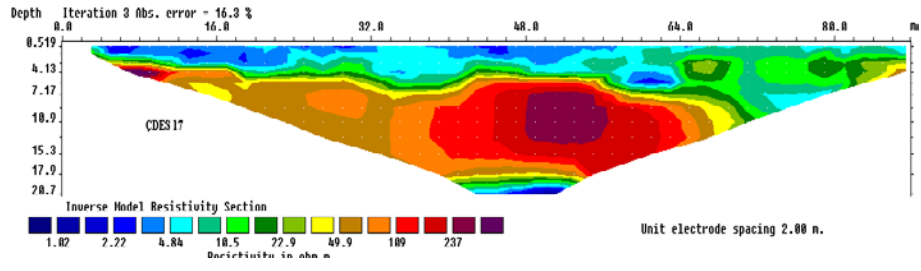
## EK-4 Çalışma alanı çok kanallı DES ölçüm sonuçları



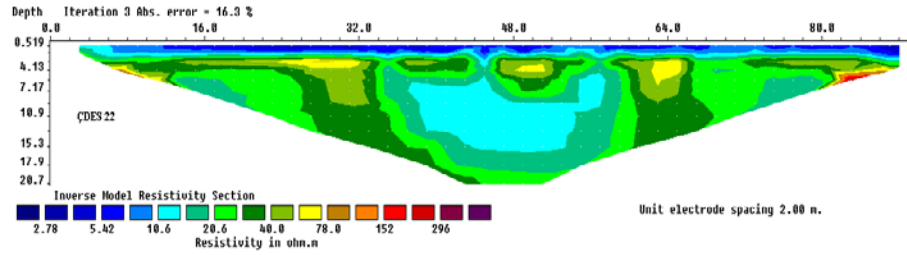
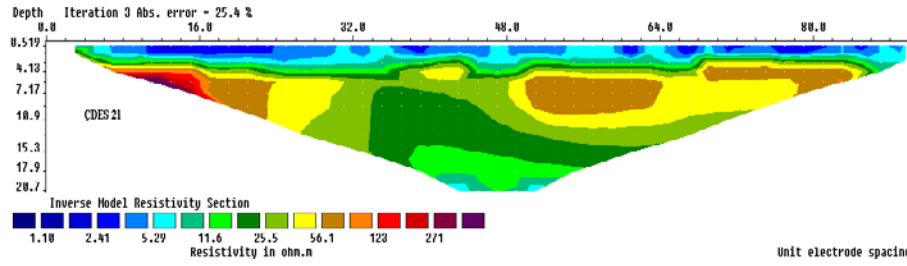
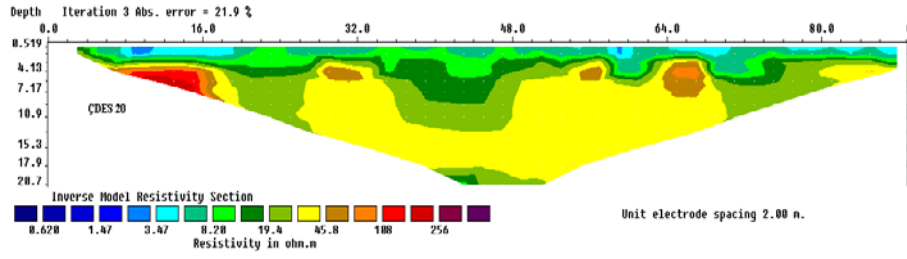
## EK-4 Çalışma alanı çok kanallı DES ölçüm sonuçları (Devam)



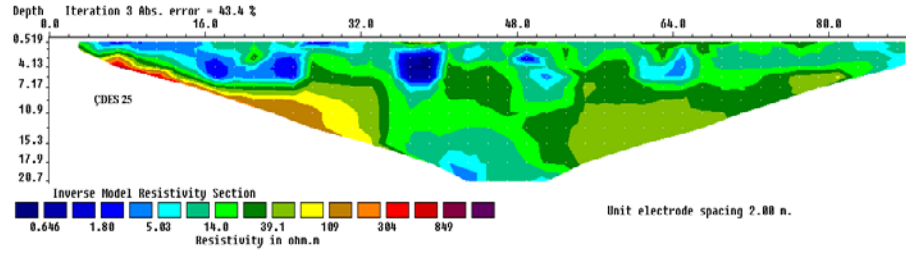
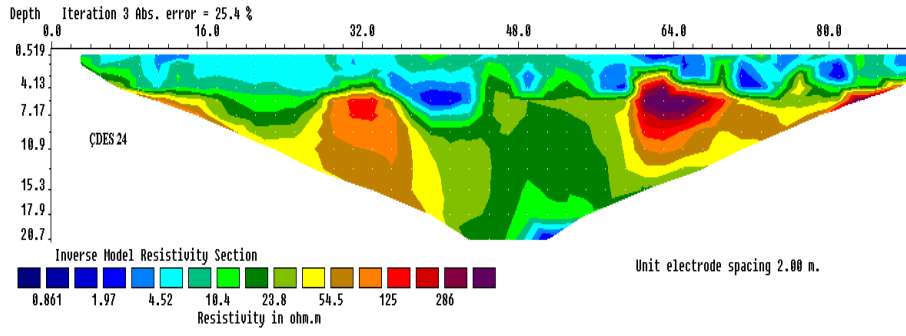
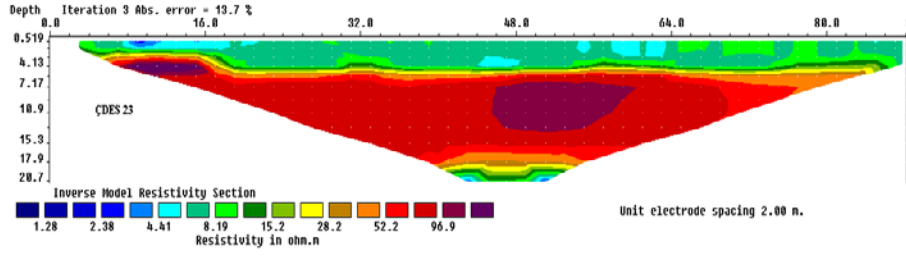
## EK-4 Çalışma alanı çok kanallı DES ölçüm sonuçları (Devam)



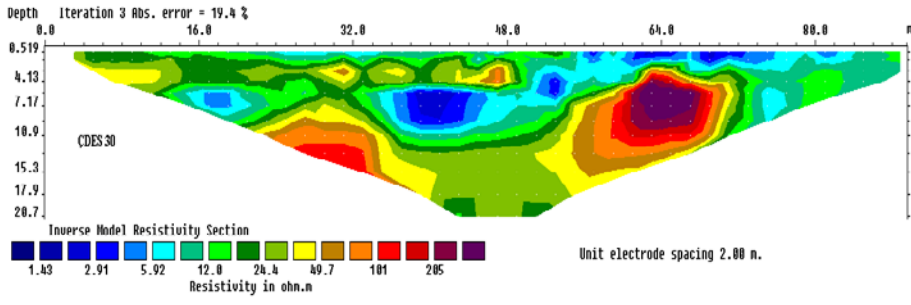
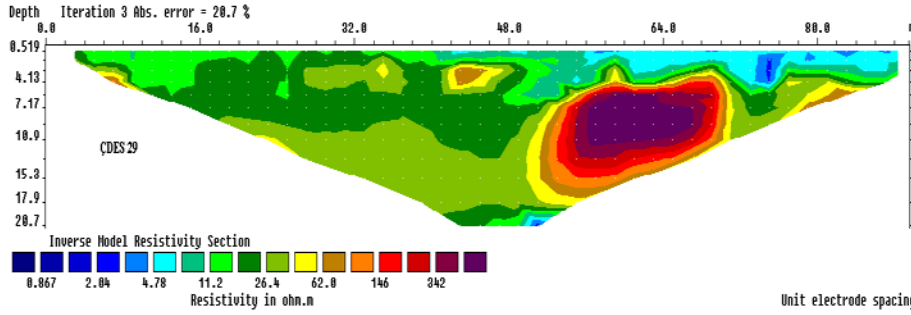
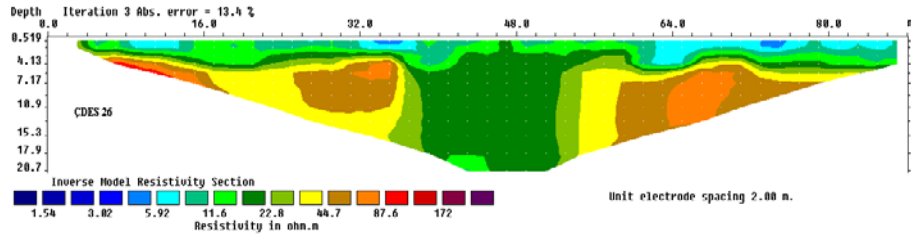
## EK-4 Çalışma alanı çok kanallı DES ölçüm sonuçları (Devam)



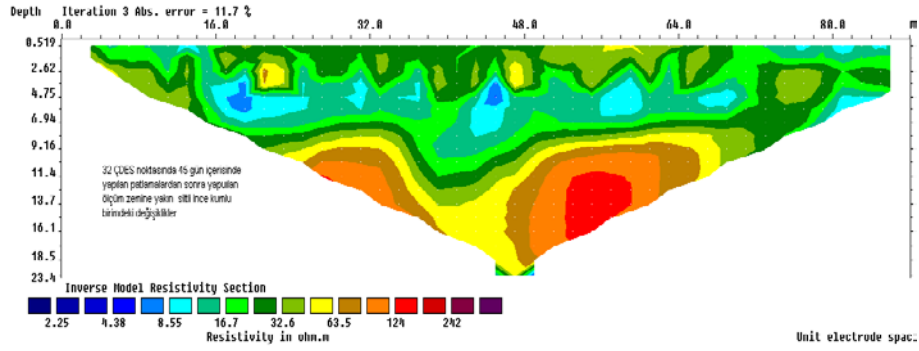
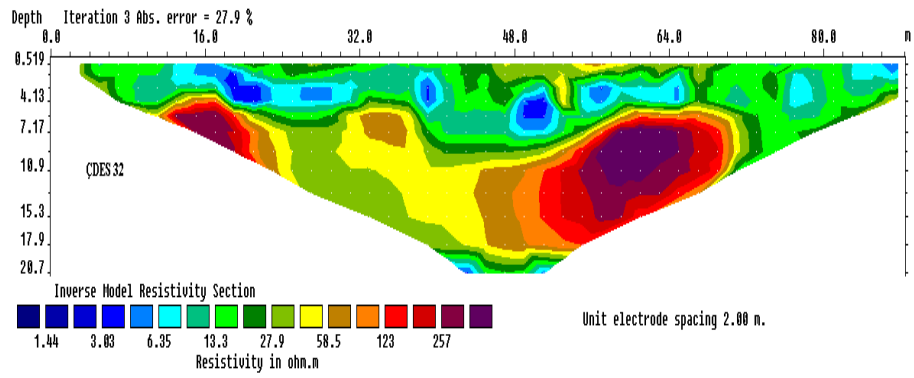
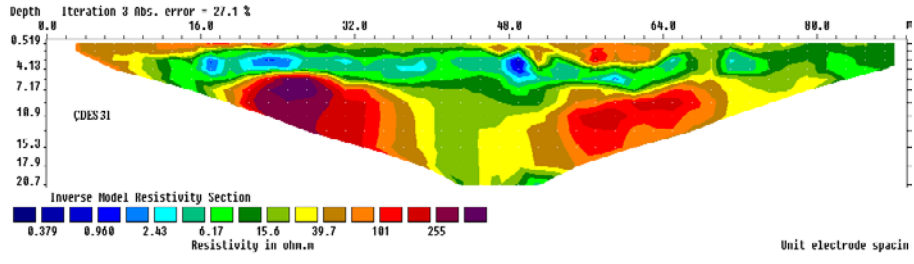
## EK-4 Çalışma alanı çok kanallı DES ölçüm sonuçları (Devam)



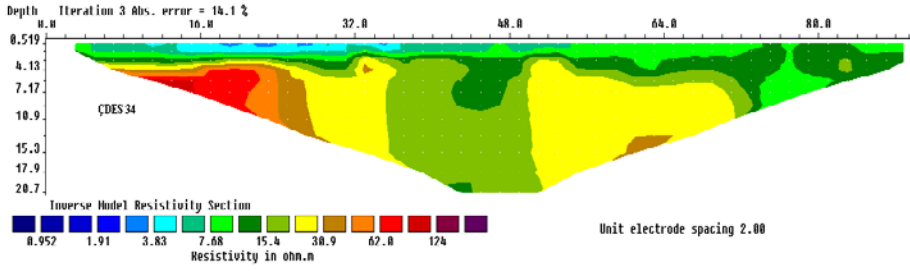
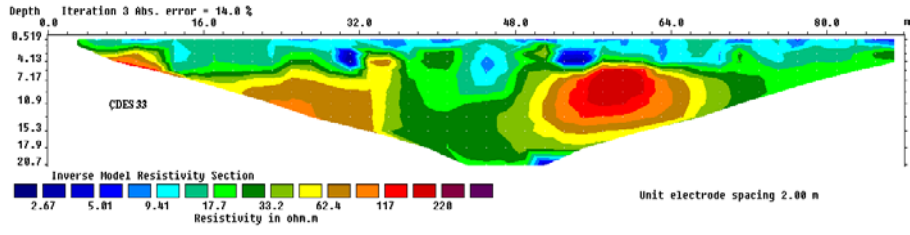
## EK-4 Çalışma alanı çok kanallı DES ölçüm sonuçları (Devam)



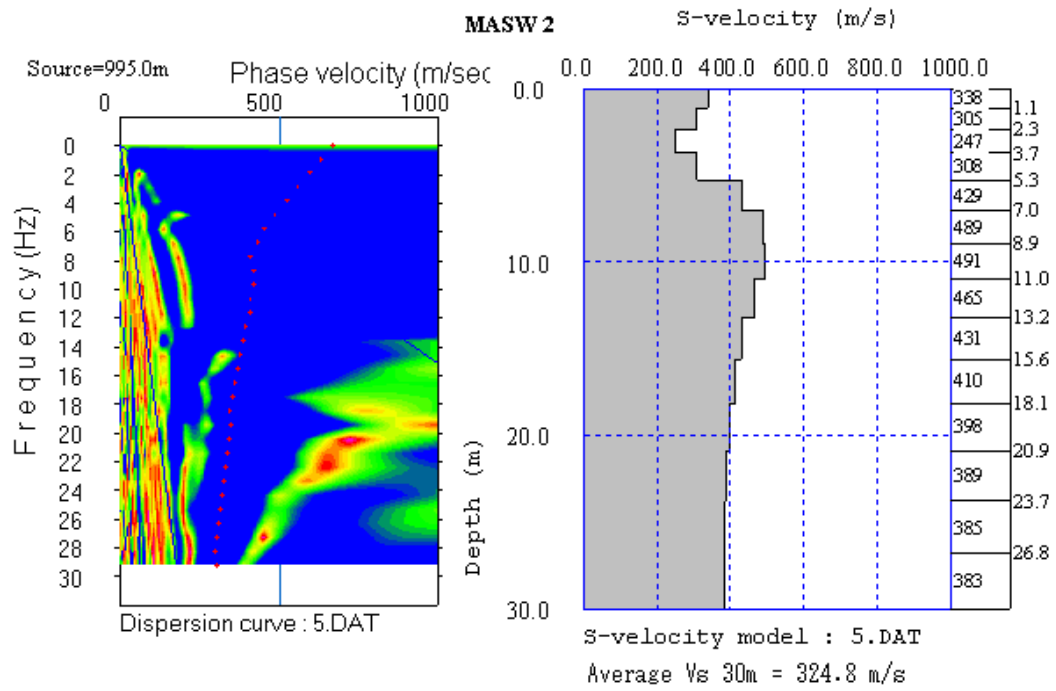
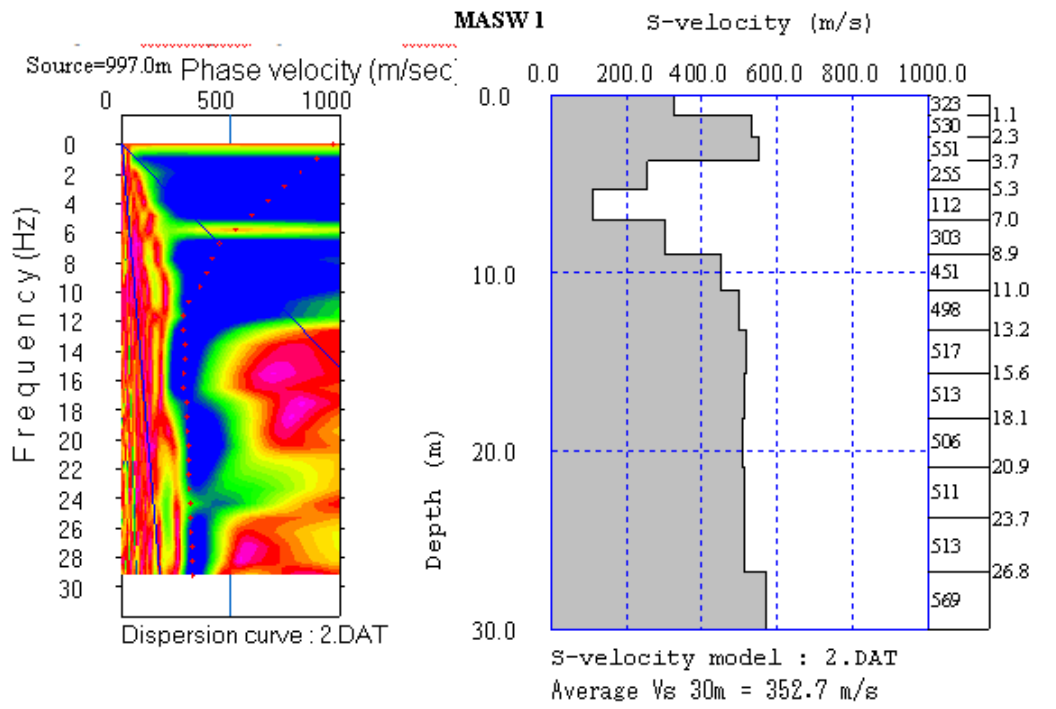
## EK-4 Çalışma alanı çok kanallı DES ölçüm sonuçları (Devam)



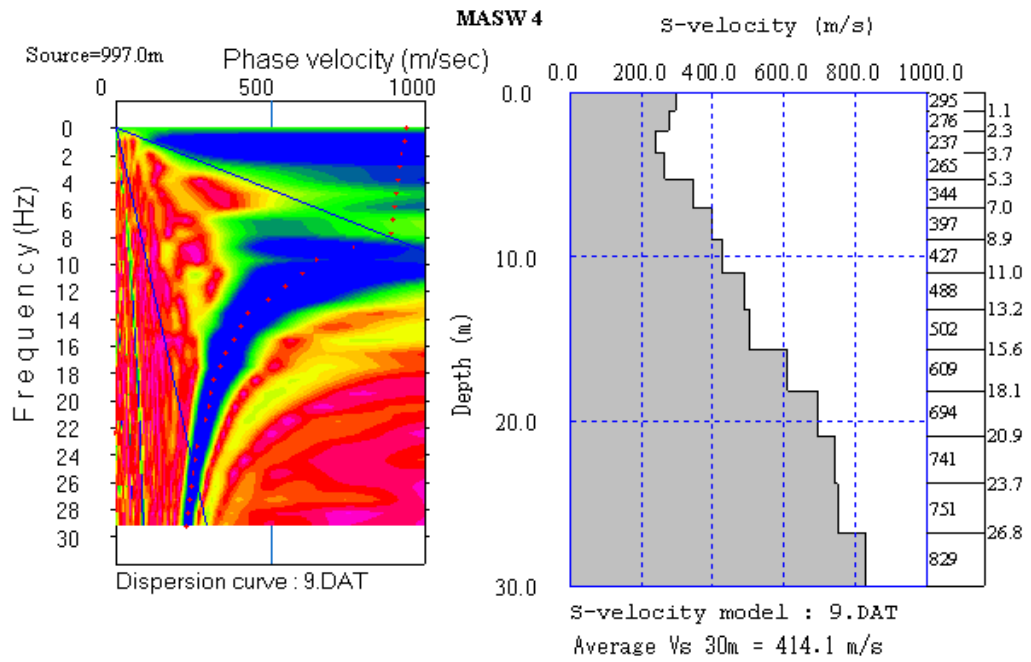
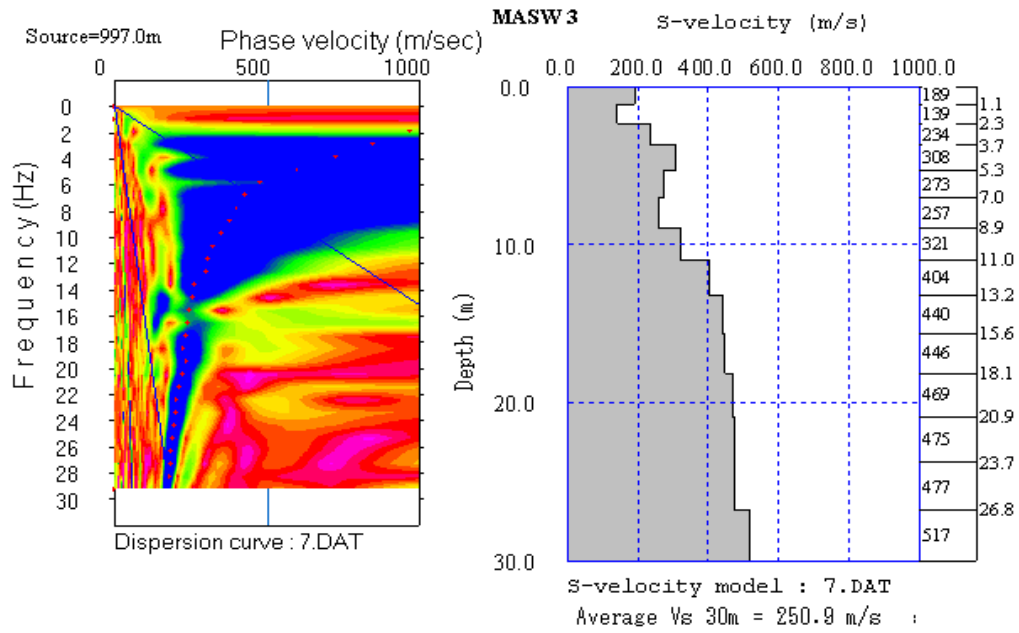
EK-4 Çalışma alanı çok kanallı DES ölçüm sonuçları (Devam)



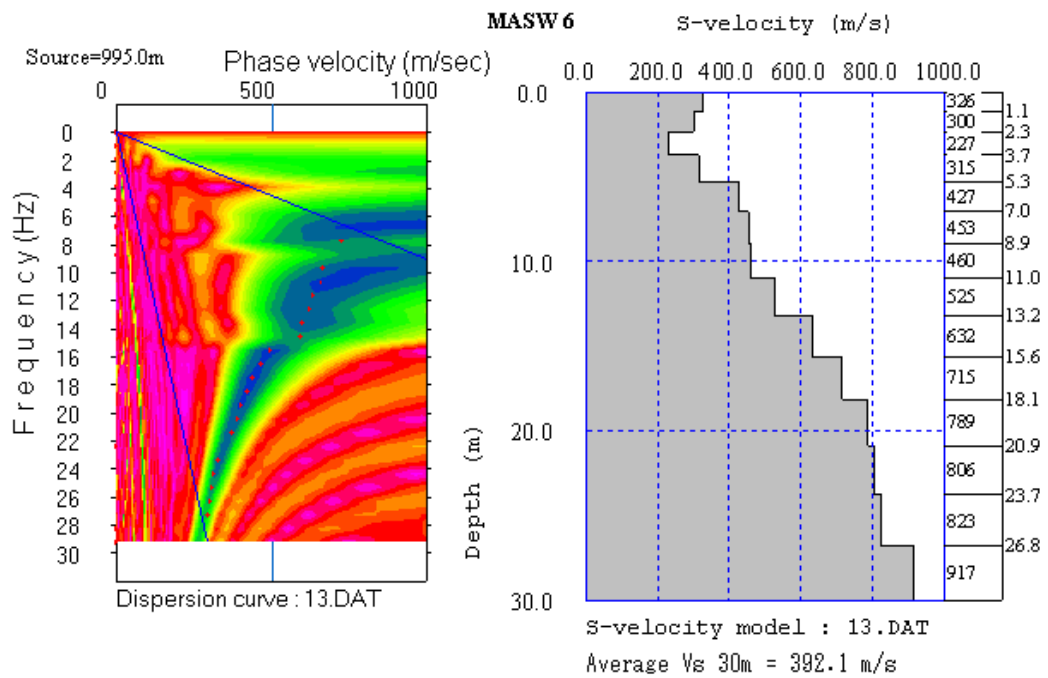
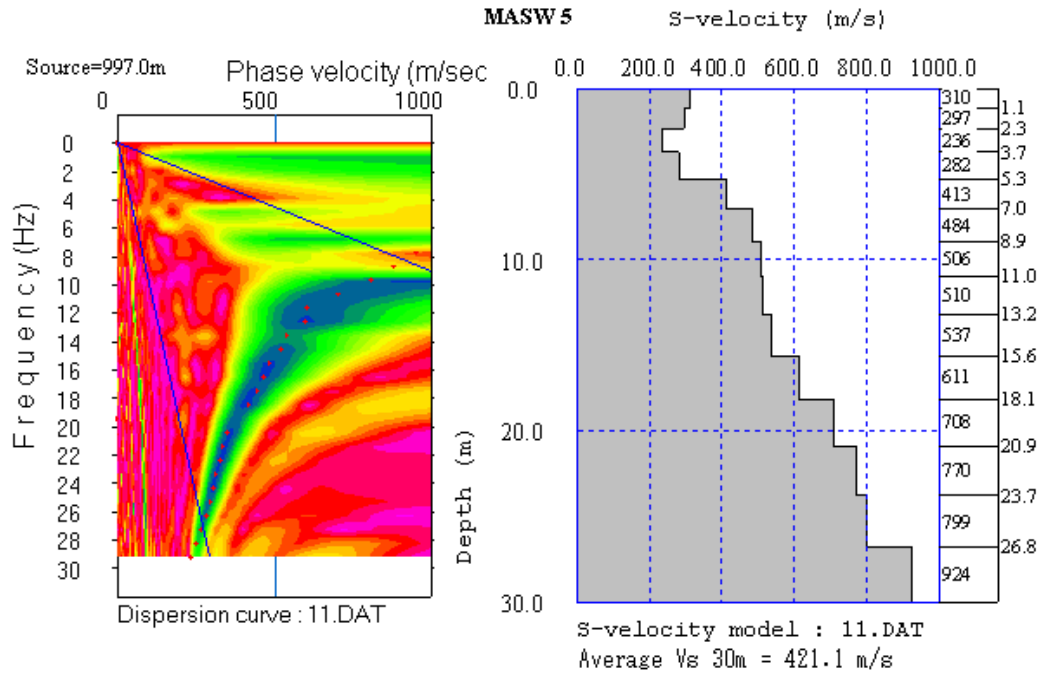
EK-5 Çalışma alanı Vs dalgalarının derinlikle değişimi



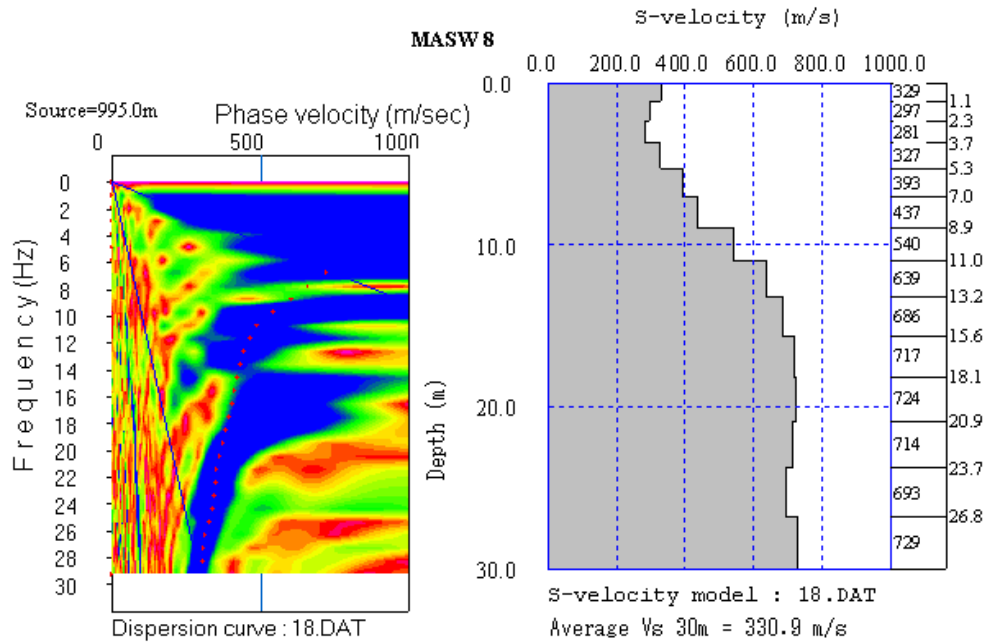
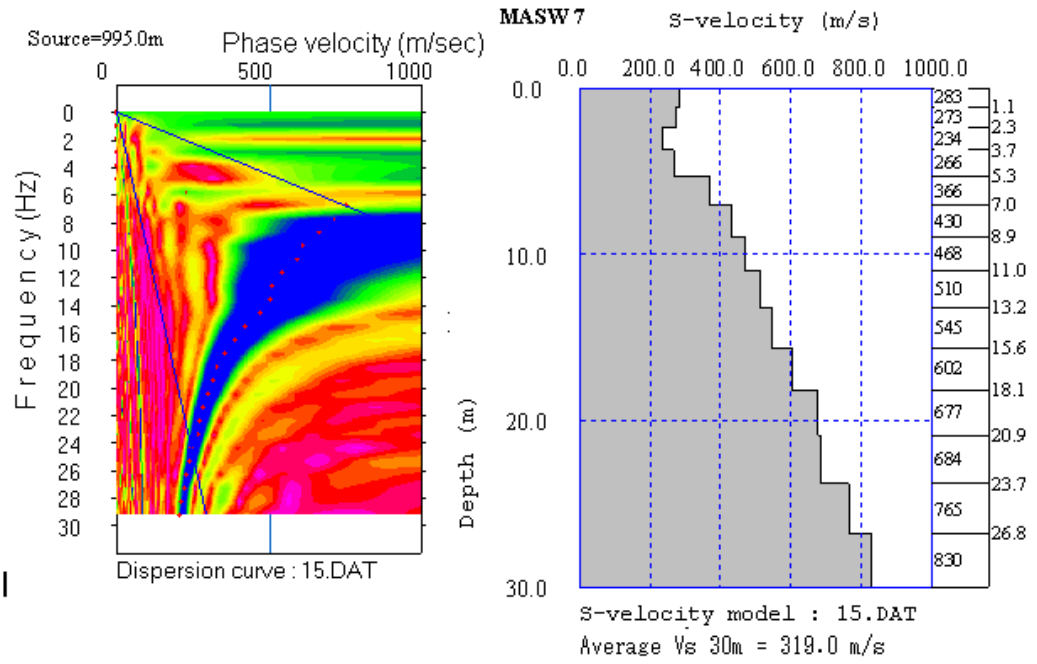
EK -5 Çalışma alanı Vs dalga hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



EK -5 Çalışma alanı Vs dalga hızlarının derinlikle değişimi (Devam)

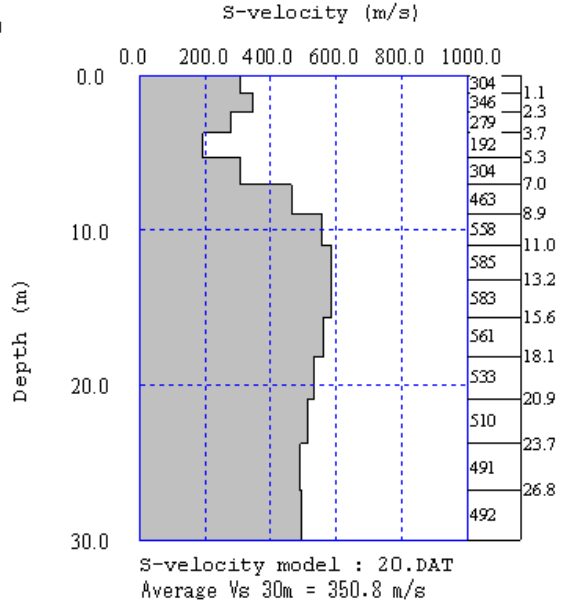
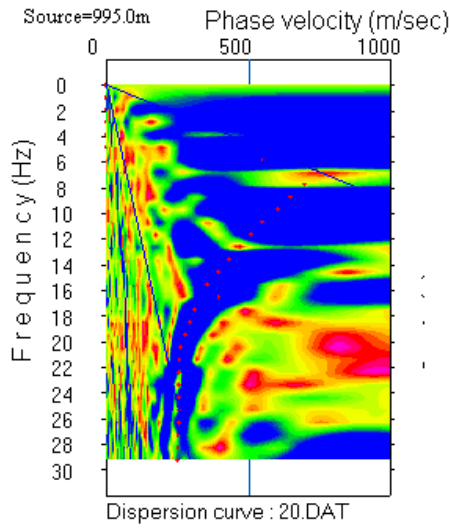


EK-5 Çalışma alanı Vs dalgalarının derinlikle değişimi (Devam)

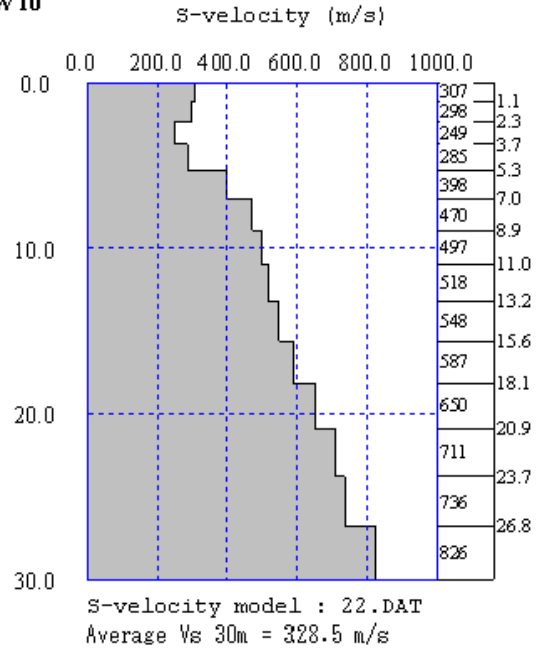
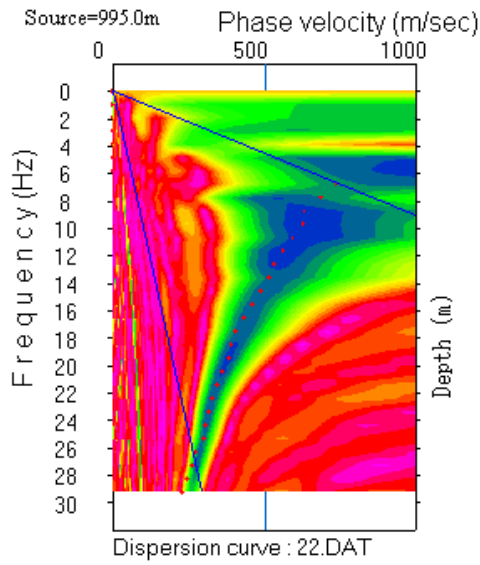


EK -5 Çalışma alanı Vs dalga hızlarının derinlikle değişimi (Devam)

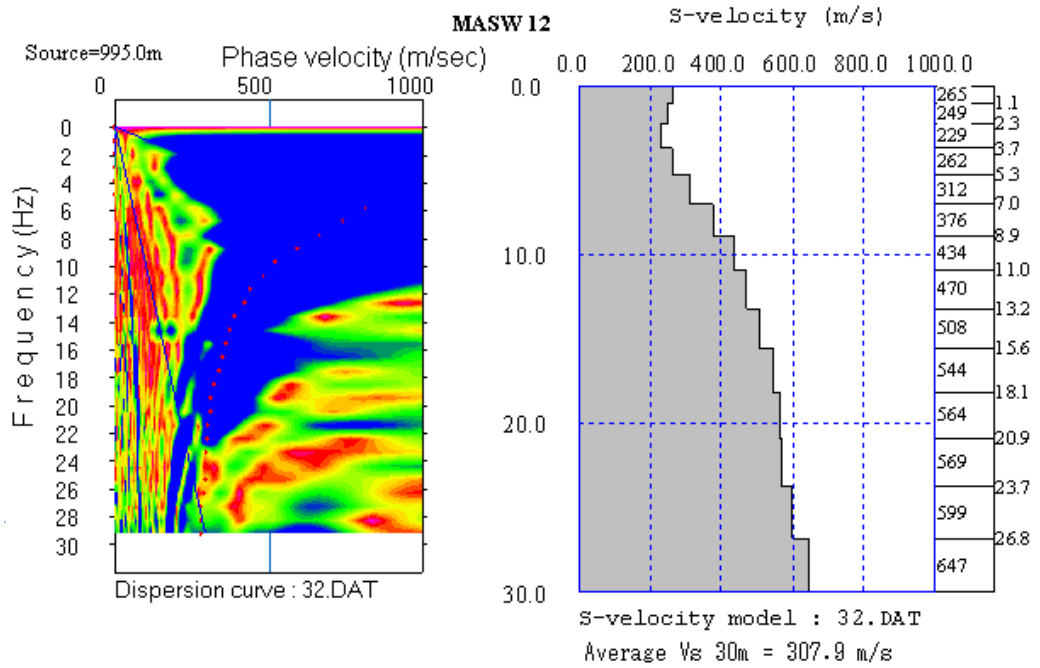
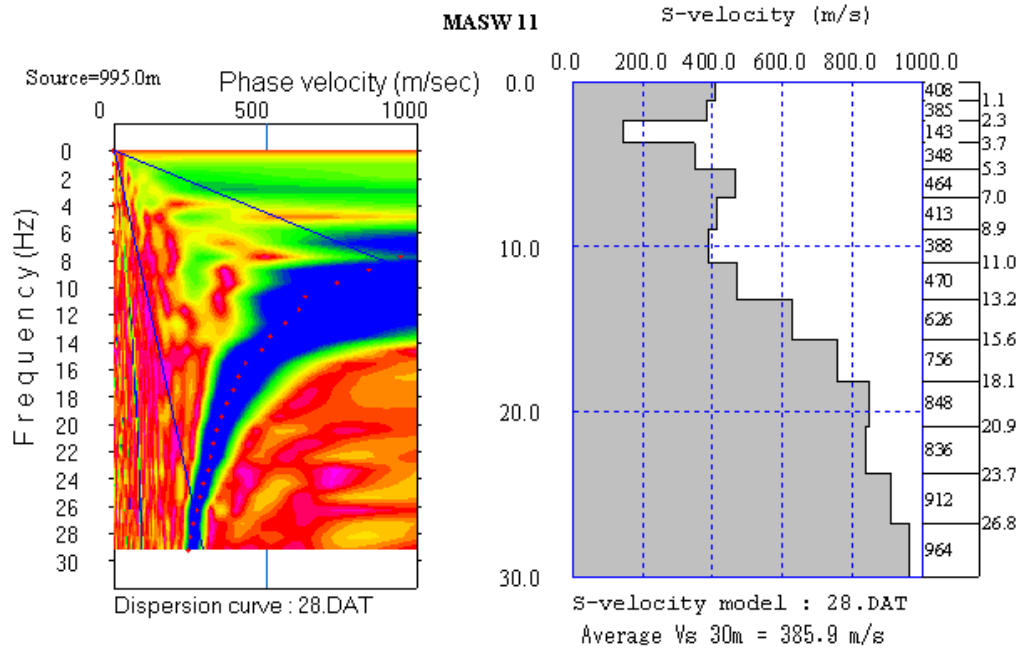
**MASW9**



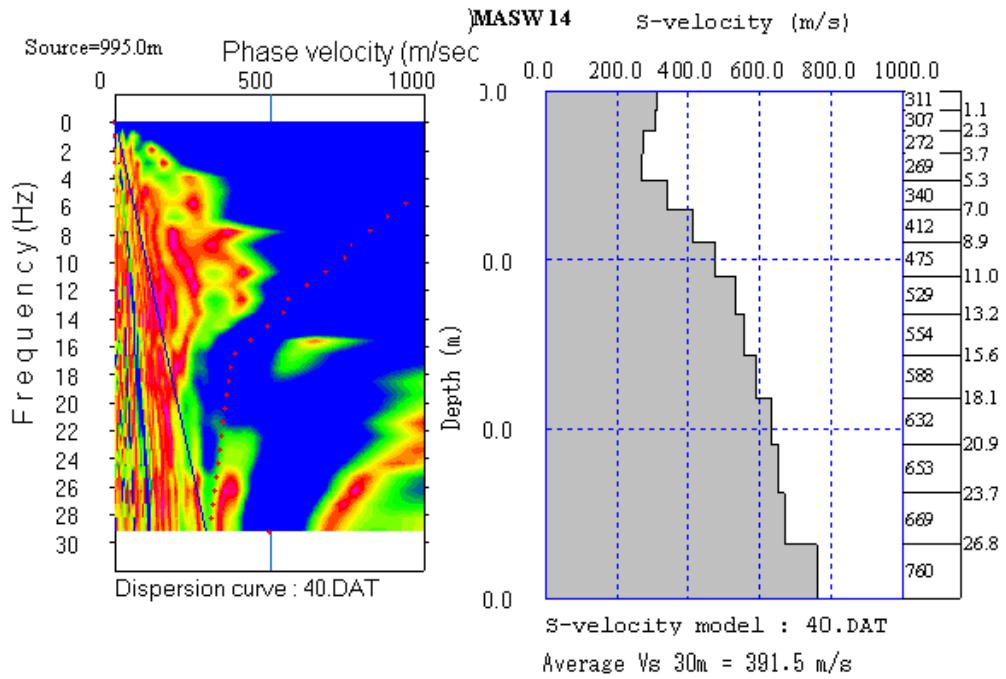
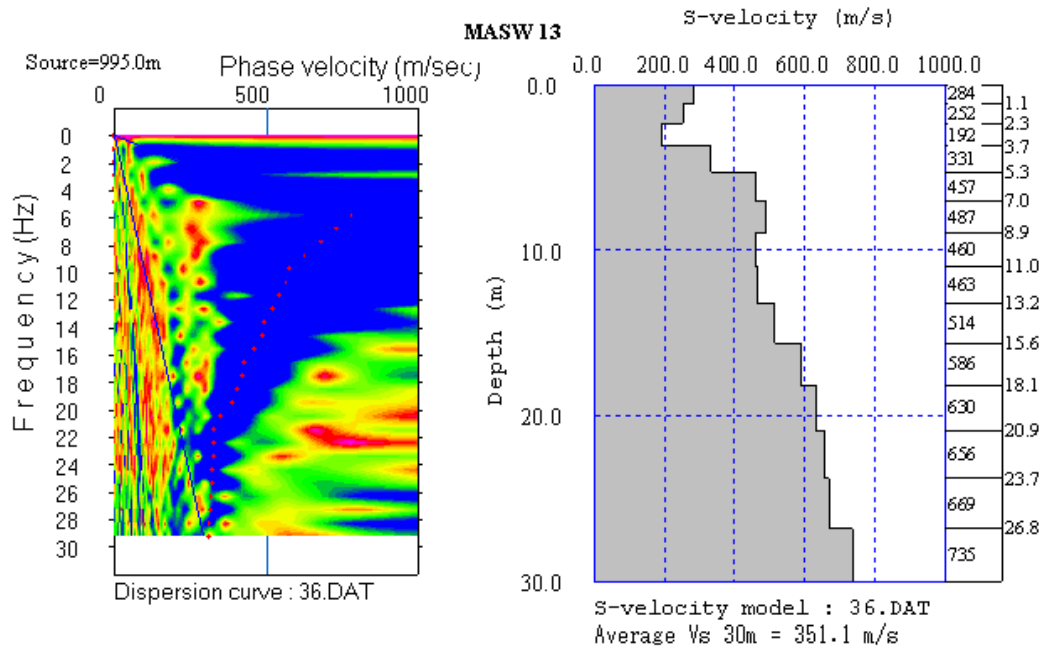
**MASW10**



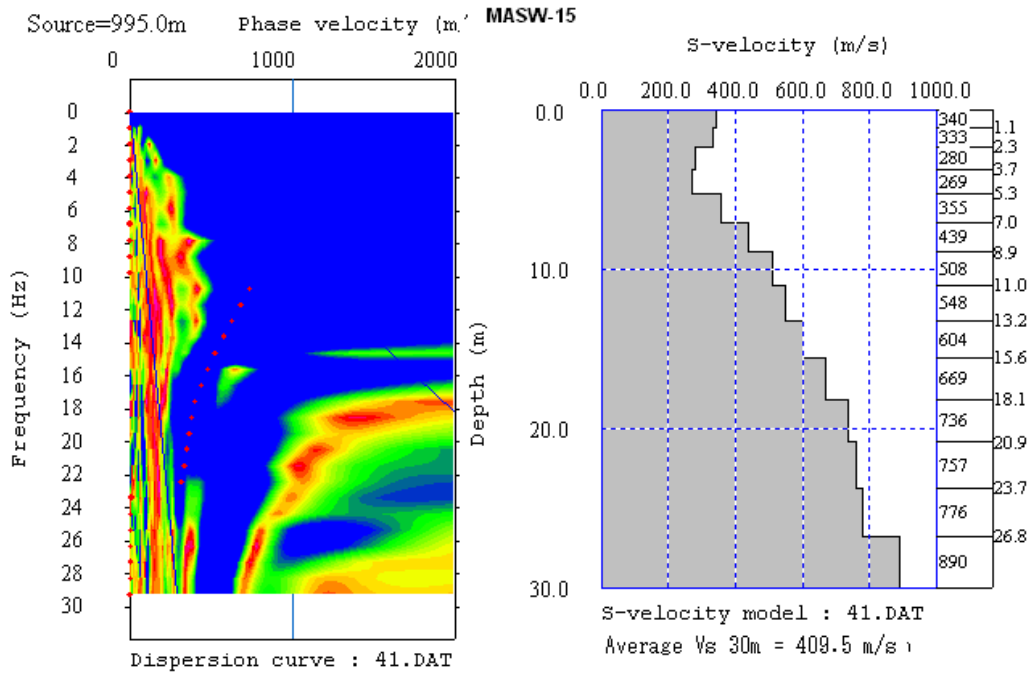
EK-5 Çalışma alanı Vs dalgalarının derinlikle değişimi (Devam)



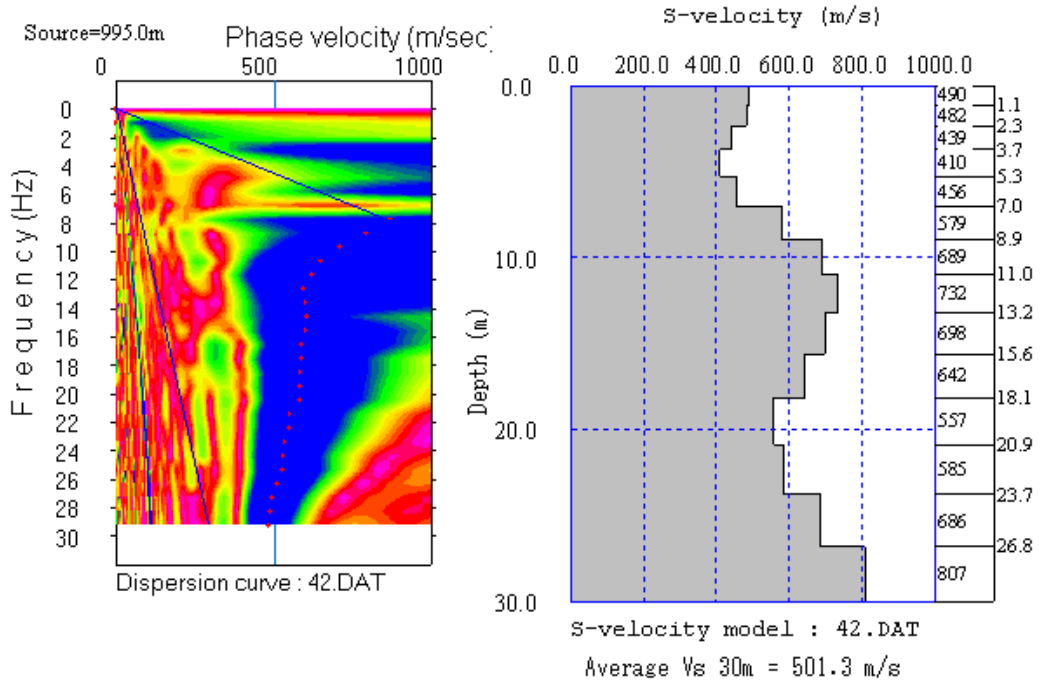
EK -5 Çalışma alanı Vs dalga hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



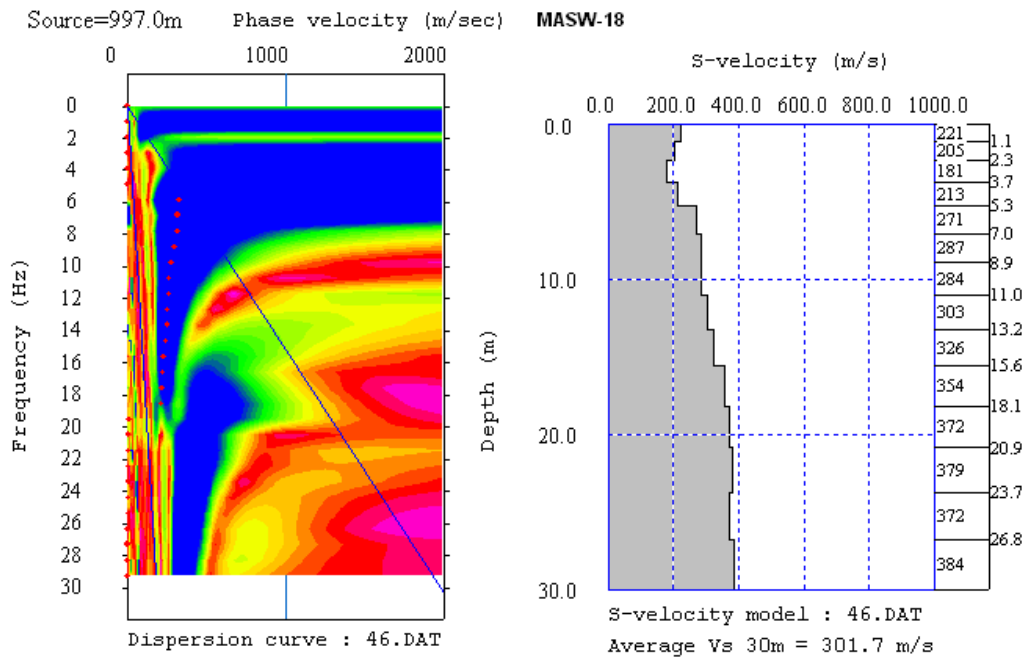
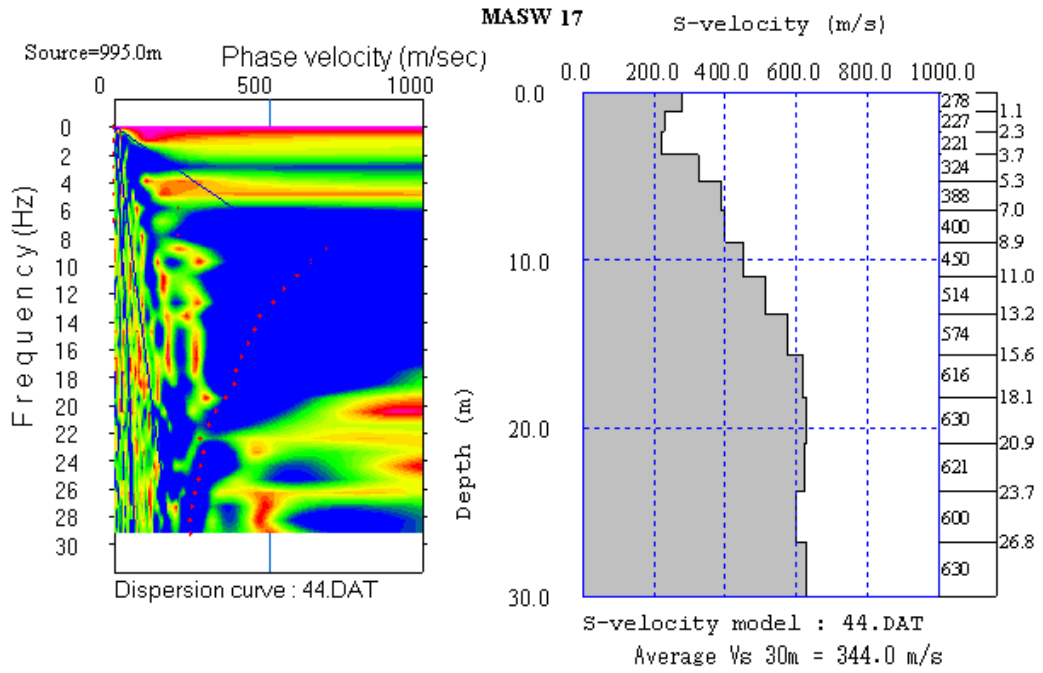
EK -5 Çalışma alanı Vs dalga hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



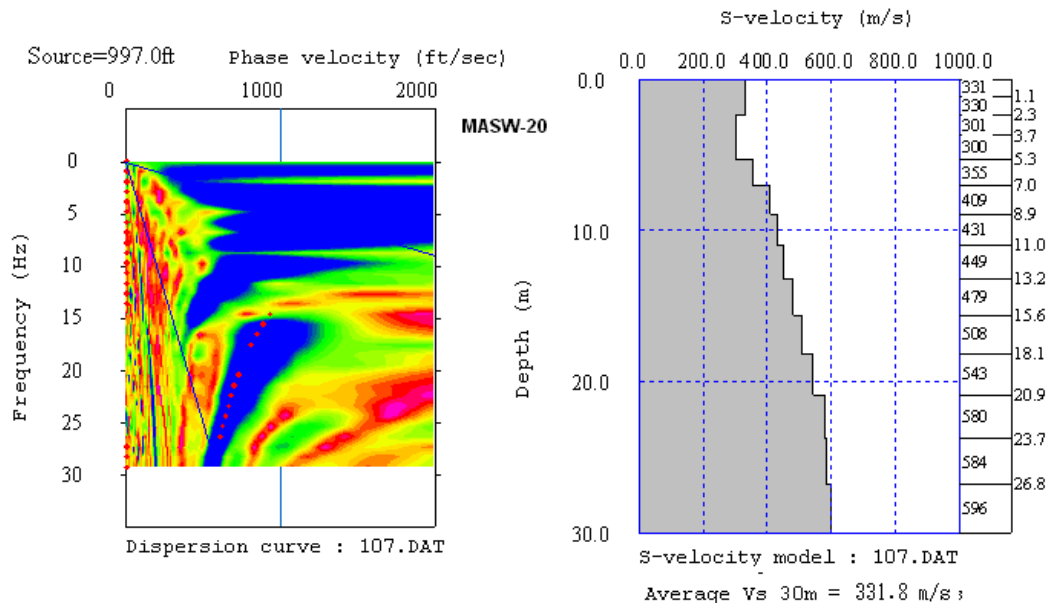
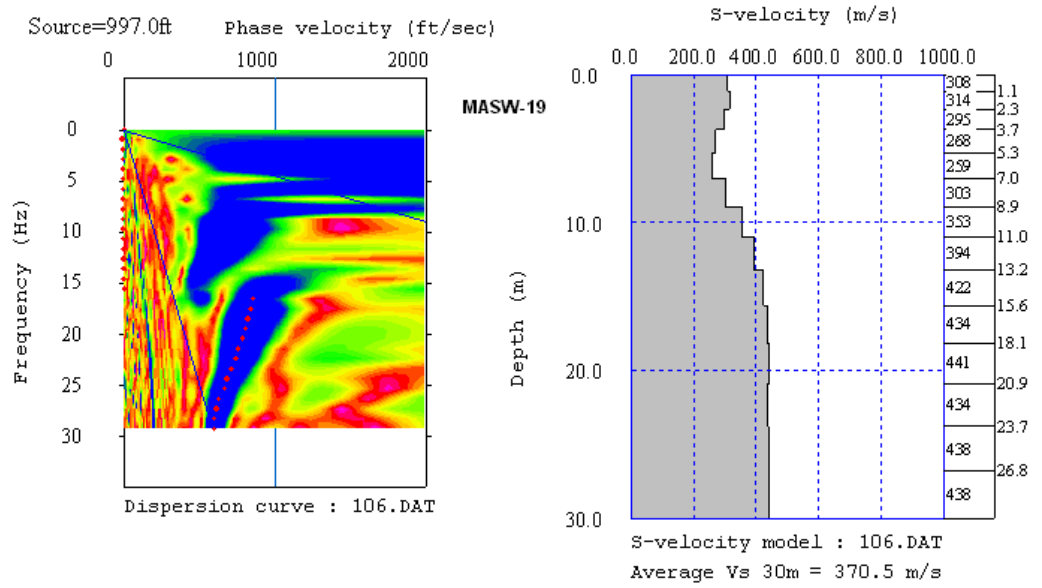
) MASW 16



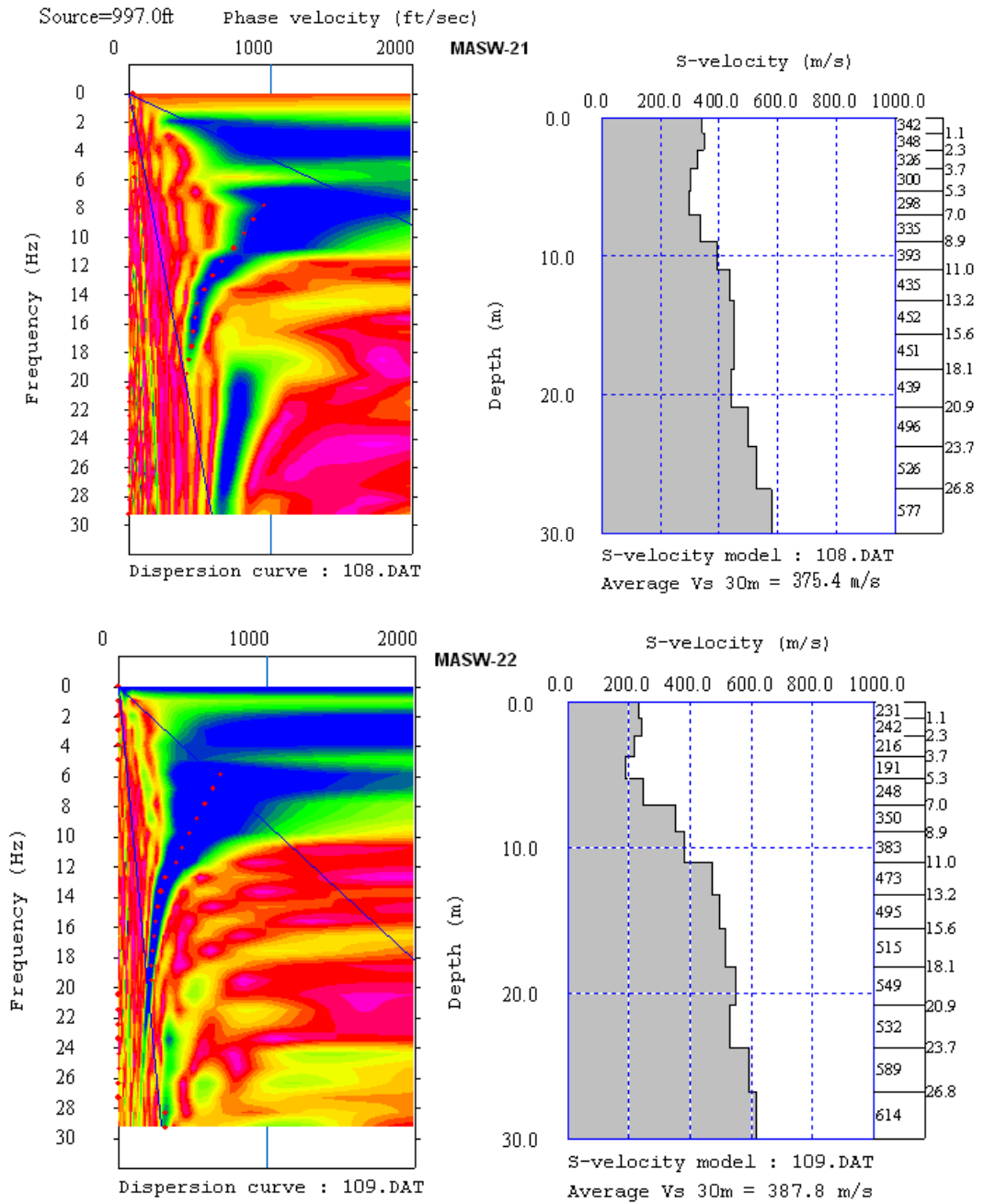
EK -5 Çalışma alanı Vs dalga hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



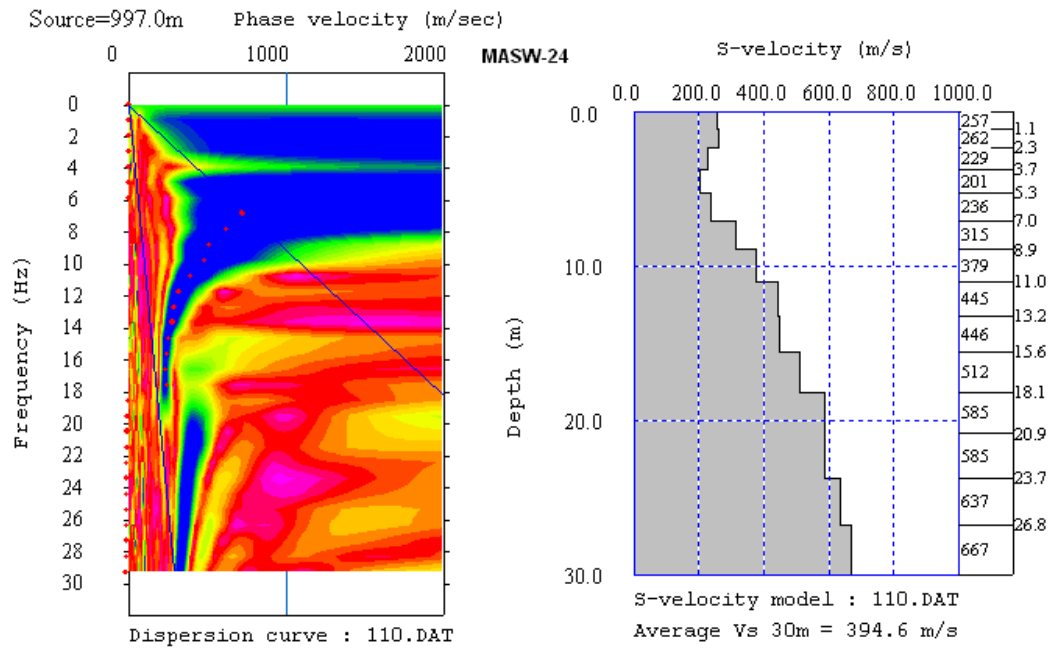
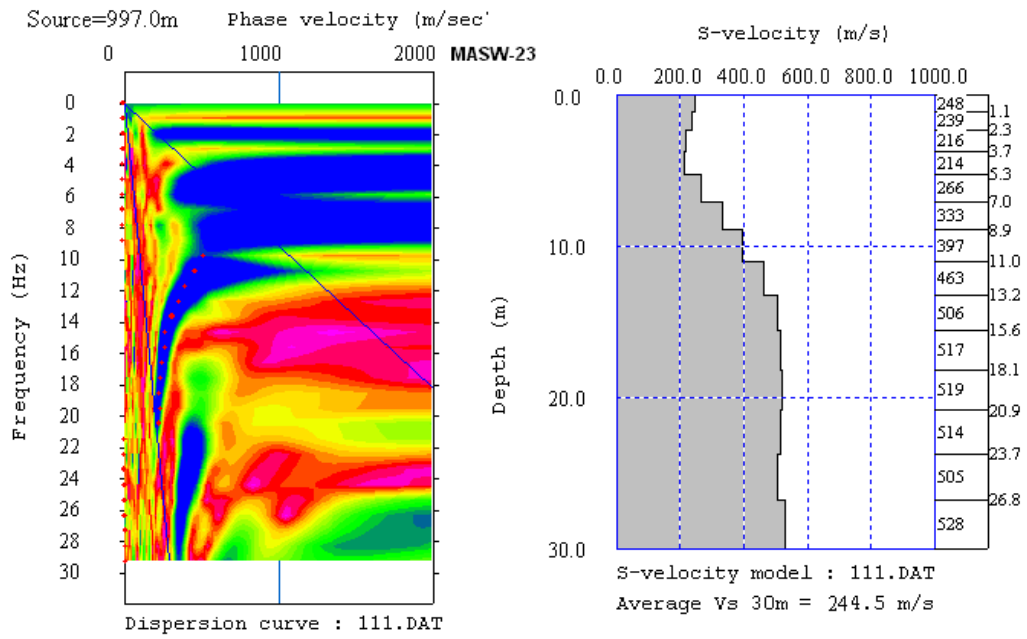
EK-5 Çalışma alanı Vs dalgalarının derinlikle değişimi (Devam)



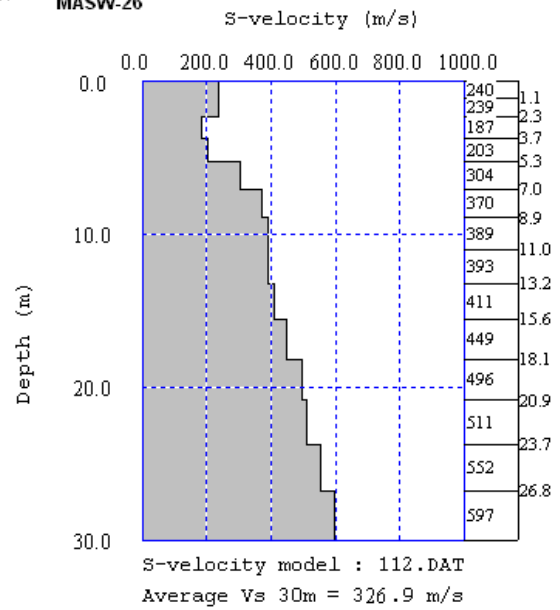
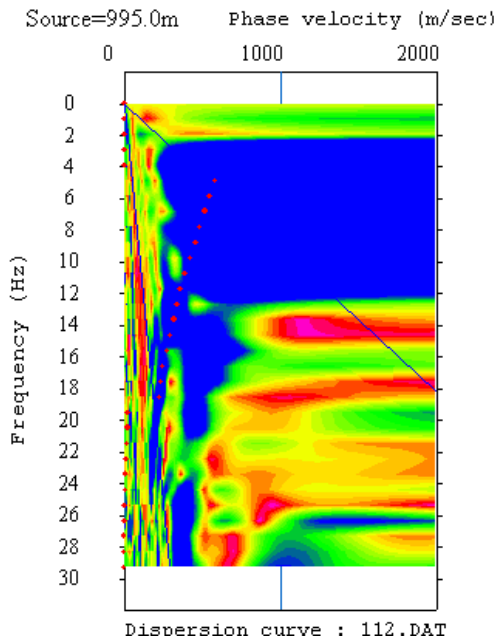
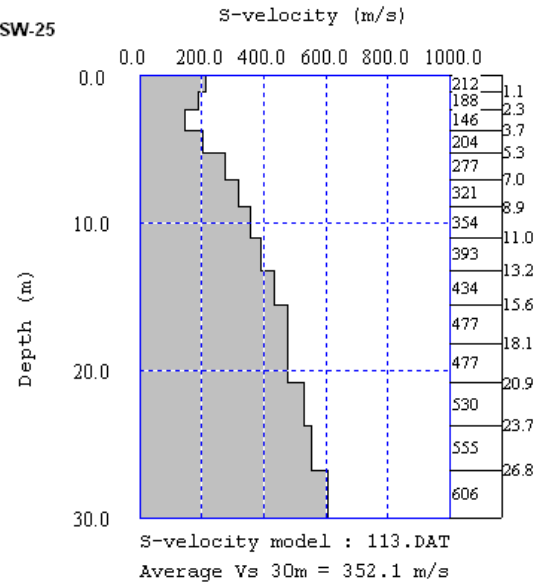
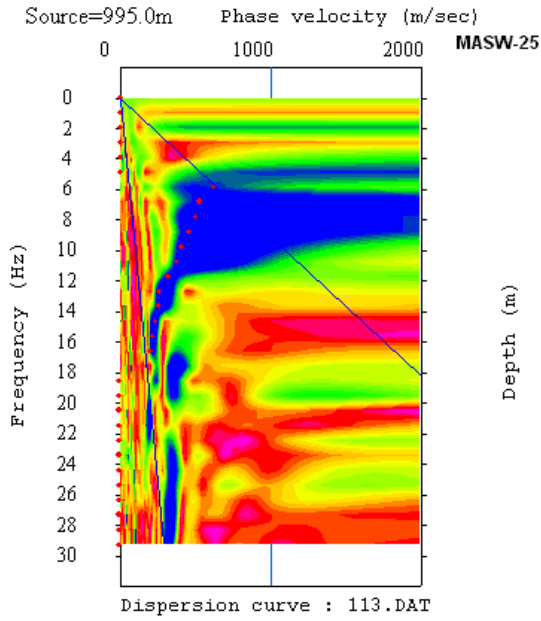
EK-5 Çalışma alanı Vs dalgalarının derinlikle değişimi (Devam)



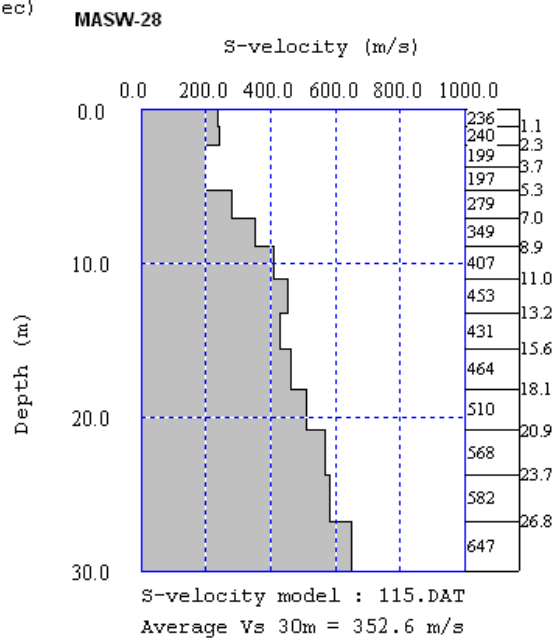
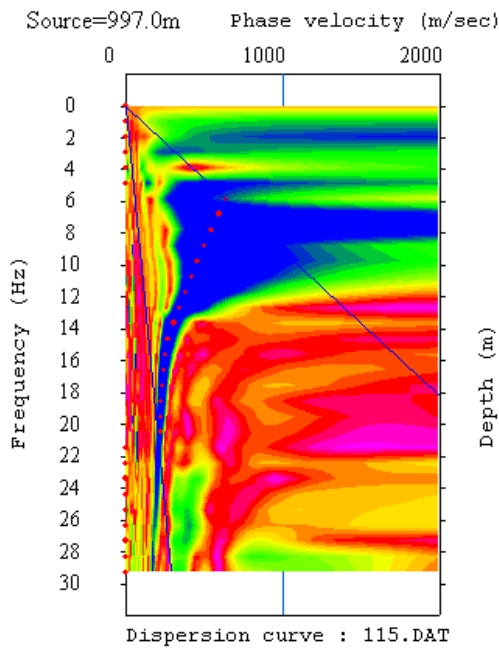
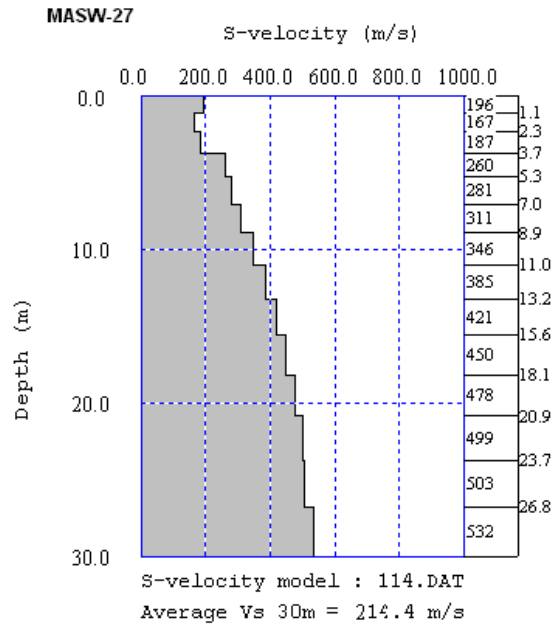
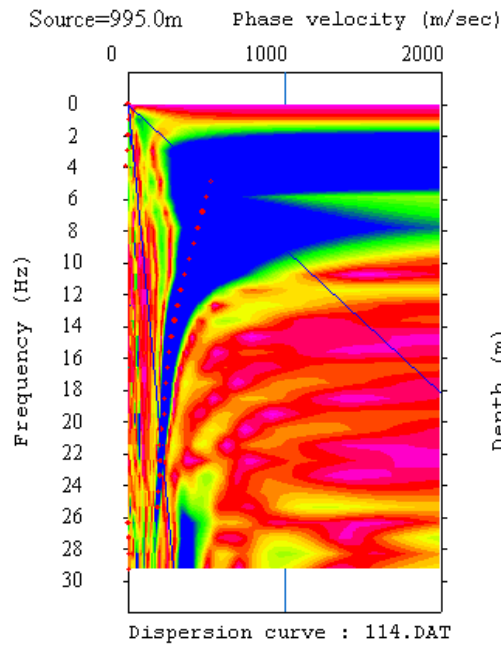
EK-5 Çalışma alanı Vs dalgalarının derinlikle değişimi (Devam)



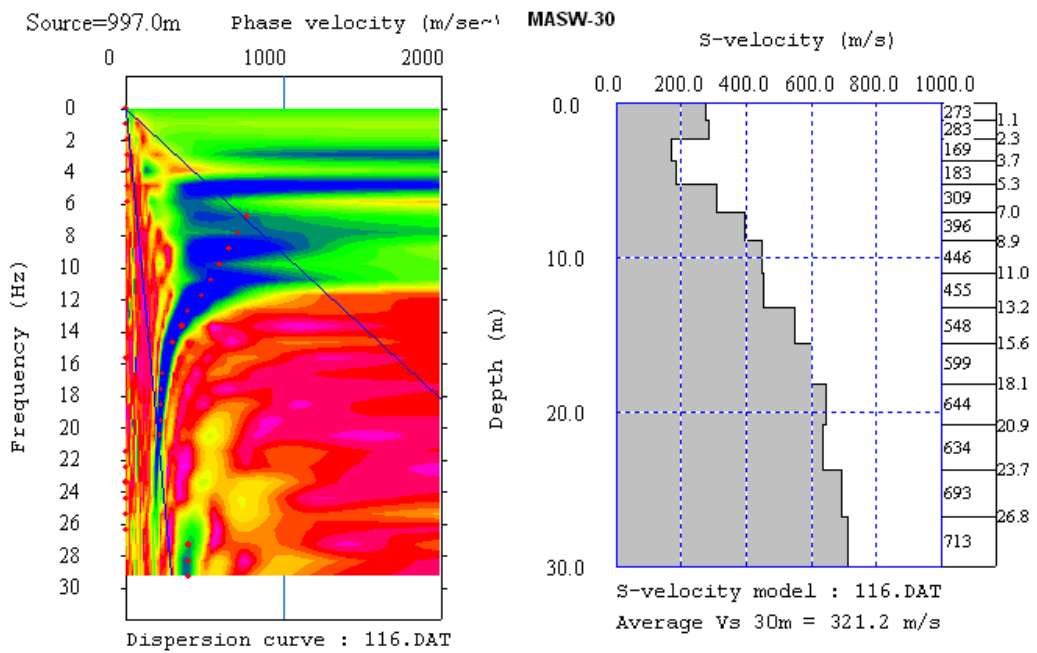
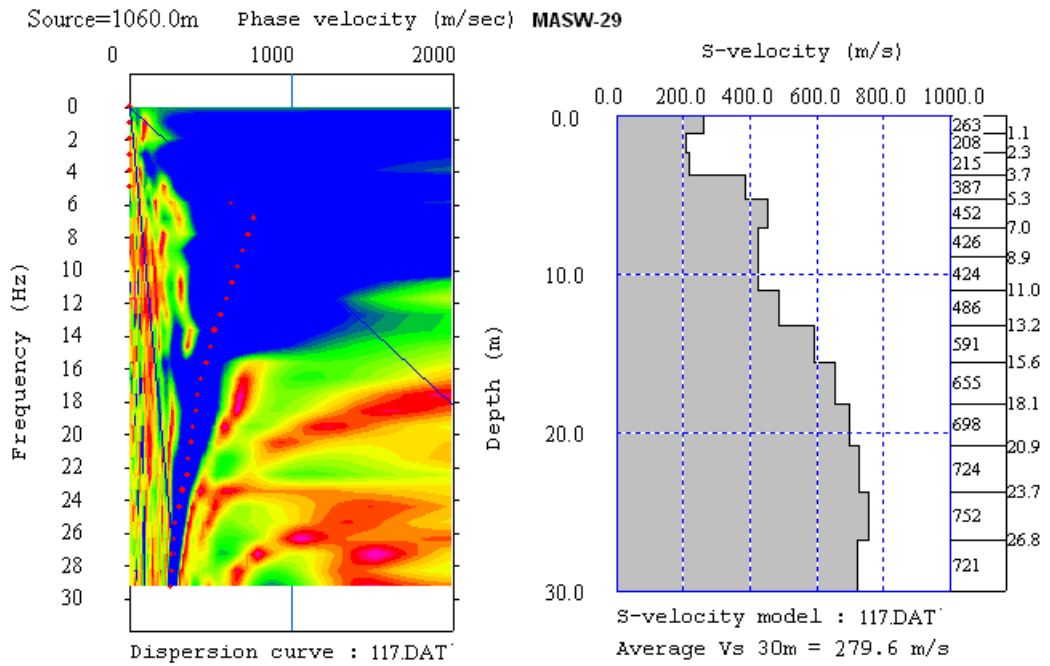
EK-5 Çalışma alanı Vs dalga hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



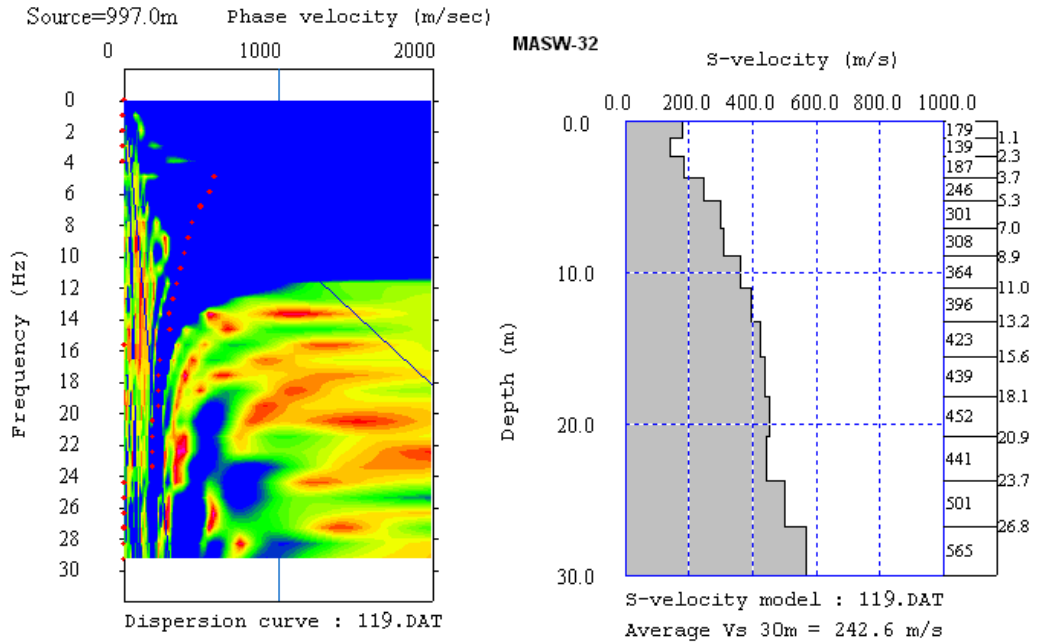
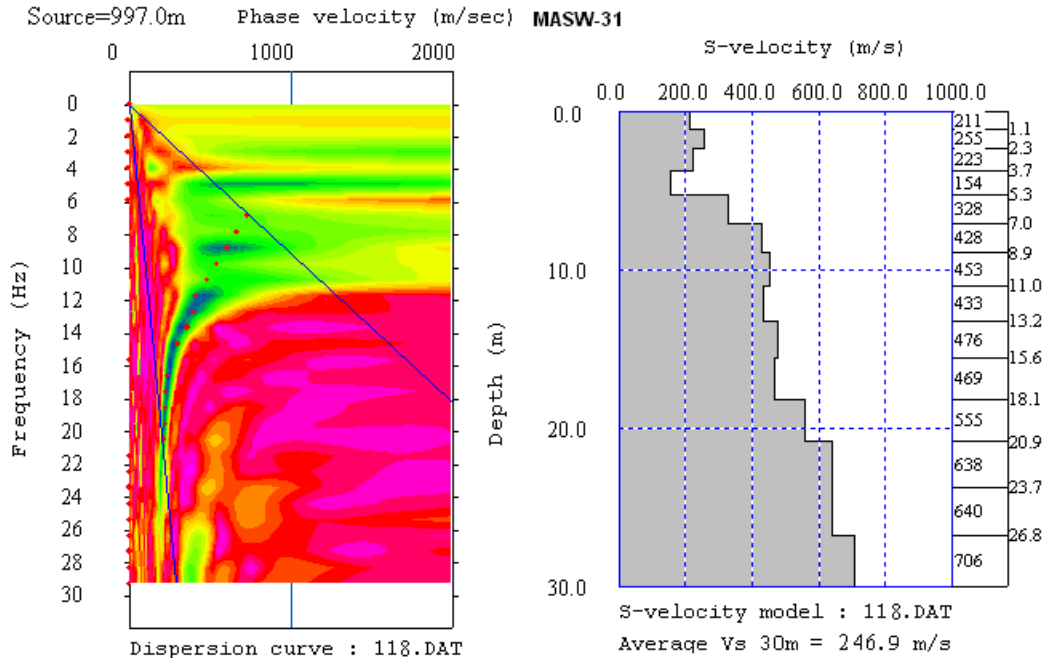
EK -5 Çalışma alanı Vs dalga hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



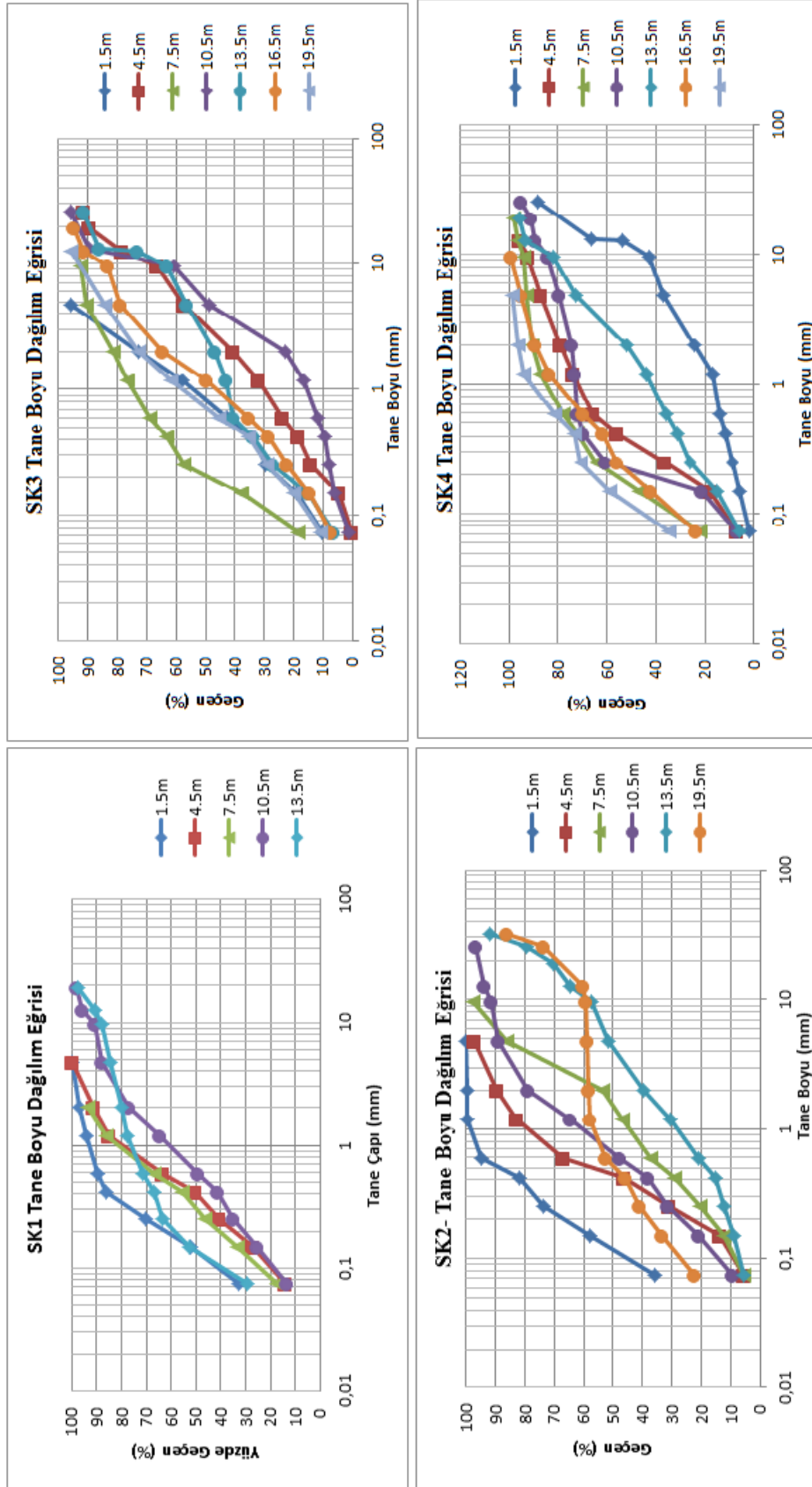
EK -5 Çalışma alanı Vs dalga hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



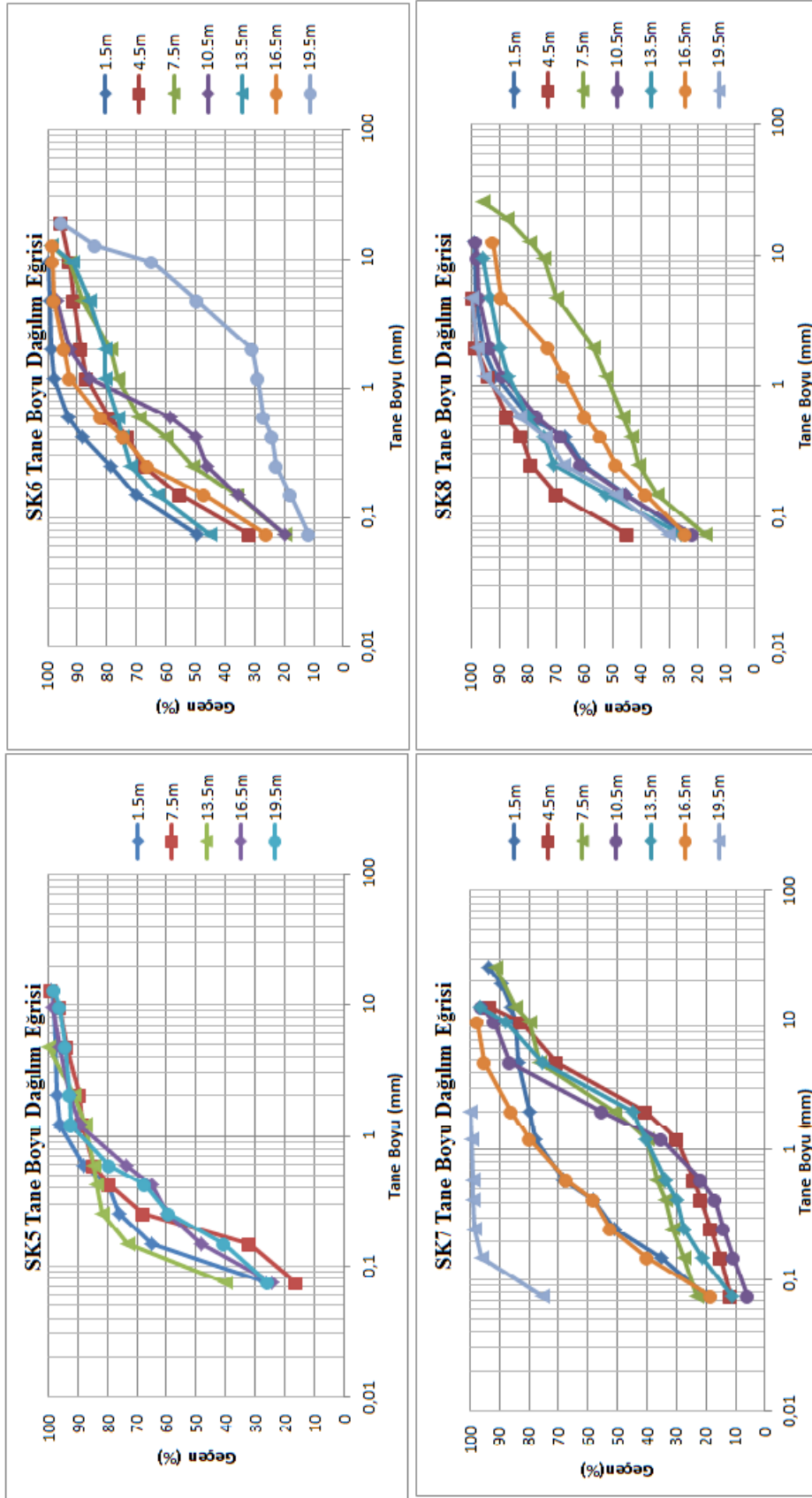
EK -5 Çalışma alanı Vs dalga hızlarının derinlikle değişimi (Devam)



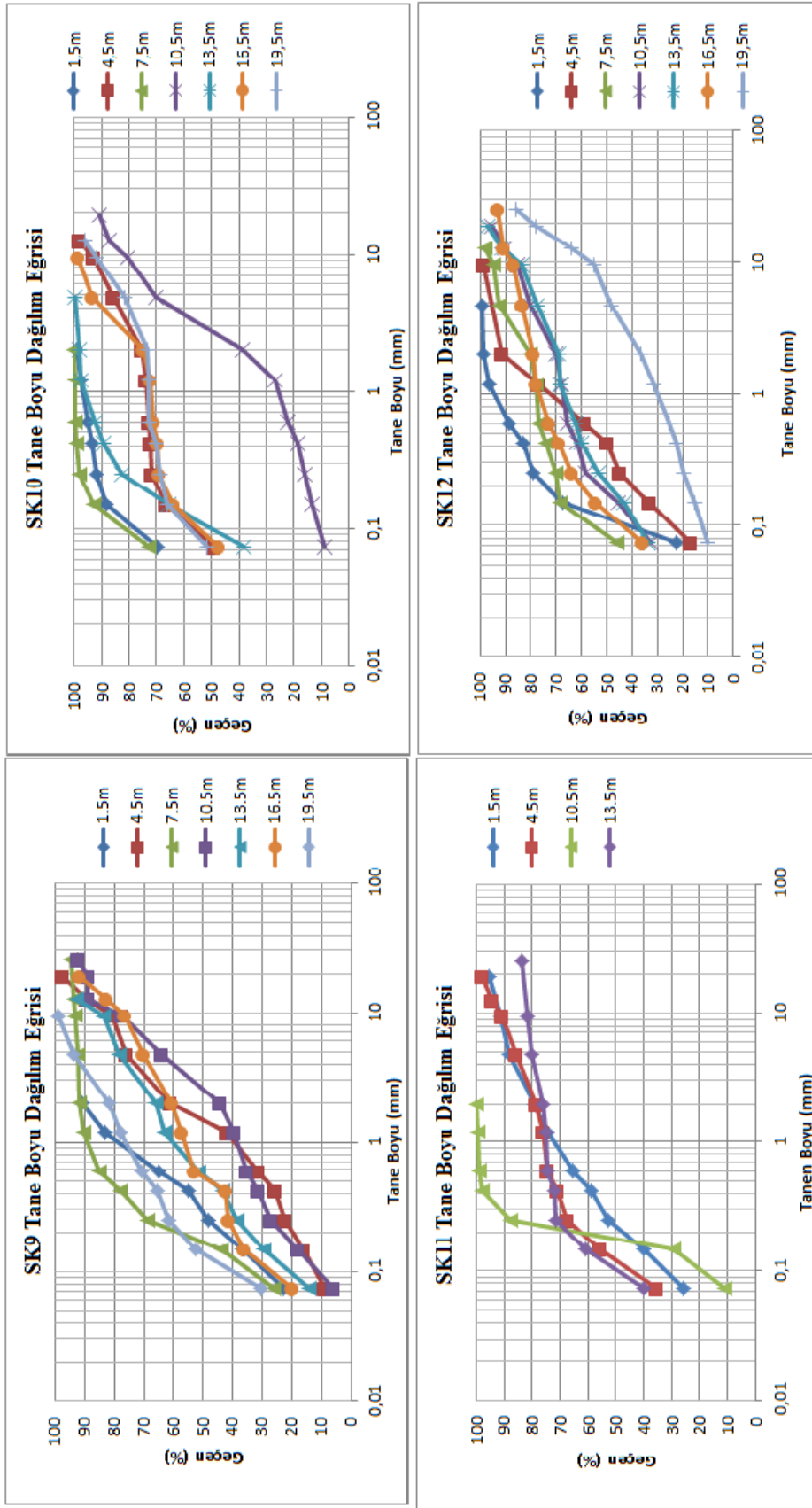
EK-6 Zemin numunelerine ait tane boyu dağılım eğrileri



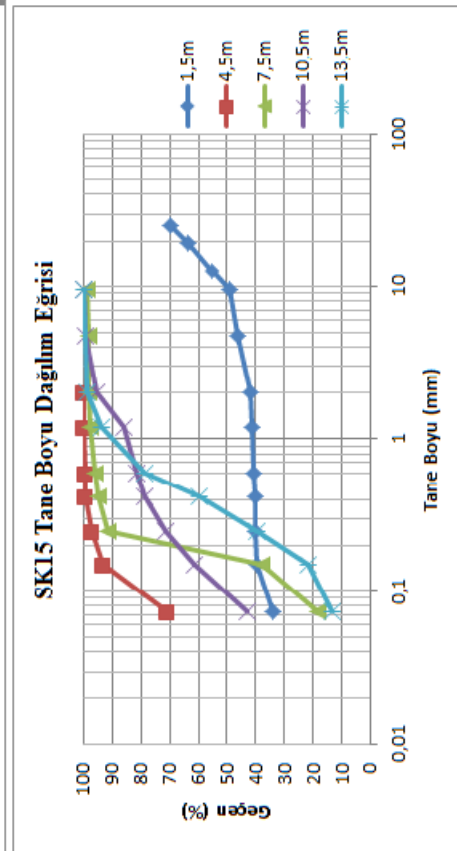
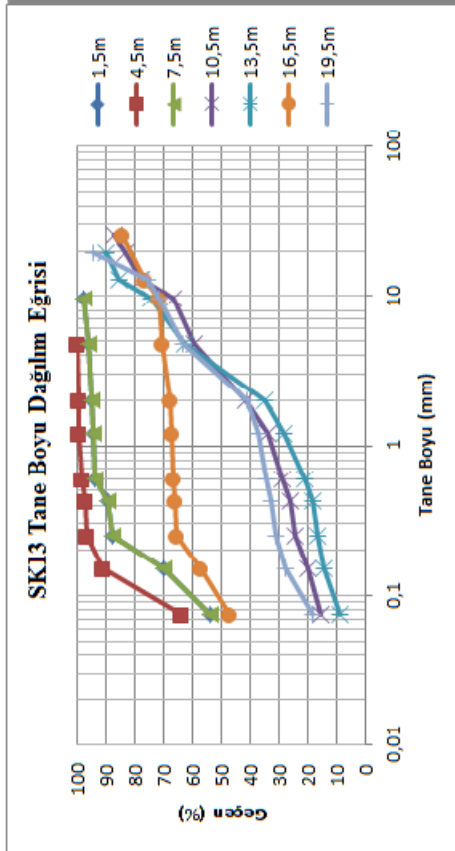
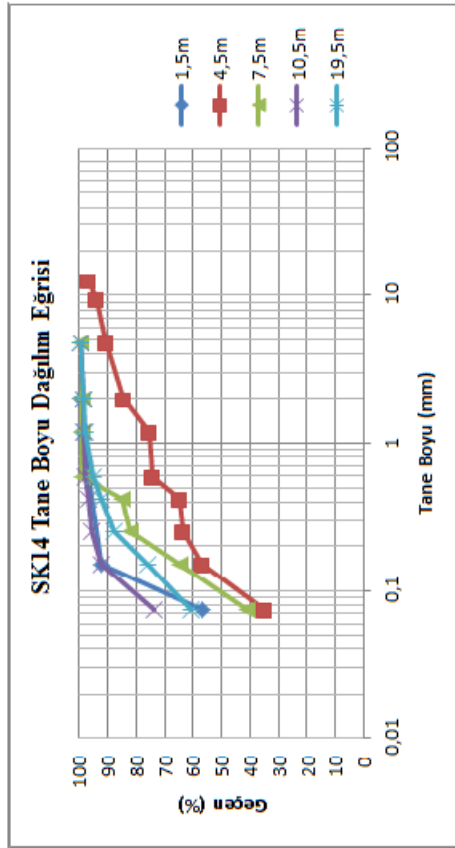
EK-6 Zemin numunelerine ait tane boyu dağılım eğrileri (Devam)



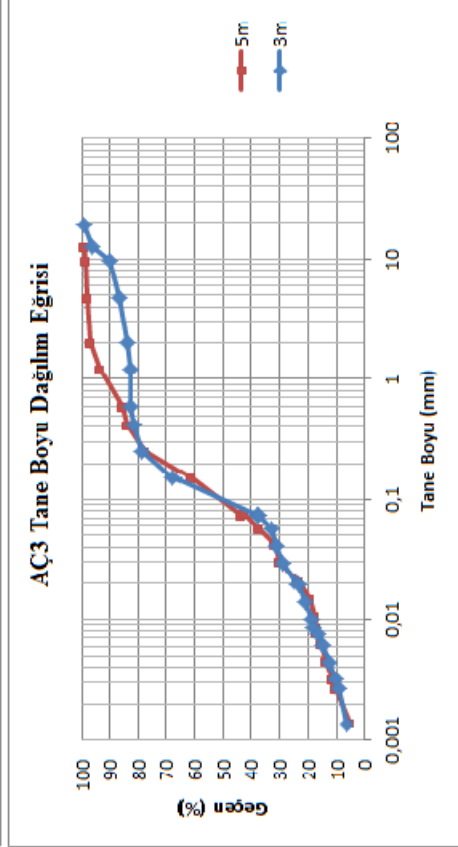
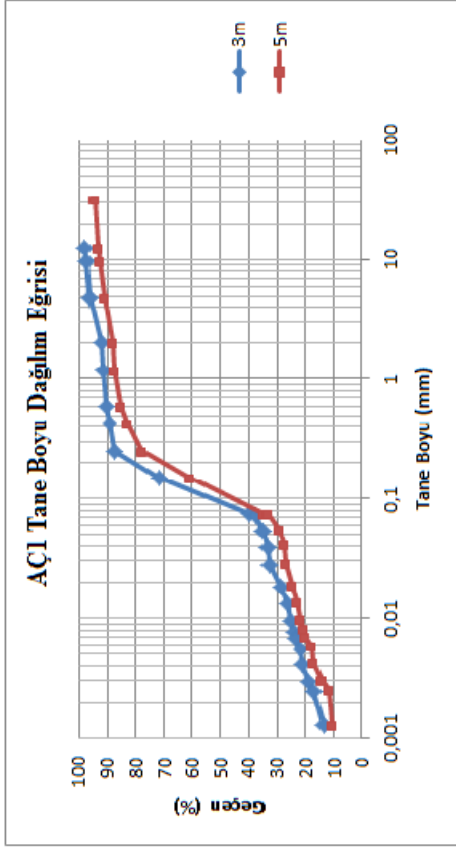
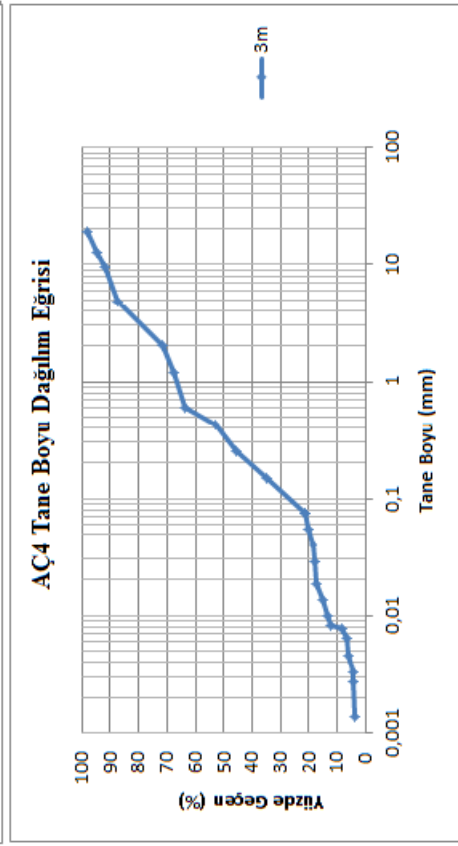
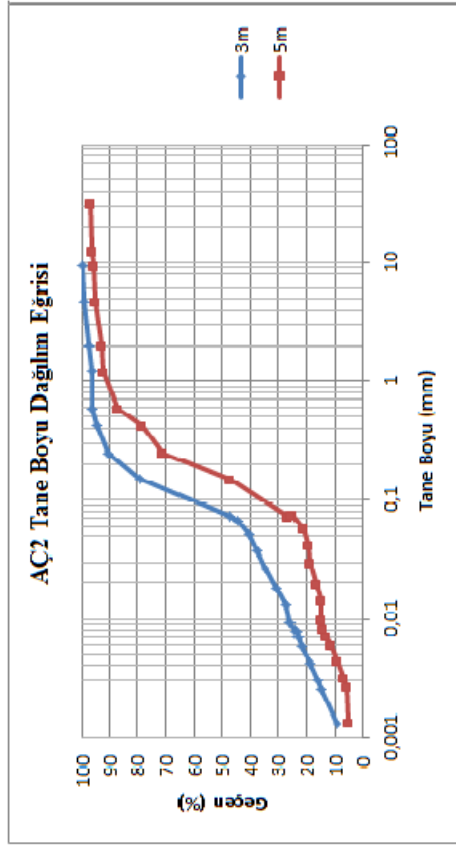
EK-6 Zemin numunelerine ait tane boyu dağılım eğrileri (Devam)



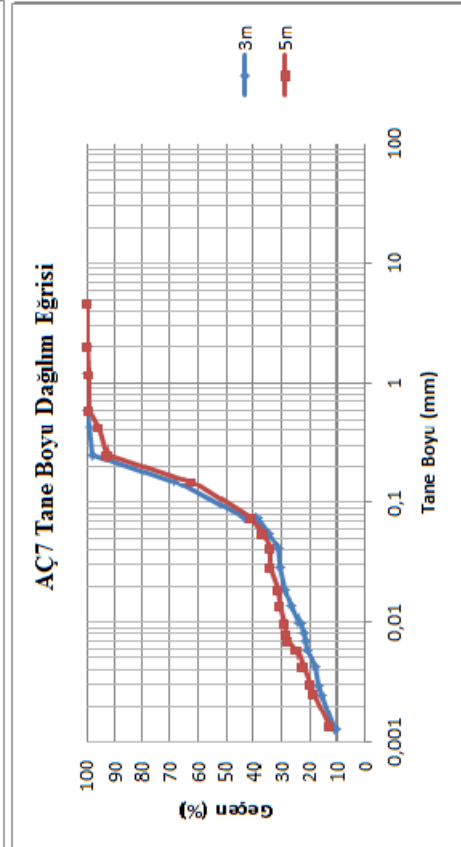
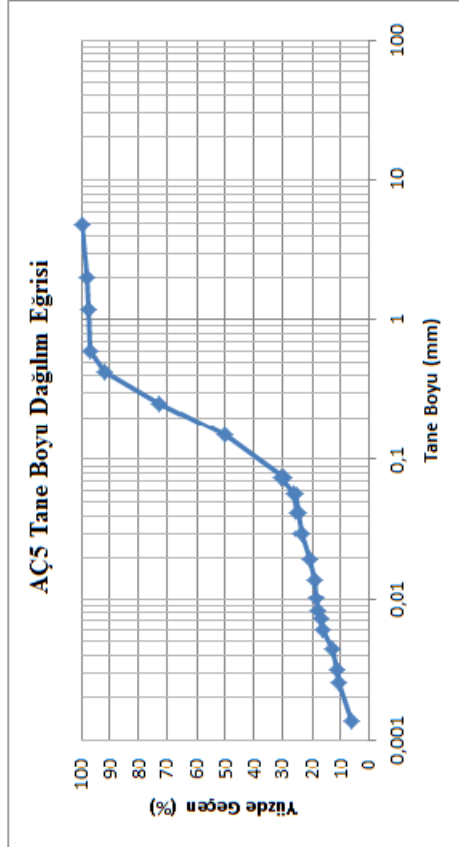
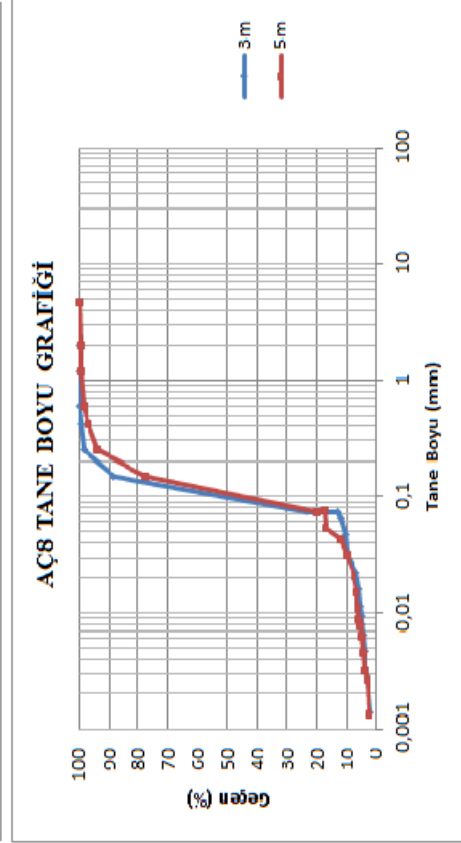
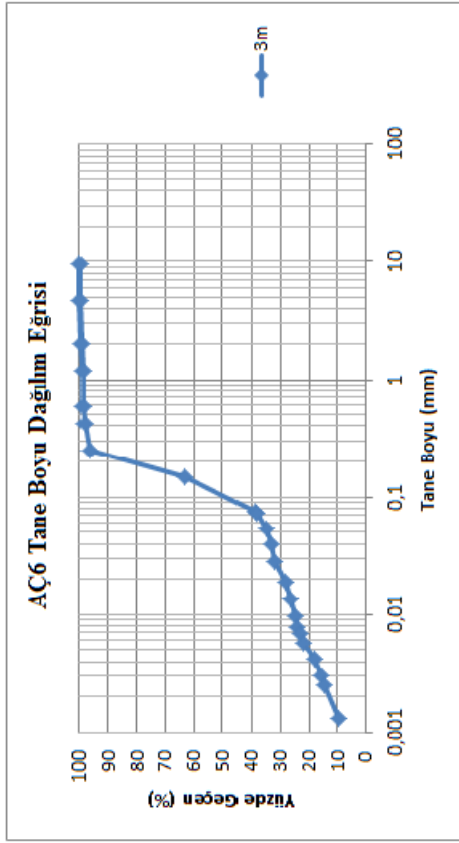
EK-6 Zemin numunelerine ait tane boyu dağılım eğrileri (Devam)



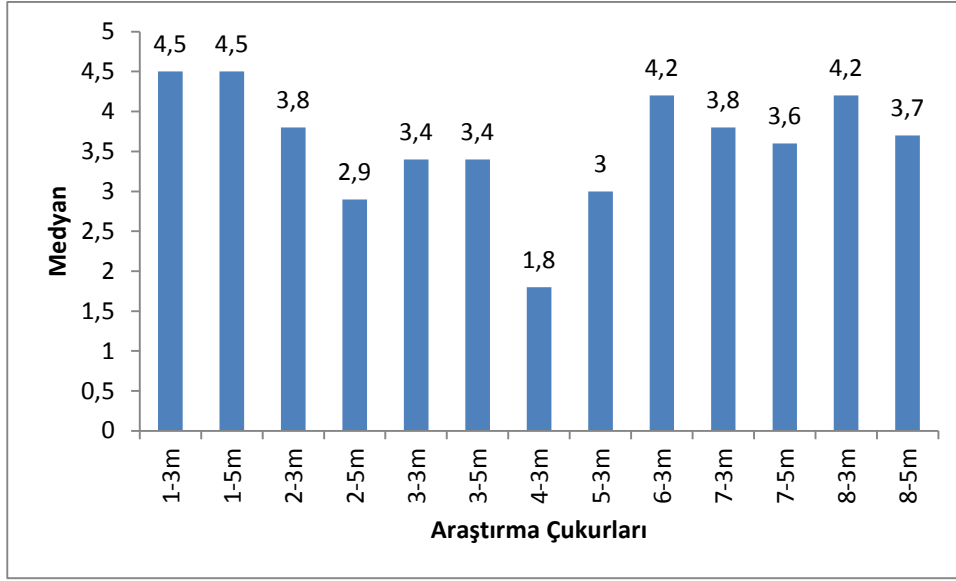
EK-6 Zemin numunelerine ait tane boyu dağılım eğrileri (Devam)



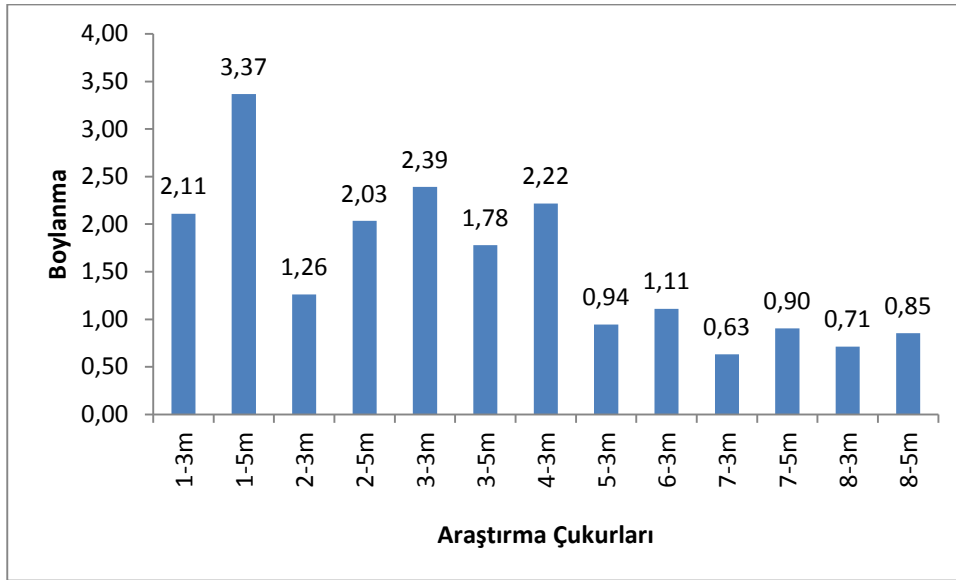
EK-6 Zemin numunelerine ait tane boyu dağılım eğrileri (Devam)



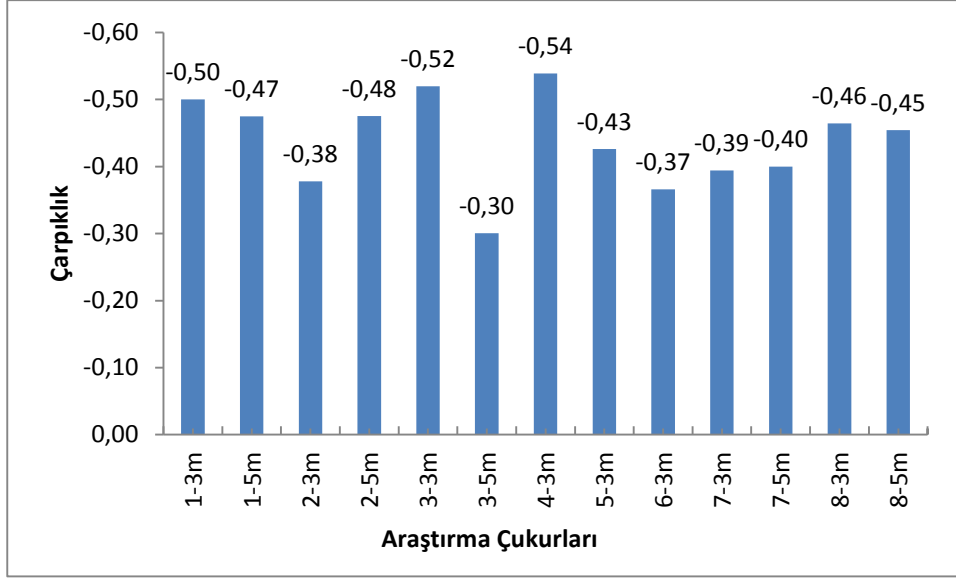
EK-7 Sediman numunelerinin Medyan değerleri dağılımı



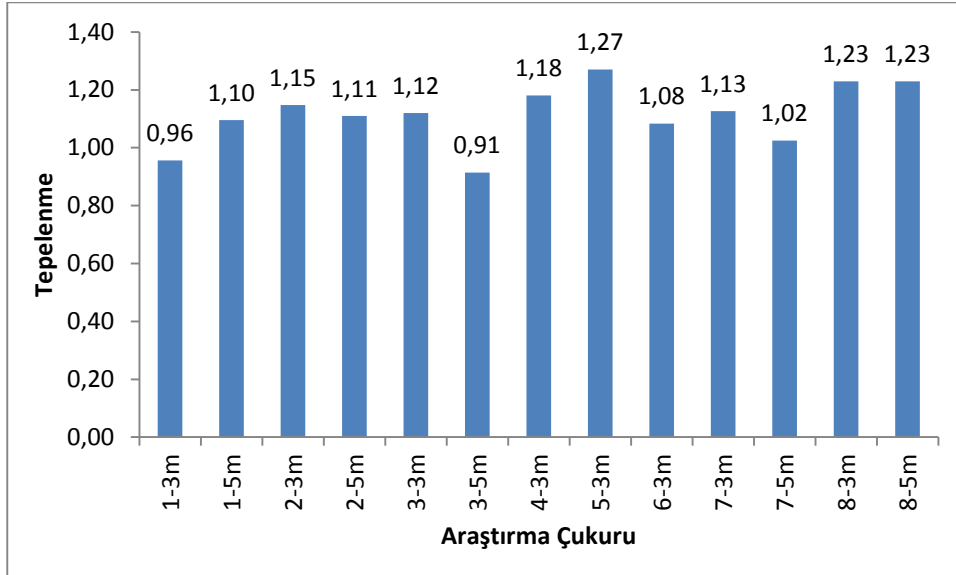
EK-8 Sediman numunelerinin Boylanma değerleri dağılımı



EK-9 Sediman numunelerinin Çarpıklık değerleri dağılımı



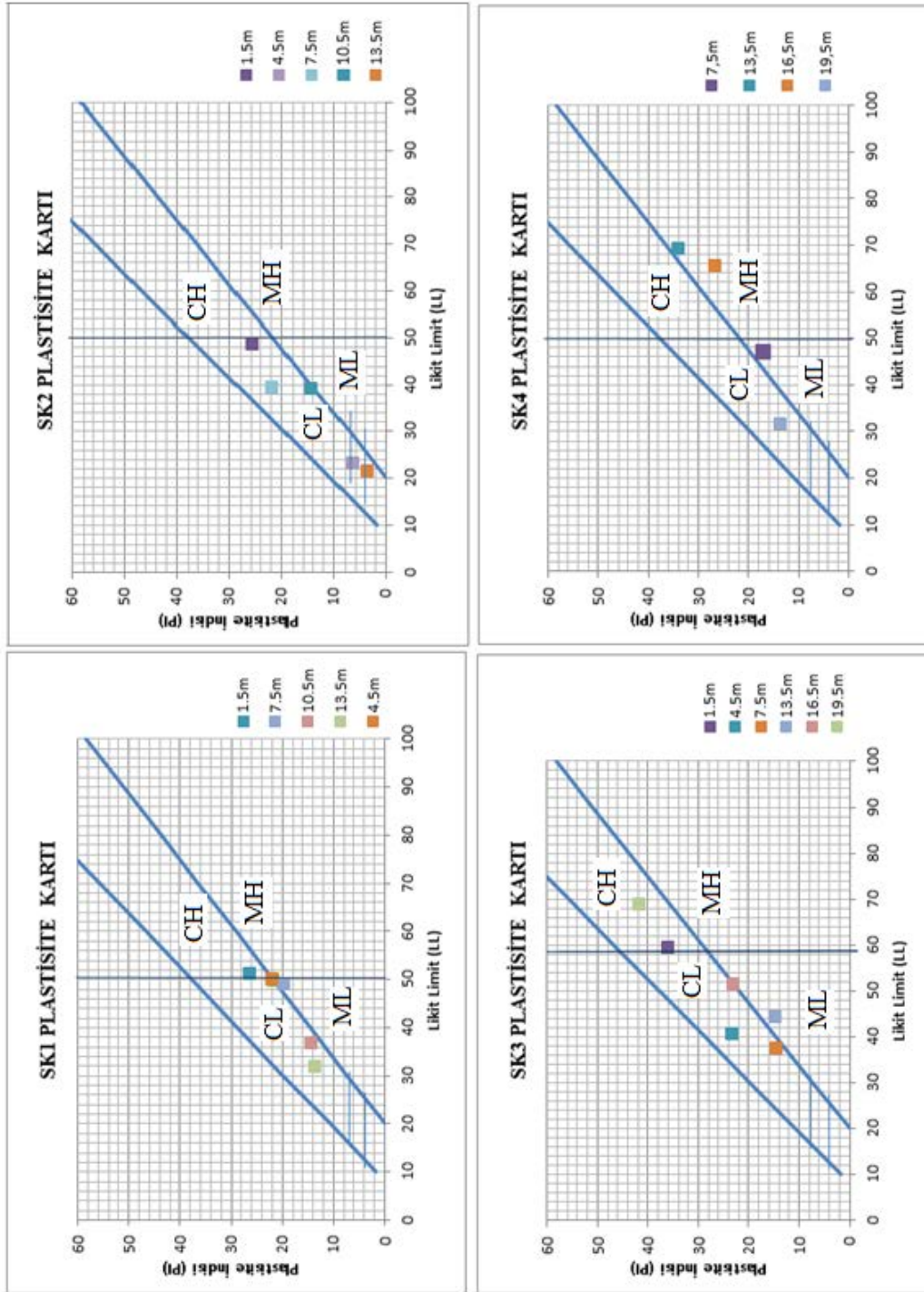
EK-10 Sediman numunelerinin Tepelenme değerleri dağılımı



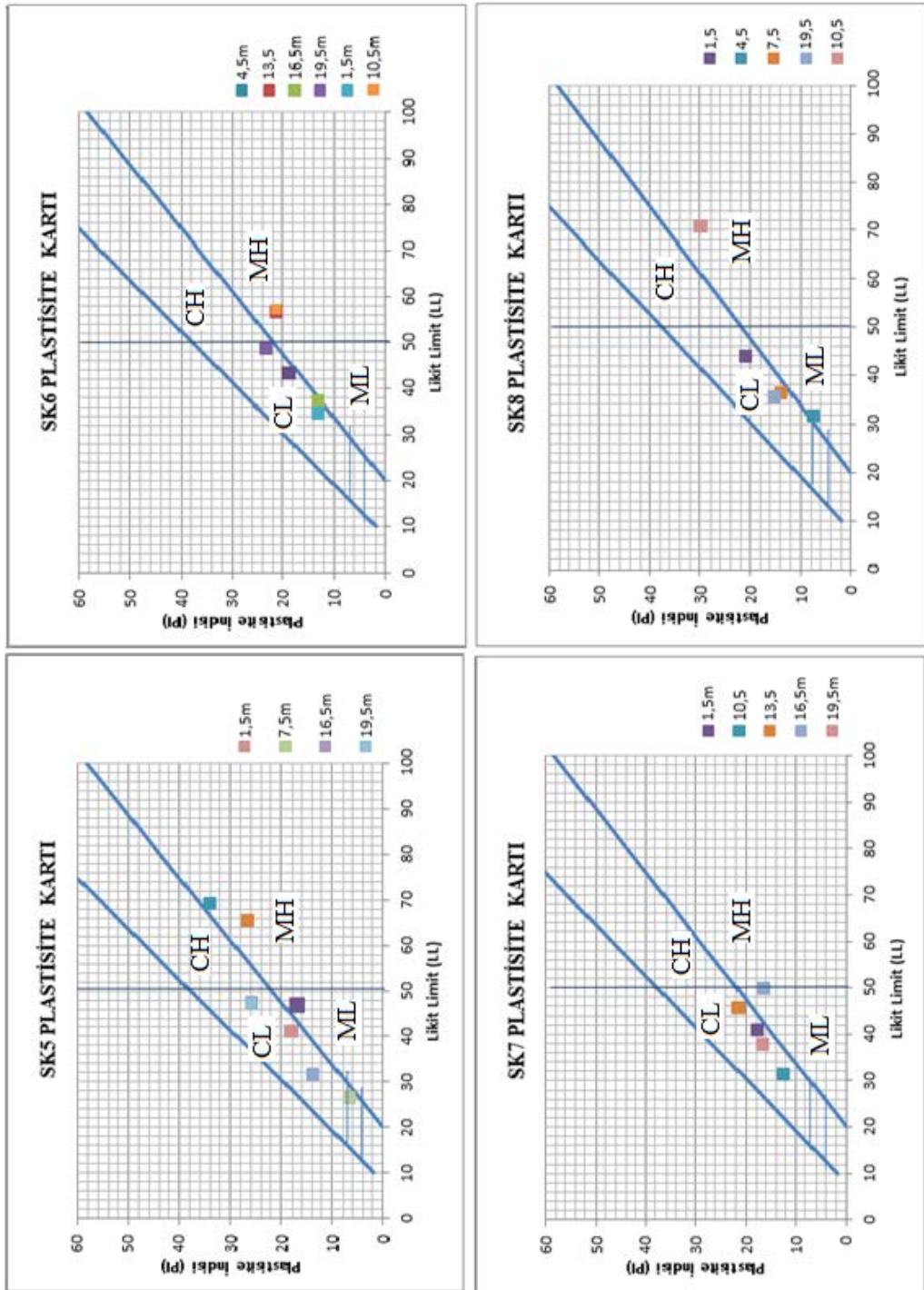
EK-11 Hidrometre deneyi süspansiyon sıcaklık düzeltmesi (Mt) ve etkin derinlik (L) değerleri

Hidrometre 151H							
Derece (C)	Mt	Derece (C)	Mt	Düzeltilmiş Hidrometre Okuması	Etkin Derinlik (L)	Düzeltilmiş Hidrometre Okuması	Etkin Derinlik (L)
14,0	-0,9	24,5	0,9	1,000	16,3	1,021	10,7
14,5	-0,8	25,0	1,0	1,001	16,0	1,022	10,5
15,0	-0,8	25,5	1,1	1,002	15,8	1,023	10,0
15,5	-0,7	26,0	1,3	1,003	15,5	1,024	10,0
16,0	-0,6	26,5	1,4	1,004	15,2	1,025	9,7
16,5	-0,6	27,0	1,5	1,005	15,0	1,026	9,4
17,0	-0,5	27,5	1,6	1,006	14,7	1,027	9,2
17,5	-0,4	28,0	1,8	1,007	14,4	1,028	8,9
18,0	-0,4	28,5	1,9	1,008	14,2	1,029	8,5
18,5	-0,3	29,0	2,1	1,009	13,9	1,030	8,4
19,0	-0,2	29,5	2,2	1,010	13,7		
19,5	-0,1	30,0	2,3	1,011	13,4		
20,0	0,0	30,5	2,5	1,012	13,1		
20,5	0,1	31,0	2,6	1,013	12,9		
21,0	0,2	31,5	2,8	1,014	12,6		
21,5	0,3	32,0	2,9	1,015	12,3		
22,0	0,4	32,5	3,0	1,016	12,1		
22,5	0,5	33,0	3,2	1,017	11,8		
23,0	0,6	33,5	3,3	1,018	11,5		
23,5	0,7	34,0	3,5	1,019	11,3		
24,0	0,8	25,0	1,0	1,020	11,0		

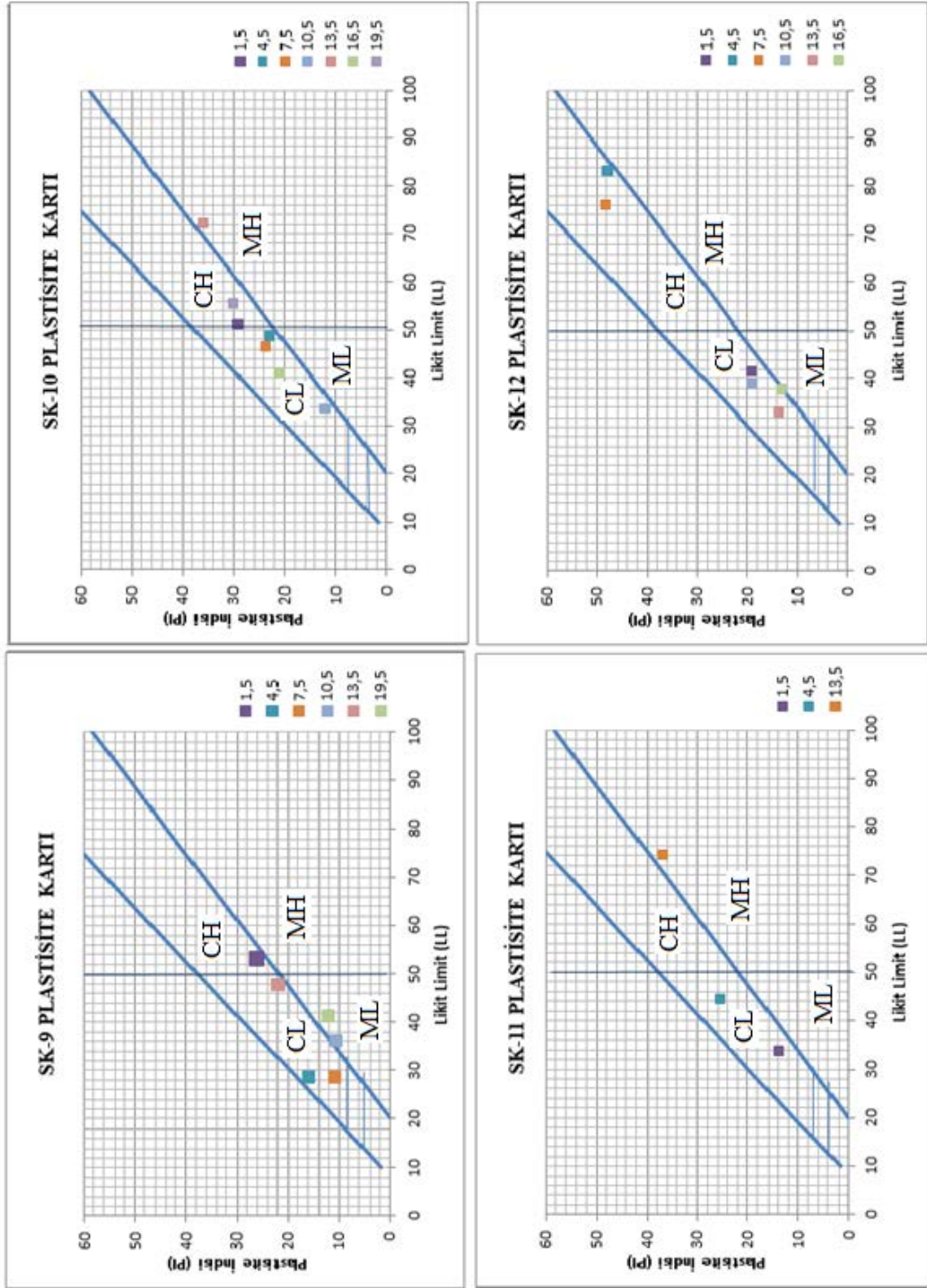
EK-12 Zemin numunelerine plastisite kartları



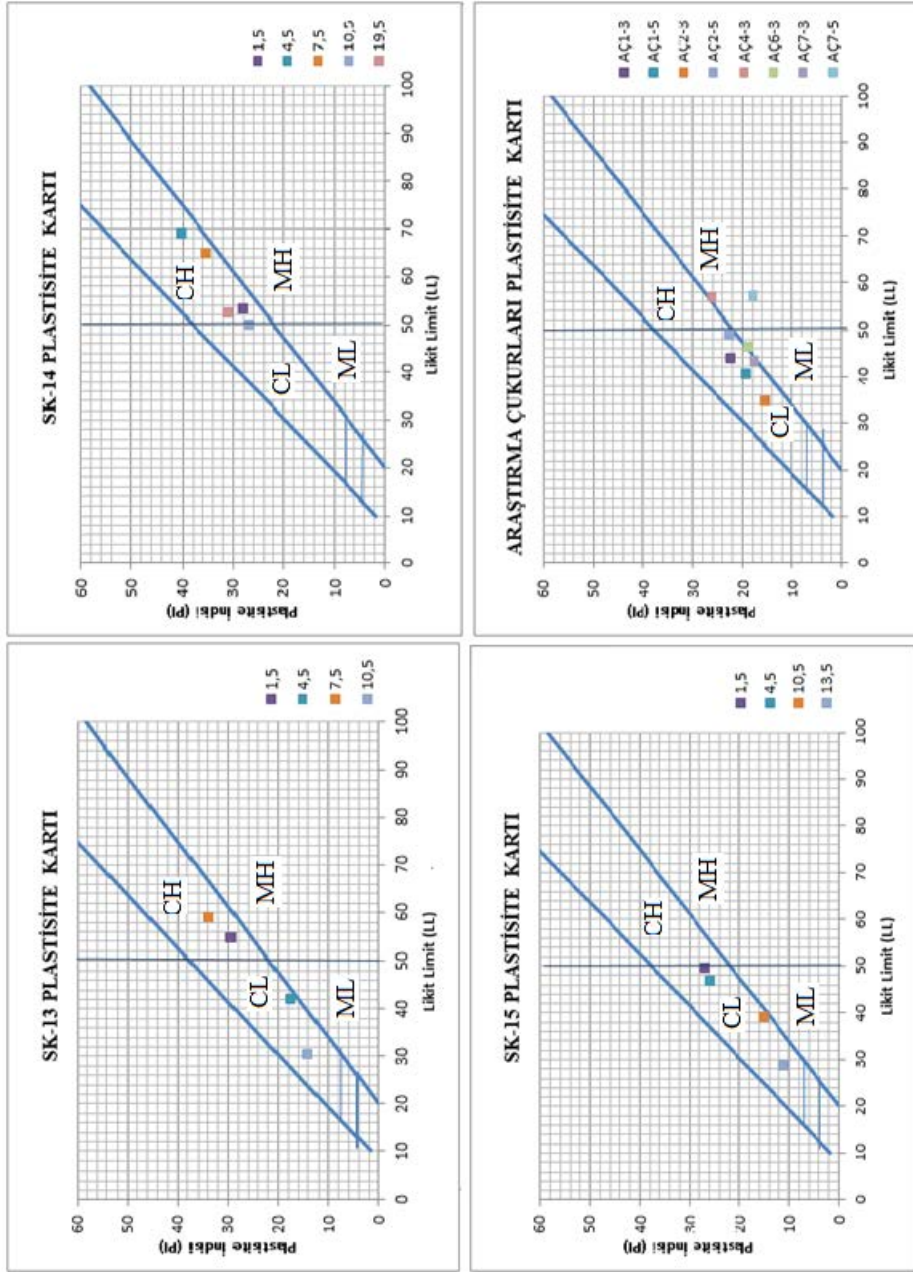
EK-12 Zemin numunelerine plastisite kartları (Devam)



EK-12 Zemin numunelerine plastisite kartları (Devam)



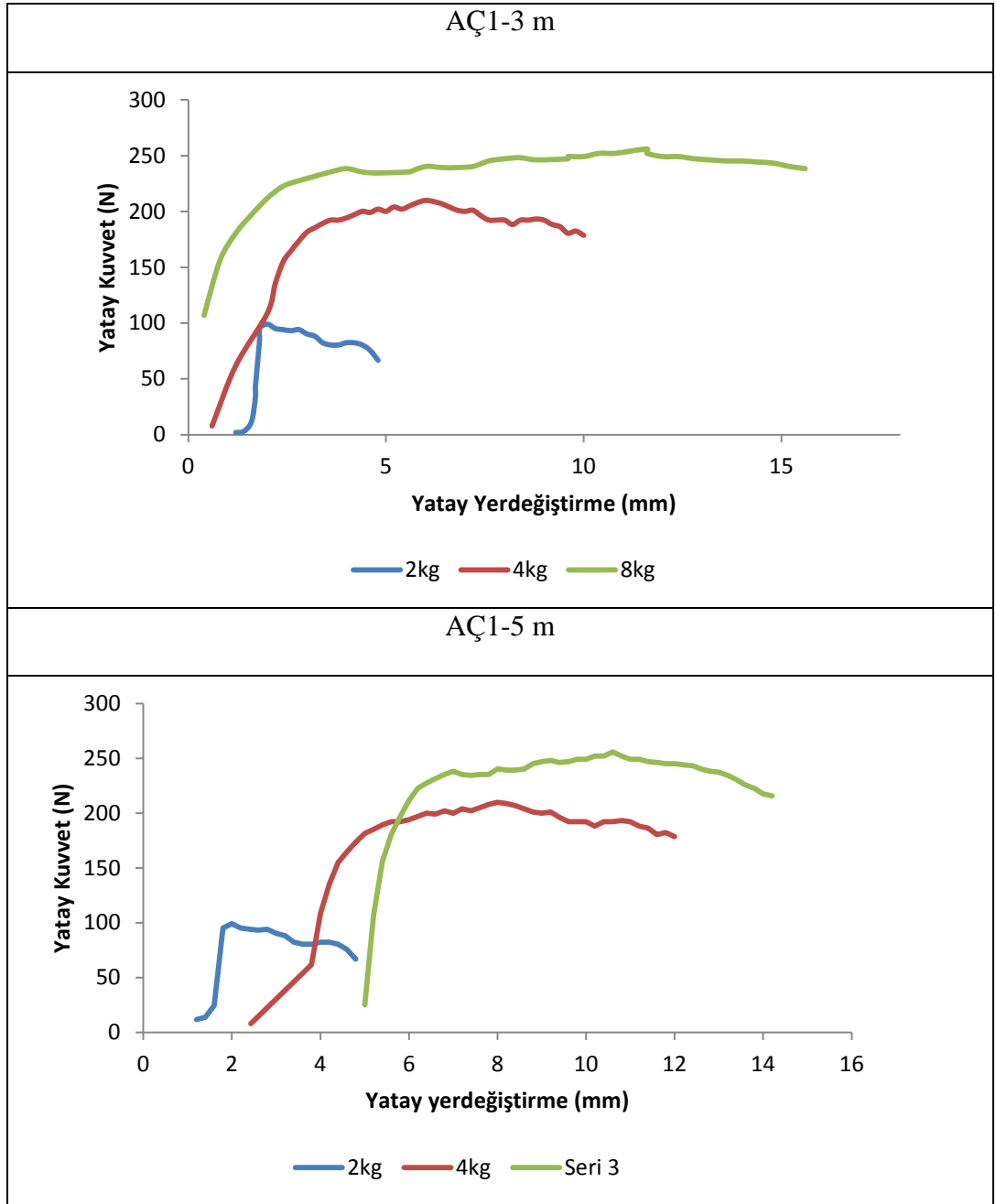
EK-12 Zemin numunelerine plastisite kartları (Devam)



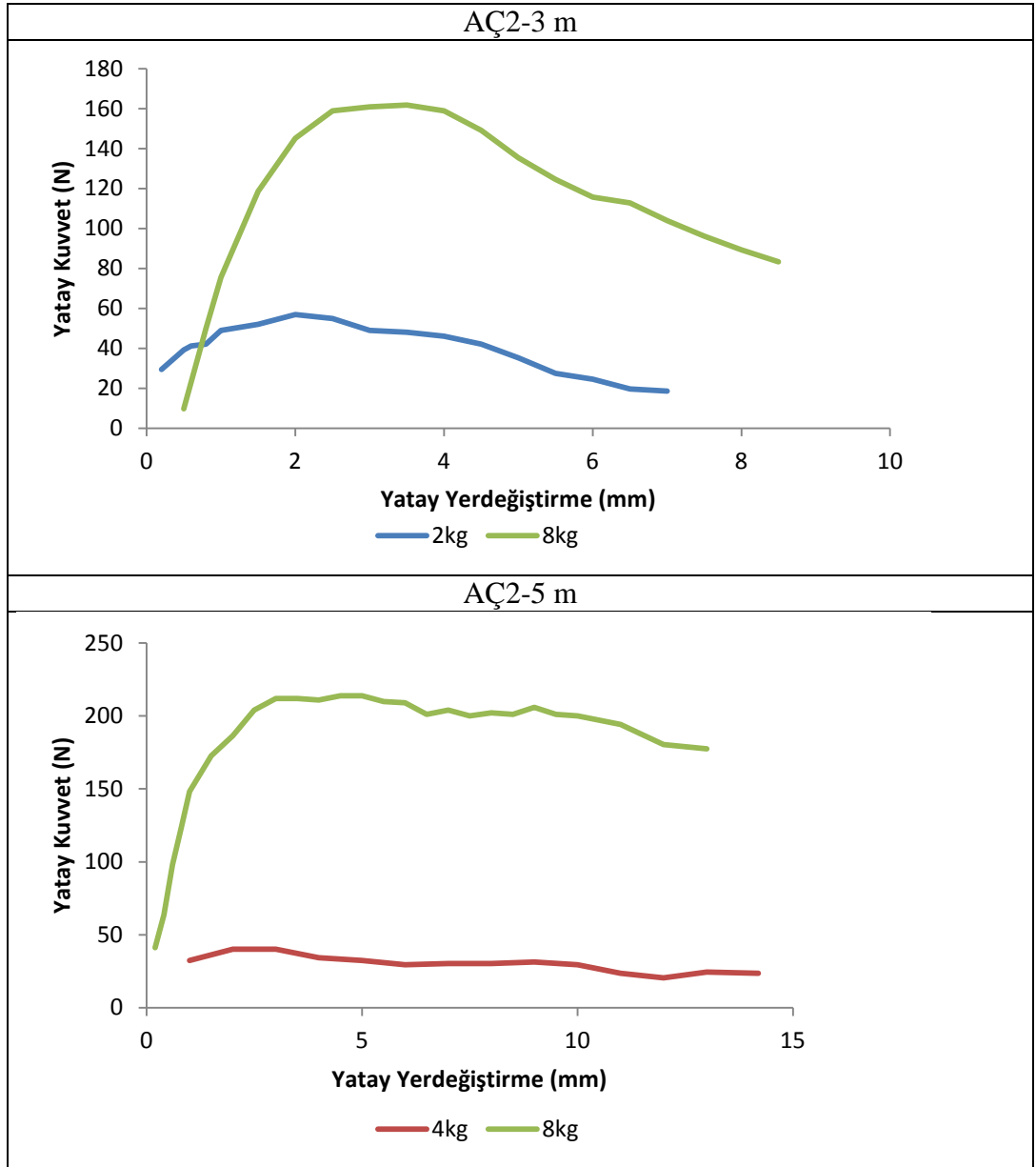
EK-13 Suyun Tx sıcaklığındaki Özgül ağırlık değerleri

Sıcaklık (C)	Suyun yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık düzeltme katsayısı (K)
16,0	0,99895	1,00074
16,5	0,99886	1,00066
17,0	0,99878	1,00057
17,5	0,99869	1,00048
18,0	0,99860	1,00039
18,5	0,99850	1,00030
19,0	0,99841	1,00020
19,5	0,99831	1,00010
20,0	0,99821	1,00000
20,5	0,99810	0,99990
21,0	0,99799	0,99979
21,5	0,99789	0,99968
22,0	0,99777	0,99957
22,5	0,99766	0,99945
23,0	0,99751	0,99933
23,5	0,99742	0,99921
24,0	0,99730	0,99909
24,5	0,99717	0,99897
25,0	0,99705	0,99881
25,5	0,99692	0,99871
26,0	0,99679	0,99858
26,5	0,99665	0,99844
27,0	0,99652	0,99831
27,5	0,99638	0,99817
28,0	0,99624	0,99803
28,5	0,99609	0,99788
29,0	0,99595	0,99774
29,5	0,99580	0,99759
30,0	0,99565	0,99744

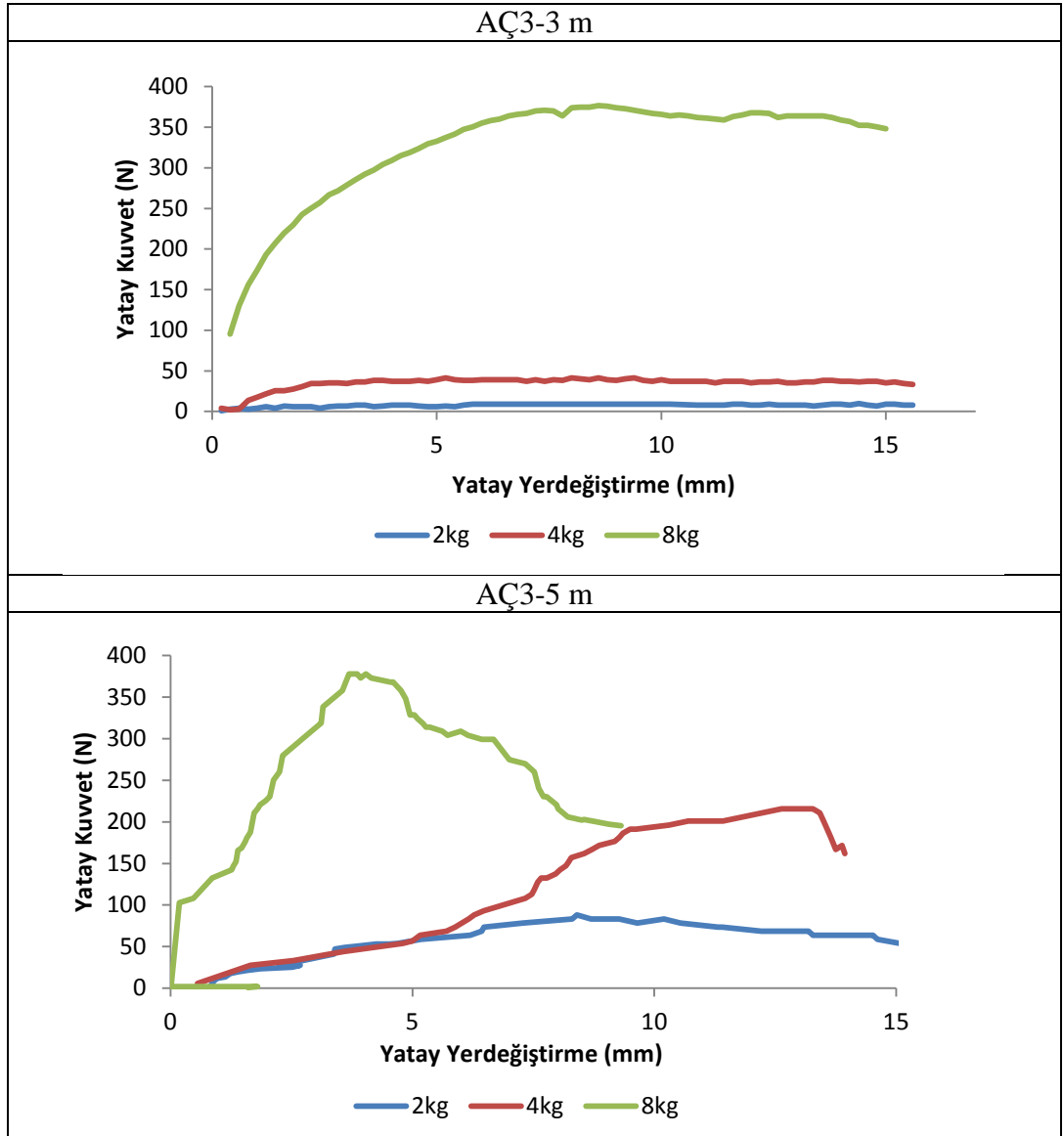
EK-14 Kesme Kutusu Deney sonuçları



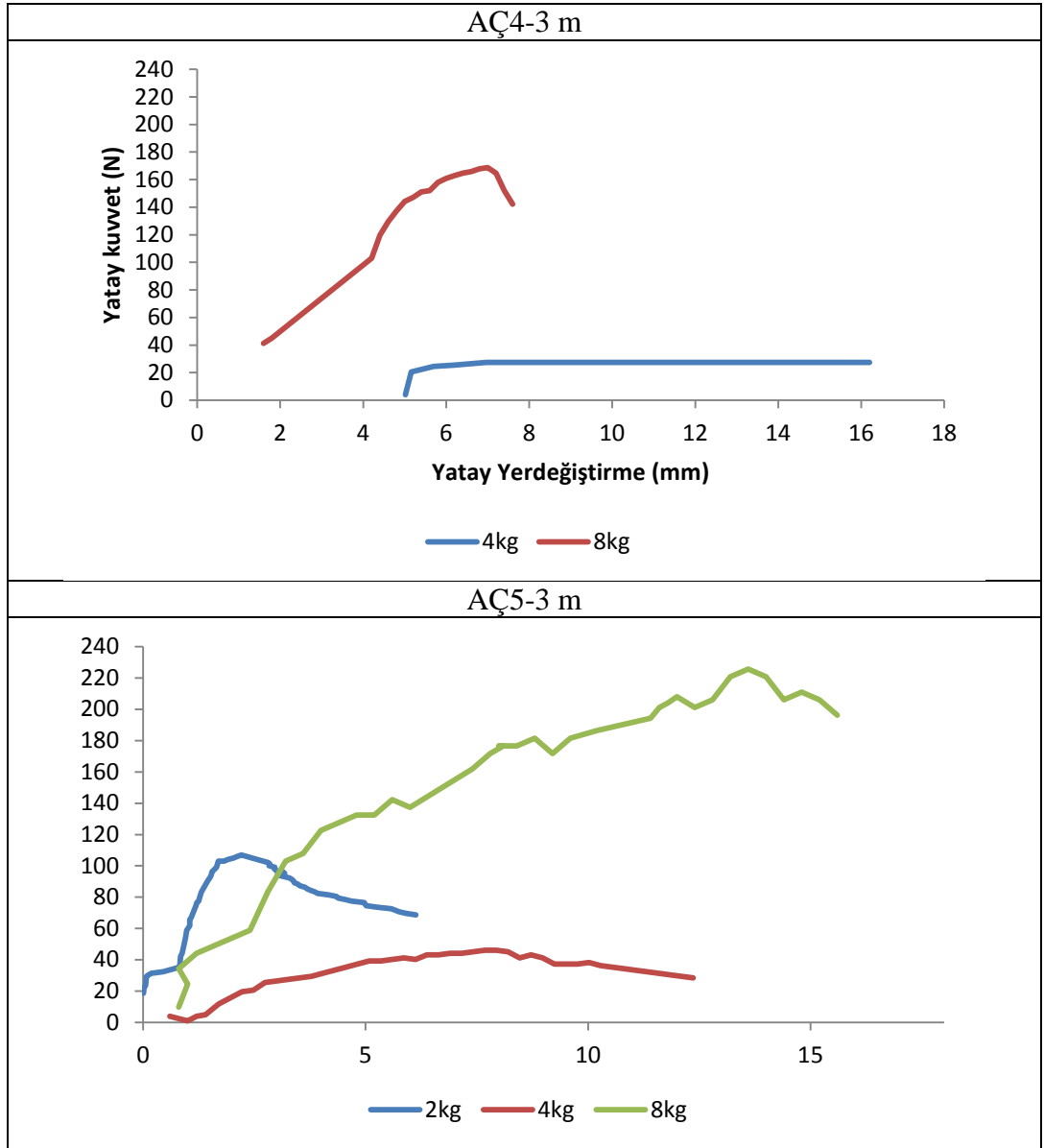
EK-14 Kesme Kutusu Deney sonuçları (Devam)



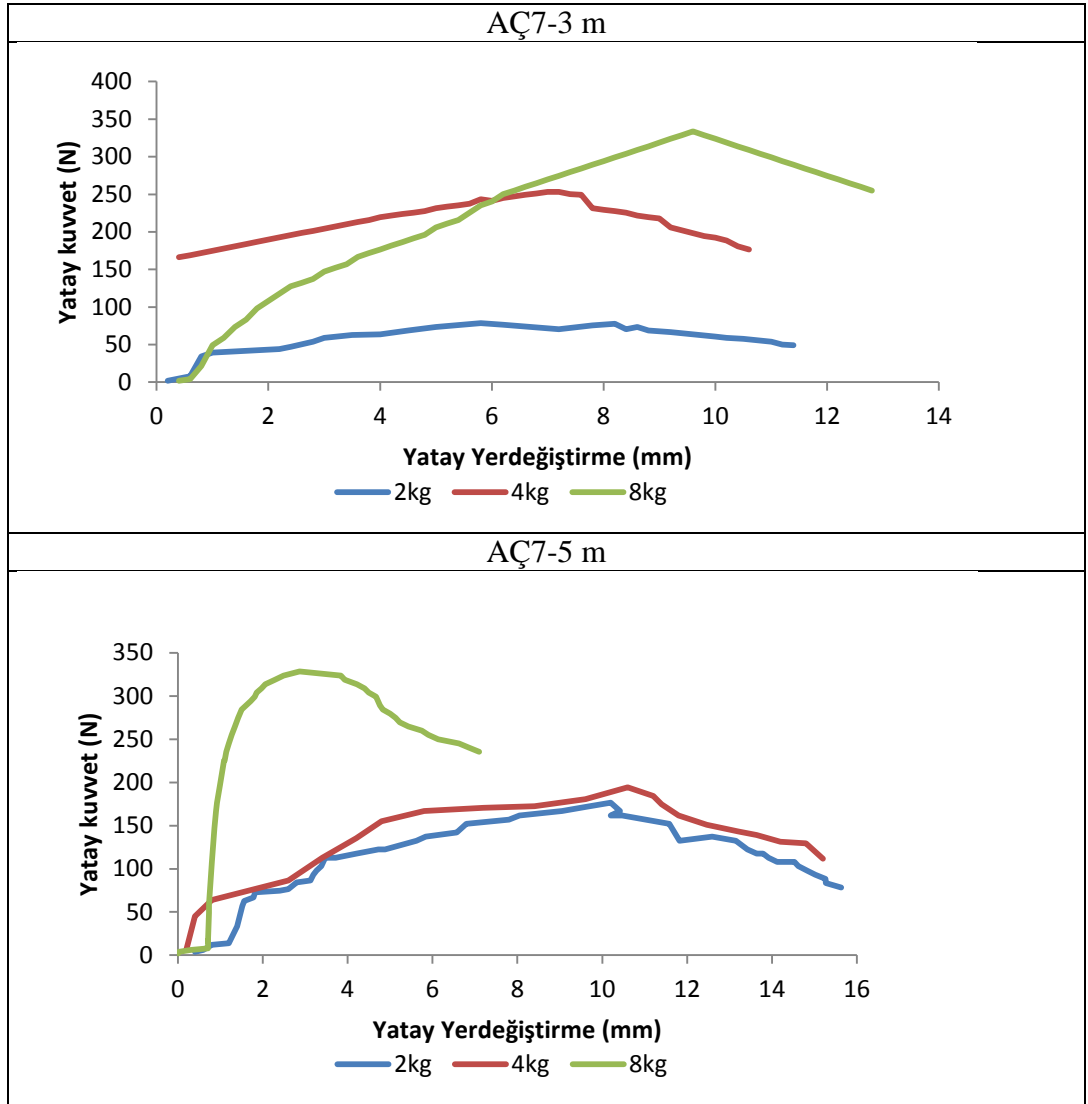
EK-14 Kesme Kutusu Deney sonuçları (Devam)



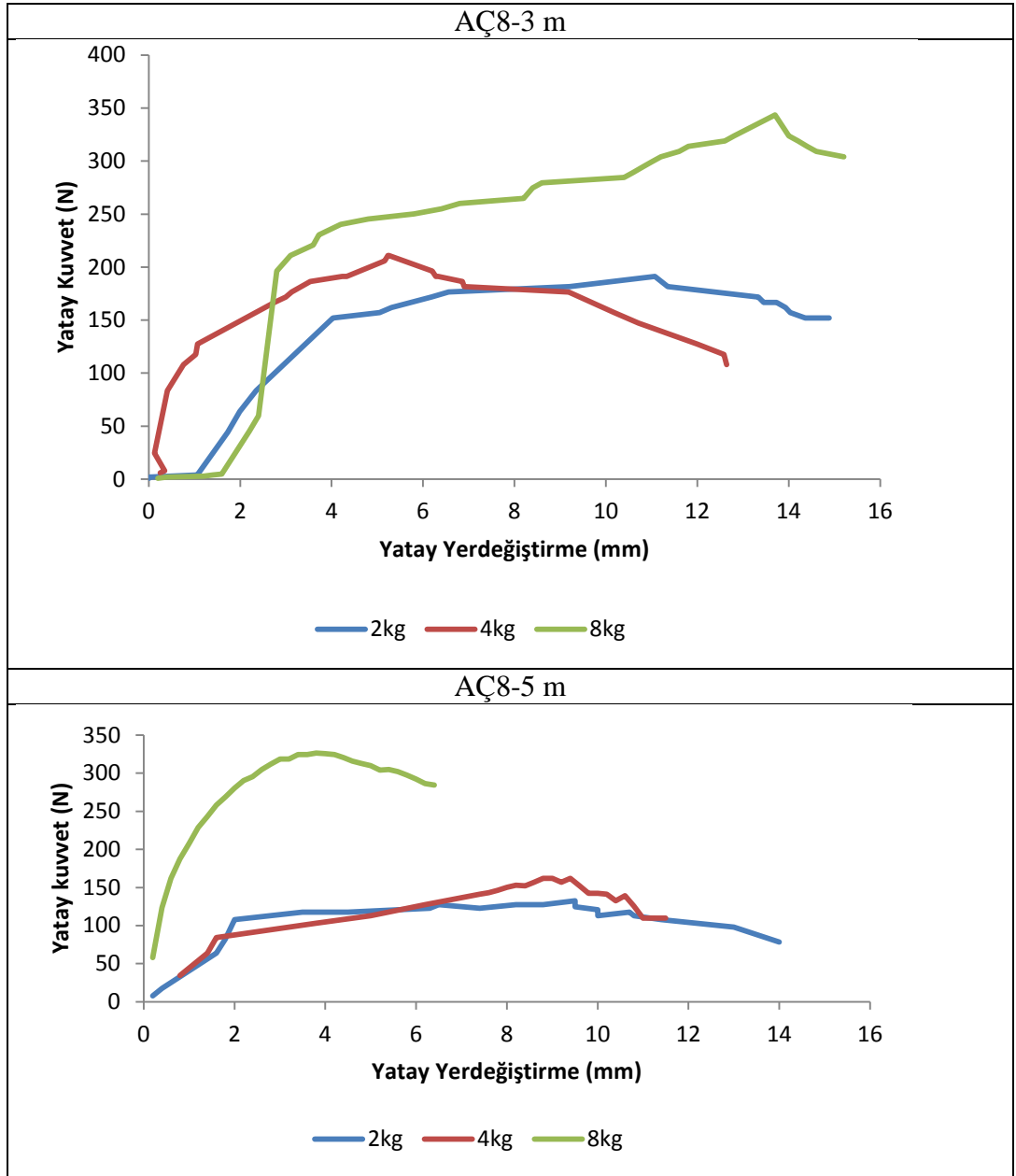
EK-14 Kesme Kutusu Deney sonuçları (Devam)



EK-14 Kesme Kutusu Deney sonuçları (Devam)



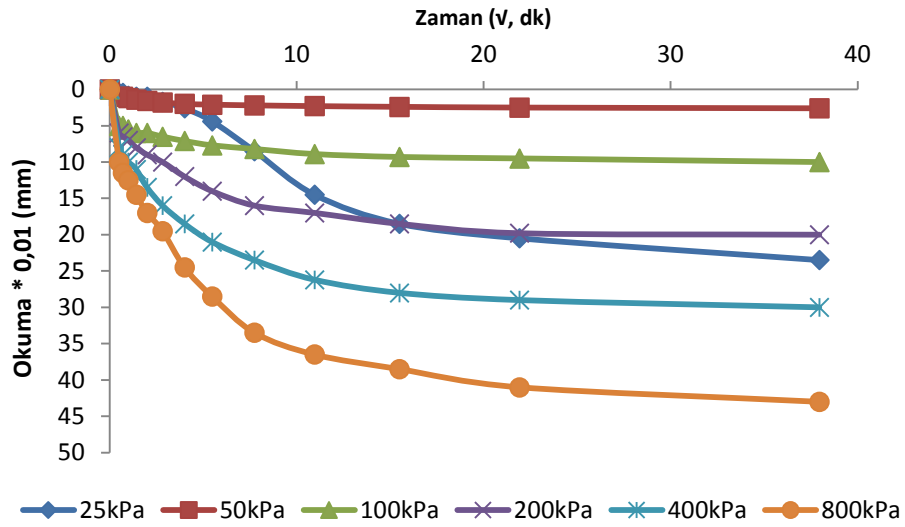
EK-14 Kesme Kutusu Deney sonuçları (Devam)



EK-15 Konsolidasyon Deney sonuçları

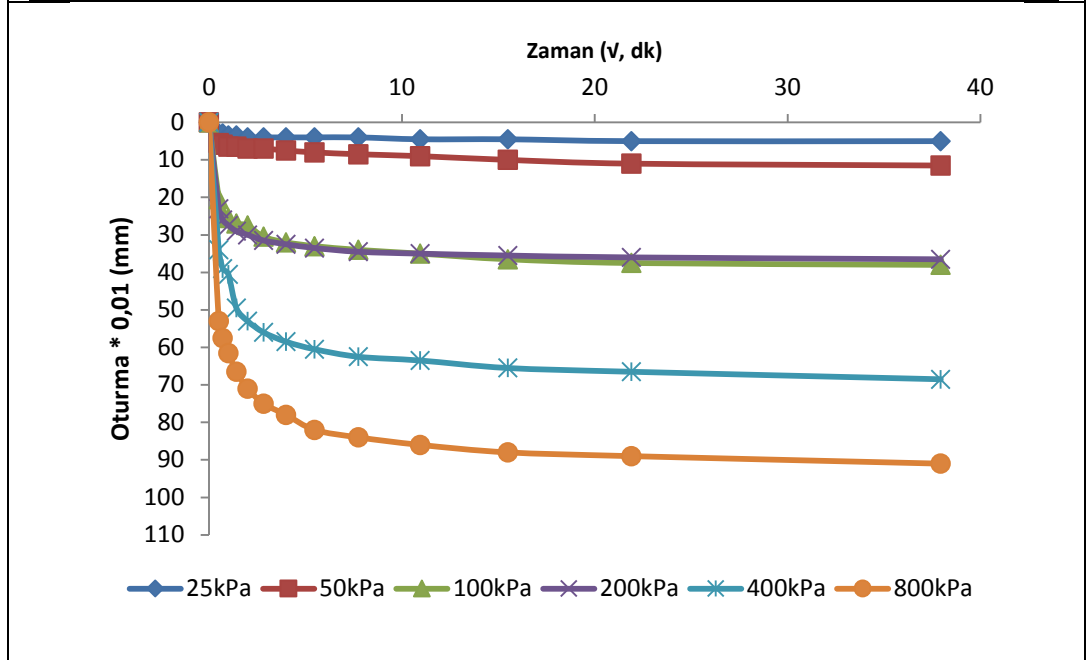
AÇ1-3 m

Zaman (dk)	$\sqrt{t}$ (dk) <sup>0,5</sup>	Düşey Okumalar (mm)*0,01										
		25 kPa	50	100	200	400	800	400	200	100	50	25
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.5	0.5	1	5	6	8	10	0	0	0	0	0
0.5	0.707107	0.5	1	5	6.5	9	11.5	0	0	0	0	0
1	1	0.9	1.2	5.5	7	10	12.5	0	0.5	0	0	0
2	1.414214	1	1.4	6	8	11	14.5	0.5	0.5	0	0	0
4	2	1	1.6	6	9	13.5	17	0.5	1	0.5	0.5	0
8	2.828427	1.7	1.8	6.5	10	16	19.5	1	1.5	1	0.5	0
16	4	2.6	2	7.1	12	18.5	24.5	1	2	1.5	1	0
30	5.477226	4.4	2.1	7.7	14	21	28.5	1	2.5	2	2	0.5
60	7.745967	8.5	2.2	8.2	16	23.5	33.5	1.2	4	3.5	2.8	1
120	10.95445	14.5	2.3	8.9	17	26.2	36.5	1.2	5	4.5	4	2
240	15.49193	18.5	2.4	9.3	18.5	28	38.5	2	6	6.5	5	3
480	21.9089	20.5	2.5	9.5	19.8	29	41	2	6.2	8.5	7.9	5
1440	37.94733	23.5	2.6	10	20	30	43	2	7.5	10.5	9	8.5

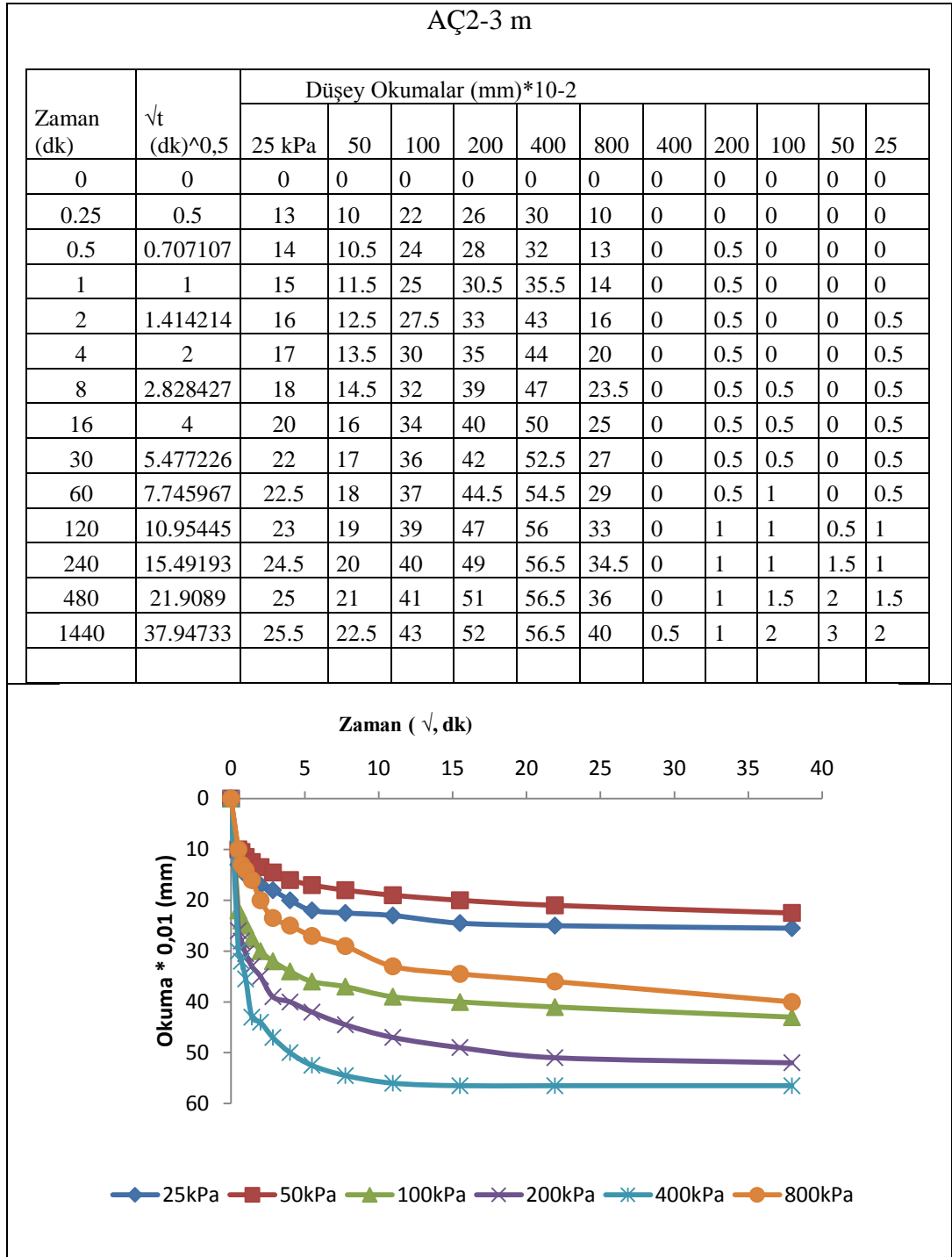


EK-15 Konsolidasyon Deney sonuçları (Devam)

AÇ1-5 m												
Zaman (dk)	$\sqrt{t}$ (dk) <sup>0,5</sup>	Düşey Okumalar (mm)*0,01										
		25	50	100	200	400	800	400	200	100	50	25
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.5	3	5.5	20.5	23	34	53	2	3	1.5	2.5	0
0.5	0.70710	3	6	24.5	26	39	57.5	2	3.5	1.5	2.5	0.25
1	1	3.5	6.5	25.5	27.5	40.5	61.5	2	4	1.5	2.5	0.25
2	1.41421	3.5	6.5	27	29	49.5	66.5	2	4	1.5	2.5	0.25
4	2	4	7	27.5	30	53	71	2	4	1.75	2.5	0.25
8	2.82842	4	7	30.5	31.5	56	75	2	4	2	2.5	0.25
16	4	4	7.5	32	32.5	58.5	78	2.5	4	2	2.25	0
30	5.47722	4	8	33	33.5	60.5	82	2.5	4	1.5	2	0
60	7.74596	4	8.5	34	34.5	62.5	84	2.5	4	1.5	1.75	0
120	10.9544	4.5	9	35	35	63.5	86	2.5	4	1.5	1.5	0.25
240	15.4919	4.5	10	36.5	35.5	65.5	88	2.5	4	1	1	0.75
480	21.9089	5	11	37.5	36	66.5	89	2.5	4	1	1	0.85
1440	37.9473	5	11.5	38	36.5	68.5	91	2.5	4	0.5	0.5	-1.5



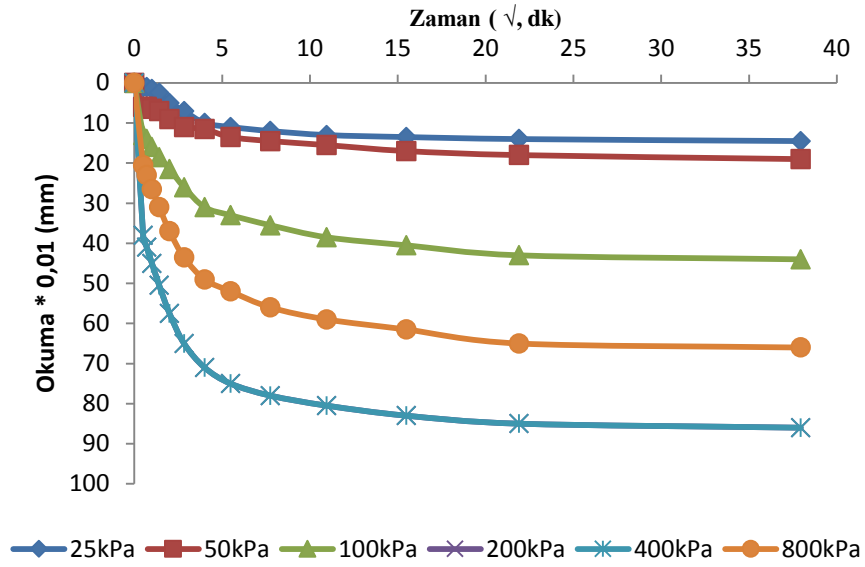
EK-15 Konsolidasyon Deney sonuçları (Devam)



EK-15 Konsolidasyon Deney sonuçları (Devam)

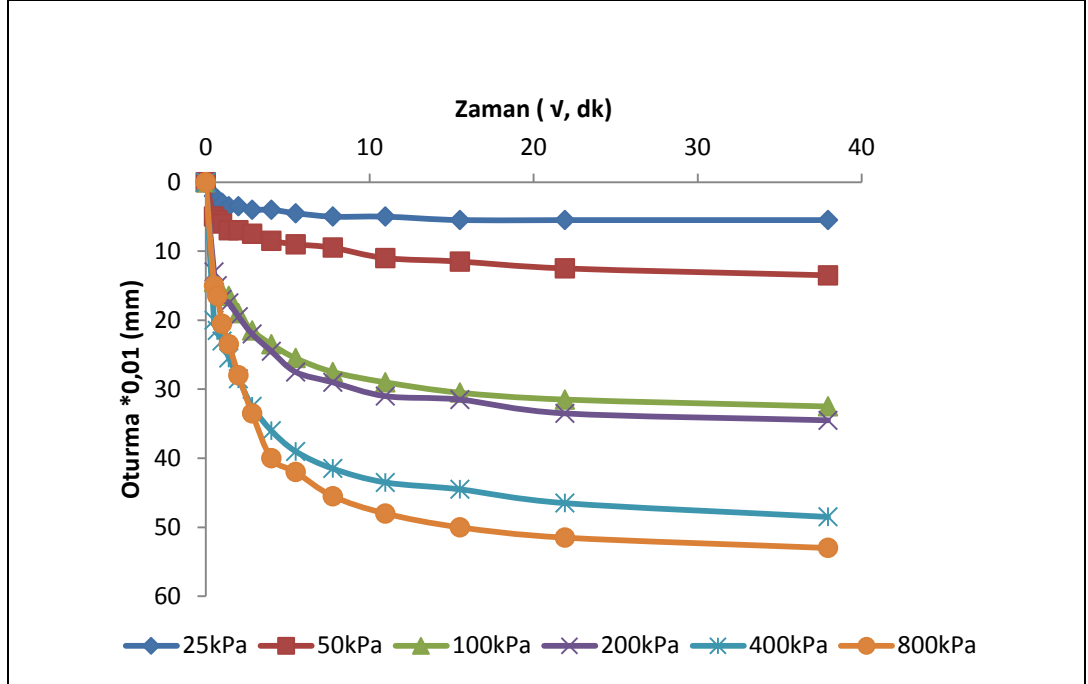
AÇ2-5 m

Zaman (dk)	$\sqrt{t}$ (dk) <sup>0,5</sup>	Düşey Okumalar (mm)*0,01											
		25 kPa	50	100	200	400	800	400	200	100	50	25	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.5	1	6	13	17	38	20.5	0	0	0	0	0	0.5
0.5	0.707107	1	6	14	19.5	41	23	0	0	0	0	0	1
1	1	1.5	6.5	16	22	45	26.5	0	0	0	0	0	1
2	1.414214	2.5	7	18.5	25.5	50.5	31	0	0	0	0	0	1
4	2	5	9	21.5	31	57.5	37	0	0	0.5	0.5	1	1
8	2.828427	7	11	26	37	65	43.5	0	0	1	1	1.5	1.5
16	4	10	11.5	31	41	71	49	0	0	1	1.5	1.5	1.5
30	5.477226	11	13.5	33	44	75	52	0	0.5	1.5	2	1.5	1.5
60	7.745967	12	14.5	35.5	46.5	78	56	0	0.5	1.5	2	1.5	1.5
120	10.95445	13	15.5	38.5	48.5	80.5	59	0	0.5	2	2.5	1.5	1.5
240	15.49193	13.5	17	40.5	51	83	61.5	0	0.5	2.5	3	1.5	1.5
480	21.9089	14	18	43	53	85	65	0	0.5	2.5	3.5	3	3
1440	37.94733	14.5	19	44	54	86	66	0.5	1	5	4	4.5	4.5

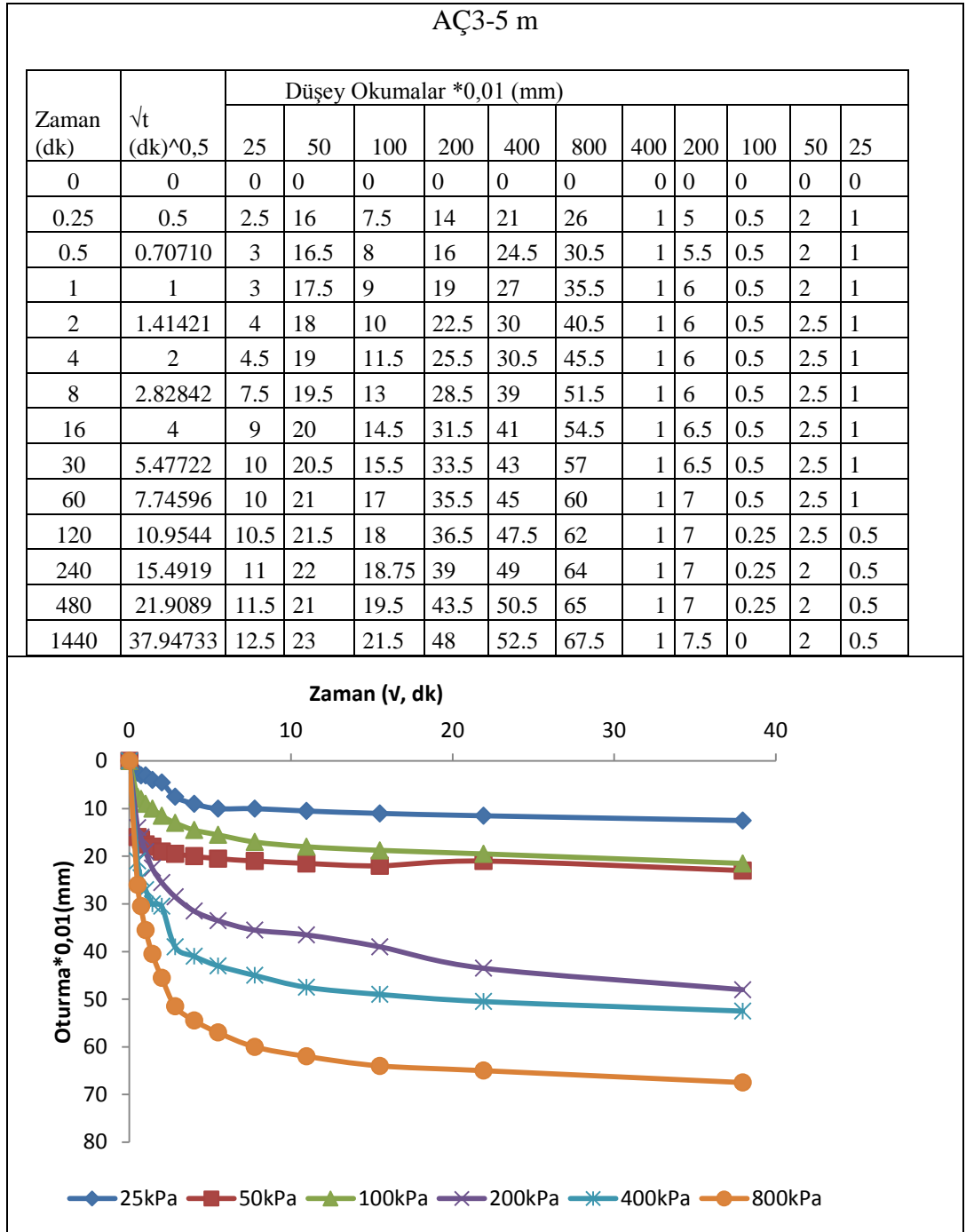


EK-15 Konsolidasyon Deney sonuçları (Devam)

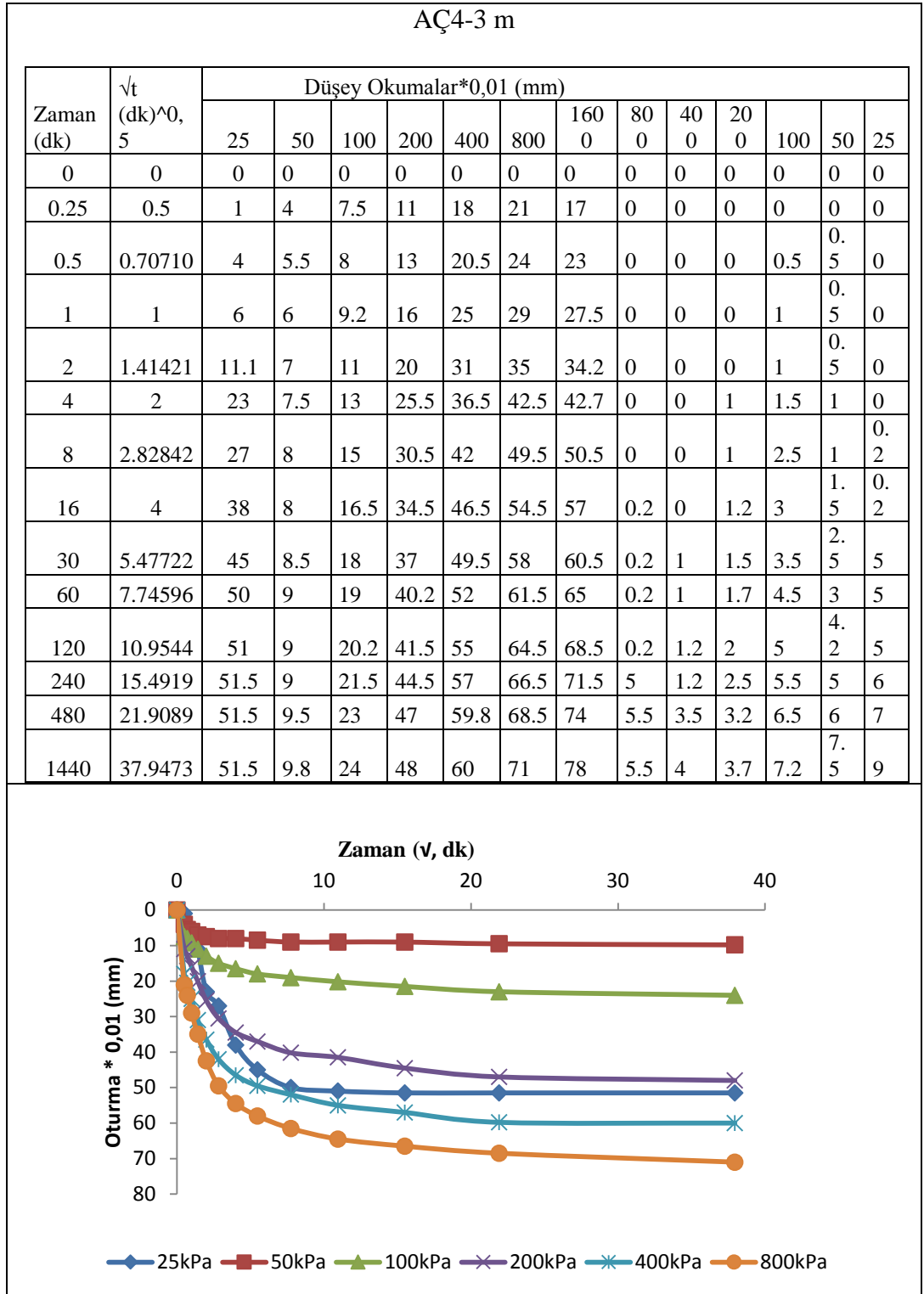
AÇ3-3 m												
Zaman (dk)	$\sqrt{t}$ (dk) <sup>0,5</sup>	Düşey Okumalar *0,01 (mm)										
		25	50	100	200	400	800	400	200	100	50	25
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.5	2	5	14.5	13	20	15	7	-0.5	-0.5	-1.5	-0.5
0.5	0.70710	2.5	5.5	15	15	21.5	16.5	7.5	-0.5	-0.5	-1.5	-0.5
1	1	3	6	16	17	23	20.5	7.5	-0.5	-0.5	-1.5	-0.5
2	1.41421	3.5	7	16.5	17.5	25.5	23.5	7.5	-0.5	-0.5	-1.5	-0.5
4	2	3.5	7	19	19.5	28.5	28	8	-0.5	0	-1.5	-0.5
8	2.82842	4	7.5	21.5	22	32.5	33.5	8	-0.5	0	-1	-0.5
16	4	4	8.5	23.5	24.5	36	40	8	-0.5	0	-0.5	0
30	5.47722	4.5	9	25.5	27.5	39	42	8	-0.5	0.5	0	0.5
60	7.74596	5	9.5	27.5	29	41.5	45.5	8.5	0	1	1	1
120	10.9544	5	11	29	31	43.5	48	8.5	0	1.5	2	1.5
240	15.4919	5.5	11.5	30.5	31.5	44.5	50	8.5	0	2.5	2.5	2
480	21.9089	5.5	12.5	31.5	33.5	46.5	51.5	8.5	0.5	2.5	3	3
1440	37.9473	5.5	13.5	32.5	34.5	48.5	53	8.5	0.5	6.5	4	5



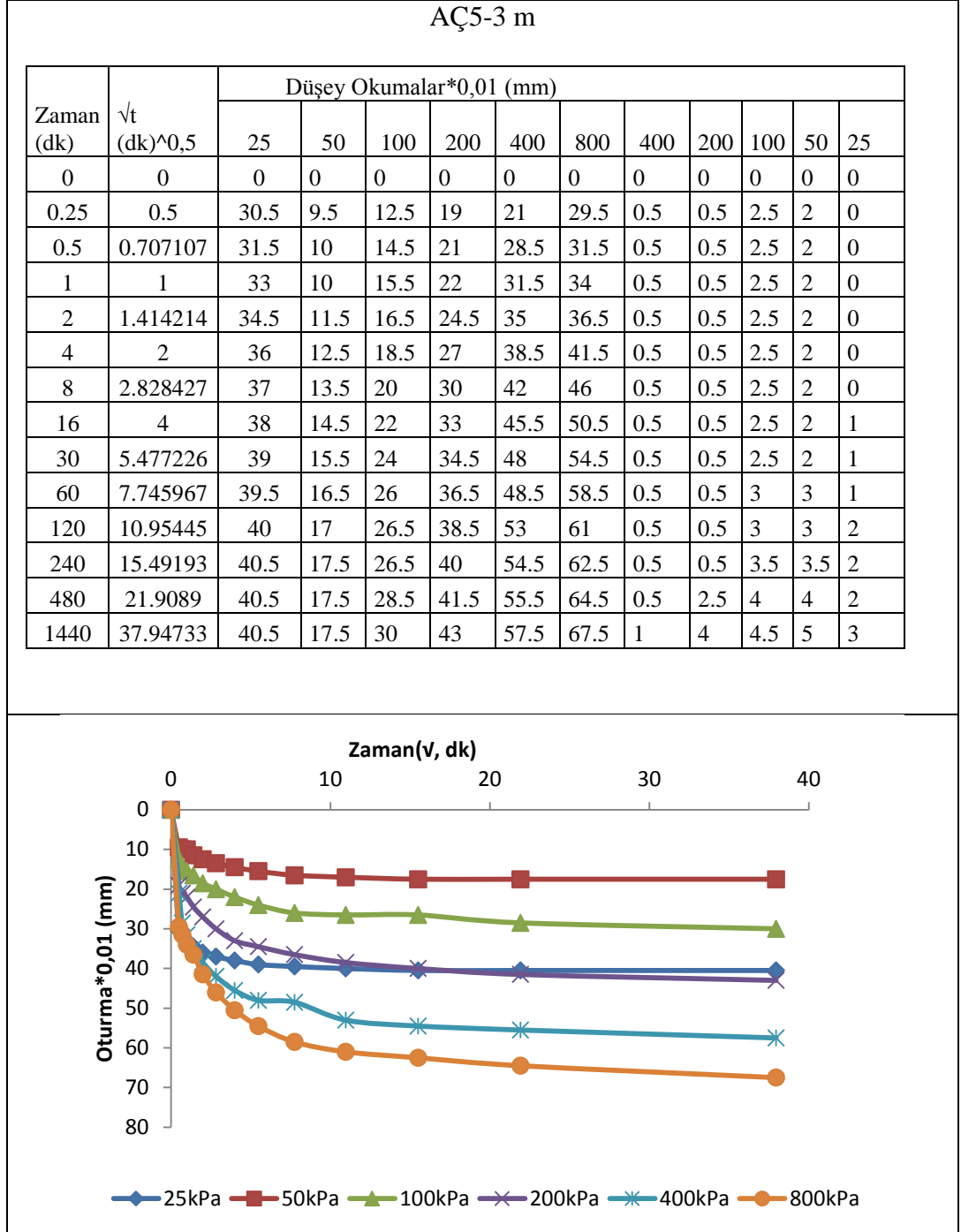
EK-15 Konsolidasyon Deney sonuçları (Devam)



EK-15 Konsolidasyon Deney sonuçları (Devam)



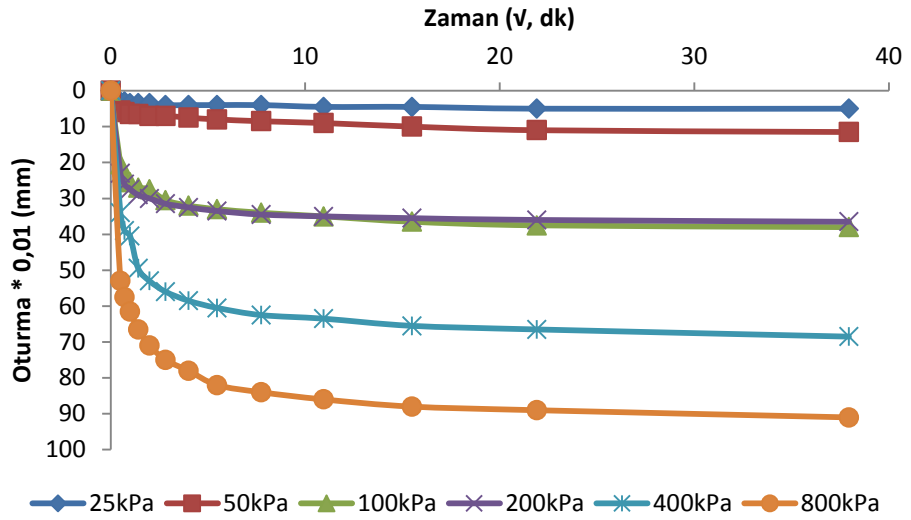
EK-15 Konsolidasyon Deney sonuçları (Devam)



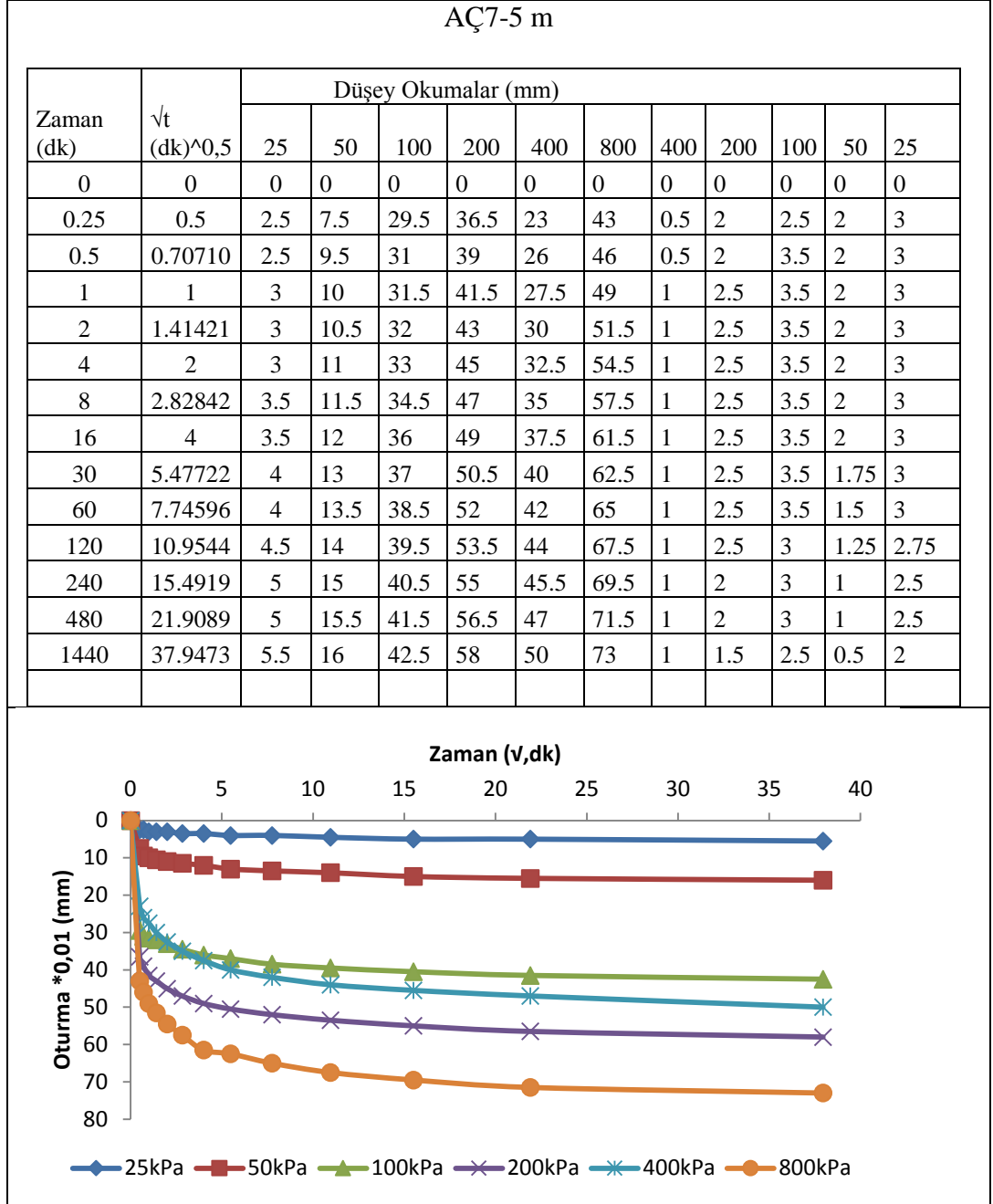
EK-15 Konsolidasyon Deney sonuçları (Devam)

AÇ7-3 m

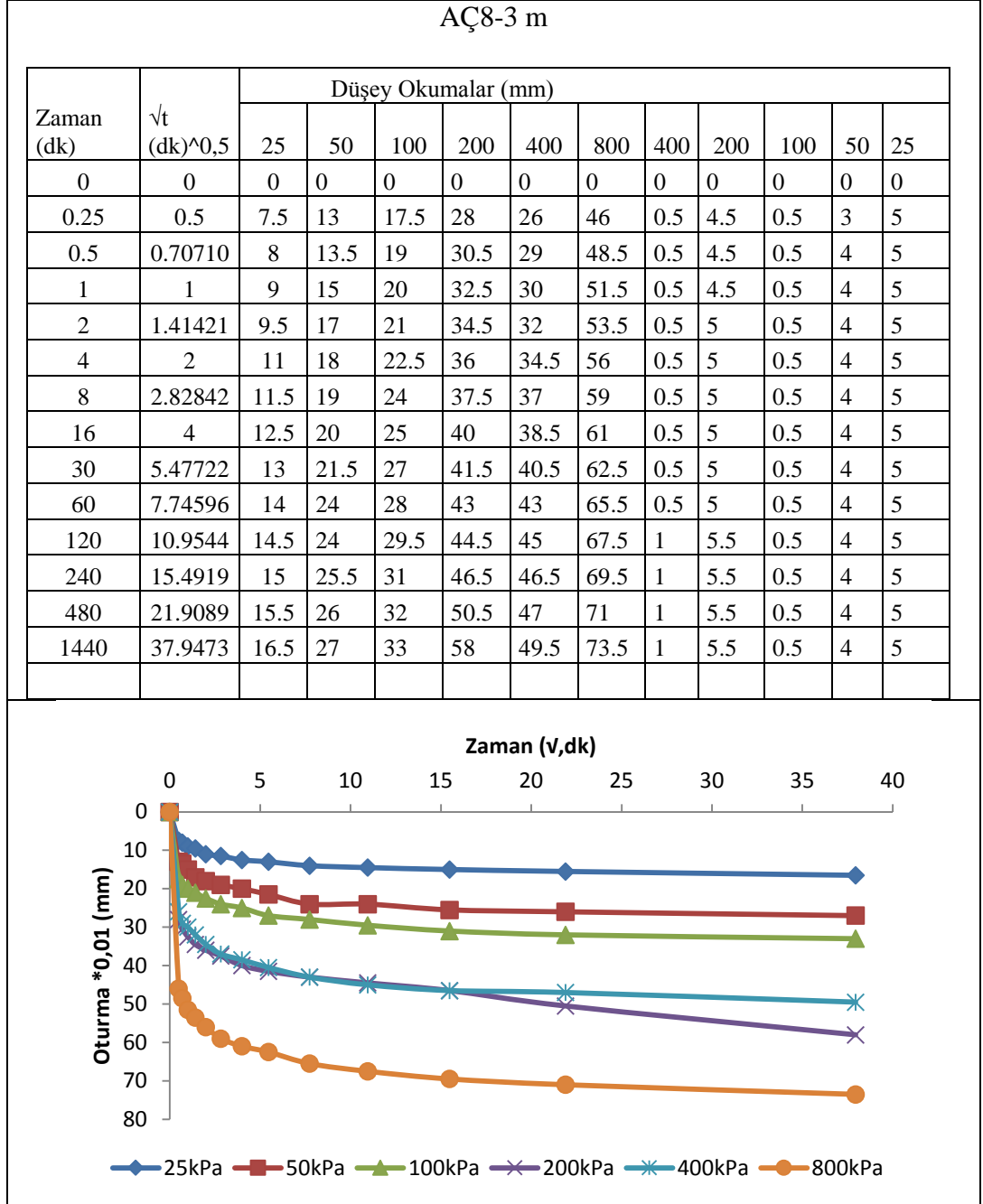
Zaman (dk)	$\sqrt{t}$ (dk) <sup>0,5</sup>	Düşey Okumalar (mm)											
		25	50	100	200	400	800	400	200	100	50	25	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.5	3	5.5	20.5	23	34	53	2	3	1.5	2.5	0	
0.5	0.70710	3	6	24.5	26	39	57.5	2	3.5	1.5	2.5	0.25	
1	1	3.5	6.5	25.5	27.5	40.5	61.5	2	4	1.5	2.5	0.25	
2	1.41421	3.5	6.5	27	29	49.5	66.5	2	4	1.5	2.5	0.25	
4	2	3.5	7	27.5	30	53	71	2	4	1.75	2.5	0.25	
8	2.82842	4	7	30.5	31.5	56	75	2	4	2	2.5	0.25	
16	4	4	7.5	32	32.5	58.5	78	2.5	4	2	2.25	0	
30	5.47722	4	8	33	33.5	60.5	82	2.5	4	1.5	2	0	
60	7.74596	4	8.5	34	34.5	62.5	84	2.5	4	1.5	1.75	0	
120	10.9544	4.5	9	35	35	63.5	86	2.5	4	1.5	1.5	-0.25	
240	15.4919	4.5	10	36.5	35.5	65.5	88	2.5	4	1	1	-0.75	
480	21.9089	5	11	37.5	36	66.5	89	2.5	4	1	1	-0.85	
1440	37.9473	5	11.5	38	36.5	68.5	91	2.5	4	0.5	0.5	-1.5	



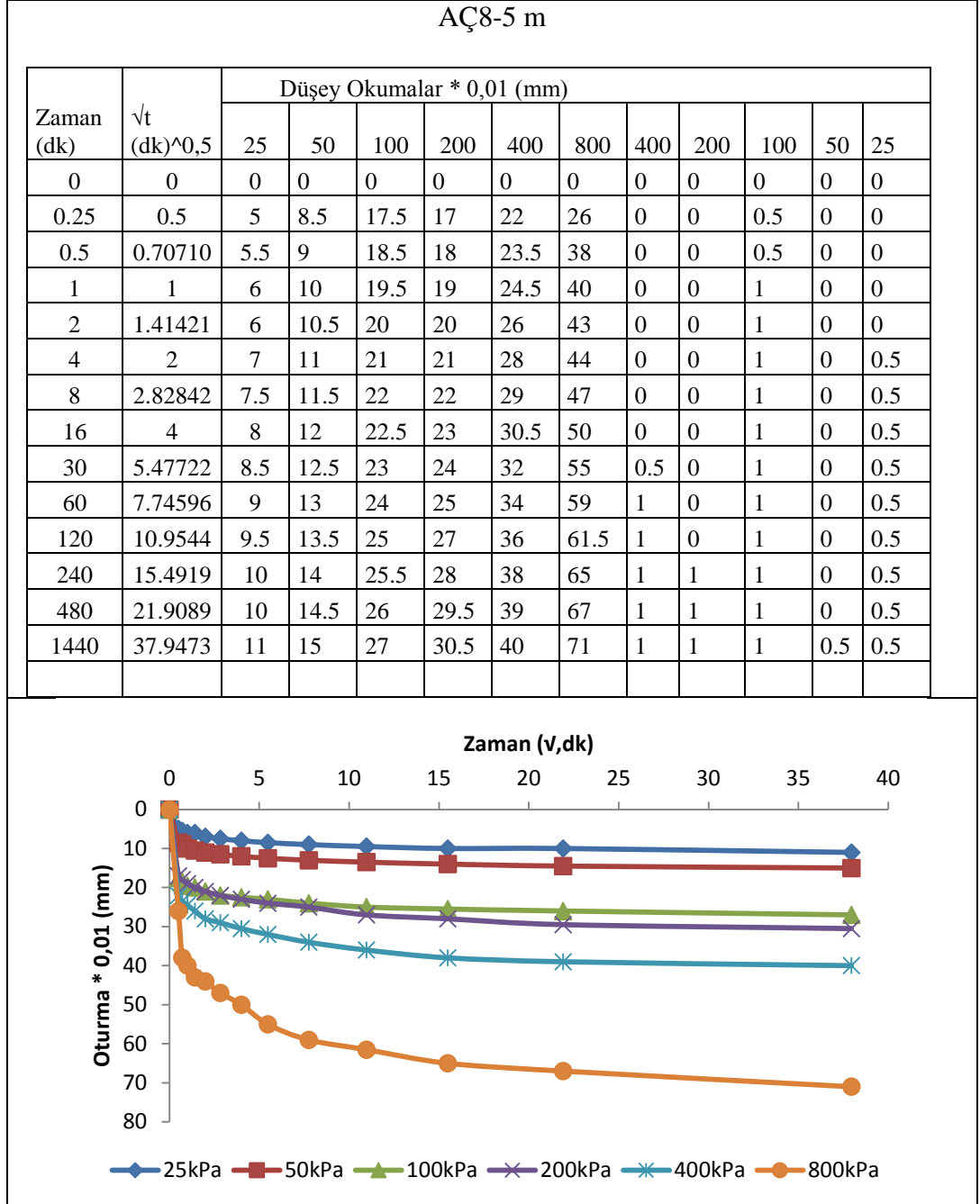
EK-15 Konsolidasyon Deney sonuçları (Devam)



EK-15 Konsolidasyon Deney sonuçları (Devam)



EK-15 Konsolidasyon Deney sonuçları (Devam)



EK-16 SPT-N ve düzeltilmiş darbe sayıları

Sondaj No	Derinlik (m)	N30	N1(60)	Sondaj No	Derinlik (m)	N30	N1(60)	Sondaj No	Derinlik (m)	N30	N1(60)
SK1	1.5	51	52.5	SK4	1.5	46	47.2	SK7	1.5	14	14.4
	4.5	77	63.3		4.5	16	13.7		4.5	21	14.8
	7.5	30	18.7		7.5	36	22.5		7.5	51	29.0
	10.3	40	21.4		10.3	38	21.9		10.3	51	26.4
	13.5	41	19.3		13.5	51	24.3		13.5	51	23.8
	16.5	51	20.5		16.5	51	22.2		16.5	51	21.8
	19.5	51	18.6		19.5	51	20.4		19.5	49	19.5
SK2	1.5	51	52.8	SK5	1.5	41	42.8	SK8	1.5	15	15.8
	4.5	15	12.5		4.5	51	29.0		4.5	25	18.1
	7.5	49	26.6		7.5	51	29.8		7.5	8	10.7
	10.3	51	25.5		10.3	51	27.9		10.3	54	30.2
	13.5	51	23.1		13.5	51	25.4		13.5	75	35.9
	16.5	51	20.2		16.5	51	22.7		16.5	75	32.2
	19.5	51	19.1		19.5	51	21.7		19.5	75	29.0
SK3	1.5	15	15.5	SK6	1.5	3	3.15	SK9	1.5	13	13.8
	4.5	32	26.3		4.5	51	29.2		4.5	49	26.9
	7.5	27	17.3		7.5	51	30.1		7.5	54	29.7
	10.3	29	16.6		10.3	51	28.9		10.3	85	39.4
	13.5	51	22.5		13.5	51	26.1		13.5	51	23.1
	16.5	51	20.7		16.5	51	23.3		16.5	68	26.4
	19.5	17	9.92		19.5	20	11.5		19.5	51	19.2

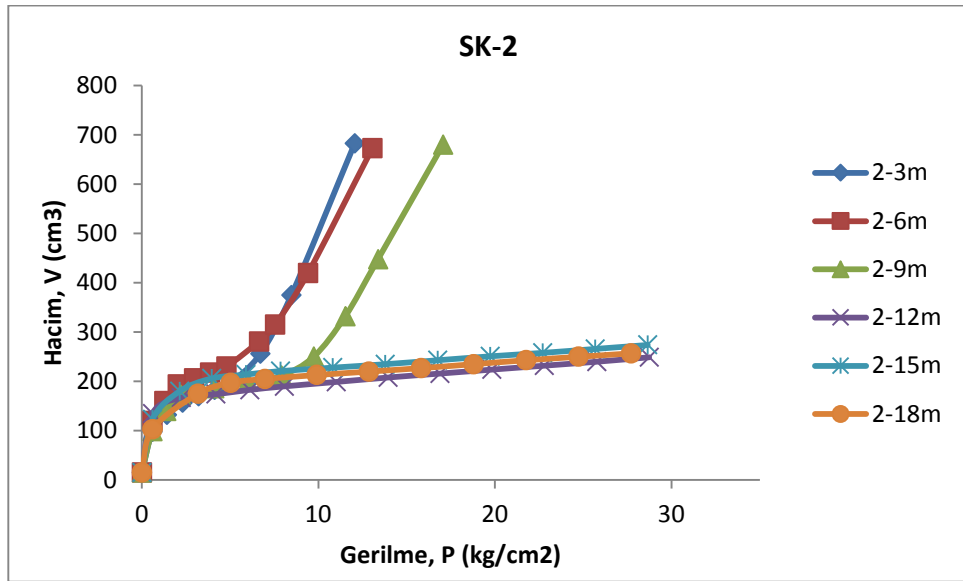
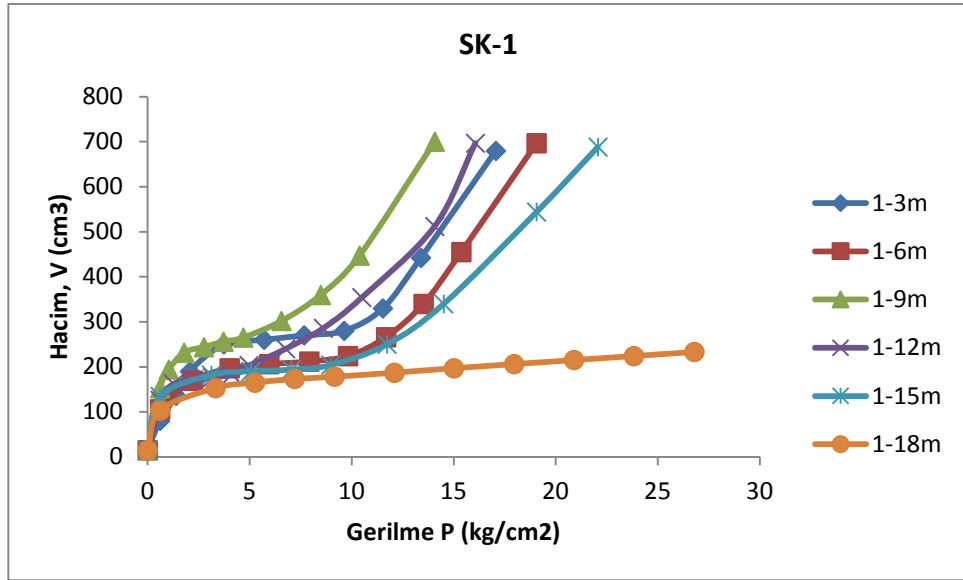
EK-16 SPT-N ve düzeltilmiş darbe sayıları (Devam)

Sondaj No	Derinlik (m)	N30	N1(60)	Sondaj No	Derinlik (m)	N30	N1(60)
SK10	1.5	30	30.9	SK13	1.5	37	37.7
	4.5	50	27.6		4.5	29	24.6
	7.5	27	18.7		7.5	28	18.8
	10.3	51	26.7		10.3	56	28.1
	13.5	51	24.7		13.5	51	23.0
SK11	16.5	64	26.3	SK14	16.5	51	20.7
	19.5	35	15.2		19.5	51	18.8
	1.5	36	36.6		1.5	41	42.6
	4.5	7	5.8		4.5	33	20.2
	7.5	25	16.8		7.5	26	18.3
SK12	10.3	36	18.5	SK15	10.3	9	10.2
	13.5	84	30.6		13.5	36	19.7
	16.5	51	17.7		16.5	51	23.0
	19.5	51	15.7		19.5	51	20.9
	1.5	21	21.5		1.5	11	11.5
SK12	4.5	42	33.2	SK15	4.5	51	53.3
	7.5	4	7.8		7.5	30	33.3
	10.3	51	25.3		10.3	29	28.3
	13.5	51	22.8		13.5	21	16.9
	16.5	51	20.7		16.5	51	44.1
	19.5	62	21.8		19.5	51	40.3

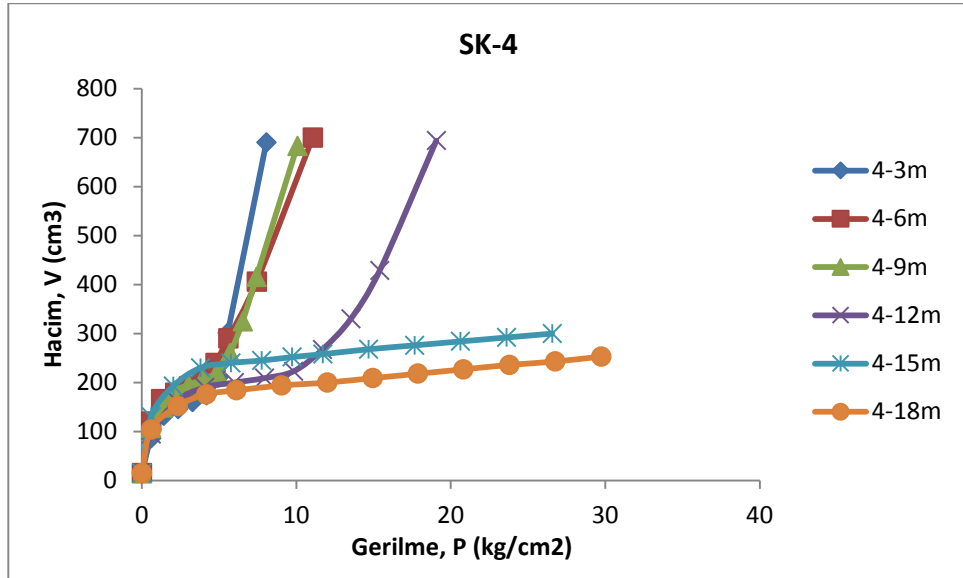
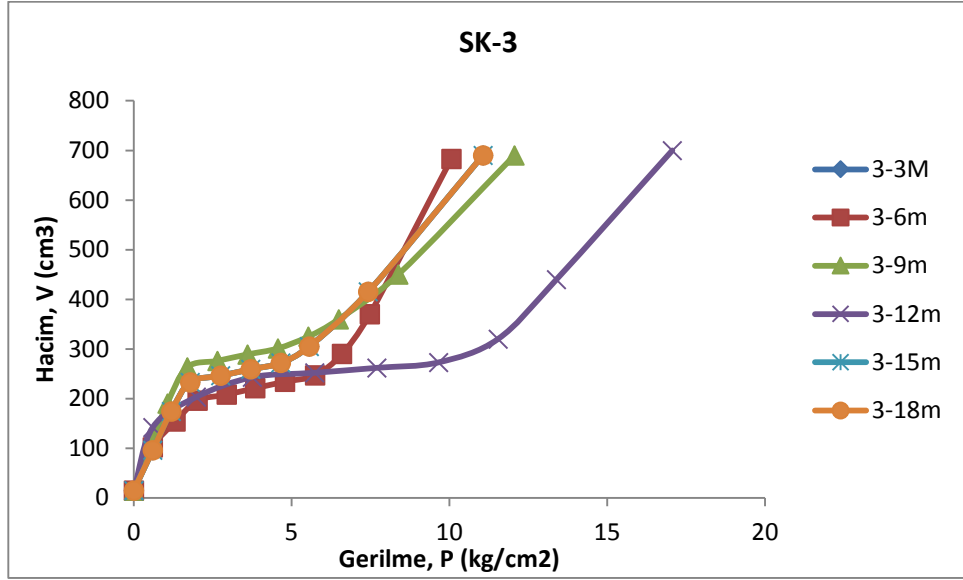
EK-17 Taşıma Gücü Faktörleri

$\phi$	Terzaghi			Meyerhof			Hansen		
	$N_c$	$N_q$	$N_y$	$N_c$	$N_q$	$N_y$	$N_c$	$N_q$	$N_y$
0	5,70	1,00	0,00	5,10	1,00	0,00	5,10	1,00	0,00
2	6,30	1,22	0,18	5,63	1,20	0,01	5,63	1,20	0,01
4	6,97	1,49	0,38	6,19	1,43	0,04	6,19	1,43	0,05
6	7,73	1,81	0,62	6,81	1,72	0,11	6,81	1,72	0,11
8	8,60	2,21	0,91	7,53	2,06	0,21	7,53	2,06	0,22
10	9,61	2,69	1,25	8,34	2,47	0,37	8,34	2,47	0,39
12	10,76	3,29	1,70	9,28	2,97	0,60	9,28	2,97	0,63
14	12,11	4,02	2,23	10,37	3,59	0,92	10,37	3,59	0,97
16	13,68	4,92	2,94	11,63	4,34	1,37	11,63	4,34	1,43
18	15,52	6,04	3,87	13,10	5,26	2,00	13,10	5,26	2,08
20	17,69	7,44	4,97	14,33	6,40	2,37	14,83	6,40	2,95
22	20,27	9,19	6,61	16,88	7,82	4,07	16,88	7,82	4,13
24	23,36	11,40	8,58	19,32	9,60	5,72	19,32	9,60	5,75
26	27,09	14,21	11,35	22,25	11,85	8,00	22,25	11,85	7,94
28	31,61	17,81	15,15	25,80	14,72	11,19	25,80	14,72	10,94
30	37,16	22,46	19,73	30,14	18,40	15,67	30,14	18,40	15,07
32	44,04	28,52	27,49	35,49	23,18	22,02	35,49	23,18	20,79
34	52,64	36,51	36,96	42,16	29,44	31,15	42,16	29,44	28,77
36	63,53	47,16	51,70	50,59	37,75	44,43	50,59	37,75	40,05
38	77,50	61,55	73,47	61,35	48,93	64,08	61,35	48,93	56,18
40	95,67	81,27	100,39	75,32	64,20	93,69	75,32	64,20	79,54

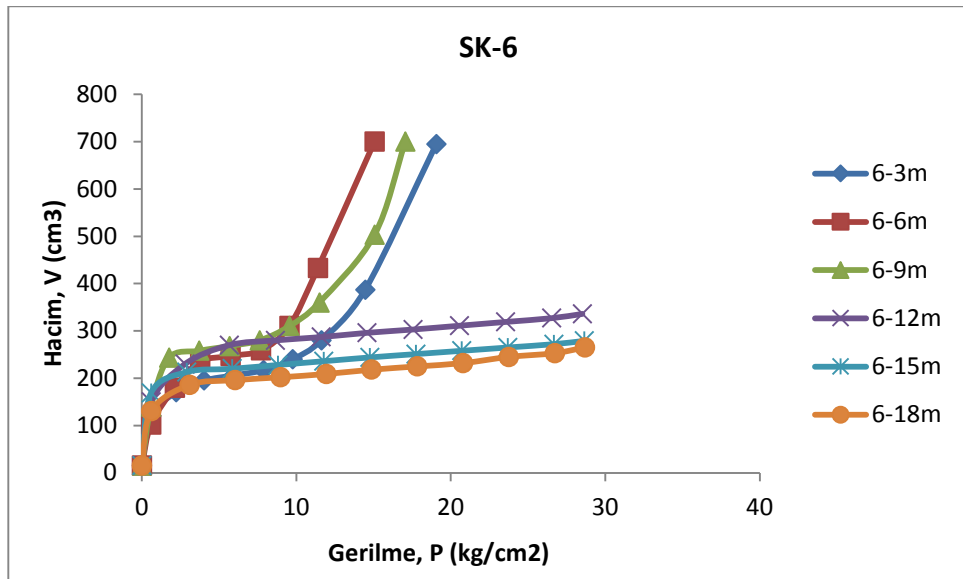
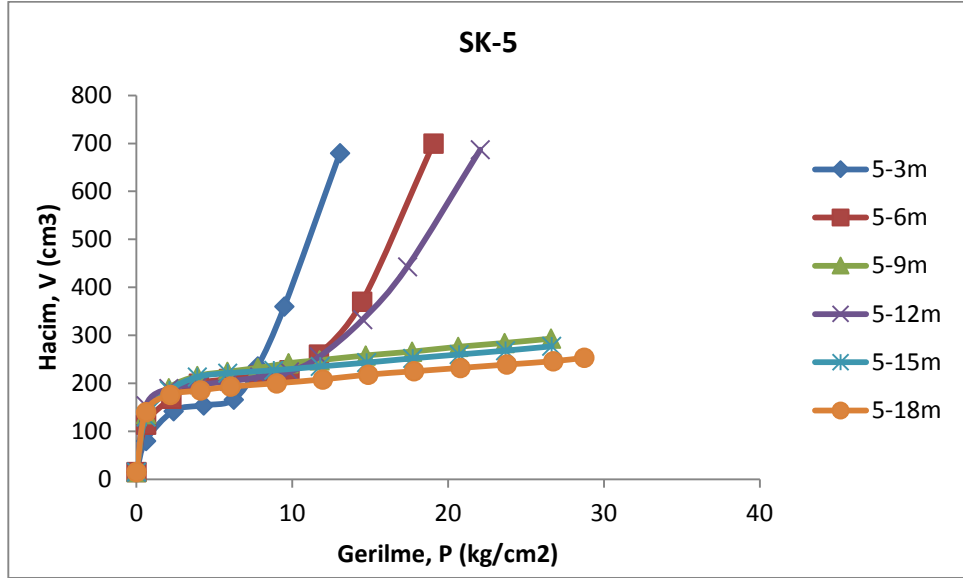
## EK-18 Presiyometre Deney Sonuçları



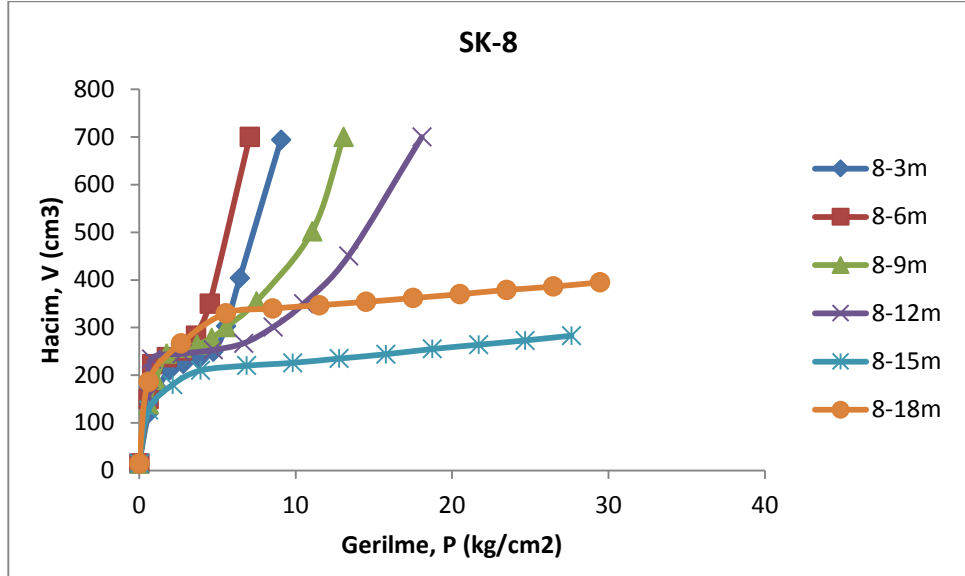
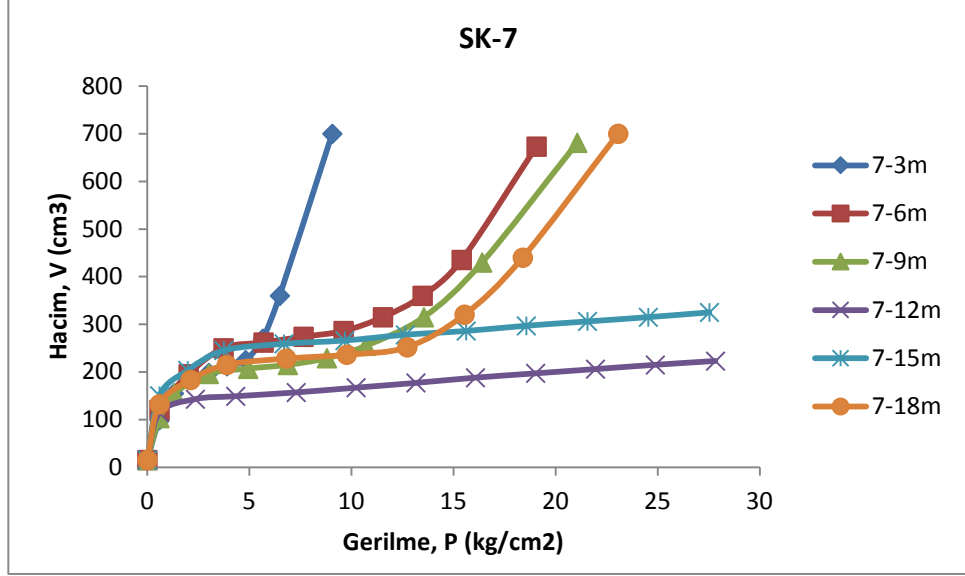
EK-18 Presiyometre Deney Sonuçları (Devam)



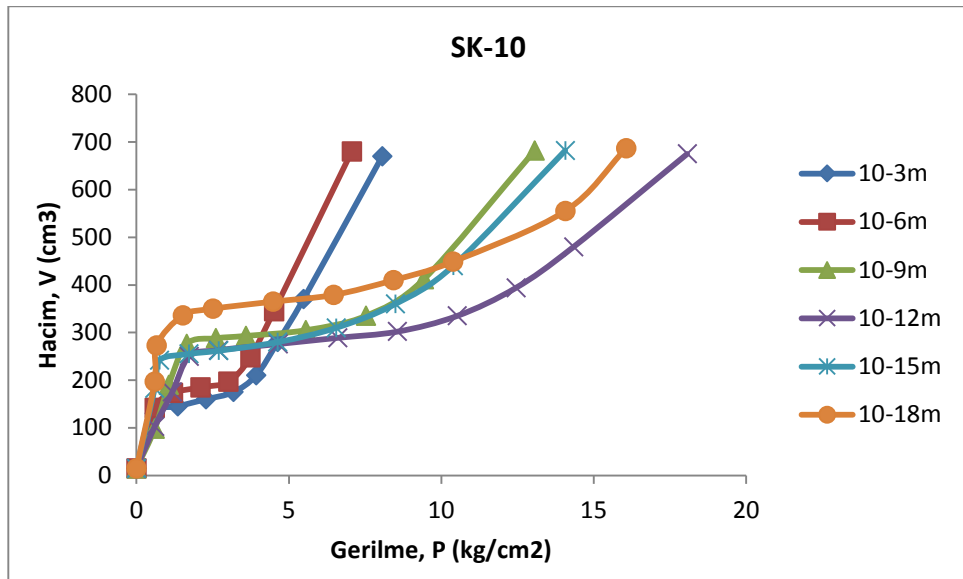
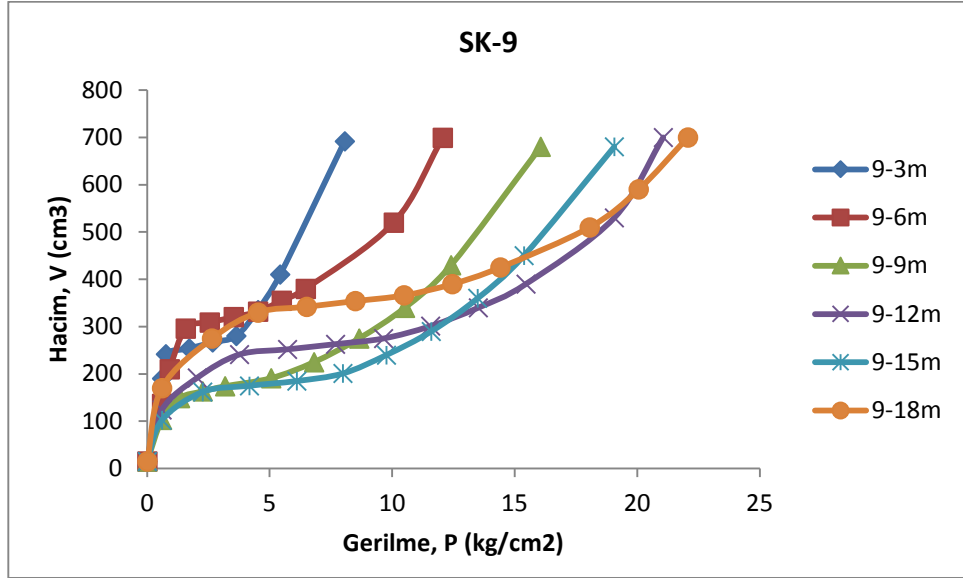
## EK-18 Presiyometre Deney Sonuçları (Devam)



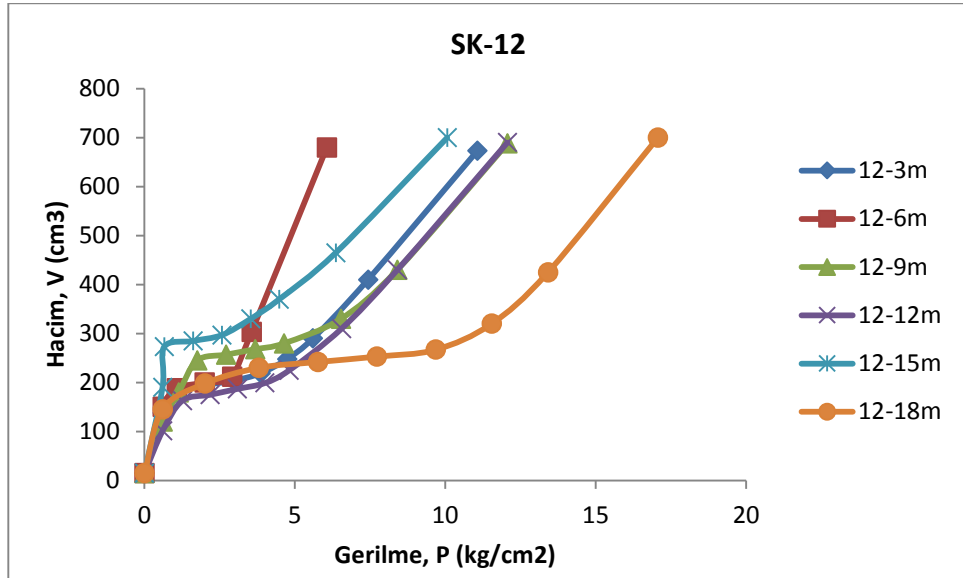
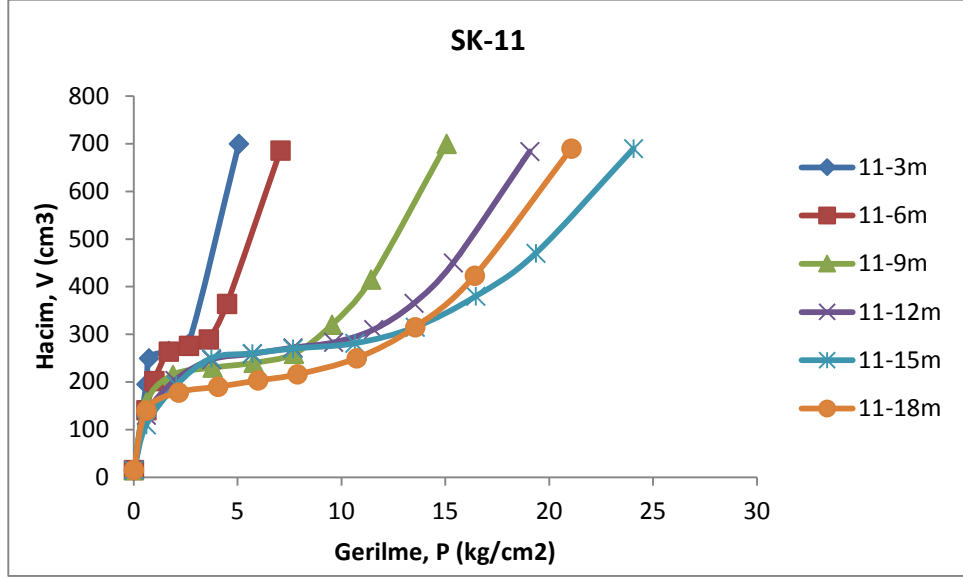
EK-18 Presiyometre Deney Sonuçları (Devam)



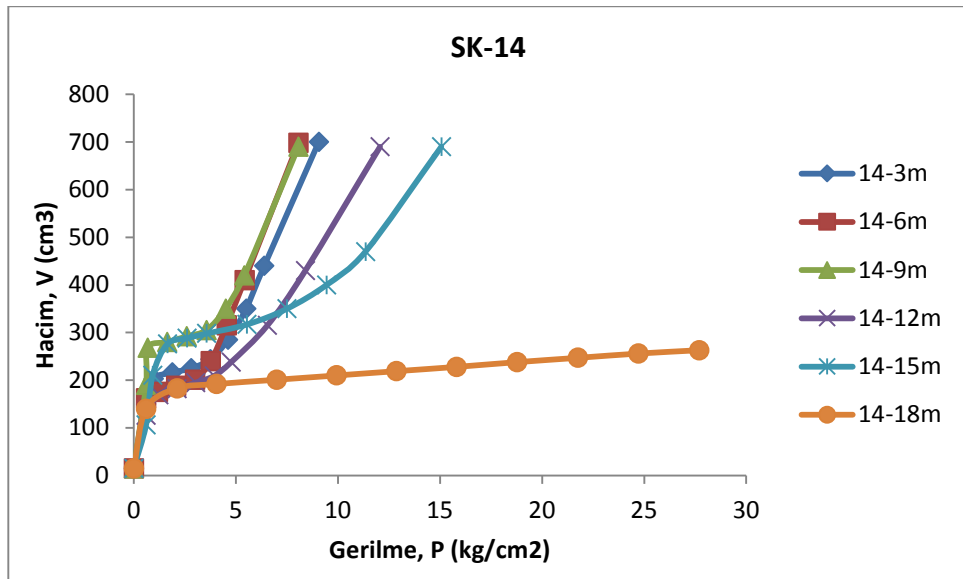
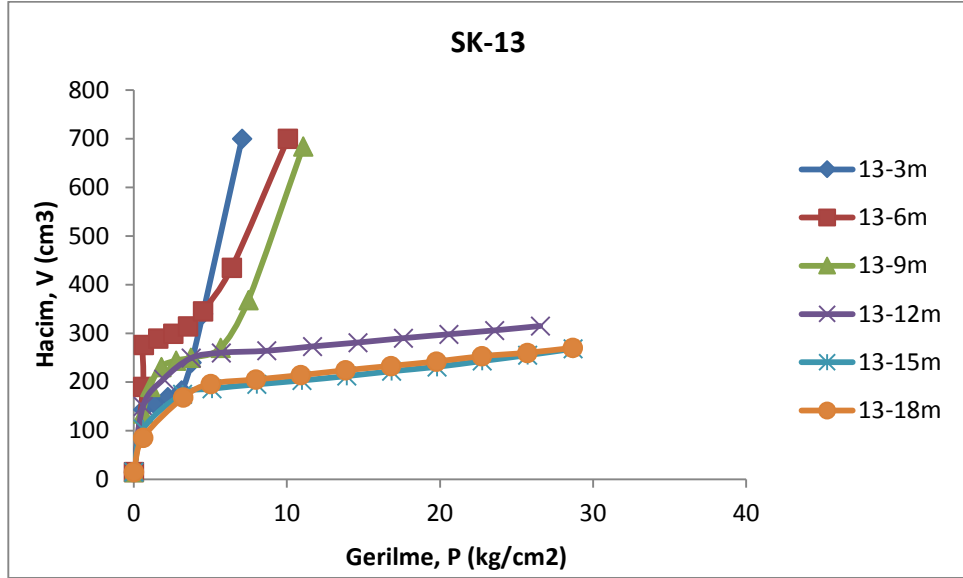
## EK-18 Presiyometre Deney Sonuçları (Devam)



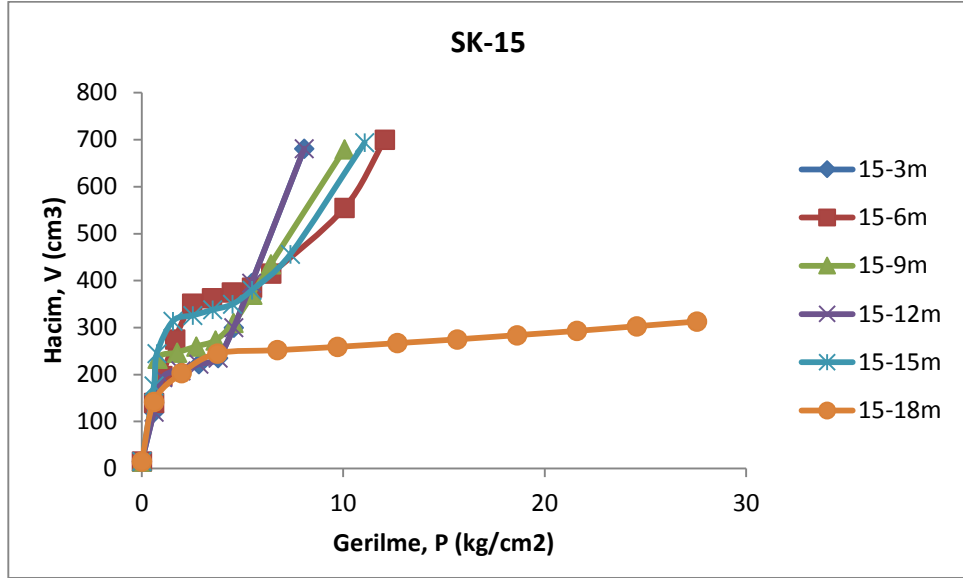
## EK-18 Presiyometre Deney Sonuçları (Devam)



EK-18 Presiyometre Deney Sonuçları (Devam)



EK-18 Presiyometre Deney Sonuçları (Devam)



EK-19 Konsolidasyon deneyi Cv değerleri

AÇ No	$\sigma$ (kPa)	mv (m <sup>2</sup> /kN)	t <sub>90</sub> (s)	h/2 (mm)	Cv (m <sup>2</sup> /yıl)
AÇ1-3m	25	0.0013394	12615	9,8713	0,2067
	50	0.0002548	614,4	9,718	4,1134
	100	0.0003120	2535	9,6335	0,9797
	200	0.0003120	4335	9,4535	0,5517
	400	0.0001950	2940	9,1835	0,7677
	800	0.000115	6000	8,856	0,3498
AÇ1-5m	25	0.00025	240	9,969	11,0808
	50	0.00043	375	9,884	6,971
	100	0.00068	9375	9,660	0,2664
	200	0.00026	4034,4	9,360	0,58113
	400	0.000145	4860	9,085	0,4545
	800	0.000132	937,5	8,676	2,1488
AÇ2-3m	25	0.000511	7260	9,936	0,3639
	50	0.000451	2343,6	9,816	1,1003
	100	0.000431	2535	9,652	0,983
	200	0.00026	8640	9,415	0,2746
	400	0.000141	6000	9,144	0,3729
	800	5.01E-05	7260	8,902	0,2921
AÇ2-5m	25	0.00029	2160	9,9638	1,2299
	50	0.00038	4335	9,88	0,6026
	100	0.00044	10140	9,7225	0,2495
	200	0.00027	6000	9,4775	0,4006
	400	0.000215	9375	9,1275	0,2378
	800	8.25E-05	11760	8,7475	0,1741
AÇ3-3m	25	0.00011	375	9,986	7,117
	50	0.00027	1815	9,939	5,826
	100	0.000325	3840	9,824	2,690
	200	0.000172	3375	9,656	2,957
	400	0.000121	2940	9,449	3,251
	800	6.63E-05	7260	9,195	1,247
AÇ3-5m	25	0.00025	1500	9,969	1,773
	50	0.00046	912,6	9,88	2,862
	100	0.000215	3936,6	9,769	0,649
	200	0.00024	1500	9,595	1,642
	400	0.000131	2160	9,344	1,082

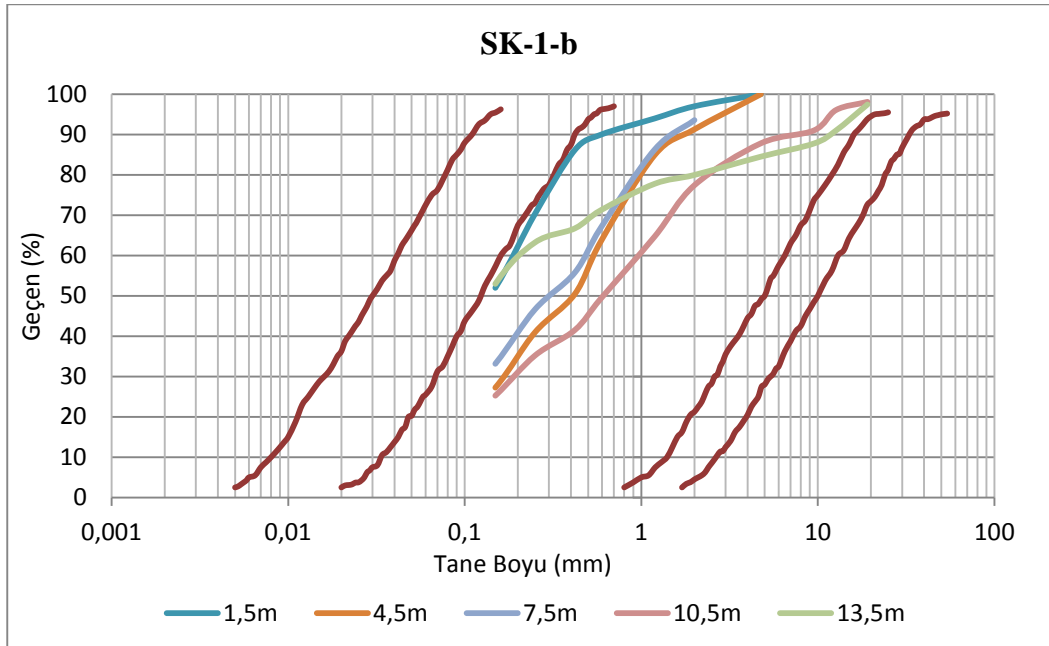
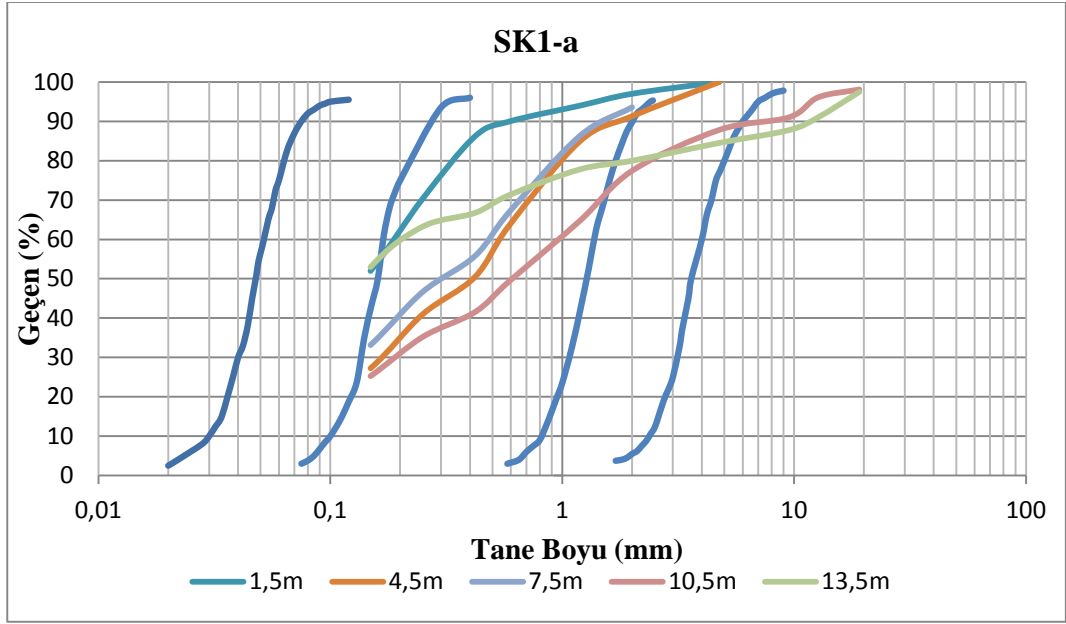
	800	8.44E-05	4335	9,044	0,505
--	-----	----------	------	-------	-------

EK-19 Konsolidasyon deneyi Cv değerleri (Devam)

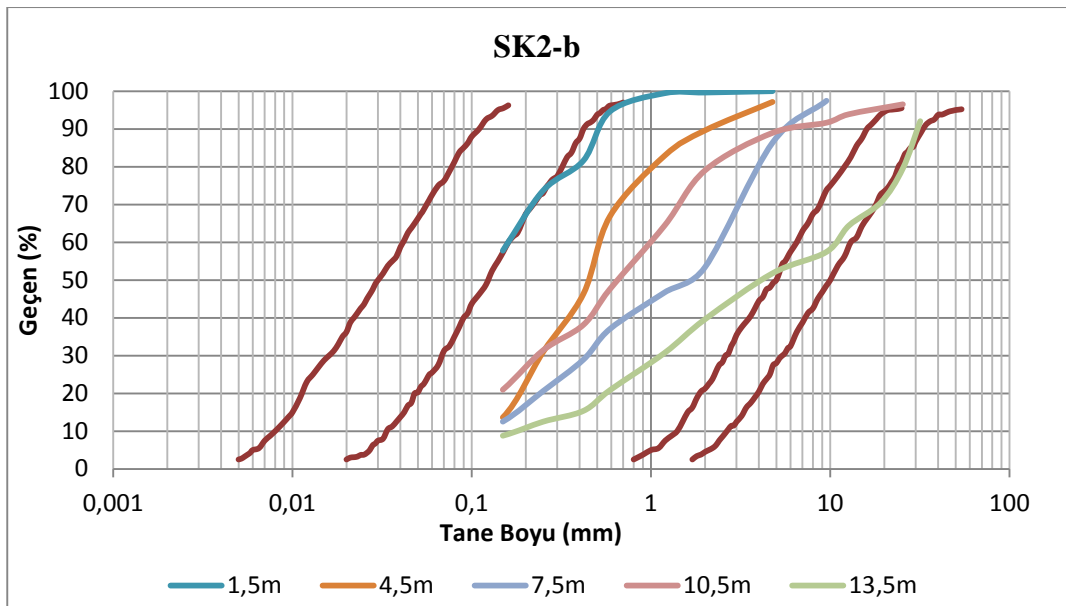
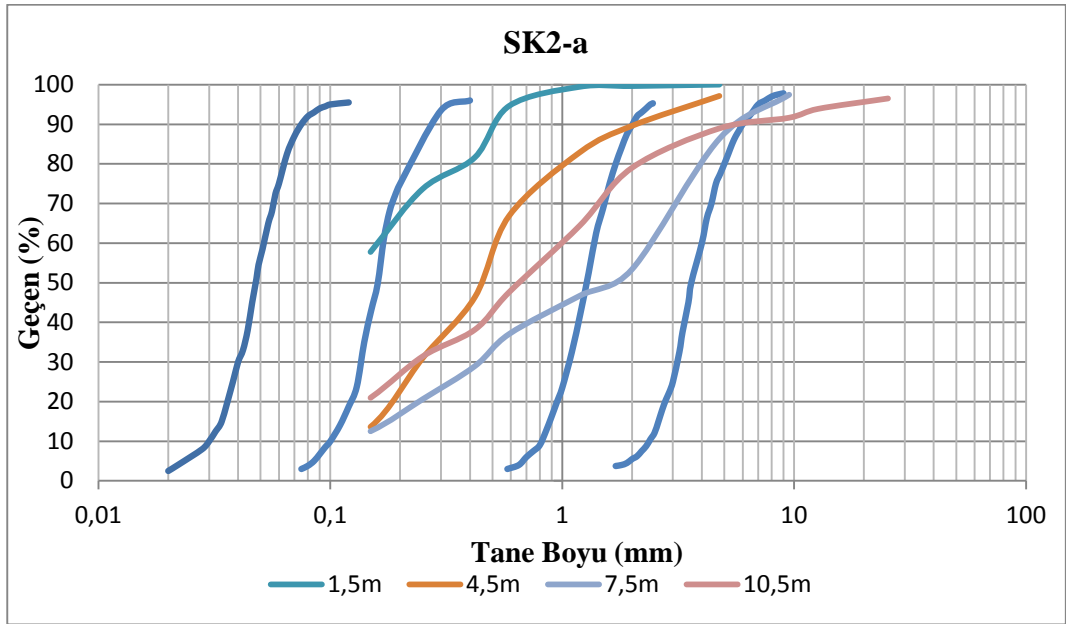
AÇ No	$\sigma$ (kPa)	$mv$ ( $m^2/kN$ )	$t_{90}$ (s)	$h/2$ (mm)	$C_v$ ( $m^2/yıl$ )
AÇ4-3m	25	0.00103	3375	9,871	0,773
	50	0.000196	540	9,718	4,680
	100	0.00024	3375	9,633	0,7359
	200	0.00024	4860	9,453	0,4921
	400	0.00015	7260	9,183	0,3109
	800	8.88E-05	11760	8,856	0,1785
AÇ5-3m	25	0.000803	1560,6	9,899	1,6802
	50	0.000347	960	9,754	2,652
	100	0.000298	1560,6	9,635	1,592
	200	0.000213	2160	9,453	1,107
	400	0.000143	3375	9,201	0,6713
	800	8.37E-05	6000	8,889	0,3524
AÇ7-3m	25	0.0001	735	9,987	3,632
	50	0.00023	2306,4	9,946	1,148
	100	0.00038	1500	9,822	1,721
	200	0.000182	1622,4	9,636	1,532
	400	0.000171	3840	9,374	0,612
	800	0.000114	8640	8,975	0,249
AÇ7-5m	25	0.000109	540	9,987	4,942
	50	0.000317	2160	9,932	1,222
	100	0.000422	3375	9,786	0,759
	200	0.000288	1500	9,535	1,622
	400	0.000124	3375	9,265	0,681
	800	9.05E-05	3840	8,857	0,559
AÇ8-3m	25	0.000327	960	9,959	2,764
	50	0.000536	3375	9,850	0,769
	100	0.000327	3375	9,700	0,746
	200	0.000288	2160	9,472	1,111
	400	0.000123	6000	9,204	0,3778
	800	9.11E-05	3375	8,896	0,627
AÇ8-5m	25	0.00022	540	9,972	4,928
	50	0.0003	960	9,907	2,736
	100	0.00027	1500	9,802	1,714

200	0.000153	1500	9,659	1,664
400	1E-04	7260	9,482	0,331
800	8.88E-05	13500	9,205	0,167

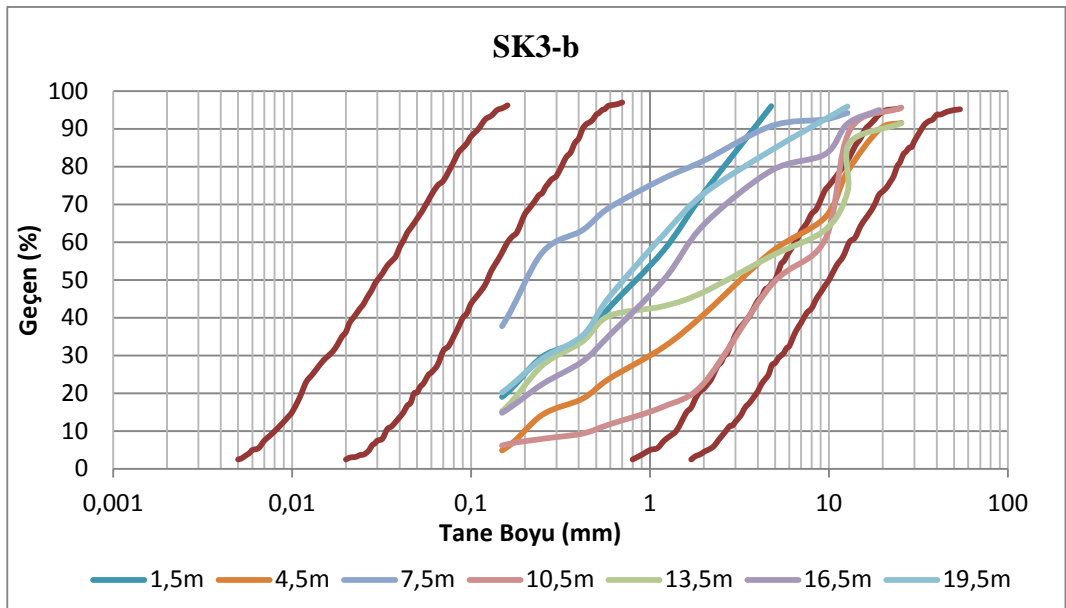
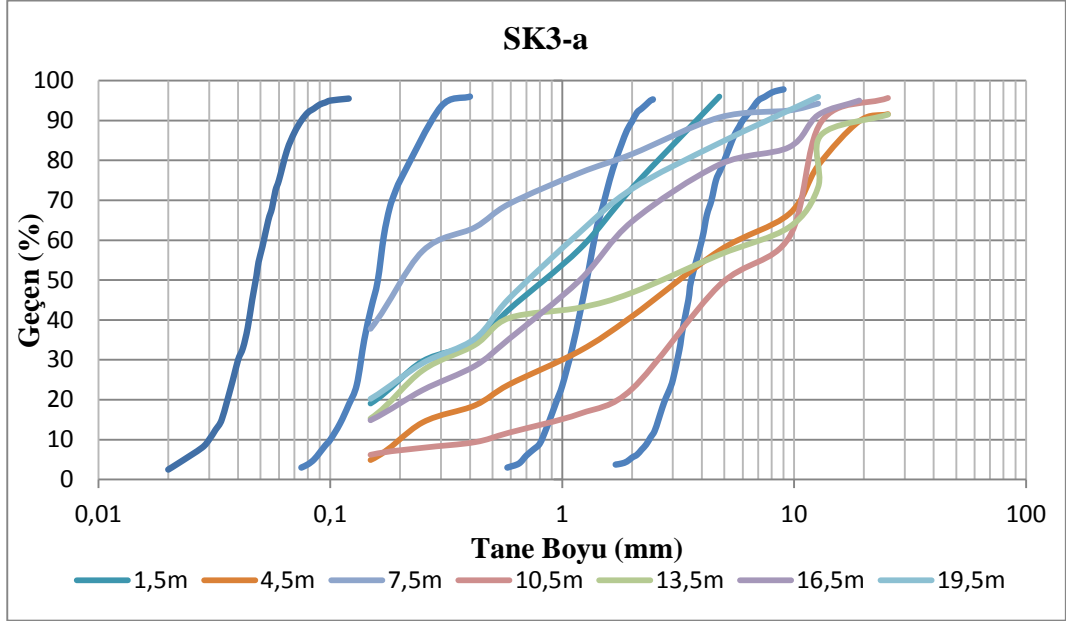
EK-20 Çalışma Alanı tane boyu dağılımı açısından sıvılaştırmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a:  $Cu < 6$ , b:  $Cu > 6$ )



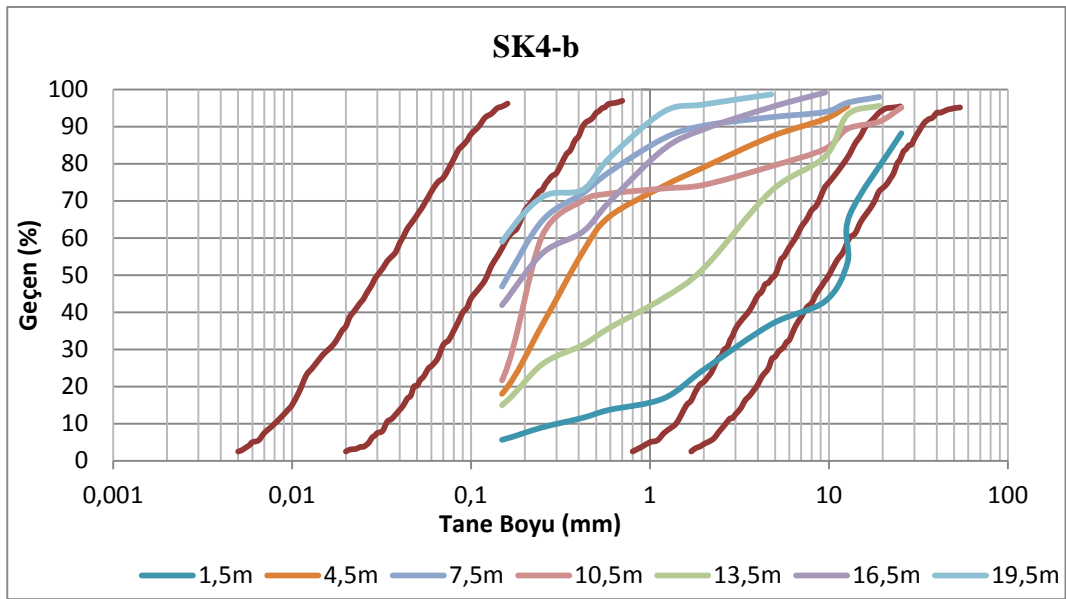
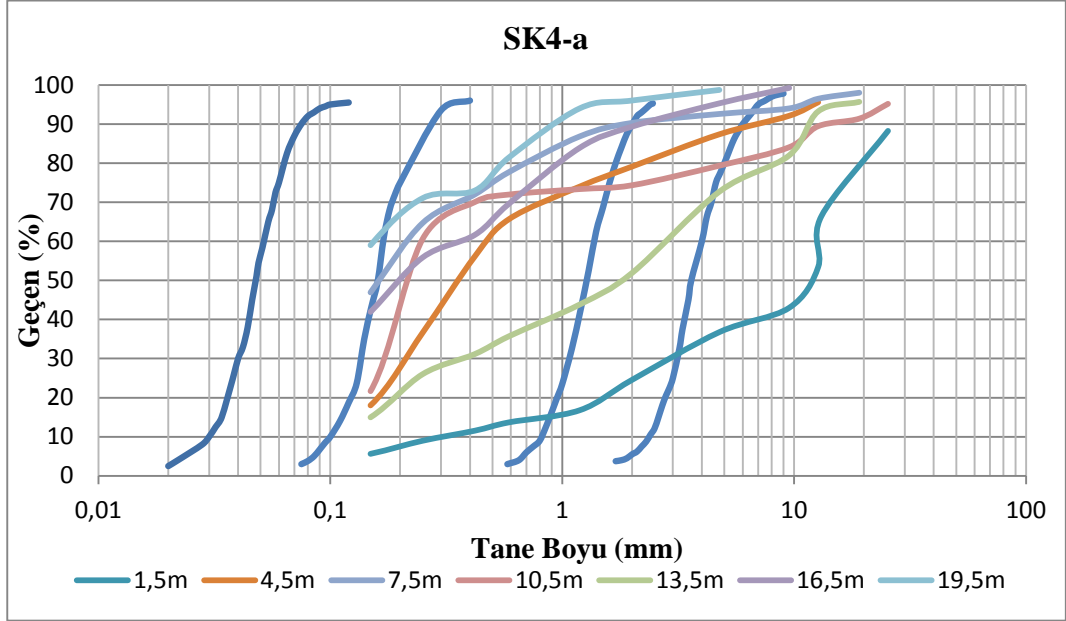
EK-20 Çalışma Alanı tane boyu dağılımı açısından sıvılaştırmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a:Cu < 6, b: Cu > 6 ) (Devam)



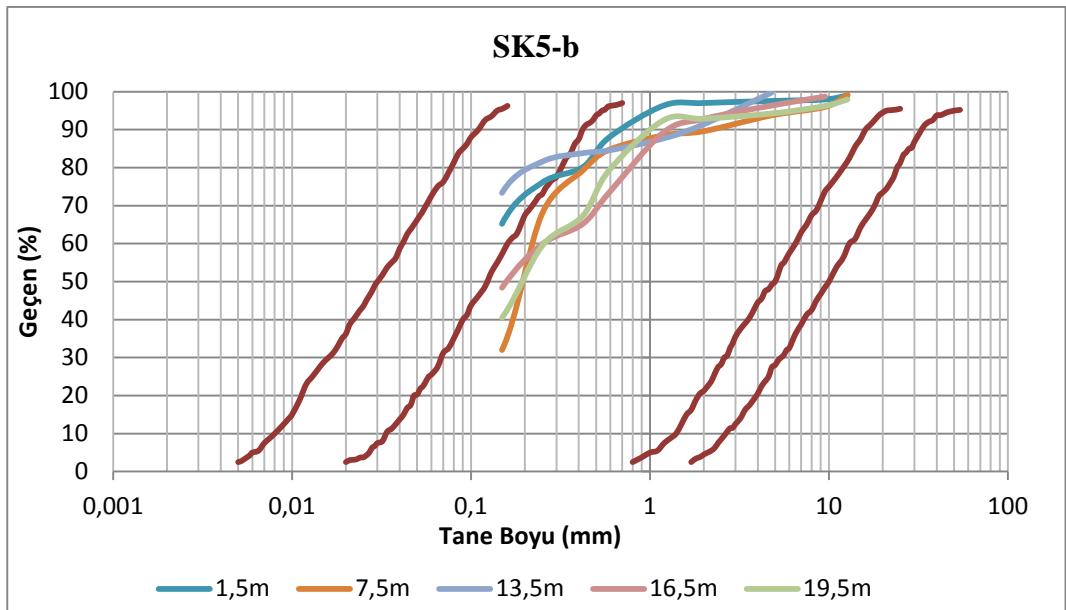
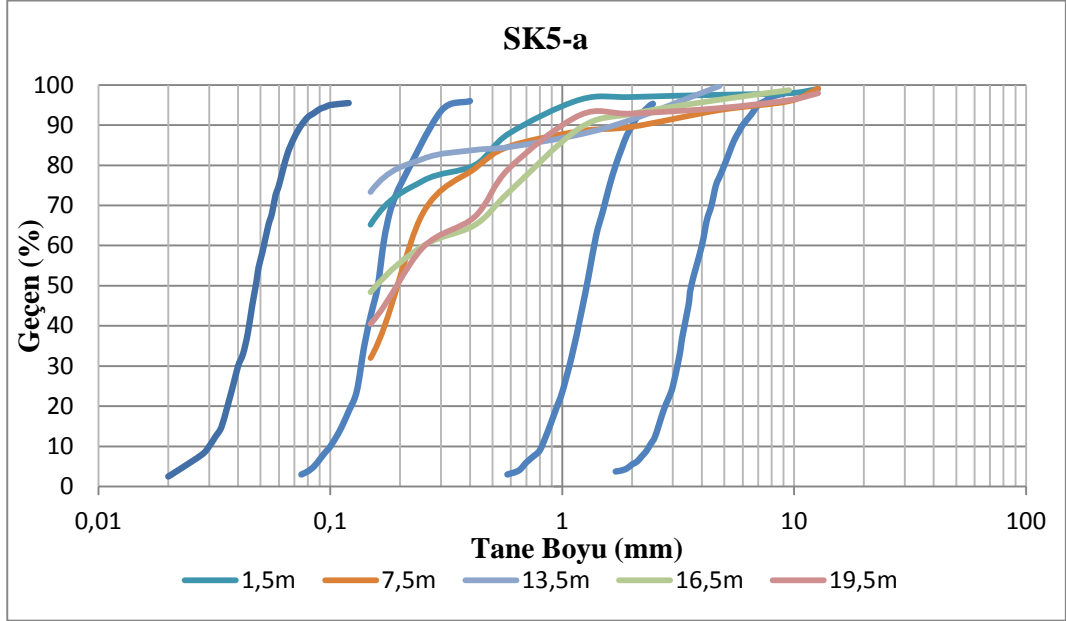
EK-20 Çalışma Alanı tane boyu dağılımı açısından sıvılaştırmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a:Cu < 6, b: Cu > 6 ) (Devam)



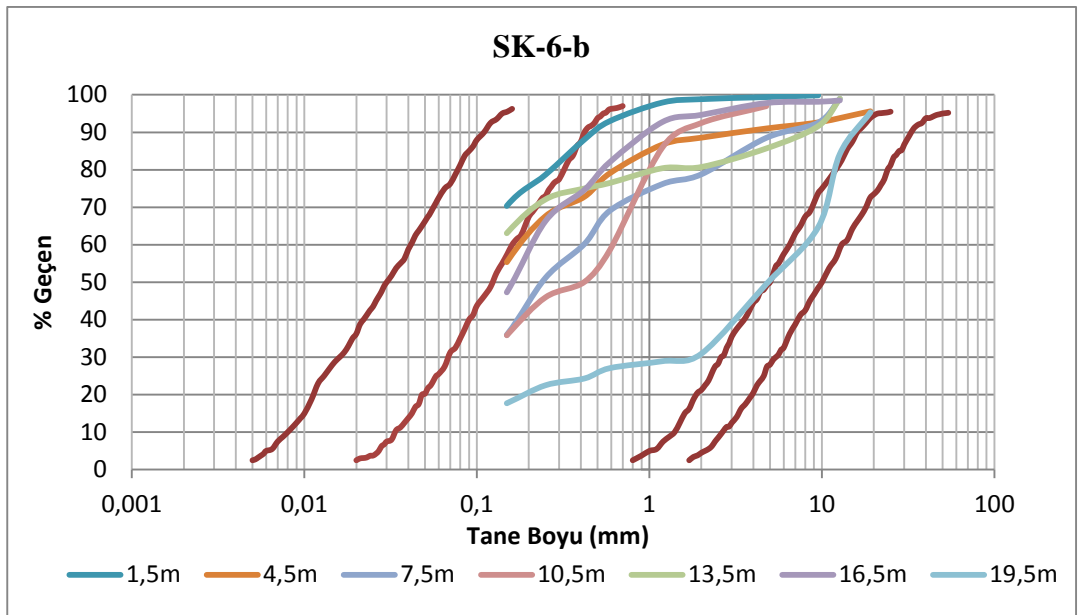
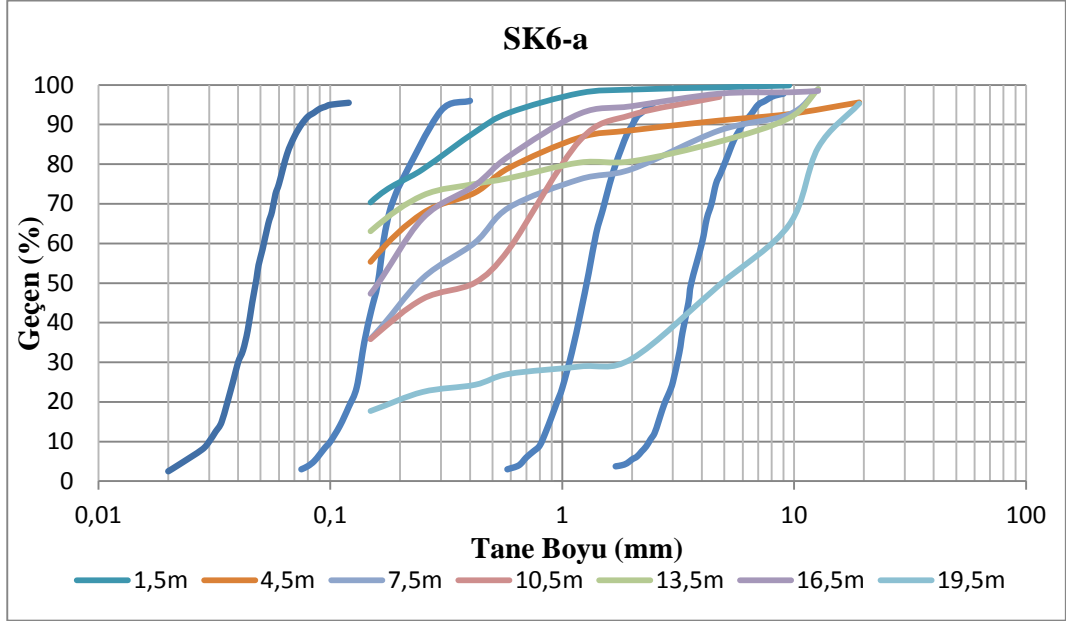
EK-20 Çalışma Alanı tane boyu dağılımı açısından sınıflaşmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a:Cu < 6, b: Cu > 6 ) (Devam)



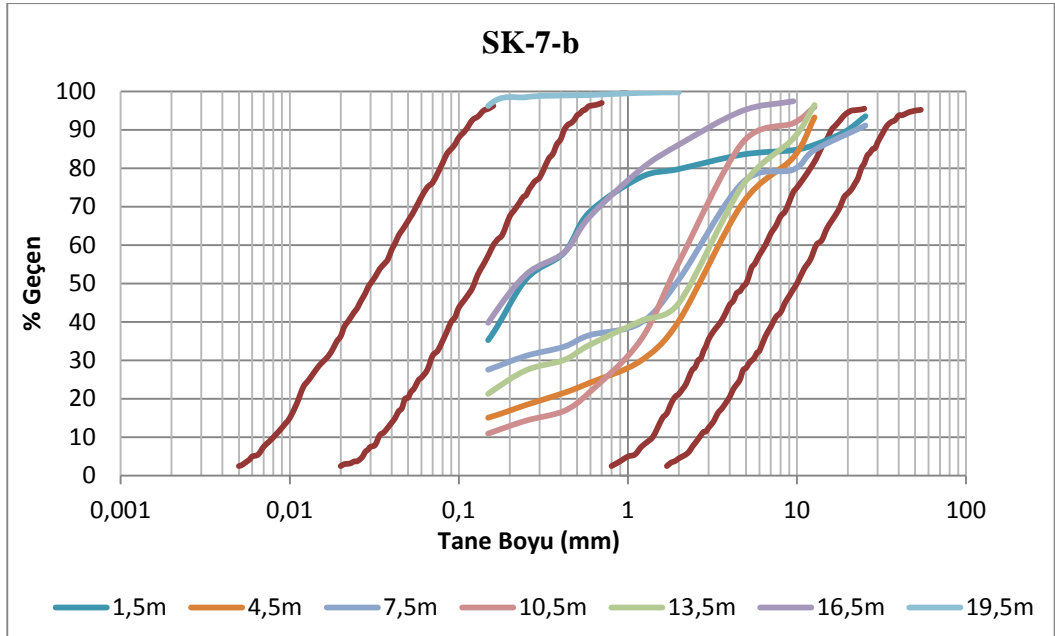
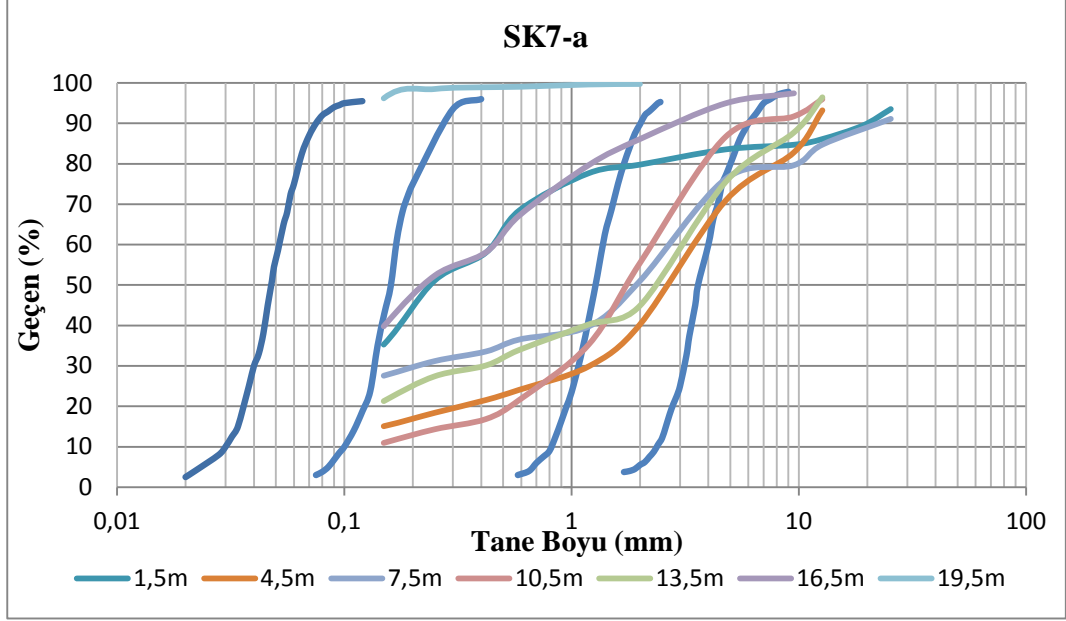
EK-20 Çalışma Alanı tane boyu dağılımı açısından sınıflaşmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a:Cu < 6, b: Cu > 6 ) (Devam)



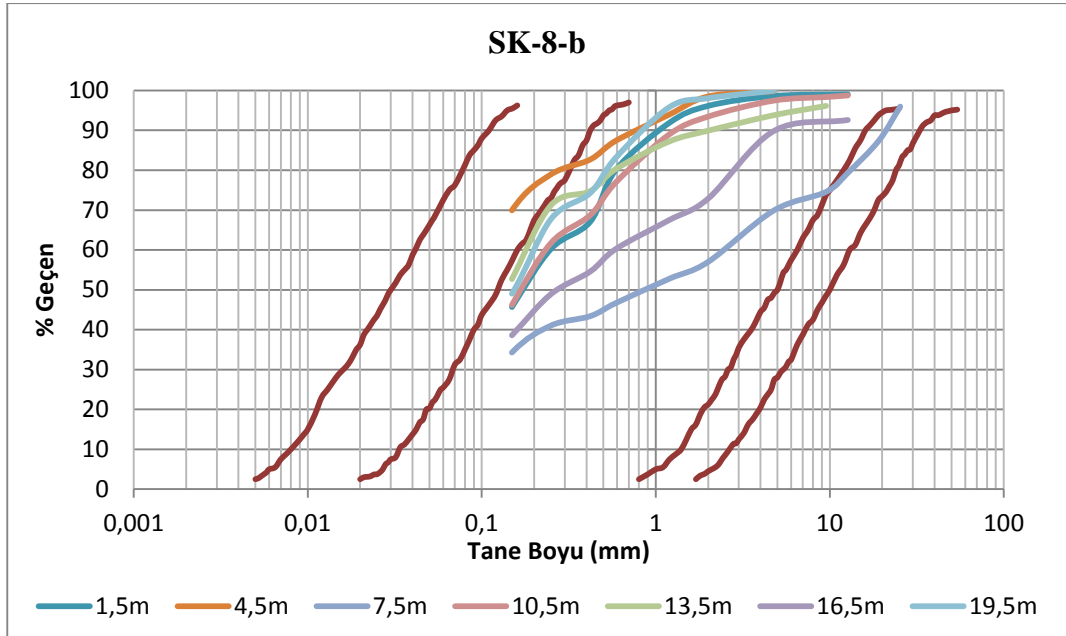
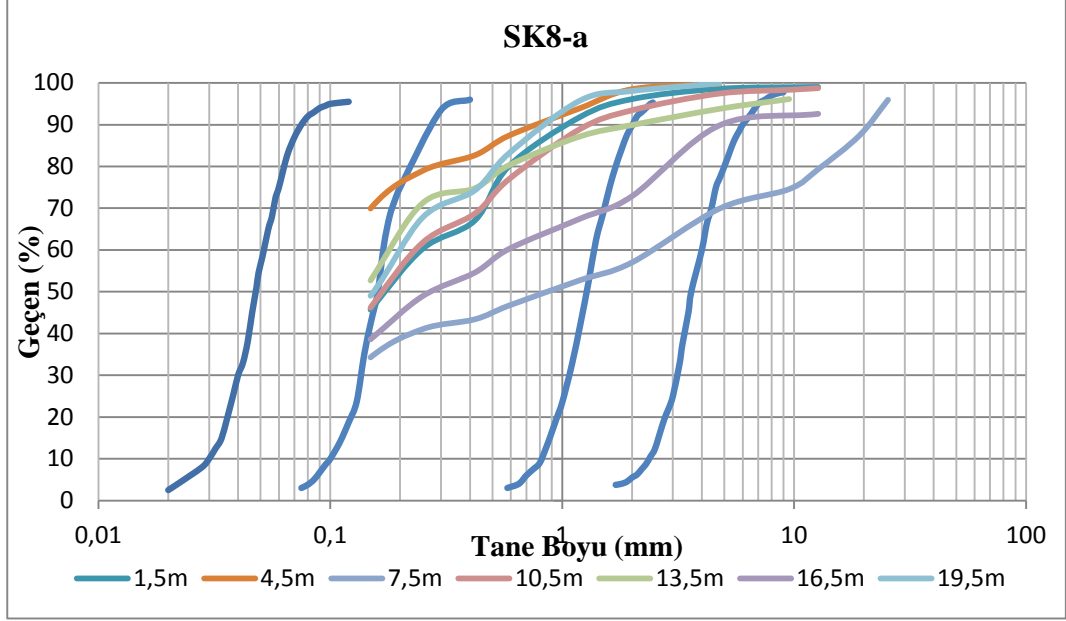
EK-20 Çalışma alanı tane boyu dağılımı açısından sınıflaşmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a:Cu < 6, b: Cu > 6 ) (Devam)



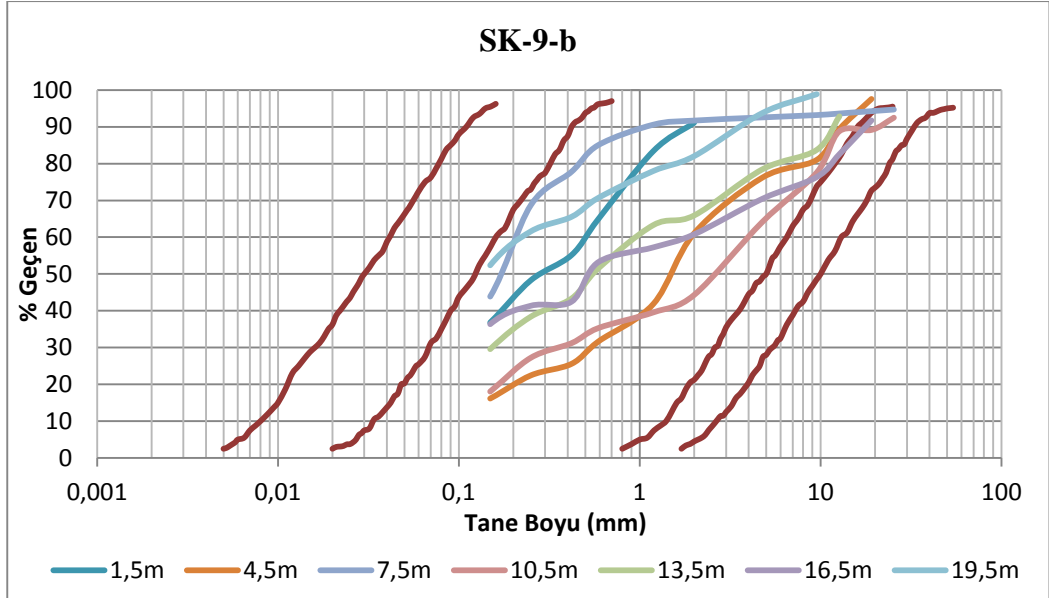
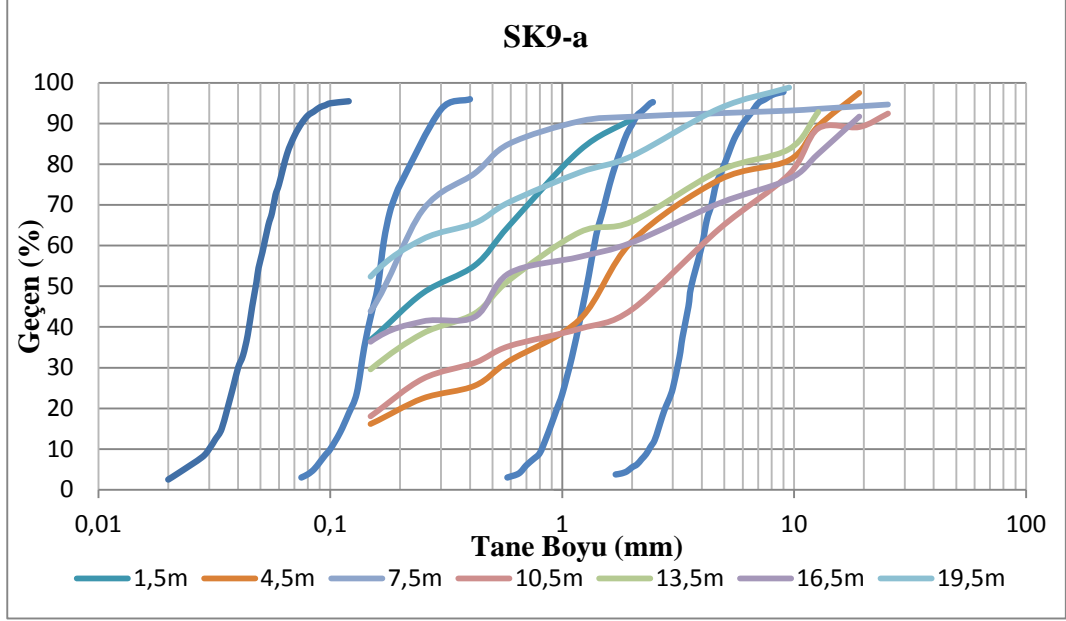
EK-20 Çalışma alanı tane boyu dağılımı açısından sıvılaştırmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a:Cu < 6, b: Cu > 6 ) (Devam)



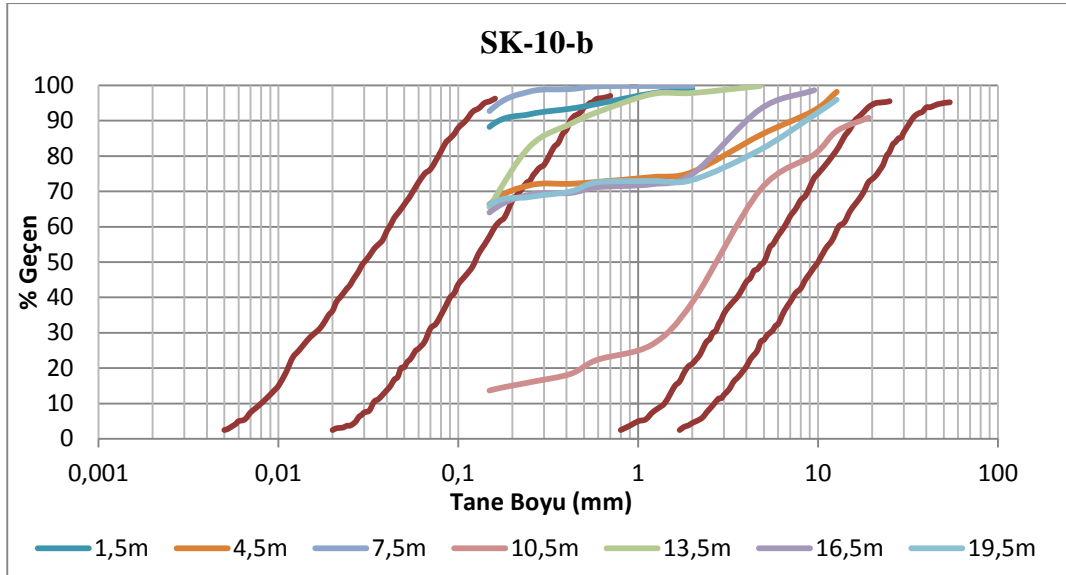
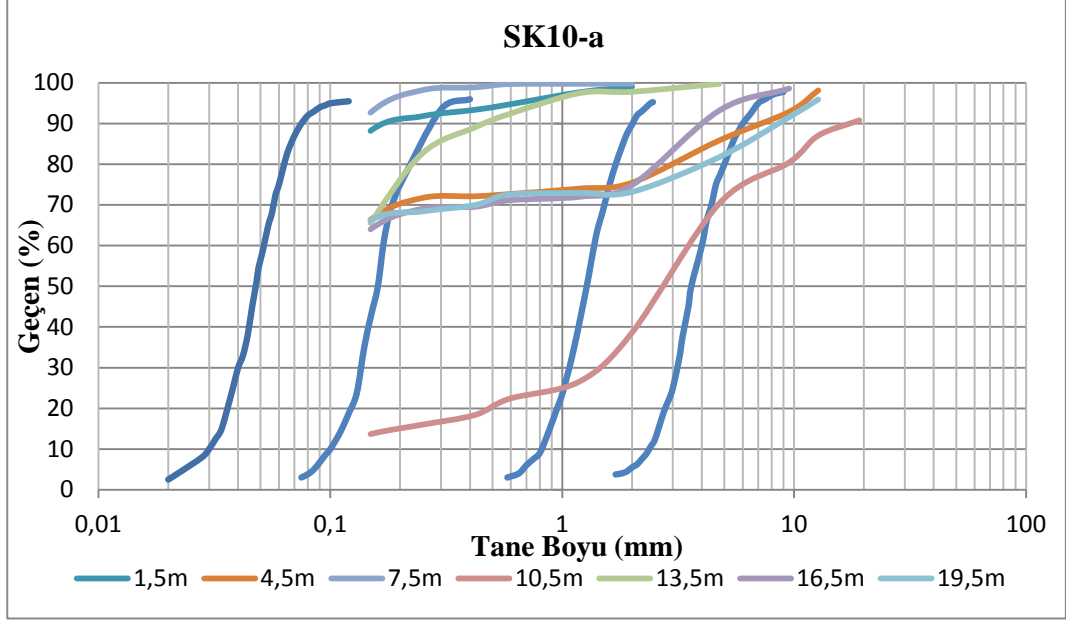
EK-20 Çalışma alanı tane boyu dağılımı açısından sınıflaşmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a:Cu < 6, b: Cu > 6 ) (Devam)



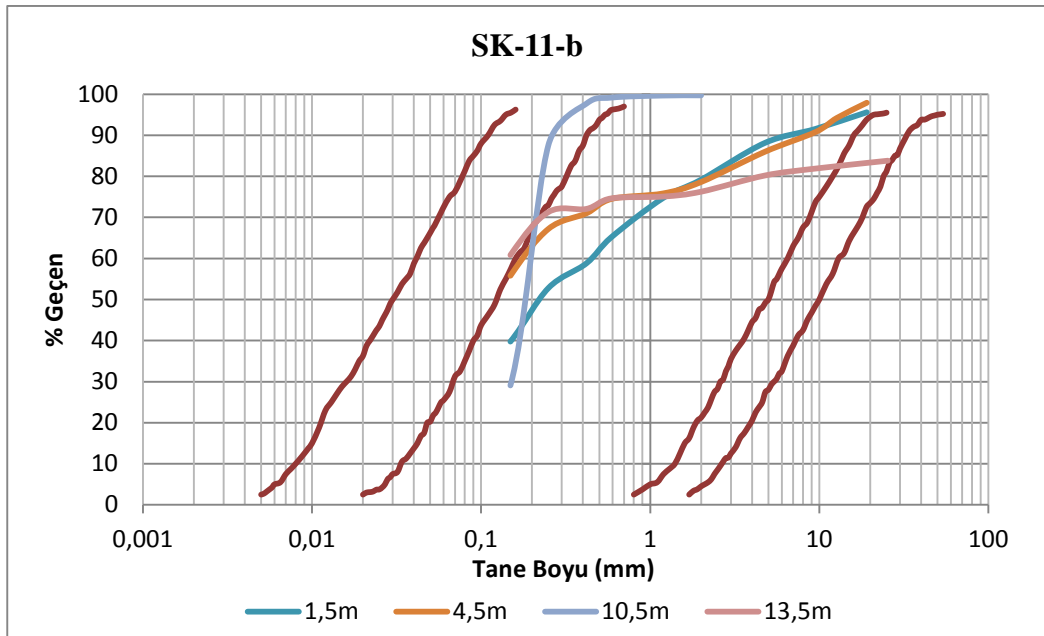
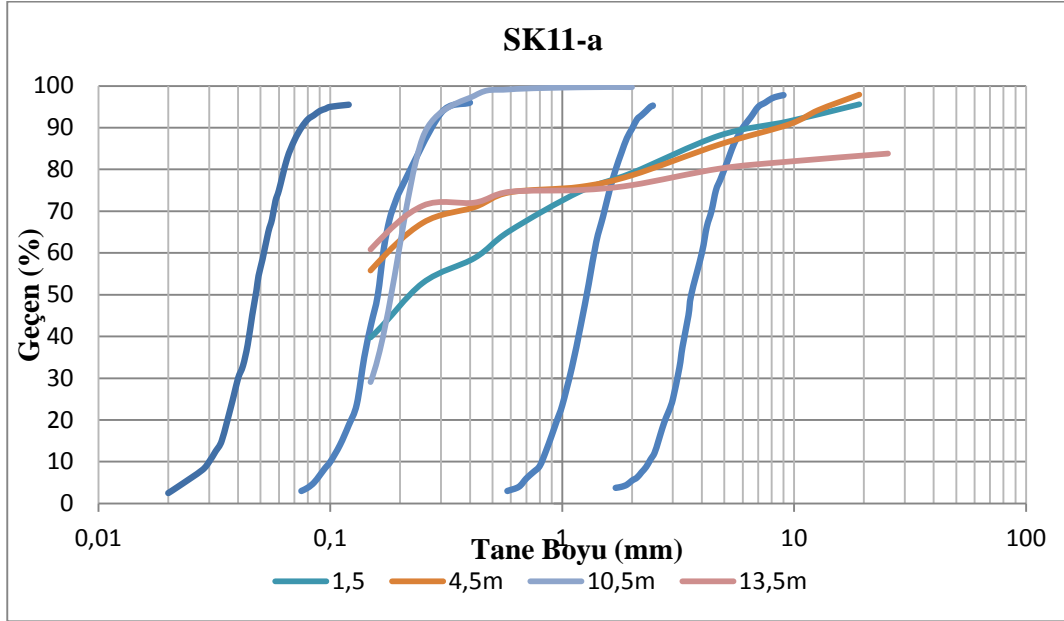
EK-20 Çalışma alanı tane boyu dağılımı açısından sınıflaşmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a:Cu < 6, b: Cu > 6) (Devam)



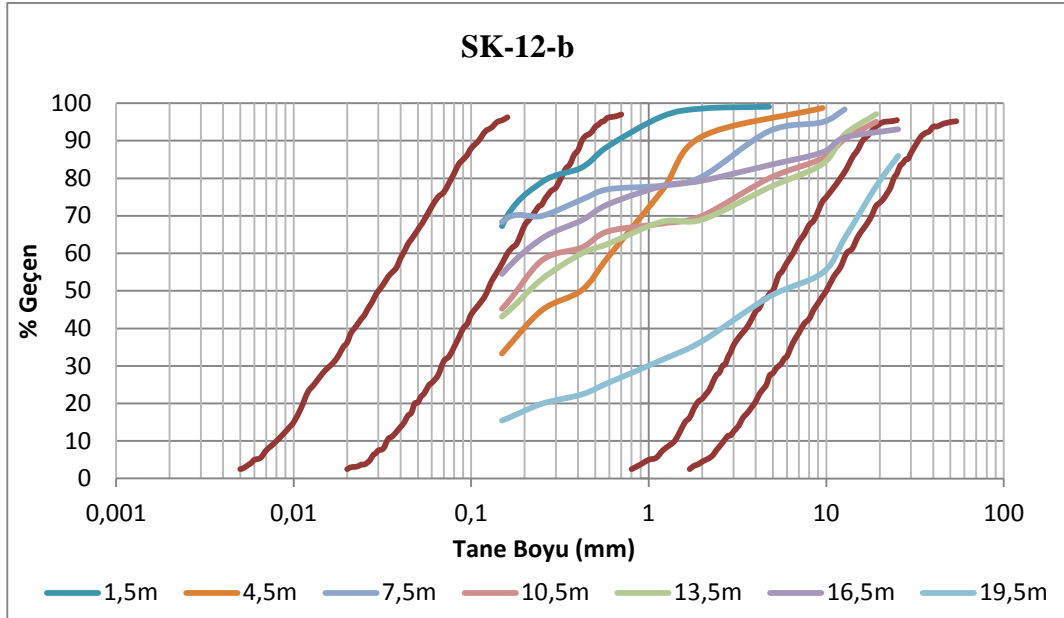
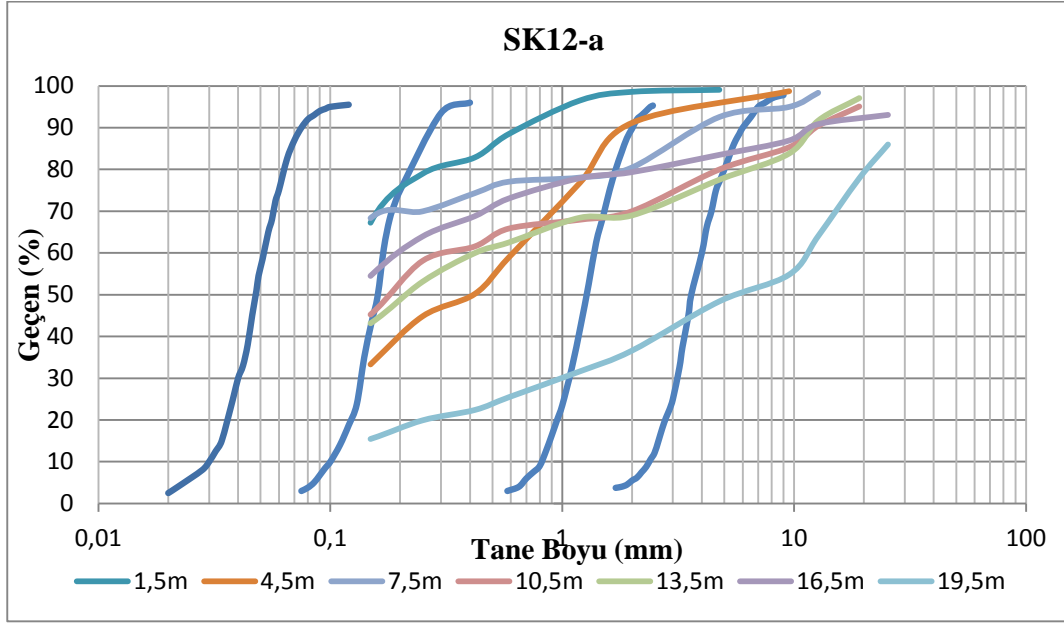
EK-20 Çalışma alanı tane boyu dağılımı açısından sınıflaşmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a:Cu < 6, b: Cu > 6 ) (Devam)



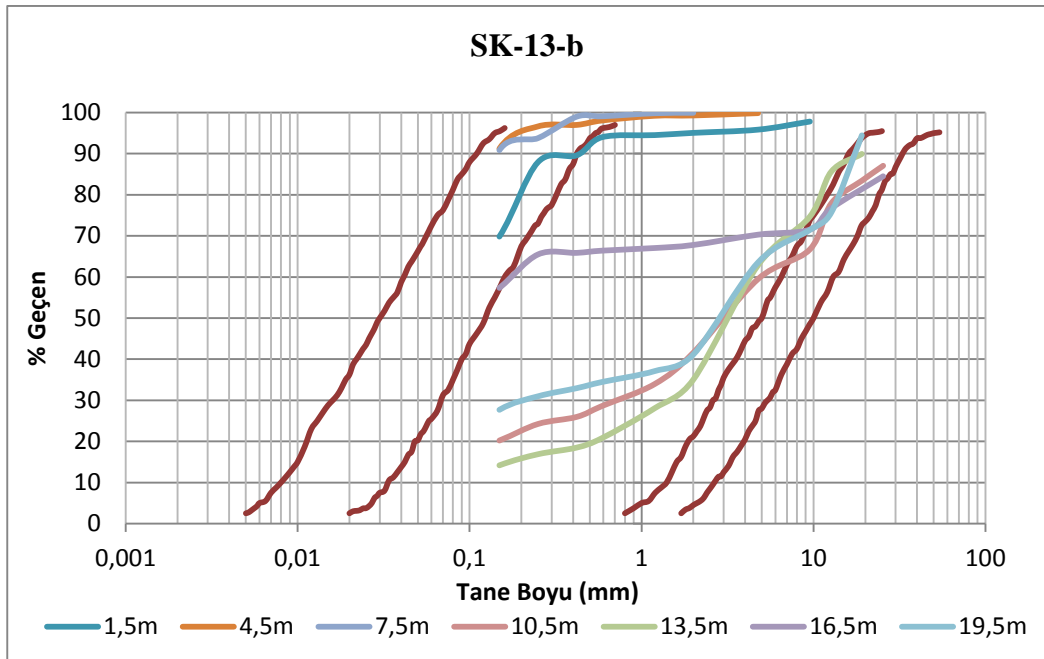
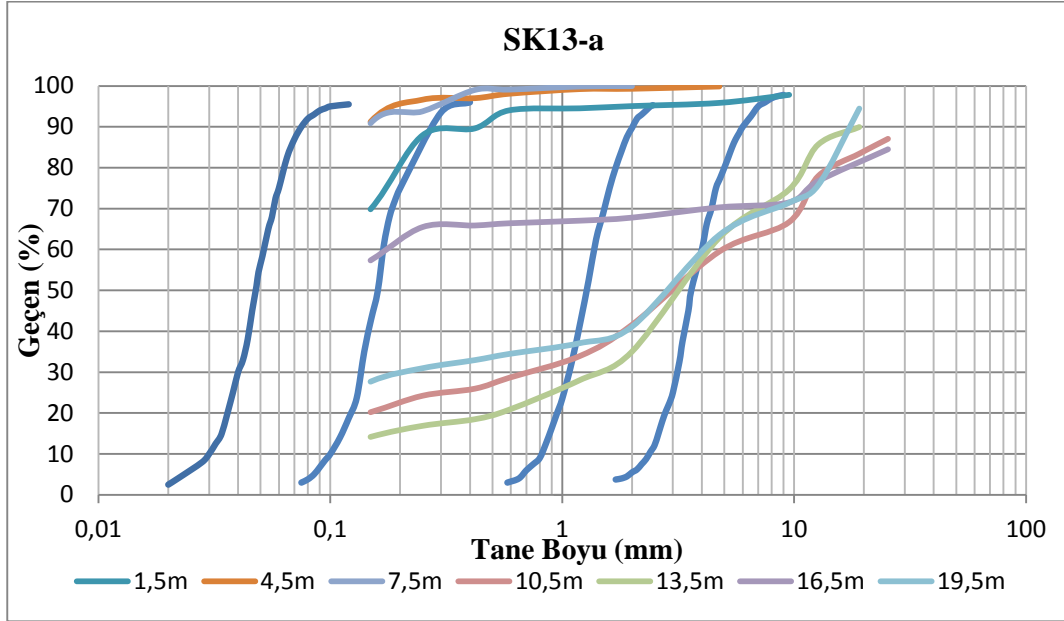
EK-20 Çalışma alanı tane boyu dağılımı açısından sıvılaştırmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a:Cu < 6, b: Cu > 6 ) (Devam)



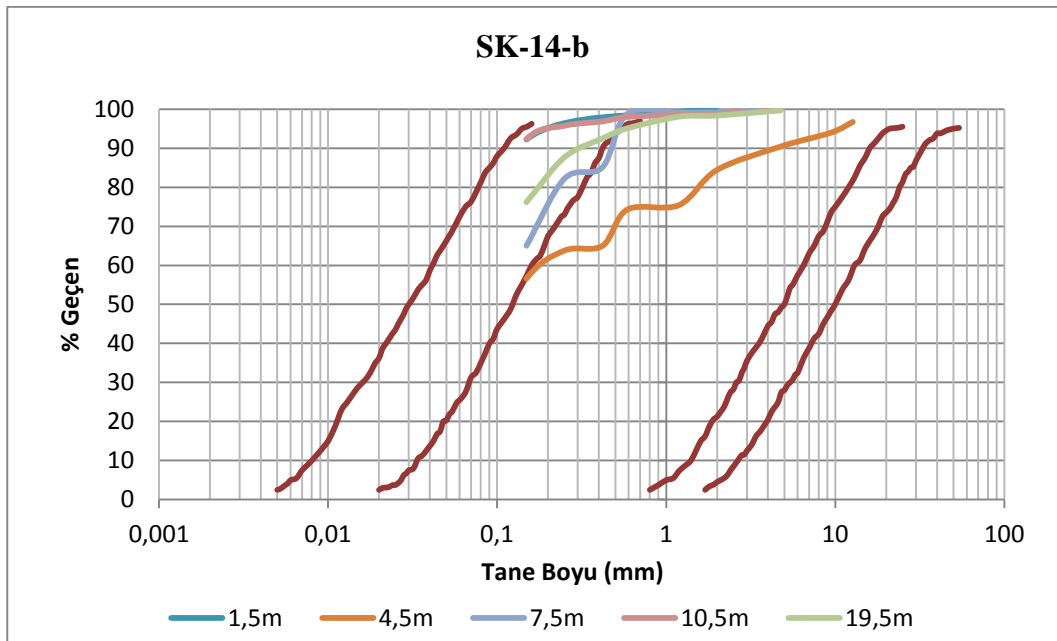
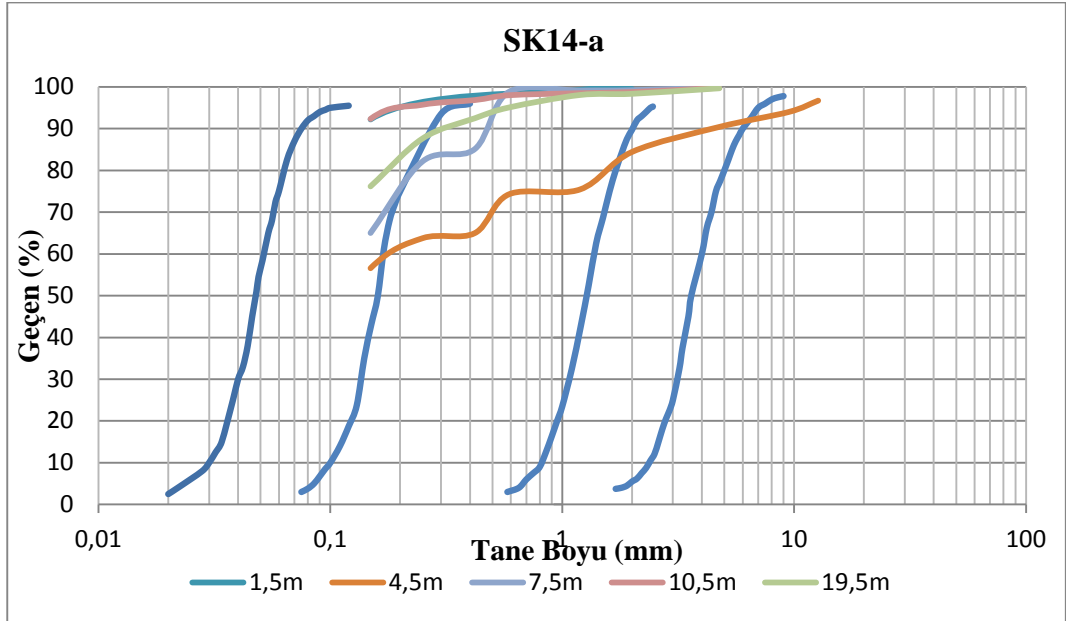
EK-20 Çalışma alanı tane boyu dağılımı açısından sıvılaştırmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a:Cu < 6, b: Cu > 6 ) (Devam)



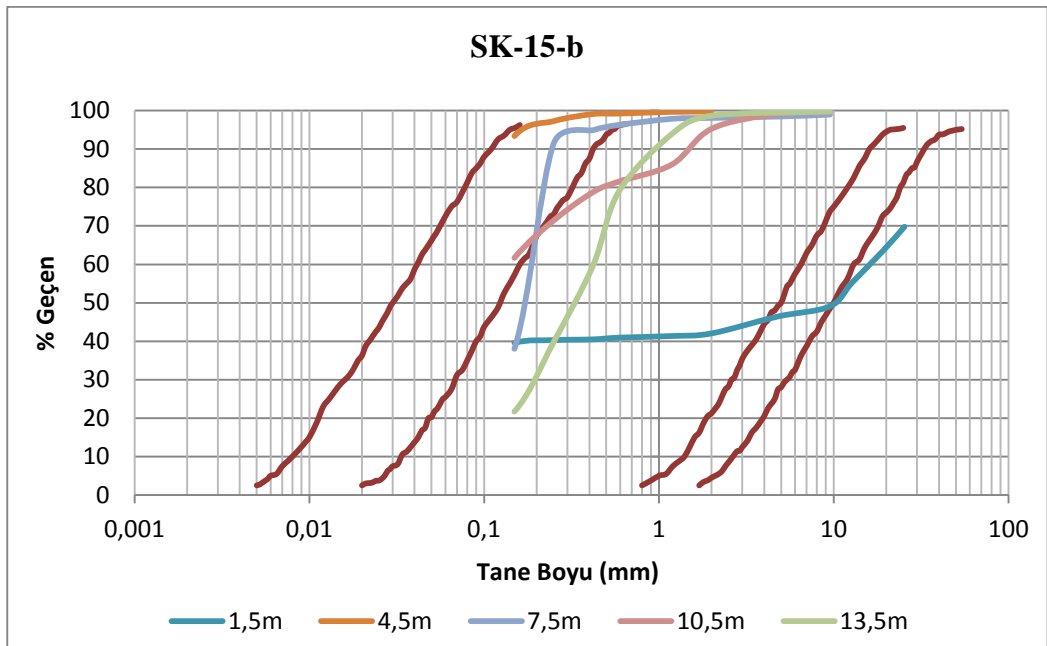
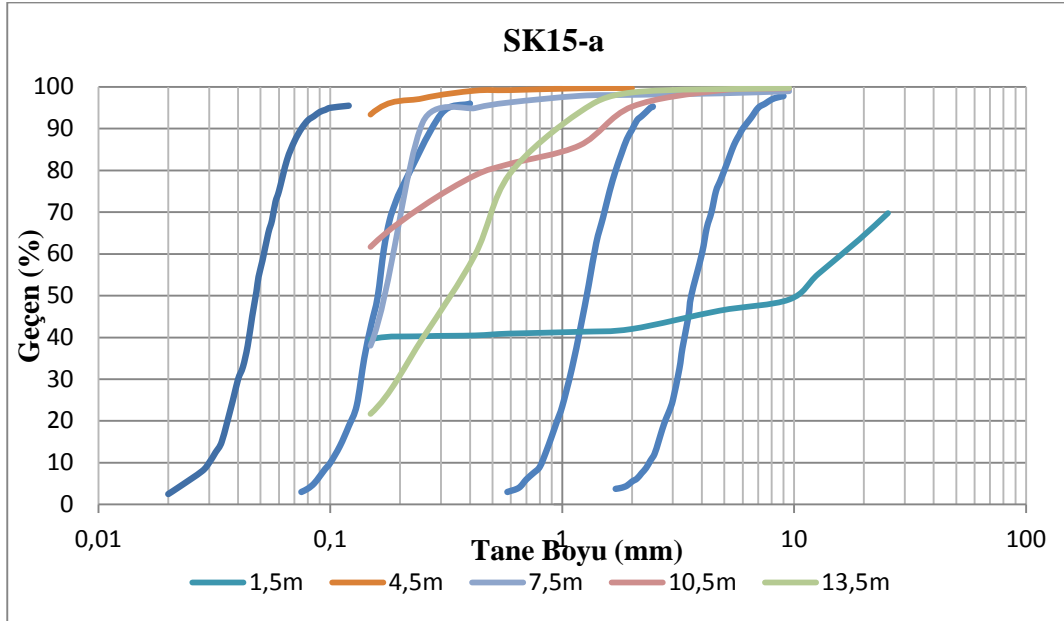
EK-20 Çalışma alanı tane boyu dağılımı açısından sıvılaştırmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a:Cu < 6, b: Cu > 6 ) (Devam)



EK-20 Çalışma alanı tane boyu dağılımı açısından sınıflaşmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a:Cu < 6, b: Cu > 6 ) (Devam)



EK-20 Çalışma Alanı tane boyu dağılımı açısından sınıflaşmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılım eğrileri (a:Cu < 6, b: Cu > 6 ) (Devam)



EK-21 Vs dalga hızı kullanılarak sıvılaşma hesabı

Masw No	Derinlik (m)	BHA(gr/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$ (kPa)	$\sigma'$ (kPa)	$r_d$	CSR	VS (m/sn)	VS1 (m/sn)	İTO	VS1* (m/sn)	CRR	F <sub>s</sub>
1	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	255.0	254.41	13.82	210.59	0.07	0.26
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	112.0	107.56	17.69	208.66	0.03	0.09
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	303.0	280.49	13.21	210.90	0.12	0.40
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	451.0	403.07	13.21	210.90	0.34	1.06
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	498.0	430.98	29.36	202.82	0.39	1.26
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	517.0	433.78	29.36	202.82	0.40	1.35
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	513.0	418.28	29.36	202.82	0.37	1.35
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	506.0	400.95	29.36	202.82	0.33	1.32
2	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	308.0	307.28	13.82	210.59	0.17	0.66
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	429.0	411.98	17.69	208.66	0.35	1.23
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	489.0	452.67	13.21	210.90	0.43	1.41
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	491.0	438.82	13.21	210.90	0.40	1.28
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	465.0	402.42	29.36	202.82	0.34	1.08
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	431.0	361.63	29.36	202.82	0.26	0.90
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	410.0	334.30	29.36	202.82	0.22	0.80
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	398.0	315.37	29.36	202.82	0.19	0.73
3	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	308.0	307.28	5.82	214.59	0.17	0.65
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	273.0	262.17	5.83	214.59	0.08	0.28
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	257.0	237.91	5.83	214.59	-0.01	-0.02
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	321.0	286.89	9.57	212.72	0.13	0.42
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	404.0	349.63	5.56	214.72	0.24	0.78
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	440.0	369.18	5.56	214.72	0.27	0.94
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	446.0	363.65	5.56	214.72	0.26	0.98
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	469.0	371.63	5.56	214.72	0.28	1.11
4	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	265.0	264.38	5.82	214.59	0.09	0.34
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	344.0	330.35	5.83	214.59	0.21	0.72
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	397.0	367.50	5.83	214.59	0.27	0.88
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	427.0	381.62	9.57	212.72	0.30	0.94
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	488.0	422.32	5.56	214.72	0.37	1.20
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	502.0	421.20	5.56	214.72	0.37	1.27
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	609.0	496.56	5.56	214.72	0.53	1.95
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	694.0	549.92	5.56	214.72	0.65	2.59
5	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	282.0	281.34	44.97	200.00	0.13	0.50
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	413.0	396.61	17.58	208.71	0.32	1.13
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	484.0	448.04	21.92	206.54	0.42	1.38
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	506.0	452.23	21.92	206.54	0.43	1.37
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	510.0	441.36	26.11	204.45	0.41	1.33
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	537.0	450.57	24.44	205.28	0.43	1.47

EK-21 Vs dalga hızı kullanılarak sıvılaşma hesabı (Devam)

Masw No	Derinlik (m)	BHA(gr/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$ (kPa)	$\sigma'$ (kPa)	rd	CSR	VS (m/sn)	VSI (m/sn)	İTO	VSI* (m/sn)	CRR	F <sub>s</sub>
5	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	611.0	498.19	30.49	202.26	0.53	1.96
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	708.0	561.01	30.49	202.26	0.68	2.70
6	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	315.0	314.27	11.54	211.73	0.18	0.70
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	427.0	410.06	23.01	206.00	0.35	1.21
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	453.0	419.34	6.03	214.49	0.37	1.19
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	460.0	411.11	6.03	214.49	0.35	1.11
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	525.0	454.34	11.36	211.82	0.44	1.41
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	632.0	530.27	18.46	208.27	0.60	2.07
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	715.0	582.99	75.69	200.00	0.74	2.72
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	789.0	625.19	75.69	200.00	0.85	3.37
7	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	266.0	265.38	11.54	211.73	0.09	0.36
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	366.0	351.48	23.01	206.00	0.24	0.85
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	430.0	398.05	6.03	214.49	0.33	1.06
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	468.0	418.26	6.03	214.49	0.36	1.15
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	510.0	441.36	11.36	211.82	0.41	1.32
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	545.0	457.28	18.46	208.27	0.44	1.52
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	602.0	490.85	75.69	200.00	0.51	1.90
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	677.0	536.45	75.69	200.00	0.62	2.46
8	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	327.0	326.24	44.97	200.00	0.20	0.79
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	393.0	377.41	17.58	208.71	0.29	1.01
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	437.0	404.53	21.92	206.54	0.34	1.10
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	540.0	482.61	21.92	206.54	0.50	1.57
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	639.0	553.00	26.11	204.45	0.66	2.13
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	686.0	575.58	24.44	205.28	0.72	2.45
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	717.0	584.62	30.49	202.26	0.74	2.73
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	724.0	573.69	30.49	202.26	0.71	2.83
9	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	192.0	191.55	31.86	201.57	0.35	1.34
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	304.0	291.94	19.93	207.54	0.14	0.50
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	463.0	428.60	19.93	207.54	0.38	1.25
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	558.0	498.70	19.90	207.55	0.53	1.68
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	585.0	506.27	45.35	200.00	0.55	1.77
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	583.0	489.16	26.24	204.38	0.51	1.75
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	561.0	457.42	11.50	211.75	0.44	1.63
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	533.0	422.34	11.50	211.75	0.37	1.48
10	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	285.0	284.34	8.68	213.16	0.13	0.50
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	398.0	382.21	25.95	204.53	0.30	1.04
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	470.0	435.08	5.88	214.56	0.40	1.29
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	497.0	444.18	5.88	214.56	0.42	1.32
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	518.0	448.29	13.92	210.54	0.42	1.37

EK-21 Vs dalga hızı kullanılarak sıvılaşma hesabı (Devam)

Masw No	Derinlik (m)	BHA(gr/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$ (kPa)	$\sigma'$ (kPa)	$r_d$	CSR	VS (m/sn)	VS1 (m/sn)	İTO	VS1* (m/sn)	CRR	F <sub>s</sub>
10	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	548.0	459.80	20.03	207.49	0.45	1.53
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	587.0	478.62	30.26	202.37	0.49	1.80
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	650.0	515.05	30.26	202.37	0.57	2.26
11	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	348.0	347.19	21.00	207.00	0.24	0.92
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	464.0	445.59	16.26	209.37	0.42	1.45
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	413.0	382.31	16.26	209.37	0.30	0.97
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	388.0	346.77	28.06	203.47	0.24	0.75
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	470.0	406.75	39.85	200.00	0.34	1.11
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	626.0	525.24	24.42	205.29	0.59	2.03
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	756.0	616.42	25.64	204.68	0.82	3.04
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	848.0	671.94	25.64	204.68	0.98	3.90
12	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	262.0	261.39	31.86	201.57	0.09	0.36
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	312.0	299.62	19.93	207.54	0.16	0.55
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	376.0	348.06	19.93	207.54	0.24	0.77
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	434.0	387.88	19.90	207.55	0.31	0.98
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	470.0	406.75	45.35	200.00	0.34	1.11
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	508.0	426.23	26.24	204.38	0.38	1.30
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	544.0	443.56	11.50	211.75	0.41	1.53
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	564.0	446.91	11.50	211.75	0.42	1.67
13	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	331.0	330.23	21.00	207.00	0.21	0.81
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	457.0	438.87	16.26	209.37	0.41	1.41
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	487.0	450.82	16.26	209.37	0.43	1.39
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	460.0	411.11	28.06	203.47	0.35	1.11
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	463.0	400.69	39.85	200.00	0.33	1.07
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	514.0	431.27	24.42	205.29	0.39	1.34
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	586.0	477.81	25.64	204.68	0.49	1.80
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	630.0	499.20	25.64	204.68	0.53	2.12
14	5.3	2.0	103.88	100.92	0.96	0.26	269.0	268.39	48.93	200.00	0.11	0.42
	7.0	2.0	137.20	117.44	0.95	0.29	340.0	326.61	72.76	200.00	0.20	0.71
	8.9	2.0	174.44	135.90	0.92	0.31	412.0	381.58	8.93	213.04	0.30	0.96
	11.0	2.0	215.60	156.31	0.88	0.32	475.0	424.81	8.93	213.04	0.38	1.19
	13.2	2.0	258.72	177.70	0.82	0.31	529.0	458.18	38.06	200.00	0.44	1.43
	15.6	2.0	305.76	201.02	0.74	0.29	554.0	465.26	47.52	200.00	0.46	1.57
	18.1	2.0	354.76	225.32	0.66	0.27	588.0	479.93	51.44	200.00	0.49	1.81
	20.9	2.0	409.64	252.53	0.60	0.25	632.0	501.35	51.44	200.00	0.54	2.13
15	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	269.0	268.37	0.52	215.00	0.10	0.37
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	355.0	340.91	18.77	208.12	0.23	0.79
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	439.0	406.38	18.77	208.12	0.34	1.11
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	508.0	454.01	1.43	215.00	0.44	1.38

EK-21 Vs dalga hızı kullanılarak sıvılaşma hesabı (Devam)

Masw No	Derinlik (m)	BHA(gr/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$ (kPa)	$\sigma'$ (kPa)	$r_d$	CSR	VS (m/sn)	VSI (m/sn)	İTO	VSI* (m/sn)	CRR	F <sub>s</sub>
15	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	548.0	474.25	6.70	214.15	0.48	1.54
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	604.0	506.78	7.46	213.77	0.55	1.88
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	669.0	545.48	7.46	213.77	0.64	2.37
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	736.0	583.20	10.86	212.07	0.74	2.92
16	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	410.0	409.05	0.52	215.00	0.35	1.35
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	456.0	437.91	18.77	208.12	0.40	1.40
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	579.0	535.98	18.77	208.12	0.62	2.01
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	689.0	615.78	1.43	215.00	0.82	2.61
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	732.0	633.49	6.70	214.15	0.87	2.82
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	698.0	585.65	7.46	213.77	0.74	2.54
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	642.0	523.47	7.46	213.77	0.59	2.17
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	557.0	441.36	10.86	212.07	0.41	1.63
17	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	324.0	323.25	7.31	213.85	0.20	0.76
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	388.0	372.60	21.82	206.59	0.28	0.98
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	400.0	370.28	21.89	206.56	0.28	0.90
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	450.0	402.18	7.01	214.00	0.33	1.06
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	514.0	444.82	5.80	214.60	0.42	1.35
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	574.0	481.61	23.86	205.57	0.49	1.69
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	616.0	502.27	34.92	200.04	0.54	1.99
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	630.0	499.20	34.92	200.04	0.53	2.12
18	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	213.0	212.50	16.88	209.06	-0.73	-2.82
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	271.0	260.25	45.91	200.00	0.09	0.32
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	287.0	265.68	32.79	201.11	0.10	0.33
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	284.0	253.82	32.79	201.11	0.08	0.25
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	303.0	262.22	33.50	200.75	0.10	0.31
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	326.0	273.53	36.20	200.00	0.12	0.40
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	354.0	288.64	10.47	212.27	0.14	0.51
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	372.0	294.77	10.47	212.27	0.15	0.59
19	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	268.0	267.38	71.16	200.00	0.11	0.41
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	259.0	248.72	18.27	208.37	0.06	0.19
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	303.0	280.49	43.04	200.00	0.13	0.42
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	353.0	315.49	43.04	200.00	0.19	0.59
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	394.0	340.97	13.24	210.88	0.23	0.73
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	422.0	354.08	13.24	210.88	0.25	0.85
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	434.0	353.87	13.24	210.88	0.25	0.92
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	441.0	349.44	13.24	210.88	0.24	0.95
20	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	300.0	299.30	71.16	200.00	0.16	0.62
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	355.0	340.91	18.27	208.37	0.23	0.79

EK-21 Vs dalga hızı kullanılarak sıvılaşma hesabı (Devam)

Masw No	Derinlik (m)	BHA(gr/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$ (kPa)	$\sigma'$ (kPa)	$r_d$	CSR	VS (m/sn)	VS1 (m/sn)	İTO	VS1* (m/sn)	CRR	F <sub>s</sub>
20	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	409.0	378.61	43.04	200.00	0.29	0.95
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	431.0	385.20	43.04	200.00	0.30	0.96
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	449.0	388.57	13.24	210.88	0.31	1.00
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	479.0	401.90	13.24	210.88	0.33	1.14
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	508.0	414.21	13.24	210.88	0.36	1.32
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	543.0	430.27	13.24	210.88	0.39	1.54
21	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	300.0	299.30	35.42	200.00	0.16	0.62
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	298.0	286.18	23.17	205.92	0.14	0.47
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	335.0	310.11	10.92	212.04	0.17	0.57
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	393.0	351.23	10.92	212.04	0.24	0.77
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	435.0	376.46	40.12	200.00	0.29	0.93
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	452.0	379.25	40.12	200.00	0.29	1.01
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	451.0	367.73	40.12	200.00	0.27	1.01
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	439.0	347.86	40.12	200.00	0.24	0.95
22	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	191.0	190.56	71.16	200.00	0.36	1.40
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	248.0	238.16	18.27	208.37	0.02	0.07
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	350.0	324.00	43.04	200.00	0.20	0.65
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	383.0	342.30	43.04	200.00	0.23	0.73
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	473.0	409.34	13.24	210.88	0.35	1.12
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	495.0	415.33	13.24	210.88	0.36	1.23
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	515.0	419.91	13.24	210.88	0.37	1.36
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	549.0	435.02	13.24	210.88	0.40	1.58
23	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	214.0	213.50	71.16	200.00	-0.12	-0.47
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	266.0	255.45	18.27	208.37	0.07	0.25
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	333.0	308.26	43.04	200.00	0.17	0.57
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	397.0	354.81	43.04	200.00	0.25	0.79
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	463.0	400.69	13.24	210.88	0.33	1.07
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	506.0	424.56	13.24	210.88	0.38	1.29
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	517.0	421.54	13.24	210.88	0.37	1.37
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	519.0	411.25	13.24	210.88	0.35	1.39
24	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	201.0	200.53	35.42	200.00	-5.19	-20.1
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	236.0	226.64	23.17	205.92	-0.03	-0.12
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	315.0	291.60	10.92	212.04	0.14	0.46
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	379.0	338.72	10.92	212.04	0.22	0.70
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	445.0	385.11	40.12	200.00	0.30	0.98
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	446.0	374.21	40.12	200.00	0.28	0.97
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	512.0	417.47	40.12	200.00	0.36	1.34
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	585.0	463.55	40.12	200.00	0.46	1.81

EK-21 Vs dalga hızı kullanılarak sıvılaştırma hesabı (Devam)

Masw No	Derinlik (m)	BHA (gr/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$ (kPa)	$\sigma'$ (kPa)	rd	CSR	VS (m/sn)	VSI (m/sn)	İTO	VSI* (m/sn)	CRR	Fs
25	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	204.0	203.52	35.42	200.00	-0.72	-2.78
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	277.0	266.01	23.17	205.92	0.10	0.34
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	321.0	297.15	10.92	212.04	0.15	0.49
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	354.0	316.38	10.92	212.04	0.18	0.58
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	393.0	340.11	40.12	200.00	0.23	0.73
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	434.0	364.14	40.12	200.00	0.27	0.91
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	477.0	388.93	40.12	200.00	0.31	1.15
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	477.0	377.97	40.12	200.00	0.29	1.16
26	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	203.0	202.53	35.42	200.00	-1.03	-4.00
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	304.0	291.94	23.17	205.92	0.15	0.51
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	370.0	342.51	10.92	212.04	0.23	0.74
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	389.0	347.66	10.92	212.04	0.24	0.75
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	393.0	340.11	40.12	200.00	0.23	0.73
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	411.0	344.85	40.12	200.00	0.23	0.80
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	449.0	366.10	40.12	200.00	0.27	1.00
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	496.0	393.02	40.12	200.00	0.32	1.26
27	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	260.0	259.39	71.16	200.00	0.09	0.35
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	281.0	269.85	18.27	208.37	0.10	0.36
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	311.0	287.89	43.04	200.00	0.14	0.46
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	346.0	309.23	43.04	200.00	0.18	0.56
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	385.0	333.19	13.24	210.88	0.21	0.69
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	421.0	353.24	13.24	210.88	0.25	0.85
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	450.0	366.92	13.24	210.88	0.27	1.00
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	478.0	378.76	13.24	210.88	0.29	1.16
28	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	197.0	196.54	35.42	200.00	0.88	3.42
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	279.0	267.93	23.17	205.92	0.10	0.36
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	349.0	323.07	10.92	212.04	0.20	0.64
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	407.0	363.75	10.92	212.04	0.26	0.84
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	453.0	392.03	40.12	200.00	0.32	1.02
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	431.0	361.63	40.12	200.00	0.26	0.90
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	464.0	378.33	40.12	200.00	0.29	1.08
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	510.0	404.12	40.12	200.00	0.34	1.34
29	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	387.0	386.10	35.42	200.00	0.31	1.19
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	452.0	434.07	23.17	205.92	0.40	1.38
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	426.0	394.35	10.92	212.04	0.32	1.04
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	424.0	378.94	10.92	212.04	0.29	0.92
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	486.0	420.59	40.12	200.00	0.37	1.19
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	591.0	495.87	40.12	200.00	0.53	1.80

EK-21 Vs dalga hızı kullanılarak sıvılaşma hesabı (Devam)

Masw No	Derinlik (m)	BHA(gr/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$ (kPa)	$\sigma'$ (kPa)	rd	CSR	VS (m/sn)	VS1 (m/sn)	iTO	VS1* (m/sn)	CRR	F <sub>s</sub>
29	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	655.0	534.07	40.12	200.00	0.61	2.27
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	698.0	553.09	40.12	200.00	0.66	2.62
30.0	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	183.0	182.57	71.16	200.00	0.22	0.85
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	309.0	296.74	18.27	208.37	0.15	0.53
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	396.0	366.58	43.04	200.00	0.27	0.88
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	446.0	398.60	43.04	200.00	0.33	1.04
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	455.0	393.76	13.24	210.88	0.32	1.03
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	548.0	459.80	13.24	210.88	0.45	1.53
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	599.0	488.41	13.24	210.88	0.51	1.88
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	644.0	510.30	13.24	210.88	0.56	2.22
31	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	154.0	153.64	63.99	200.00	0.09	0.37
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	328.0	314.99	60.87	200.00	0.19	0.64
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	428.0	396.20	15.42	209.79	0.32	1.05
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	453.0	404.86	15.42	209.79	0.34	1.07
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	433.0	374.73	8.86	213.07	0.28	0.92
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	476.0	399.38	47.24	200.00	0.33	1.13
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	469.0	382.41	18.44	208.28	0.30	1.10
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	555.0	439.77	18.44	208.28	0.41	1.62
32	5.3	2.0	103.88	100.94	0.96	0.26	246.0	245.43	34.95	200.03	0.06	0.23
	7.0	2.0	137.20	117.58	0.95	0.29	301.0	289.06	41.32	200.00	0.14	0.50
	8.9	2.0	174.44	136.18	0.92	0.31	308.0	285.12	73.97	200.00	0.14	0.44
	11.0	2.0	215.60	156.74	0.88	0.32	364.0	325.32	73.97	200.00	0.20	0.64
	13.2	2.0	258.72	178.28	0.82	0.31	396.0	342.71	70.00	200.00	0.23	0.74
	15.6	2.0	305.76	201.77	0.74	0.29	423.0	354.91	65.00	200.00	0.25	0.86
	18.1	2.0	354.76	226.25	0.66	0.27	439.0	357.95	60.74	200.00	0.26	0.95
	20.9	2.0	409.64	253.66	0.60	0.25	452.0	358.16	60.74	200.00	0.26	1.02

Ek-22 Çalışma alanı LPI hesaplamaları

SK	Derinlik (m)	SPT-N	YASS (m)	YASS/z	P	LPI	Sıvılaşma Y: Yok V: Var
1	7.5	30	5.85	0.78	1	0.567722	V
	10.5	40	5.85	0.557143	1	0.50153	V
	13.5	41	5.85	0.433333	0	0.356472	Y
	16.5	51	5.85	0.354545	0	0.305411	Y
	19.5	51	5.85	0.3	0	0.305411	Y
2	7.5	49	5.25	0.7	1	0.454143	Y
	10.5	51	5.25	0.5	0	0.305411	Y
	13.5	51	5.25	0.388889	0	0.305411	Y
	16.5	51	5.25	0.318182	0	0.305411	Y
	19.5	51	5.25	0.269231	0	0.305411	Y
3	7.5	27	4.82	0.642667	1	0.59168	V
	10.5	29	4.82	0.459048	0	0.436124	Y
	13.5	51	4.82	0.357037	0	0.305411	Y
	16.5	51	4.82	0.292121	0	0.305411	Y
	19.5	17	4.82	0.247179	0	0.555778	V
4	4.5	16	4.25	0.944444	1	0.708442	V
	7.5	36	4.25	0.566667	1	0.525905	V
	10.5	38	4.25	0.404762	0	0.374093	Y
	13.5	51	4.25	0.314815	0	0.305411	Y
	16.5	51	4.25	0.257576	0	0.305411	Y
	19.5	51	4.25	0.217949	0	0.305411	Y
5	4.5	51	3.2	0.711111	1	0.444734	Y
	7.5	51	3.2	0.426667	0	0.305411	Y
	10.5	51	3.2	0.304762	0	0.305411	Y
	13.5	51	3.2	0.237037	0	0.305411	Y
	16.5	51	3.2	0.193939	0	0.305411	Y
	19.5	51	3.2	0.164103	0	0.305411	Y
6	4.5	51	3.2	0.711111	1	0.444734	Y
	7.5	51	3.2	0.426667	0	0.305411	Y
	10.5	51	3.2	0.304762	0	0.305411	Y
	13.5	51	3.2	0.237037	0	0.305411	Y
	16.5	51	3.2	0.193939	0	0.305411	Y
	19.5	20	3.2	0.164103	0	0.519773	V
7	4.5	21	2.95	0.655556	1	0.648218	V
	7.5	51	2.95	0.393333	0	0.305411	Y
	10.5	51	2.95	0.280952	0	0.305411	Y
	13.5	51	2.95	0.218519	0	0.305411	Y
	16.5	51	2.95	0.178788	0	0.305411	Y
	19.5	49	2.95	0.151282	0	0.314821	Y

Ek-22 Çalışma alanı LPI hesaplamaları (Devam)

SK	Derinlik (m)	SPT-N	YASS (m)	YASS/z	P	LPI	Sıvılaşma Y: Yok V: Var
8	4.5	25	3.2	0.711111	1	0.609084	V
	7.5	8	3.2	0.426667	0	0.718256	V
	10.5	54	3.2	0.304762	0	0.291928	Y
	13.5	75	3.2	0.237037	0	0.213534	Y
	16.5	75	3.2	0.193939	0	0.213534	Y
	19.5	75	3.2	0.164103	0	0.213534	Y
9	4.5	49	3.5	0.777778	1	0.454143	Y
	7.5	54	3.5	0.466667	0	0.291928	Y
	10.5	85	3.5	0.333333	0	0.183256	Y
	13.5	51	3.5	0.259259	0	0.305411	Y
	16.5	68	3.5	0.212121	0	0.237078	Y
	19.5	51	3.5	0.179487	0	0.305411	Y
10	4.5	50	3.85	0.855556	1	0.449394	Y
	7.5	27	3.85	0.513333	0	0.452357	Y
	10.5	51	3.85	0.366667	0	0.305411	Y
	13.5	51	3.85	0.285185	0	0.305411	Y
	16.5	64	3.85	0.233333	0	0.251576	Y
	19.5	35	3.85	0.197436	0	0.393073	Y
11	7.5	25	5.32	0.709333	1	0.609084	V
	10.5	36	5.32	0.506667	0	0.386582	Y
	13.5	84	5.32	0.394074	0	0.186128	Y
	16.5	51	5.32	0.322424	0	0.305411	Y
	19.5	51	5.32	0.272821	0	0.305411	Y
12	7.5	4	5.31	0.708	1	1.000641	V
	10.5	51	5.31	0.505714	0	0.305411	Y
	13.5	51	5.31	0.393333	0	0.305411	Y
	16.5	51	5.31	0.321818	0	0.305411	Y
	19.5	62	5.31	0.272308	0	0.259148	Y
13	7.5	28	5.32	0.709333	1	0.583427	V
	10.5	56	5.32	0.506667	0	0.283325	Y
	13.5	51	5.32	0.394074	0	0.305411	Y
	16.5	51	5.32	0.322424	0	0.305411	Y
	19.5	51	5.32	0.272821	0	0.305411	Y
14	4.5	33	4.48	0.995556	1	0.545919	V
	7.5	26	4.48	0.597333	0	0.600225	V
	10.5	9	4.48	0.426667	1	0.69335	V
	13.5	36	4.48	0.331852	0	0.386582	Y
	16.5	51	4.48	0.271515	0	0.305411	Y
	19.5	51	4.48	0.229744	0	0.305411	Y

Ek-22 Çalışma alanı LPI hesaplamaları (Devam)

SK	Derinlik (m)	SPT-N	YASS (m)	YASS/z	P	LPI	Sıvılaşma Y: Yok V: Var
15	7.5	30	5.2	0.693333	1	0.567722	V
	10.5	29	5.2	0.495238	0	0.436124	Y
	13.5	21	5.2	0.385185	0	0.508895	V
	16.5	51	5.2	0.315152	0	0.305411	Y
	19.5	51	5.2	0.266667	0	0.305411	Y

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Çiğdem CEYLAN  
**Doğum yeri ve Tarihi** : Malatya- 01.04.1974  
**Adres** : Hekimhan Mehmet Emin Sungur MYO  
Hekimhan / MALATYA  
**E-Posta** : cigdem.ceylan@inonu.edu.tr  
**Lisans** : Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği  
**Yüksek Lisans** : İnönü Üniversitesi Maden Mühendisliği  
**Mesleki Deneyim ve Ödüller** :  
**Yayın Listesi** :

- Ç. Ceylan, M. Önal, D. Eren Sarıcı, Malatya Güneyinde Bulunan Koltik Kireçtaşı'nın Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 7. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, 2015.
- A. Aksoğan Korkmaz, Ç. Dağdeviren, Ç. Sarıcı Özdemir Elbistan Termik Santrali Uçucu Kül Karakterizasyonu ve Adsorpsiyon Uygulamaları, 19. Kömür Kongresi, Zonguldak, 2014.
- Ç. Dağdeviren, A. Aksoğan Korkmaz, Ç. Sarıcı Özdemir Grafit içeren doğal kil ile boya adsorpsiyonu, 10. Ulusal Kimya Sempozyumu, Eskişehir, 2013.
- Ç. Sarıcı Özdemir, A. Aksoğan Korkmaz, Ç. Dağdeviren, Boya Adsorpsiyonunda Bentonit Kilinin Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, 11. Ulusal Kimya Kongresi, Eskişehir, 2014