



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**ILGIN (KONYA) YERLEŞİM ALANI**  
**ZEMİNLERİNİN JEOTEKNİK**  
**ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Nagihan ÖZLEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Eylül-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Nagihan ÖZLEN tarafından hazırlanan "İLGİN (KONYA) YERLEŞİM ALANI ZEMİNLERİNİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI" adlı tez çalışması 06/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Güler GÖÇMEZ

#### Danışman

Prof. Dr. Mahmut Tahir NALBANTÇILAR

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Turgay BEYAZ



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması KTÜN-BAP tarafından 191007016 nolu proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

  
Nagihan ÖZLEN

Tarih: 06.09.2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## ILGIN (KONYA) YERLEŞİM ALANI ZEMİNLERİNİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Nagihan ÖZLEN

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Mahmut Tahir NALBANTÇILAR

2019, 103 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Güler GÖÇMEZ  
Prof.Dr. Mahmut Tahir NALBANTÇILAR  
Dr. Öğr. Üyesi Turgay BEYAZ

Konya'nın kuzey batısında, 1. Derece deprem bölgesinde bulunan Ilgın ilçesi yerleşim alanında, temel birimler üzerinde yer alan kohezyonlu ve kohezyonsuz özellikteki zeminler ile bunların yeraltı suyuyla doygunlaşması önemli zemin problemlerine neden olmaktadır. Bu problemler zeminin sıkı-gevşek olmasına, yeraltı suyunun yüzeye yakın olmasına, yeraltı suyunun kimyasal özelliğine, zemin tane boyu dağılımına, zeminin kil içeriğine, zeminin üst yüzeyinde geçirimsiz bir örtü tabakasının bulunup-bulunmamasına ve boşluk suyu basıncının değerine bağlı olarak değişmektedir. Kohezyonsuz zeminler yeraltı suyu ve deprem etkisiyle taşıma gücü kaybı, akma, kayma, aşırı oturma, sıvılaşma ve benzeri birçok zemin problemlerine yol açtığı bilinmektedir. Bu öngörüler çerçevesinde inceleme alanındaki zeminlerin özellikleri, zemin mekaniği ve mühendisliği prensiplerine uygun olarak, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) gibi arazi yöntemlerini kullanan gerilme yaklaşımı ve ilgili laboratuvar deneyleri ile araştırılmıştır. Laboratuvar deneyleri sonucunda yapılan taşıma gücü hesaplamalarında emniyetli taşıma gücünün  $0.74 \text{ kg/cm}^2$  ile  $1.59 \text{ kg/cm}^2$  aralığında, oturma miktarının 8.31 cm ile 17.41 cm aralığında ve sıvılaşma enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu veriler ışığında inceleme alanının taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma problemlerinin olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle elde edilen değerlere bağlı olarak yapıların planlanması gerekmektedir. Ayrıca olası deprem hasarlarını en aza indireyecek şekilde mevcut yapılarda statik durumlarında iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ilgın, Jeoteknik, Deprem, Sıvılaşma.

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **INVESTIGATION OF GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF SOILS OF THE ILGIN (KONYA) SETTLEMENT AREA**

**Nagihan ÖZLEN**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Geological Engineering**

**Advisor: Prof.Dr. Mahmut Tahir NALBANTÇILAR**

**2019, 103 Pages**

**Jury**

**Dr. Öğr. Üyesi Güler GÖÇMEZ  
Prof.Dr. Mahmut Tahir NALBANTÇILAR  
Dr. Öğr. Üyesi Turgay BEYAZ**

In the settlement area of Ilgın district, located in the 1st degree earthquake zone in the northwest of Konya, cohesion and non-cohesion soils on the basic units and their saturation with ground water cause important soil problems. These problems vary depending on the soil being tight-loose, the groundwater being close to the surface, the chemical property of the groundwater, the soil grain size distribution, the clay content of the ground, the presence of an impermeable cover layer on the upper surface and the value of the pore water pressure. It is known that cohesion free soils cause many ground problems such as loss of bearing capacity, flow, slip, excessive settling, liquefaction and similar effects due to groundwater and earthquake effects. Within the framework of these predictions, the properties of soils in the study area were investigated in accordance with the principles of soil mechanics and engineering, with the stress approach using field methods such as Standard Penetration Test (SPT) and related laboratory tests. As a result of laboratory tests, it was determined that the carrying capacity was between  $0.74 \text{ kg / cm}^2$  and  $1.59 \text{ kg / cm}^2$ , the sitting amount was between 8.31 cm and 17.41 cm and the liquefaction energy potential was high. In the light of these data, it was found that carrying area, settlement and liquefaction problems of the study area. Therefore, it is necessary to plan the structures depending on the obtained values. In addition, improvements to the static conditions of existing structures should be made to minimize possible earthquake damage.

**Keywords:** Ilgın, Geotechnics, Earthquake, Liquefaction.

## ÖNSÖZ

“İlgın (Konya) Yerleşim Alanı Zeminlerinin Jeoteknik Özelliklerinin Araştırılması” isimli bu çalışma Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nde 2014-2019 yılları arasında yürütülen yüksek lisans öğrenimi kapsamında hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında değerli görüşlerini ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. M. Tahir NALBANTÇILAR’a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu tezin hazırlanışında önemli katkılarda bulunan, Necmettin Erbakan Üniversitesi’nden Sayın Prof. Dr. Adnan ÖZDEMİR’e, Pamukkale Üniversitesi’nden Sayın Dr. Öğr. Üyesi Turgay BEYAZ’a, bölümümüz hocalarından Sayın Prof. Dr. Fetullah ARIK’a, Doç. Dr. Ayla BOZDAĞ’a, Dr. Öğr. Üyesi Güler GÖÇMEZ’e, Araş. Gör. Dr. Ali BOZDAĞ’a ve Araş. Gör. Dr. İsmail İNCE’ye teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın deneyleri aşamasında; Ankara Üniversitesi Zemin Laboratuvarından yararlanmamı sağlayan Sayın Prof. Dr. Kamil KAYABALI’na, katkılarını gördüğüm Jeoloji Mühendisi Deniz YILMAZ’a ve Guldeniz YILDIZ’a teşekkür ederim.

Bu araştırmanın yapılmasını finansal olarak destekleyen Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü’ne teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında her türlü desteği esirgemeyen, Ilgın Belediye Başkanı Sayın Yalçın ERTAŞ’a, Ilgın Ticaret Odası Başkanı Sayın Vehbi ÖZLEN’e, Sayın Özgür USLU’ya, Sayın Müslüm TUNÇ’a, Sayın Selçuk ÇOLAK’a, Sayın Abdullah BÜYÜKCAVLAK’a ve Sayın Mehmet GÖYNÜK’e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım süresince hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan annem Havana BENZER’e, ablam Hediye ÇEKÇİ’ye, kardeşlerim Gökhan ve Merve ÖZLEN’e ve eşim İsmail ÖZLEN’e sonsuz şükranlarımı sunar, teşekkürü borç bilirim.

Nagihan ÖZLEN  
KONYA-2019

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Çalışma Alanının Tanıtılması .....	2
1.3. İklim ve Bitki Örtüsü .....	3
1.4. Morfoloji, Akarsular ve Göller .....	3
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>5</b>
2.1. Jeolojik Çalışmalar .....	5
2.2. Jeoteknik Çalışmalar.....	8
2.3. Sıvılaşma Enerjisi Çalışmaları.....	10
<b>3. JEOLJİ .....</b>	<b>17</b>
3.1. Stratigrafi .....	18
3.1.1. Halıcı Formasyonu (Ch) .....	19
3.1.2. Katarası Formasyonu (Trk).....	19
3.1.3. Aşağıçiğil Formasyonu (Tmaş) .....	20
3.1.4. Bellekler Forasyonu (Tmbe).....	20
3.1.5. Alüvyon (Qal).....	20
3.2. Yapısal Jeoloji.....	20
3.2.1. İlgın Fayı.....	20
<b>4. BÖLGENİN DEPREMSELLİĞİ .....</b>	<b>22</b>
<b>5. HİDROJEOLJİ.....</b>	<b>25</b>
<b>6. JEOTEKNİK İNCELEMELER.....</b>	<b>28</b>
6.1. Arazi İncelemeleri.....	28
6.1.1. Araştırma Çukurları .....	29
6.1.2. Sondaj Kuyuları .....	29
6.1.3. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) .....	29
6.1.4. Örselememiş Örnek (UD) Alınması .....	31
6.2. Laboratuvar Çalışmaları .....	31
6.2.1. Doğal Su İçeriği .....	32
6.2.2. Doğal Birim Hacim Ağırlık .....	33

6.2.3. Özgül Ağırlık .....	33
6.2.4. Elek Analizi .....	34
6.2.5. Hidrometre .....	35
6.2.6. Atterberg Limitleri .....	35
6.2.7. Boşluk Oranı .....	36
6.2.8. Üç Eksenli Basınç .....	37
6.2.9. Kesme Kutusu .....	37
6.2.10. Konsolidasyon .....	38
6.2.11. Tekrarlı Dinamik Kesme .....	38
6.3. Jeoteknik Değerlendirme .....	39
6.3.1. Taşıma Gücü .....	39
6.3.2. Oturma .....	40
6.3.3. Kumlu Zemin Tabakalarının Sıvılaşma Enerjisi Özellikleri .....	43
<b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>54</b>
7.1. Sonuçlar .....	54
7.2. Öneriler .....	56
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>58</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>64</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>103</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\varepsilon$	: Birim deformasyon
E, e	: Boşluk Oranı
d	: Deformasyon
$\omega$	: Doğal Su İçeriği
$\gamma_n$	: Doğal Birim Hacim Ağırlık
$\sigma$	: Efektif Gerilme
$\varphi$	: İçsel Sürtünme Açısı
$H_s$	: Katı partiküllerin boyu
c	: Kohezyon
$C_v$	: Konsolidasyon Katsayısı
H	: Numune boyu
$H_0$	: Numunenin ilk boyu
$\sigma'_p$	: Ön Konsolidasyon Gerilmesi
Gs	: Özgül Ağırlık
K	: Potasyum
Dr	: Rölatif Sıkılık
$C_c$	: Sıkışma İndeksi
$C_r$	: Yeniden Sıkışma İndeksi
$d_f$	: Yükleme sonunda uzama cetvelinden okunan değişim miktarı
$\Sigma\Delta H$	: Yükleme sonucunda boydaki toplam değişim
Başlangıç	: Yükleme yapılmadan önce deformasyon ölçerden alınan okuma

### Kısaltmalar

Csb	: Kış ılık, yazı sıcak ve kurak iklim
DSİ	: Devlet Su İşleri
GB	: Güneybatı
GD	: Güneydoğu
KB	: Kuzeybatı
KD	: Kuzeydoğu
LL	: Likit Limit
MTA	: Maden Tetkik Arama
PI	: Plastisite İndisi
PL	: Plastik Limit
SK	: Sondaj Kuyusu
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
TS	: Türk Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UD	: Örselenmemiş Numune

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde ve tüm dünyada yerleşim alanlarının planlanmasında, zemin özellikleri açısından güvenli ve riskli olan bölgelerin tespit edilmesinin gerekliliği, özellikle deprem, heyelan, toprak kayması v.b. doğal afetler göz önüne alındığında oldukça önemlidir. Ülkemiz jeolojik özellikleri ile birçok doğal afet tehdidi ile yüz yüzedir. Özellikle, 1999 yılında meydana gelen Marmara Depreminden sonra, yapılaşma öncesinde, yapı, zemin ve çevre analizlerinin yapıldığı, ağırlıklı olarak yerel ölçekli mühendislik çalışmalarının önemi ve gerekliliği bir kez daha ortaya çıkmıştır.

Yapılaşma alanlarında meydana gelebilecek deprem gibi bir doğal afetin oluşturacağı etkileri önceden tahmin edebilmek ve doğal afetler sonucu oluşabilecek zararları en aza indirebilmek veya ortadan kaldırmak, o bölgenin jeolojik ve tektonik özelliklerini iyi tanımlamaktan ve iyi değerlendirmekten geçmektedir. Bu da yapılaşma öncesinde, gerekli zemin araştırmaları yapılarak, zeminin mühendislik özelliklerinin yanı sıra dinamik, yerel ve çevresel afetlerin, olası tehlike ve risklerinin analiz edilmesiyle sağlanabilir. Ayrıca bu özelliklerin bilinmesi ile yeni yerleşim alanları için imar planlarının oluşturulup yanlış arazi kullanımı önenebilir. Bu amaçla yapılan çalışmalar, kentte uygulanacak imar planlarının önemli bir altlığını da oluşturmaktadır. Bu çalışmada Ilgın'ın (Konya) hızla gelişen kentleşme sürecine rehber olması, mevcut yapı stoğunun yenilenmesi sürecinde ve kentsel dönüşüm projeleri için bir altlık oluşturulması, iş ve eylem planı için fikir vermesi amacıyla zeminin jeoteknik özelliklerinin yanı sıra yerleşime uygunluk değerlendirilmesi ve sivilaşma enerjisi özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

### 1.1. Çalışmanın Amacı

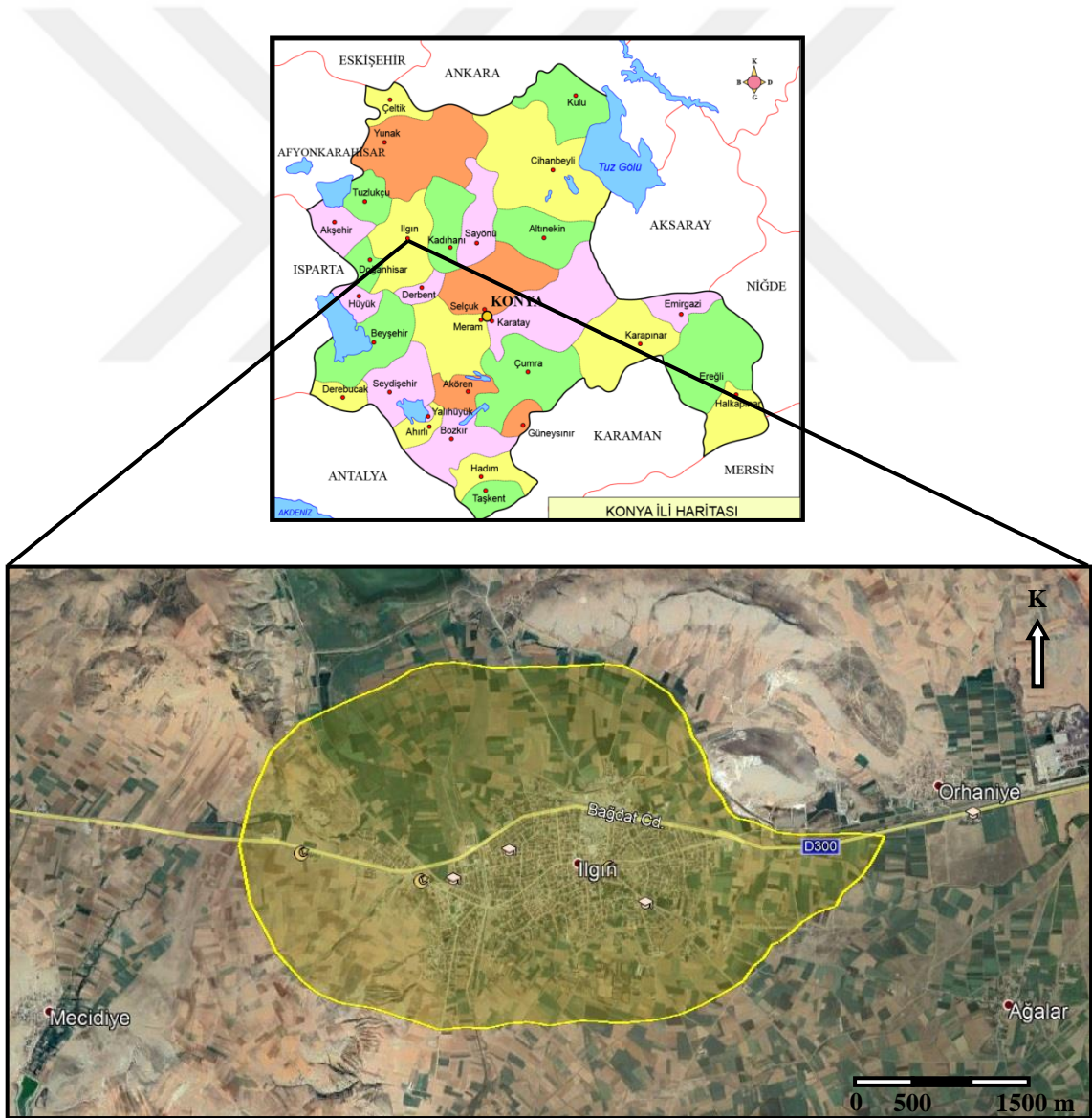
Ilgın ilçe merkezi yerleşim alanınının 1. Derece deprem bölgesinde yer alması, gelişmekte olan yapılaşmanın önünde önemli bir risk faktörü oluşturmakta, zeminin gevşek alüvyonlardan oluşması, sismik etkilerin sebep olduğu sivilaşma ve buna bağlı olarak oturma problemleri ile karşılaşılmasına neden olmaktadır. Bunların yanı sıra yeraltı seviyesinin yüzeye yakın olması zemin dayanımı oldukça düşürmektedir.

Bu tez kapsamında Ilgın yerleşim alanındaki yeraltı suyunun durumu ile zeminlerin jeolojik ve jeoteknik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen tüm verilere dayanarak bölgedeki zeminler sınıflandırılmıştır. Bu amaçla, inceleme alanında

jeoteknik amaçlı sondajlar yapılarak, standart penetrasyon deneyi darbe sayısı ile zeminlerin kıvamı ve sıklığı belirlenmiş, zemini temsil eden örnekler alınmış, bu örneklerin jeoteknik özellikleri laboratuvarında incelenmiştir. Bu veriler ışığında Ilgın yerleşim merkezindeki zeminlerin yerleşime uygunluk değerlendirilmesinin yapılması amaçlanmıştır.

## 1.2. Çalışma Alanının Tanıtılması

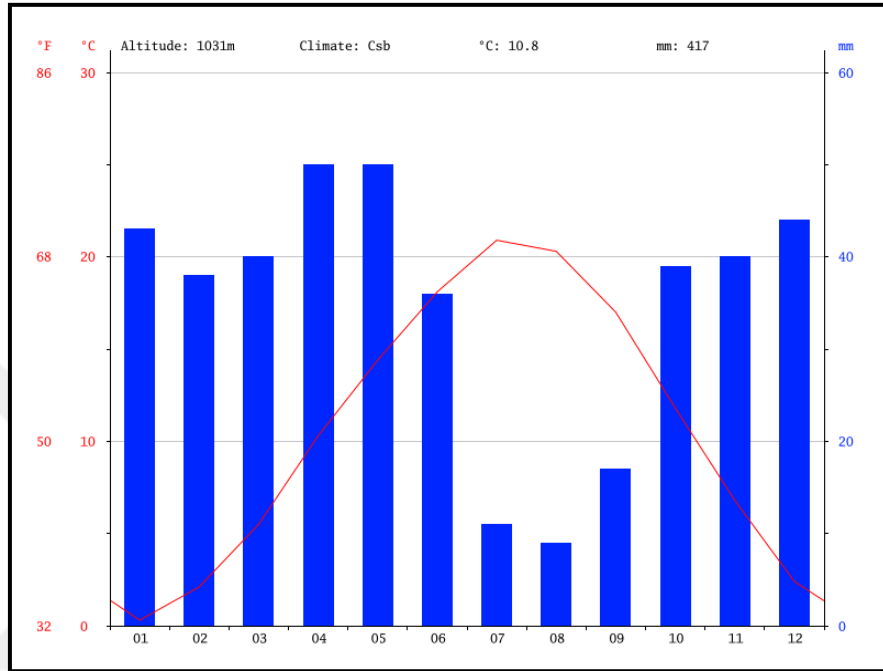
İnceleme alanı 1/100.000 ölçekli ILGIN-L27 paftasında, Konya'nın 90 km kuzeybatısındaki Ilgın ilçesinin yerleşim alanı ve yakın çevresini kapsayan yaklaşık 40 km<sup>2</sup>'lik bir alandır. Ilgın kuzeyinde; Yunak, güneyinde; Derbent, doğusunda; Kadınhanı batısında; Doğanhisar, Akşehir, Tuzlukçu ilçeleriyle çevrilidir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası (Google earth görüntüsü, 01.07.2019)

### 1.3. İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanı İç Anadolu bölgesinde bulunması itibariyle Karasal iklim hüküm sürer. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı geçer. Yağışlar kış aylarında kar sonbahar ve ilkbahar aylarında yağmur olarak yağar. Son 30 yıldaki yıllık yağış ortalaması 417 mm civarındadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. İnceleme alanının aylara göre sıcaklık-yağış grafiği (<https://tr.climate-data.org>)

Şekil 1.2 incelendiğinde Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Csb yani kışı ılık, yazı sıcak ve kurak iklim olarak adlandırılmıştır. İlgün ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 10.8, Ağustos ayı 9 mm yağışla yılın en kurak ayı, Nisan ayı ortalama 50 mm yağış miktarıyla en fazla yağışın görüldüğü aydır.

İlçenin bitki örtüsü tipik İç Anadolu bitkisi örtüsü olan bozkır olup genelde ilkbahar aylarında yeşerir haziran ayı sonlarında sararırlar. İlçenin güneyinde yer alan dağlarda karaçam, ardıç, meşe türlerini barındıran ormanlık alanlara rastlamak mümkündür.

### 1.4. Morfoloji, Akarsular ve Göller

İlgün'in yerleşim alanı genellikle düzlük olup, güney kesimleri dağlık alanlarla kaplıdır. Sultan dağlarının uzantısı güneybatıdan, Bozdağ'ın uzantısı güneydoğudan ilçe sınırlarına girer. Dağlık alanlarda yükselti 2000 metreye kadar ulaşır. Kuzeye doğru yükselti azalır.

Güneybatısında Sultan Dağlarının devamı olan Çiğil, Bulcuk ve Kembos dağları vardır. İlçenin kuzey bölümünde ise Tekne Dağı vardır. İlçenin kuzeydoğusunda ise Sivri Dağı ve güneybatısında Hamam Sırtı adında bir tepe bulunmaktadır. İlçenin dağlarının en yüksek noktası 1960 m. ile Dığrak Köyü civarındaki Ziyaret Tepesidir.

İlgın ilçe merkezi, geniş bir düzlük üzerine kurulmuştur. Orta kesimdeki bu düzlükler Ilgın Ovası olarak anılır.

İlçedeki Mahmuthisar Çayı, Çiğil Deresi, Bulcuk Deresi ve Deli Çayı önemli akarsularıdır. İlçenin kuzeybatısında yerleşim merkezine sınır olan 50 km<sup>2</sup> yüz ölçümüne sahip Ilgın (Çavuşçu) Gölü bulunmaktadır. Ayrıca Mecidiye Köyü Göleti ve Bulcuk Göleti ilçenin başlıca yapay gölleridir.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

İlgin ve yöresini kapsayan alanda bugüne kadar jeolojik ve jeoteknik amaçlı birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar kronolojik olarak aşağıda özetlenerek verilmiştir.

### 2.1. Jeolojik Çalışmalar

Yalçınlar (1952), Argıthanı, Ilgın Gölü ve Doğanhisar civarında Neojen birimlerini çalışmış, fosilli kireçtaşı ve karbonatlı kumtaşları, marn, kumtaşı ve kıltaşı, omurgalı fosillerini içeren kireçtaşı ve beyaz karbonatlı kumtaşlarını ayırtlamış, Argıthanı'nın 2,5 km güneyinde çeşitli omurgalı fosilleri toplamıştır. Bu fosillerin bulunuşu ile bölgede Neojen göl serisi içerisinde Geç Miyosen'e ait bir seviyenin mevcudiyetini belirtmiştir.

Brennich (1954), Akşehir (90/1,2,3,4) ve Ilgın (91/1, 91/3) paftalarına ilişkin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritalarını hazırlamış, en yaşlı kayalar olarak dolomitik mermer, koyu mavi-gri kireçtaşı, fillit ve killi şistleri göstermiştir. Şist ve fillit arasında ekaylanmış olarak ve yüksek tepelerde bir taban konglomerasıyla başladığı gözlenen kuvarsiti Paleozoyik istife dahil etmiştir.

Lebküchner (1969), Konya-İlgin-Aşağıçiğil-Yukarıçiğil sahasında 1/25.000 ölçekli detaylı jeolojik haritalama yapmıştır. Bölgedeki en yaşlı birimin Permien olduğunu ve aynı zamanda ana kayaç olan Permien'in üzerinde çeşitli transgresif Neojen serilerinin bulunduğunu belirtmiştir. Linyit zuhurlarının genel bir durumunu vermiş ve sondaj teklifinde bulunmuştur.

Şengör ve ark. (1985), Orta-Geç Miyosen sürecinde Bitlis/Zagros Kenet kuşağı boyunca Arabistan-Avrasya levhalarının çarpışmasıyla, Geç Miyosen'den itibaren İç Anadolu'da yanal atımın etken olduğu ova rejiminin oluşmaya başladığını belirtmişlerdir.

Umut ve ark. (1987), Tuzlukçu-İlgin-Doğanhisar-Doğanbey (Konya) dolayının jeoloji haritalarını ve inceleme alanının stratigrafisini çalışmışlardır.

Özcan ve ark. (1988), bölgesel ölçekli çalışmalarında Kütahya-Bolkardağı Kuşağı olarak adlandırdıkları Hersiniyen temelin Geç Paleozoyik'teki evrimini bir yayardı havzada tamamladığını bildirmişlerdir. Ayrıca, Triyas-Kretase yaşlı birimlerin Hersiniyen temeli post-tektonik olarak örttüğünü vurgulamışlardır.

Özcan ve ark. (1990), Konya-Kadınhanı-Ilgın dolayında yaptıkları çalışmada kıvrımlı-dilimli temel üzerinde Skitiyen yaşlı Ardıçlı formasyonunun açısız uyumsuzlukla yer aldığını, Ardıçlı formasyonunun üzerine Anisiyen-Geç Jura yaşlı Lorasdağı kireçtaşının ve Midostepe formasyonunun geldiğini belirtmişlerdir. Orta-Geç Maastrichtiyen-Erken Paleosen yaşlı Hatip ofiyolitli karışığının, Midostepe formasyonu üzerinde geçişli olduğunu ve Çayırbağı Ofiyoliti tarafından üzerlendiğini bildirmişlerdir. Neojen birimlerinin ise Erenlerdağı volkanik karmaşığı ve Dilekçi formasyonu ile temsil edildiğini belirtmişlerdir. Sivri Tepe ve Hamam Sırtı'ndaki birimleri Triyas yaşlı Ardıçlı formasyonu olarak adlandırmışlardır. Bu formasyonun sığ denizel ve taşkın ovası çökellerinden oluştuğunu belirtmişlerdir.

Çağlar ve Ayhan (1984), Kurugöl (Ilgın) ve yakın çevresinin jeolojisi ile bölgedeki linyit oluşumlarının açıklığa kavuşturulması amaçlanmış, bölgede; Neojen sedimanlarını Ilgın formasyonu adı altında üç litofasiyese ayırarak Tekeler üyesi, Harmanyazı üyesi ve Sebiller üyesi olarak incelemiştir. Linyit numunelerinin analiz sonuçlarına göre; kalori değerlerinin, orijinal linyitte, 1175- 2500 Kcal/kg, havada kuru linyitte ise 1950-3992 Kcal/kg arasında olduğunu ortaya koymuşlardır.

Eren (1996 a ve b), Ilgın-Sarayönü (Konya) güneyinde yapmış olduğu çalışmalarda Bozdağlar Masifi'nin yapısal özelliklerini belirlemiştir. Bölgede allokton Bolkardağı Birliği'ne ait Alt Triyas yaşlı Ardıçlı formasyonuna ait kayaçlar temeli oluşturur. Bu kayaçların tamamı metamorfizmaya uğramışlardır. Litoloji olarak mermer-şist aralanması şeklindedir. Bu birimin üzerini Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Dilekçi formasyonu uyumsuz olarak örtmektedir. Birim bölgesel kireçtaşı ve kırıntılardan oluşur. En üstte Holosen yaşlı alüvyonlar yer alır. Pliyosen sonrası Holosen öncesi Ilgın fayı ve Devecipınarı Deresi fayı havzayı ikiye ayırmıştır.

Hüseyinca (2005), Ilgın İlçesi (Konya kuzeybatısı) ve kuzeyinin jeolojisini incelemiş; stratigrafisini ortaya koymuştur. Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı kayaçların Alpin hareketlerle ilişkili (F1), (F2) ve (F3) olmak üzere en az üç evreli kıvrımlanmaya uğradığını kanıtlanmış ve bunların gidişleri ve özellikleri hazırlanan harita ve diyagramlarda analitik olarak incelemiştir. Orta Miyosen sonrasında yörede Neo-tektonik hareketlerin etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Buna göre Neo-tektonik dönem içinde inceleme alanında biri doğu - batı diğeri kuzey - güney gidişli iki adet normal fay sisteminin geliştiğini tespit etmiştir.

Alan ve ark. (2010), Orta Toroslar'ın kuzey kesiminde Konya ili ve Ilgın ilçesi arasındaki alanda yapılan bu çalışmada birbiriyle tektonik ilişkili en alttan itibaren sırasıyla Bolkar Dağı Birliği, Yahyalı Napı Aladağ Birliği, Bozkır Birliği ile bu napıları uyumsuz olarak örten Neojen birimleri gözlemişlerdir.

Özdamar ve ark. (2010), Ilgın (Konya) kuzeyinde mostra veren metasedimenter ve meta-vulkanik kaya birimlerini incelemişlerdir. İnceleme alanında Paleozoyik metasedimenterler, bunlar üzerinde uyumsuz Mesozoyik metasedimenterler ve metavulkanikler ve tüm bunları açısız uyumsuzlukla örten Neojen çökeller ve alüvyon yer aldığını belirtmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre; Ilgın (Konya) bölgesinde metasedimentlerin metamorfizma yaşı Afyon-Bolkardağ Zonunun çevresindeki diğer metamorfik kuşaklar ile uyumlu olduğunu, Afyon-Bolkardağ Zonu metamorfiklerinde ilk kez gerçekleştirilen yaş tayini ile Ilgın bölgesinde yeşilist fasiyesinde, çok evreli bir metamorfizmanın Üst Kretase-Alt Paleosen aralığında meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Uygun (2010), Ilgın (Konya) kuzeydoğusunda Orhaniye, Çobankaya, Avdan, Karaköy ve Zaferiye köyleri arasının jeolojisinin incelemiştir. İnceleme alanında temel ilişkin kayaçların Alpin orojenezi sonucu yeşilist fasiyesine bağlı olarak bölgesel metamorfizma geçirmiş ve aynı zamanda üç evreli deformasyon etkisinde KB-GD ve KD-GB gidişli kıvrımlar geçirdiğini ileri sürmüştür. Yörenin jeoloji evrimi Neotektonik dönemde gelişen faylar ve bu fayların hareketlerine bağlı olarak gelişen Geç Miyosen-Geç Pliyosen yaşlı çökellerin birikimiyle son bulduğunu ortaya koymuştur.

Vissers ve ark. (2012), Ilgın havzasında yaptıkları çalışmada havzanın, Kambriyen-Mesozoyik temel üzerine çökelmiş Miyosen-Kuvaterner fluvial ve gölsel çökelleri içeren, Neojen'den günümüze faylarla kontrol edilmiş küçük (~50x50 km) bir çöküntü alanı olduğunu belirtmişlerdir. Ilgın Havzasının, kuzey batıdaki Akşehir-Afyon Havza kompleksiyle bitişik olup bu havzanın güneydoğu devamını ve Sultandağları ve bu dağlara paralel uzanan Akşehir Fay Kuşağının her iki havzanın da GB sınırını oluşturduğunu, litolojik benzerlikler, havza sınırlarının aynı KB-GD uzanımlı yapılarla kontrol ediliyor olmasını, Ilgın ve Akşehir-Afyon havzalarının çökeltme ve deformasyon bağlamında Orta Miyosen'den itibaren aynı evrime maruz kaldıkları görülmüştür.



## 2.2. Jeoteknik Çalışmalar

Kaya (2003), Ilgın (Konya) yerleşim alanı zemininin sıvılaşma potansiyeli ile ilgili yapmış olduğu çalışmada, 1. Derece deprem bölgesi olan Ilgın ilçe merkezinde magnitüdü: 6, odak uzaklığı 25 km olarak kabul edilen bir deprem gerçekleştiğinde bölgenin büyük bir kesiminde büyük miktarlarda sıvılaşmanın olacağını tespit etmiştir.

Özdemir ve İnce (2004), Ilgın (Türkiye-Batı Merkezi) yerleşim alanının jeoloji sismotektoniği ve toprak sıvılaşma duyarlılığı ile ilgili yaptıkları çalışmada, Türkiye'nin merkez bölgesindeki birinci derece deprem bölgesinde bulunan Ilgın yerleşim alanının toprak sıvılaşma duyarlılığını araştırmıştır. Toprak penetrasyonunun güvenlik faktörlerini, standart penetrasyon testini kullanarak hesaplamış ve (SPT) 45 adet sondaj kuyusunun farklı seviyelerinde tespit edilen üflemlerli sayımlar, ölçülen yeraltı suyu seviyesi verileri ve laboratuvar testleri ile belirlenen toprakların ince taneli içeriği (FC), toprak sıvılaşma güvenlik faktörleri, deprem büyüklüğü ( $M_L=6$ ) ve 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4 g gibi farklı deprem yanal yer ivmelenmeleri (PGA) kullanılarak hesaplanmıştır. Ilgın yerleşim alanının, yeraltı suyu tablosunun altındaki toprağın kümülatif sıvılaşma duyarlılık oranı (analiz sayısı belirlenir/toplam analiz sayısı), 2 derinliği için %63, %87, %80, %64 ve %56 olarak belirlenmiştir. Ilgın yerleşim bölgesinde ve çevresinde 6–6,5 büyüklüğünde deprem olması durumunda aynı özelliklere sahip topraklarda önemli sıvılaşma beklenebileceği, bu nedenle Ilgın ve çevresinde meydana gelen kayıpları önlemek için önlem alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Çolak (2011), 268 ada, 2 parselde yapılmış olan Ilgın (Konya) Belediyesi Termal Su Oyunları ve Yüzme Havuzu için hazırlamış olduğu Jeolojik-Jeoteknik Etüt raporunda, alanda 14 adet sondaj kuyusu ve 10 adet araştırma çukuru çalışması yapmıştır. Yaptığı sondaj ve araştırma çukuru çalışmalarında yeraltı su seviyesinin 2.70-3.70 m arasında değiştiğini ve zemini alüvyon birimin oluşturduğunu belirtmiştir. Yaptığı hesaplamalar sonucunda taşıma gücünün radye temel için  $0.60 \text{ kg/cm}^2$ , yatak katsayısının  $900 \text{ t/m}^3$ , oturma miktarının 2.80-13.60 cm sıvılaşma riskinin olduğunu belirlemiştir. Yeraltı suyunun, beton temas suyu analizi için DSİ IV. Bölge Müdürlüğü Konya laboratuvarında yaptırdığı deney sonucunda suyun kuvvetli kireç çözücü özellikte olduğunu belirtmiştir. Sonuç olarak alanda zemin iyileştirmesi yapılması gerektiğini ve bu iyileştirmelerden de en uygununun sönmüş kireç tozu stabilizasyonu olduğunu öngörmüştür.

Uslu (2011), 30 K 2,3-30 L 1,4 pafta, 974 ada, 1A parselde inşa edilecek olan devlet hastanesi için hazırlanmış olduğu jeolojik-jeoteknik etüt raporunda, 2,5-3,00 metre arasında yeraltı suyuna rastlamış, bunun üzerine yapılan sıvılaşma hesabı sonucunda alanda sıvılaşma olasılığının çok yüksek olduğunu, en yüksek oturma miktarının 11,05 metre olacağını, zeminin şişme derecesinin düşük olduğunu, emniyetli taşıma gücünün  $1.10 \text{ kg/cm}^2$  olduğunu belirtmiş ve jet-grout ya da kazıklı temel ile iyileştirme yapılması gerektiği öngörüsünde bulunmuştur.

Yenişan (2014), 187-208-210 ada, 1-101 parselde inşa edilecek olan TOKİ konutları için hazırlanmış olduğu zemin etüd raporunda, 45 adet sondaj kuyusunda 4.00-5.00 m arasında yeraltı suyuna rastlamış ve zemini kil arabantlı siltli kum olarak tanımlamıştır. Arazide yapmış oldukları SPT deneylerinde Nort değerlerinin 10 ve 10'un altında olduğunu ve zemininde kil arabantlı siltli kumdan oluştuğunu göz önüne aldıklarında arazide sıvılaşma probleminin olabileceğini, oturma miktarının en fazla 13.73 cm olacağını, şişme derecesi ve şişme basıncının düşük olduğunu dolayısıyla şişme probleminin olmayacağını, taşıma gücünün  $0.70 \text{ kg/cm}^2$  ve yatak katsayısının  $840 \text{ t/m}^3$  olduğunu belirlemişlerdir. Bu veriler ışığında da alandaki yeraltısuyunun drenaj sistemi ile uzaklaştırılması gerektiğini, taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma problemlerinden dolayı zemin iyileştirmesi yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Özdemir ve Nalbantçılar (2016), Ilgın yerleşim alanının sismik etkilerini araştırdıkları çalışmada 45 adet jeoteknik sondajın Standart Penetrasyon Deneyini (SPT) incelemişlerdir. Ilgın gölü ve Ilgın yerleşim alanının kuzey kısmının 20 cm'yi geçen miktarlarda oturmalar olabileceğini tespit etmişler ve yerleşimin kenar kısımlarında ise bu oturma miktarının 10 cm olabileceğini öngörmüşlerdir. Bu çalışmada yazarlar Ilgın'daki yapılar için deprem kaynaklı hasarları en aza indirgeyecek iyileştirmelerin yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Çolak (2016), 2828-Gd pafta, 60 ada, 44 parsel, Kültür Merkezi için hazırlanmış olduğu jeolojik-jeoteknik etüt raporunda, zemini siltli kil olarak tanımlamış ve yeraltısu seviyesinin 4.00 m olduğunu belirlemiştir. Yapmış olduğu hesaplamalar sonucunda taşıma gücünün  $0.95 \text{ kg/cm}^2$ , yatak katsayısının  $1140 \text{ t/m}^3$ , oturma miktarının 7.41 cm olduğunu ve sıvılaşma probleminin olduğunu belirlemiştir. Sonuç olarak alanda iksa sistemlerinin yapılması gerektiğini önermiştir.

Avcı (2017), 2828-I pafta, 375 ada, 4 nolu parsel için hazırlamış olduğu jeolojik-jeoteknik etüt raporunda, şişme derecesinin yüksek, 8 metre derinlikte yeraltı suyuna rastlanması ve bunun üzerine yapılan sıvılaşma hesabı sonucunda, alanda sıvılaşma olasılığının çok yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunlara ek olarak yapılan konsolidasyon oturma hesabında en yüksek oturma miktarının 10,755 cm olduğunu tespit etmiştir.

Çolak (2018), 2828-Ç pafta, 771 ada, 10 parsel için hazırlamış olduğu jeolojik-jeoteknik etüt raporunda, zemini siltli kil olarak tanımlamış ve yeraltı seviyesinin 6.00 m olduğunu belirlemiştir. Yapmış olduğu hesaplamalar sonucunda taşıma gücünün 0.80 kg/cm<sup>2</sup>, yatak katsayısının 960 t/m<sup>3</sup>, oturma miktarının 2.20 cm olduğunu, şişme ve sıvılaşma probleminin olduğunu belirlemiştir.

Arıcı (2018), 2828D pafta, 126 ada, 219 parsel Sağlık Binası için hazırlamış olduğu jeolojik-jeoteknik etüt raporunda, zemini silt olarak tanımlamış ve yeraltı seviyesinin 10.50 m olduğunu belirlemiştir. Yapmış olduğu hesaplamalar sonucunda taşıma gücünün 1.00 kg/cm<sup>2</sup>, yatak katsayısının 1200 t/m<sup>3</sup>, konsolidasyon oturma miktarının 0.31-0.83 cm olduğunu ve şişme probleminin olduğunu belirlemiştir. Sonuç olarak alanda yeraltısuyunun uygun çevre ve temel drenaj sistemi kurulmasını, temel betonunun sülfata karşı dayanıklı beton olması gerektiğini ve temel zemindeki killerin şişme potansiyeline karşı temel zemine 20 cm üç tabaka halinde toplam 60 cm kalker yapıları granüler (0-30 mm) temelaltı malzeme serilmesi tabakalar arasında geogrid serilmesi gerektiğini belirtmiştir.

### **2.3. Sıvılaşma Enerjisi Çalışmaları**

Modern zemin mekaniğinin Terzaghi ile başladığı kabul edilir. 1925'lerde deneysel zemin mekaniğine geçilir ve bu alanda hızlı bir gelişme süreci başlar. Zeminlerin gerilme-deformasyon davranışı üzerine çalışmalar yapılır. 1960'li yıllarda tekrarlı yüklerin zeminlerin davranışları üzerindeki etkisi araştırılmaya başlanır. Özellikle 1970'lerden sonra depremler sırasında oluşan kuvvetler sonucunda kohezyonsuz zeminlerde meydana gelen boşluk suyu basıncı-deformasyon ile gerilme-deformasyon ilişkileri temel olarak araştırma konularını oluşturur. Kohezyonsuz zeminlerin tekrarlı yükler altındaki davranışları, çevirim sayısı, olası şekil değiştirme, rölatif sıkılık (Dr) değeri, boşluk suyu basıncı artışı/değişimi ( $\Delta u$ ) vb. konular önem taşımaya başlamıştır. 1970'li yılların sonlarına doğru kumların sıvılaşma enerjisi üzerinde araştırmalara başlanmıştır. Sıvılaşma olgusunun suya doygun kumlu zeminlerde gerçekleştiği göz önünde alındığında; birçok araştırmacı kumların sıvılaşma

enerjisini kuru kumlarda çalışmış, deneysel ilişkilerle -boşluk suyu basıncı değişimini formüleştirecek hesaplamaya çalışmışlardır.

Depremlerde oluşan tekrarlı kayma gerilmeleri, zeminin fiziksel ve mühendislik özelliklerine bağlı olarak; farklı deformasyonlar oluşturmakta ve mukavemet kayıplarına neden olmaktadır. Suyu doymuş kohezyonsuz zeminlerde tekrarlı yükler etkisinde, boşluk suyu basıncı artar, deprem süresi kısa olduğundan yeraltı suyunun drenajı için yeterli olmaz efektif gerilme azalır (ve eğer sıfır olursa), zeminin taşıma gücü kaybolur, dolayısıyla sıvılaşma olgusu açığa çıkar. Bunun sonucu olarak zeminlerde beklenenin dışında bir oturma (diğer bir deyişle rölatif sıkılıkta ve yoğunlukta artış) meydana gelir (Seed and Lee, 1966). Hyodo ve ark., 1994). Özellikle suya doymuş gevşek kumlar gerek hızlı statik ve gerekse dinamik yükleme koşullarında aşırı boşluk suyu basıncının artması sebebiyle mukavemetlerini hızla kaybedebilmekte ve üzerinde bulunan mühendislik yapılarına ciddi hasarlar verebilmektedir. Bu hasarlar, binaların zemine gömülmesi, yan yatması veya istinat yapılarının ve şevlerin yanal olarak yer değiştirmesi şeklinde görülmektedir (Towhata, 2008). Suyu doymuş kumlu zeminlerde ortaya çıkan bu davranış biçimi sıvılaşma olarak adlandırılmakta ve zemin dinamiğinin önemli araştırma konularından birini oluşturmaktadır. Suyu doymuş gevşek kum zeminlerin devirsel kesme dayanımı ve deformasyon oranı arasındaki ilişki, monotonic ve devirsel üç eksenli deney düzeneğinde araştırılmıştır. Monotonik ve devirsel üç eksenli deney sonuçlarının karşılaştırıldığı çalışmada, akma deformasyonunun oluşmasının başlangıç konsolidasyon ve faz dönüştürme noktaları arasındaki karşılıklı şartlara bağlı olduğu görülmüştür.

Doğal zeminler çeşitli faktörlerin etkisiyle, suya tam doymuş olmayabilir (suya kısmi doymuş olabilir). Suyu kısmi doymuş kumların burulmalı basit kesme deney yöntemiyle, drenajsız sıvılaşma davranışları incelendiğinde elde edilen verilere göre; %70 doymuşlukta (Sr) kum numuneler, %100 doymuşlukta (Sr) kumlardan 3 kat daha fazla sıvılaşmaya karşı direnç göstermektedir. Bu durum, numune içindeki hava kabarcıklarının çap ve miktarının tekrarlı yükler altında numunenin davranışını etkilemesine bağlıdır. Numune içerisindeki hava kabarcığı miktarının azalması, numuneye uygulanan gerilme artışını ve boşluk suyu basıncı değerini etkilemektedir (Yoshimi ve ark., 1989 a ve b).

Araştırmacılar son birkaç on yılda sıvılaşma mekanizmasını anlamak ve zeminlerin sıvılaşma potansiyelini belirlemek için farklı yöntemler önermişlerdir. Bu yöntemleri üç ana grupta toplamak mümkündür (Green, 2001). Bunlar; 1) Gerilmeye

dayalı yöntemler, 2) Birim deformasyona dayalı yöntemler, 3) Enerjiye dayalı yöntemler olarak sıralanabilir:

**1) Gerilmeye dayalı yöntem (Seed ve Idriss, 1971);** en yaygın kullanılan sıvılaşmayı değerlendirme yöntemidir. Bu yöntem, genellikle arazi deney sonuçlarını ve laboratuvar deney sonuçlarını kullanmaktadır (Seed ve ark., 1975). Ancak, birtakım belirsizlikleri barındıran bu yöntem elde edilen yeni veriler doğrultusunda sürekli güncellenmektedir (Youd ve Idriss, 2001). Bu yöntemdeki esas ölçüt, döngü sayısı ve kayma gerilmesi değeridir (Seed ve Idriss, 1971). Uygulanan tekrarlı yükün 20 döngüsü için %65 den ziyade %57'sini önermişlerdir (Ishara ve Yasuda, 1975). Ancak, uygulanan tekrarlı yükün 15 döngüsü için oluşan kayma gerilmesinin %65'i eşdeğer kayma gerilmesi değeri olarak kabul edilmesi gerektiğini önerenler de bulunmaktadır (Seed ve ark., 2001). Sıvılaşmayı Standart Penetrasyon Testi (SPT) ve Koni Penetrasyon Testi (CPT) gibi arazi deneylerine bağlı olarak da belirlemek için bazı yaklaşımlar geliştirilmiştir (Çetin ve ark., 2004; Boulanger ve Idriss, 2012; Moss ve ark., 2006). Gerilmeye dayalı yaklaşım sürekli olarak güncellenmesine rağmen rastgele yükleme ile ilgili belirsizlikleri halen devam etmektedir (Green, 2001; Baziar ve Cafarian, 2007).

**2) Birim deformasyona dayalı yöntem (Dobry ve ark., 1982);** İki etkileşimli ideal hale getirilmiş kum tanesinin mekaniğinden türetilip daha sonra doğal zeminler için genelleştirilmiştir (Green, 2001; Baziar ve Cafarian, 2007; Alavi ve Gandomi, 2012). Bu yöntem esas itibarıyla boşluk suyu basıncının, kum türüne, rölatif sıkılığa, başlangıç efektif gerilme değerine ve örnek hazırlama yöntemine bakılmaksızın, yaklaşık % 0,01 gösterilen eşik kayma birim deformasyonu değerini aşması durumunda, gelişmeye başladığı hipotezine dayanmaktadır. Birim deformasyon dayalı yaklaşım teorik olarak mümkün olsa da sıvılaşmanın meydana gelmesi için gerekli boşluksuyu basıncı artışının başladığı noktayı tahmin etmesi sebebiyle daha az kullanılmaktadır ve mutlaka sıvılaşmanın meydana geleceğini ifade etmemektedir. Bu yöntemin ana eksikliği, döngüsel kayma gerilmesine kıyasla kayma birim deformasyonunun tahmin edilmesindeki güçlüktür (Zhang ve ark., 2015).

**3) Enerjiye dayalı yaklaşım,** zeminin sıvılaşma potansiyelini değerlendirmek için ilk defa 1970'lerde gerilmeye dayalı yaklaşıma alternatif olarak önerilmiştir (Nemat-Nasser ve Shokooh, 1979) ve daha sonra sürekli olarak geliştirilmiştir (Berrill ve Davis, 1985; Figueroa ve ark., 1994; Green, 2001; Kokusho, 2013). Bu yaklaşımda sıvılaşma olsun veya olmasın yükleme sürecinde birim hacimde biriken enerji aşırı

boşluksuyu basıncının gelişmesiyle doğrudan ilişkilidir. Parçacıklarının kalıcı olarak yeniden düzenlenmesiyle ilişkilendirilen birim hacimde biriken enerji ( $J/m^3$ ), bir döngü sırasında geliştirilen histerez çevrimi içinde kalan alan olarak verilmektedir. Sıvılaşmayı değerlendirmek için birim enerjinin kullanılması gayet mantıklıdır çünkü sıvılaşma enerjisi uygulanan kayma gerilmesi ve kayma birim deformasyonuna bağlıdır (Aminia ve Noorzad, 2018). Sıvılaşma enerjisini değerlendirmek için geçmişte yapılmış bazı çalışmalar mevcuttur.

Sıvılaşma analizlerinde enerji dayalı yaklaşım, gerilmeye dayalı ve birim deformasyona dayalı yaklaşımlarla kıyaslandığında başlıca avantajları şunlardır;

- Enerjinin, yalnızca yer ivmesinin pik değerini kullanan gerilmeye dayalı yaklaşıma karşın yer hareketinin tüm spektrumunu göz önüne alan skaler bir nicelik olması (Baziar ve Jafarian, 2007; Baziar ve ark., 2011),
- Seçilen ortalama gerilme veya birim deformasyon seviyesine eşdeğer çevrim sayısını bulmak için kesme gerilmesinin zamansal ayrıştırılmasının gerekli olmaması,
- Kullanımında birim deformasyonu, gerilmeyi ve malzeme özelliklerini kapsamaktadır (Law ve ark., 1990; Liang, 1995). Arazide deprem esnasında, zemin belirli frekans aralıklarında yer hareketini büyütür. Diğer frekans aralıklarında da sönümler. Bu, hareketin bir bölümünün büyütülmesi veya sönümlenmesine bakılmaksızın, zemin içinde dolaşan ve dağılan toplam enerjinin değişmediğini gösterir (Law ve ark., 1990).

Sıvılaşan bir zemin, viskoz bir sıvı karakterine dönüşmekte ve yanal yayılmaya başlamaktadır. Sıvılaşmayı yükleme koşulları, zeminin jeoteknik özellikleri ve doyumluk derecesi etkilemektedir. Sıvılaşmanın oluşması için zeminin suya doyum olması gerektiği kabul edilir. Yağış, yeraltı su seviyesindeki değişim, kapilerite vb. etkiyle zeminde suya kısmi doyum bölgelere rastlanabilmektedir (Hadush ve ark., 2000). Kum numunelerinin doyumluk derecesi sıvılaşma direncini etkilemektedir (Ishihara ve ark., 2001 ve 2004). Dinamik üç eksenli deneyle, kısmi doyum kumların tekrarlı yükler altındaki davranışları incelendiğinde; Tekrarlı yükleme durumunda kısmi doyum kum zeminler de sıvılaşabilmektedir (Yoshimi ve ark., 1989b; Yoshimine ve Ishihara, 1998; Okamura ve Noguchi, 2009). Kumların dinamik davranışı üzerinde rölatif sıkılığın çok büyük etkisi vardır. Kısmen doyum kum zeminler, sıvılaşmaya karşı daha fazla direnç göstermektedir (Elibol, 2005). Ancak, kısmen suya doyum kum

zeminlerde sıvılaşmaya karşı direnç artmaktadır yani sıvılaşma zorlaşmaktadır (Okamura ve Soga, 2006; Okamura ve Noguchi, 2009; Arab ve ark., 2011).

Sıvılaşma olgusu üzerine birçok farklı deney yöntemi geliştirilmiştir. Devirsel burulmalı kesme yükleri altında kumların kesme modülünün araştırıldığı çalışma sonuçlarına göre; kayma gerilmesi genliğindeki artış, kesme modülünde azalmaya neden olmaktadır. Bununla ilgili deneysel bir prosedür geliştirilmiştir (Iwasaki ve ark., 1978). Nemat-Nasser ve Shoko (1979), enerjiye dayalı modeli kullanarak kumlu zeminlerin sıvılaşması ve sıkışmasını açıklayan matematiksel bir model önermişlerdir. Üniiform kumlarda yapılan dinamik üç eksenli deney sonuçlarına göre; aşırı boşluk suyu basıncı ile biriken enerji arasında deviatorik gerilmeye bağlı foksiyonel bir ilişki bulunmaktadır (Simcock ve ark., 1983). Drenajsız devirsel deneylerde, farklı kayma gerilmesi genliklerinde zeminin birim hacminde biriken enerji ile aşırı boşluk suyu basıncı arasında çok yakın bir ilişki bulunmaktadır (Towhata ve Ishihara, 1985).

Monotonic ve devirsel üç eksenli düzenekte yapılan deney sonuçlarına göre; suya doygun gevşek kum zeminlerin devirsel kesme dayanımı ve deformasyon oranı arasındaki ilişki, başlangıç konsolidasyon ve faz dönüştürme noktaları arasındaki karşılıklı şartlara bağlıdır (Hyodo ve ark., 1994). Reid Bedford kumu üzerinde yapılan deneylere göre; sıvılaşmaya ulaşmak için zemine aktarılan birim hacim başına düşen enerji miktarı; etkin çevre basıncı, rölatif sıklık ve kesme birim deformasyonu genliği gibi parametrelerle bağlantılıdır (Figueroa ve ark., 1994). Birim deformasyon kontrollü deney sonuçlarına göre; sıvılaşma başlangıcı için birim hacim başına biriken enerji miktarı ve aşırı boşluk suyu basıncı arasındaki ilişki üzerinde, birim deformasyon genliğinin bir etkisinin olmadığı ifade edilebilir (Liang, 1995). Farklı rölatif sıklıklarda, drenajsız, 0,1 Hz frekanslı sinüzoidal yükleme şartlarında yapılan sıvılaşma deneylerine göre; sıvılaşmanın gelişmesi için rölatif sıklık, ince malzeme içeriği, tekrarlı yüklerin çevrim sayısı ve çevre basıncı etkili olmaktadır (Altun, 2004; Altun ve Ansal, 2005).

Kil içeren zeminlerin devirsel yükler altındaki sıvılaşma potansiyeli, halka-kesme düzeneği (ring-shear apparatus) ile incelenmiştir. Bu düzenekte numune, iç içe geçmiş iki silindir arasına yerleştirilmektedir. Yapay kil-kum karışımı hazırlamışlar ve bentonit miktarı ( $\leq$  %7) olan zeminlerde hızlı bir sıvılaşma, bentonit içeriği ( $\geq$  %11) olan zeminlerde ise sıvılaşmaya karşı yüksek bir zemin direnciyle karşılaşmışlardır (Gratchev ve ark., 2006).

Ural ve ark. (2007), dinamik üç eksenli deneyde frekansın etkisini araştırdıkları çalışmalarında; Adapazarı'na ait ince taneli yumuşak akarsu çökellerinden alınan numuneyi konsolide edip, 1; 0,5; 0,05 Hz gibi 3 farklı frekansta deney yapmışlardır. Sıvılaşma için frekans artışının çevrim sayısını arttırdığını ve boşluk suyu basıncının düşük frekanslarda arttığını ifade etmişlerdir. Karasal ortamlarda çökelen genç yumuşak ince daneli zeminler için (ML, MI, CL vb.) dinamik üç eksenli deneylerde frekansın 0.5 Hz olarak kullanılmasını önermektedirler.

Papadopoulou ve ark. (2010), 12 Kasım 1999 depreminden sonra, monotonic ve devirsel üç eksenli deneyleri ile rezonant kolon deneyini kullanarak; Düzce zeminlerinin devirsel ve dinamik özelliklerini araştırmışlardır.

Zehtab (2010), devirsel basit kesme deney düzeneğini kullanmıştır. Adapazarı zeminlerinden alınmış deney örnekleri kullanarak; zeminlerin deprem sonrası dinamik davranışlarını araştırmıştır.

Devirsel içi boş silindirik burulmalı kesme düzeneğinde, kum örnekleri üzerinde farklı rölatif sıklık ve farklı gerilme koşullarında drenajsız deneyler yapılarak; gerilme enerjisi kavramıyla, kumların sıvılaşma direnci ve boşluk suyu basıncı artışı hesaplanmıştır (Jafarian ve ark., 2012).  $M_w=7,1$  ve  $a=0,28$  g olan deprem senaryosuna uygun olarak; arazideki rölatif sıklık değeri olan %66'ya eşit sıklıkta hazırladıkları kum örneğini laboratuvarında 0,5 Hz frekansta dinamik üç eksenli deney yapılmıştır. Ancak, numune sıvılaşmamıştır. Rölatif sıklığı, arazideki değerinin altına düşürdüktan sonra numune sıvılaşmıştır (Orhan ve Ateş, 2012).

Kahraman (2013), 1-G Model deney düzeneği (santrifüj testi) ve sarsma tablası deney düzeneğini kullanarak sıvılaşmayı incelemiştir. Laboratuvarında, silt içeriği değişen kum numunelerle çalışmış ve şu sonuçları elde etmiştir: i) Her bir sarsma ile rölatif sıklık artmıştır. ii) Rölatif sıklığın artmasına rağmen sıvılaşma direnci düşmektedir. iii) Silt içeriği arttıkça sıvılaşma direnci artmıştır. iv) Yuvarlak taneli ince kumlar sıvılaşmaya daha duyarlıdır. v) Silt miktarı arttıkça sıvılaşmanın tetiklenme süresi uzamaktadır.

Akın (2014), plastisite ve ince dane oranının kumlu zeminlerin dinamik davranışına etkisini inlemiştir. Tekrarlı basit kesme deney düzeneğinde; silt, düşük ve yüksek plastisiteli iki farklı kili, %5-10 oranında temiz kum içerisine katmış, numuneyi suya doyurmuş, 0,1 Hz frekansında ve sabit hacim şartlarında gerçekleştirilmiştir. Adapazarı zeminlerinden alınmış deney örnekleri kullanmıştır. Araştırmacı, ince dane



oranının kumun daha kolay sıvılaşmasını sağladığını; ancak, plastisitenin sıvılaşma üzerine etkisi konusunda net bir sonuç elde edemediğini ifade etmektedir.

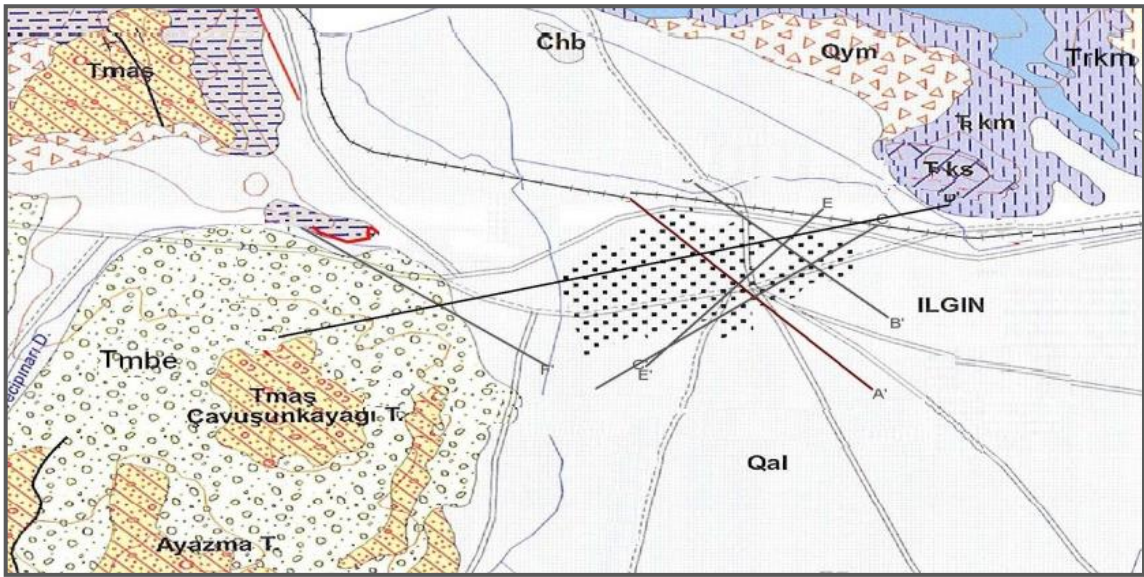
Monkul ve ark. (2016), üç farklı temiz kum, plastik olmayan siltin kumlarla karıştırılmış hali ve üç ayrı ince tane içeriğine sahip numunelerle drenajsız üç eksenli basınç deneyi yapmıştır. Kumun tane boyu dağılımının sıvılaşma üzerine oldukça etkisi olduğunu, ortalama tane boyutu küçüldükçe kumların daha kolay sıvılaştığını gözlemişlerdir.

Özçelik (2019), devirsel basit kesme deney düzeneğinde deney yapmak için hazırlanan numune boyutlarının (numune çapı ve yüksekliğinin), sıvılaşma enerjisine bir etkisi olup-olmadığını araştırmıştır. Çalışmasında 50 mm, 100 mm ve 150 mm çaplarında ve boy/çap oranı: 1; 0,5 ve 0,2 olan deney örnekleri kullanmıştır. Sonuçta, 150 mm çap için 75 mm boyda, 100 mm çap için 100 mm boydaki numunelerin tutarlı sonuçlar verdiğini belirtmektedir.

Literatür araştırmaları bu çalışmada kullanılacak olan "tekrarlı (devirsel) basit kesme düzeneğinin" başka hiç bir çalışmada kullanılmadığını ortaya koymuştur. Bilindiği kadarıyla dünyada daha az fonksiyona sahip çok az sayıda benzeri bulunmaktadır. Yatay ve düşey yönde tekrarlı yükleme yapılabilmesi diğer çalışmalara göre daha üstün özelliklere sahiptir. Sıvılaşma potansiyelinin laboratuvarında sadece rölatif sıkılık ve efektif gerilme ile bulunabiliyor olması, fazla sayıda belirsizlik içeren ve gerilme yöntemine dayanan arazi teknikleri için önemli bir alternatif olacaktır.

### 3. JEOLJİ

İnceleme alanı ilginç jeolojisi ve ekonomik değerleri nedeniyle birçok araştırmacı tarafından daha önce çalışılmıştır. İnceleme alanındaki ilk çalışmalar, Şengör ve ark. (1985), Umut ve ark. (1987), Özcan ve ark. (1990), Çağlar ve Ayhan, (1991), Eren (1996 a ve b), Hüseyinca (2005), Özdamar ve ark. (2010) tarafından yapılmıştır. İnceleme alanını da kapsayan, MTA tarafından 1/100000 ölçekli L27 Paftasında jeolojik çalışma yapılmış olup inceleme alanı ve çevresinin genel jeoloji çalışmalarında bu haritalardan faydalanılmıştır (Şekil 3.1).



Qal	<b>Alüvyon</b> Alluvium
Qym	<b>Yamaç molozu</b> Slope debris
Tmbe	<b>Bellekler formasyonu: Çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı</b> Bellekler formation: Conglomerate, sandstone, mudstone
Tmaş	<b>Aşağıriçgiil formasyonu: Kireçtaşı, kumtaşı, marn, kil, tuf, çakıltası, linyit</b> Aşağıriçgiil formation: Limestone, sandstone, marl, clay, tuff, conglomerate, lignite
Fks	<b>Seyrantepe member: Kalkşist, şeyi, dolomitik kireçtaşı</b> Seyrantepe member: Calcschist, shale, dolomitic limestone
Fkm	<b>Morbel üyesi: Kırmızı kumtaşı, çakıltası, kireçtaşı, çamurtaşı</b> Morbel member: Red sandstone, conglomerate, limestone, mudstone
Chb	<b>Tanımlanmamış kireçtaşı bloklar: Kristalize Karbonifer ve Devoniyen yaşlı kireçtaşı blokları</b> Undefined limestone blocks: Recrystallized Carboniferous and Devonian age limestone blocks
	<b>Birinci derece karayolu</b> First grade highway
	<b>İkinci derece karayolu</b> Second grade highway
	<b>Demiryolu</b> Railway
	<b>Yerleşim yeri</b> Urban

Şekil 3.1. İnceleme alanı ve çevresine ait jeoloji haritası (MTA, 2009)

### 3.1. Stratigrafi

Çalışma alanında Kütahya-Bolkardağ Kuşağına ait, çok evreli yoğun deformasyon geçirmiş, çökeltme konumlarına göre alttan üste doğru; Karbonifer yaşlı, orta-kalın katmanlı, silttaşı, şeyl, kireçtaşı, çakıltası, çört ardalımalı matriks içerisinde yer alan kireçtaşı blokları ve bazı volkanik kayalardan oluşan Halıcı formasyonu temeli oluşturur. Bölgede Halıcı formasyonu; gri, siyah ve beyaz renkli orta-kalın katmanlı kireçtaşı ve dolomit yapıllı Kurşunlu kireçtaşı üyesi ve muhtemelen Erken Paleozoyik yaşlı Tanımlanmamış kireçtaşı bloklarından oluşur (Özcan ve ark., 1990). Halıcı formasyonu üzerinde kırmızı renkli kırıntılılar (Morbel üyesi) ile çoğunlukla oolitlik kireçtaşlarından (Seyrantepe üyesi) oluşan Post tektonik Triyas (Skitiyen) yaşlı Katarası formasyonu, açısal uyumsuz olarak yer alır (Demirtaşlı, 1967). Orta Triyas-Jura yaşlı, gri renkli, orta-kalın katmanlı kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşından altta bulunan Katarası formasyonu ile geçişlidir. Temel birimler üzerine açısal uyumsuz olarak ince-kalın tabakalı, Alt-Orta Miyosen yaşlı, kireçtaşı, çakıltası, kumtaşı, silttaşı, marn, kiltası, çamurtaşı, tuf ve yer yer organik boyamalı killer ile ince merceksel linyit damarlarından oluşan Aşağıçığil formasyonu gelmektedir. Kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı ve yer yer linyitli seviyelerden oluşan Bellekler formasyonu Aşağıçığil formasyonu üzerine uyumsuz olarak çökelmiştir. Çalışma alanındaki tüm birimleri uyumsuz olarak örten alüvyondan oluşur (Şekil 3.2).

SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	ÜYE	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
KUVATERNER					Qal		Alüvyon
TERSİYER	MİYOSEN	Üst	Bellekler		Tmbe		Çakıltaşı, Kumtaşı, Çamurtaşı
		Alt-Orta	Aşağıçığıl		Tmaş		Linyit damarlı kireçtaşı, kumtaşı, tuf, marn ve kıltaşı, çakıltaşı
TRİYAS-JURA	Alt	Katarası	Morbel Seyranteppe		Trks		Kalkşist, şeyl, kumtaşı ara katmanlı dolomitik kireçtaşları
					Trkm		Kumtaşı, çakıltaşı, kireçtaşı, çamurtaşı
KARBONİFER			Halıcı Tamamlanmamış Kireçtaşı Blokları		Chb		UYUMSUZLUK Grovak, silttaşı, şeyl, çakıltaşı, çört, kireçtaşı ardalanmalı matriks içerisinde yer alan kireçtaşı ve volkanik blokları

Şekil 3.2. İnceleme alanı ve çevresinin genelleştirilmiş dikme kesiti (MTA, 2009)

### 3.1.1. Halıcı Formasyonu (Ch)

İnceleme alanının kuzeybatı kesiminde yüzeylenen birim Orta-Genç Karbonifer yaşlı birimlerden oluşmaktadır. Grovak, silttaşı, şeyl, çakıltaşı, çört ve kireçtaşı ardalanması şeklinde bir matriks ile bunların içerisinde yer alan kireçtaşı blokları ve bazı volkanik kayalardan oluşmaktadır.

### 3.1.2. Katarası Formasyonu (Trk)

İnceleme alanının kuzeydoğu kesiminde yüzeylenen birim Erken Triyas yaşlı birimlerden oluşmaktadır. Katarası formasyonu çakıltaşı, kumtaşı, ve kireçtaşı ardalanmasından oluşur. Birim kırmızımsı mor renkli, kaba kumtaşı, çoğunlukla

kırmızımsı kahverenkli çakıltası, sarımsı kahverenkli, pembemsi gri renkli kireçtaşı ve kırmızımsı renkli çamurtaşı ara katmanları ile kalkışist, şeyl ve kumtaşı ara katmanlı dolomitik kireçtaşlarından oluşmuştur.

### **3.1.3. Aşağıçığil Formasyonu (Tmaş)**

İnceleme alanında kuzeybatı kesimlerinde yer alan Erken-Orta Miyosen yaşlı Aşağıçığil formasyonu genelde beyaz, sarı ve gri renkli kireçtaşı, kumtaşı, tuf, marn ve kiltası ardalanması, linyit damarları, kırmızı kahverenkli çakıltalarını içerir.

### **3.1.4. Bellekler Forasyonu (Tmbe)**

İnceleme alanının kuzeybatı kesiminde küçük alanda yüzeyleyen formasyon genel olarak kırmızı kahverenkli çakıltaları, çamurtaşları temel birimlere ait kireçtaşı ve şist parçalarından oluşmuş olup, yuvarlak veya az köşelidir. Yer yer çok iyi tutturulmuş çakıltalarında matriks genellikle yoğun çamurdan oluşmuştur.

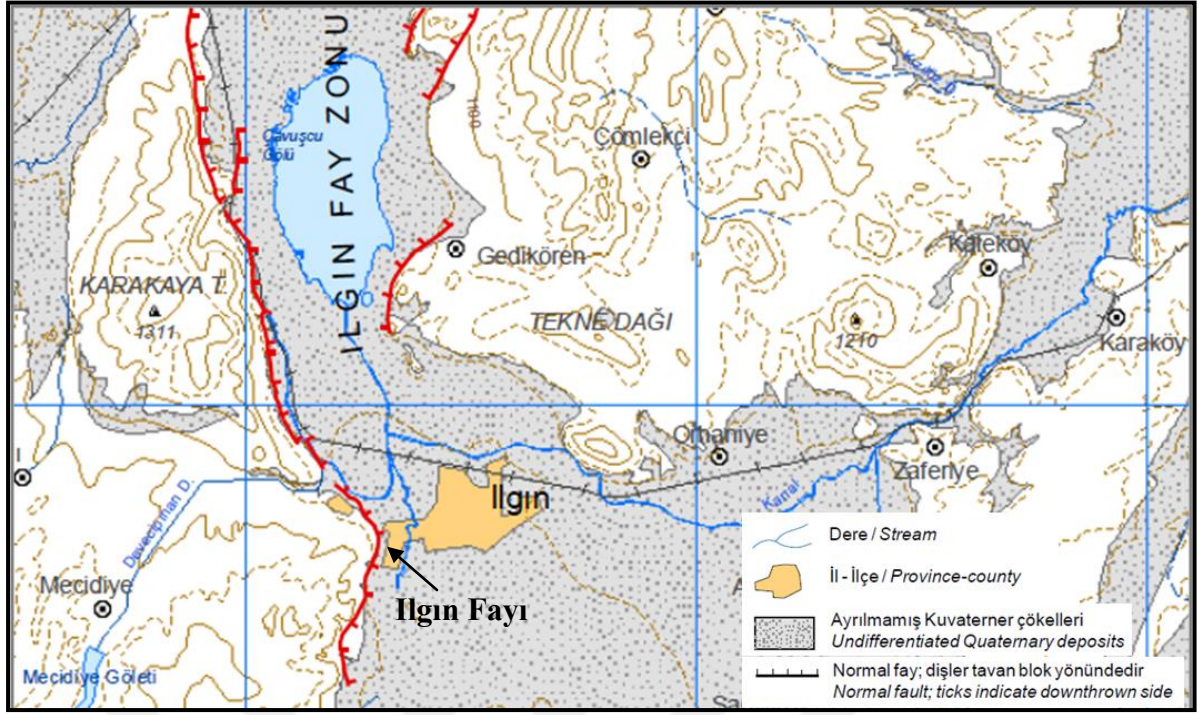
### **3.1.5. Alüvyon (Qal)**

Çakıl, kum, kil ve çamurdan oluşan; akarsuların, kanal ve taşkın ovalarında biriktirdikleri çökellerdir. Ilgın İlçesi içerisinde geçen sulu ve kuru dereler mevcut olup alanın büyük bölümünde Alüvyon birim izlenmiştir. Ilgın ilçesi içerisinde geçen sulu ve kuru derelerin etrafında gözlenen tutturulmamış, çakıl, kum, silt ve kil boyutunda malzemeden oluşmaktadır. Alüvyon ilçede çakıllı kumlu, killi, siltli şekilde gözlenmektedir.

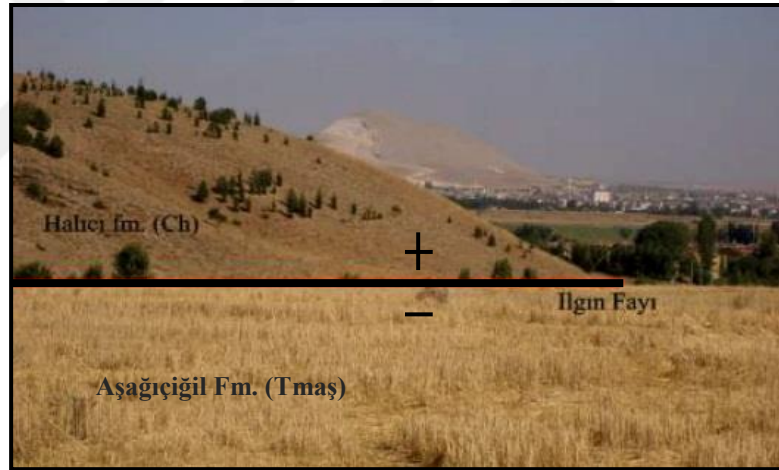
## **3.2. Yapısal Jeoloji**

### **3.2.1. Ilgın Fayı**

MTA'nın 2011 yılında hazırlanmış olduğu 1/250000 ölçekli diri fay haritasında Ilgın fayı gözlemlenmektedir. Ilgın fayı Çavuşçugöl grabeninin batısında, buradaki horstu oluşturan Paleozoyik, Mesozoyik ve Neojen yaşlı birimlerle graben içinde bulunan Pliyosen-Holosen yaşlı birimlerin sınırını oluşturmakta ve doğu-batı gidişli normal fay sistemini kesmektedir. Ilgın fayı inceleme alanını kuzey-güney yönünde baştan sona keser ve inceleme alanı sınırları dışında da devam eder. Yaklaşık 50 km uzunluğunda, eğim atımlı normal bir faydır (Şekil 3.3 ve 3.4).



Şekil 3.3. Iğın ve civarı diri fay haritası (MTA, 2011)



Şekil 3.4. Iğın fayının mostra görüntüsü; Kasım Tepe'den kuzeydoğuya bakış (Örtlek, 2017)

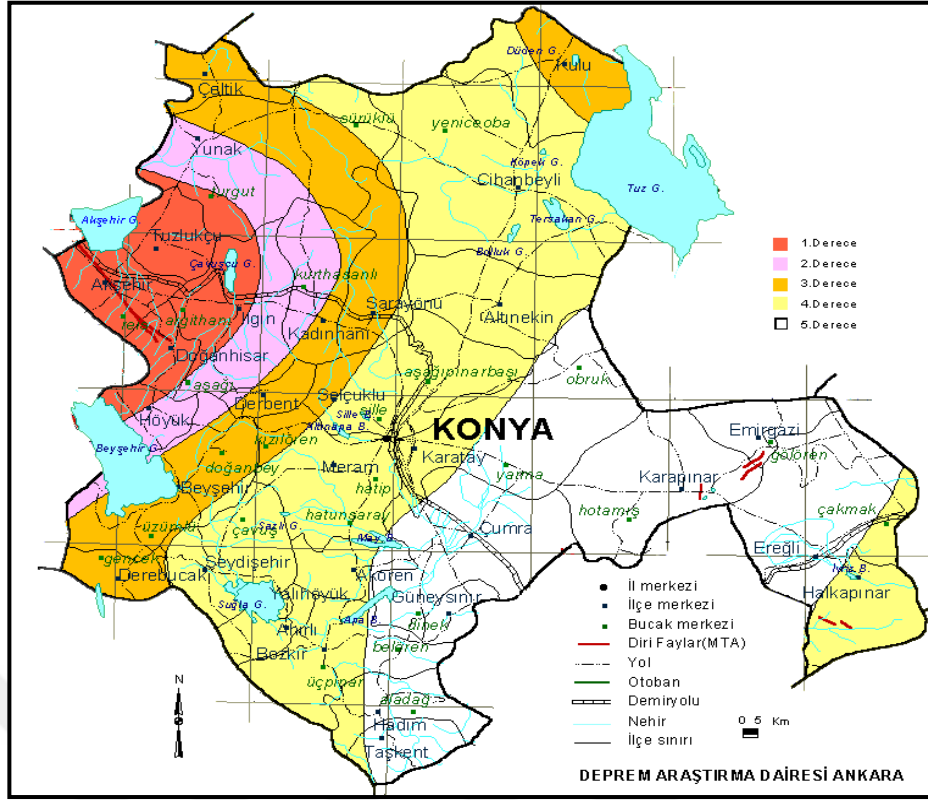
#### 4. BÖLGENİN DEPREMSELLİĞİ

Depremler, iç dinamik süreçlerle yer kabuğu içerisinde meydana gelen deformasyonların yarattığı ve jeolojide fay olarak tanımlanan kırılmalar sonucu oluşan yer sarsıntılarıdır. Depremin büyüklüğü (magnitüd), kırılma (faylanma) esnasında açığa çıkan enerjinin miktarına bağlıdır. Kırılma yoluyla boşalan enerji, kırılma merkezinden uzaklaştıkça genelde düzenli olarak azalır. Ancak, bazen yerel jeolojik özelliklerden kaynaklanan olumsuz zemin koşulları bu durumu bozan unsur oluşturur ve kaynaktan uzak olunmasına rağmen depremin yıkıcı etkisinin beklenilenden fazla olmasına yol açar. Bu nedenle herhangi bir bölgenin deprem potansiyeli değerlendirilirken depreme yol açan fayların (aktif fay) ve yerel zemin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Genel bir tanımla depremsellik (sismisite), o bölgedeki tektonik aktivitenin bir fonksiyonu olarak belirlenir. Bölgede oluşan depremlerin parametrelerini, sıklığını ve episantral şiddet-mesafe bağıntılarını kapsar. Yani bölgede oluşan depremlerin bütün özelliklerini tespit etmek anlamına gelir. Bir bölgenin depremselliğinin belirlenmesindeki amaç, depreme dayanıklı yapı projelerinin hazırlanmasına yardımcı olmaktır. Bu nedenle ki en önemli husus, belli bir zaman aralığı içinde, bölgede oluşacak en büyük deprem kuvvetini önceden tahmin etmektir.

Konya ili, Ilgın ilçesi Bakanlar Kurulunun 18 Nisan 1996 tarih ve 96/8109 sayılı kararı ile yürürlüğe giren Türkiye Deprem Bölgeleri haritasına göre 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. İnceleme alanı merkezinde hasar yapıcı deprem olmamıştır. Civarda oluşacak kuvvetli bir depremin yansıması sonucunda, periyotlarının uyuşabileceği özellikle yeraltı suyunun yüksekte bulunduğu alüvyon sahalardaki binalarda hasar beklenmektedir.

Çalışma alanı ve çevresinin deprem tehlike analizi yapılmıştır. Bu amaçla; çalışma alanı (38.28 E, 31.90 B) merkez olmak üzere 100 km'lik yarıçap içinde, sınırlanan bölgede sismik tehlikenin araştırılması için, Kandilli Rasathanesi'nin kayıtlarından, bölgede 1900-2019 yılları arasında meydana gelmiş magnitüdü 5.0 ve daha büyük deprem verileri kullanılmıştır.

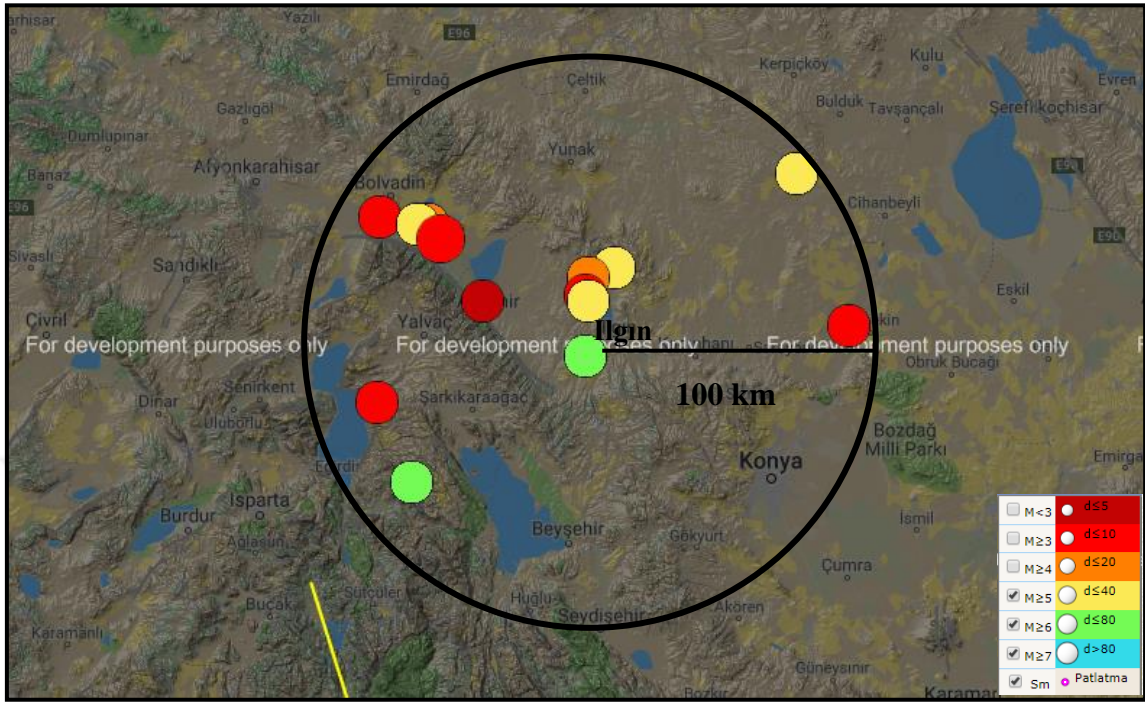


Şekil 4.1. Konya İli Deprem Haritası (Deprem Araştırma Dairesi, 1996, Ankara)

Çizelge 4.1. İnceleme alanını 100 km ile sınırlanan bölgede 1900-2019 yılları arasında meydana gelmiş magnitüdü 5 ve daha büyük deprem verileri (www.koeri.boun.edu.tr)

Tarih	Zaman (GMT)	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Magnitüd ( $M_s$ )	YER
03.02.2002	11:39	38.65	31.01	10	5.1	Çay (Afyonkarahisar)
03.02.2002	07:11	38.58	31.25	10	6.1	Taşköprü-Sultandağı
15.12.2000	16:44	38.63	31.19	13	5.8	Eber - Çay (Afyonkarahisar)
06.10.1968	22:07	38.78	32.59	37	5.1	Böğrüderek - Cihanbeyli (Konya)
28.03.1968	00:57	38.10	31.00	10	5.3	Gelendost (Isparta)
16.07.1946	19:45	38.63	31.15	40	5.3	Eber - Çay (Afyonkarahisar)
21.02.1946	15:43	38.24	31.79	60	5.6	Sebiller - Ilgın (Konya)
19.06.1934	18:43	37.86	31.13	50	5.5	Aksu (Isparta)
12.01.1931	15:55	38.50	31.90	30	5.3	Gölyaka - Ilgın (Konya)
12.01.1931	15:06	38.47	31.80	20	5.3	Kundullu - Tuzlukçu (Konya)
26.09.1921	09:26	38.42	31.79	10	5.5	Tursunlu - Tuzlukçu (Konya)
13.04.1921	04:54	38.40	31.80	30	5.4	Tursunlu - Tuzlukçu (Konya)
16.01.1921	23:55	38.33	32.79	10	5.8	Akköy - Altınekin (Konya)
01.04.1901	00:00	38.41	31.40	5	5.0	Atakent - Akşehir (Konya)





Şekil 4.2. Iğın merkezine 100 km yarıçapında olan 5 ve üzerindeki depremler (www.koeri.boun.edu.tr)

Şekil 4.2 incelendiğinde aletsel dönem içerisinde  $M_s \geq 5.0$  magnitüd aralığındaki depremlerin 14 adet olduğu görülmektedir. Ülkemizdeki yapı stoğu itibariyle yıkıcı deprem eşiğinin  $M=5.0$  olduğu kabulüyle, çalışma alanı ve çevresinde orta büyüklükte deprem olduğu görülmektedir. Bunun yanında  $6.0 \leq M_s \leq 6.5$  magnitüd aralığındaki yıkım etkisi çok fazla olan depremlerin 1 adet olduğu görülmektedir. Bu histogram incelendiğinde bu bölgede yapılacak olan yapıların “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik” hükümlerine uygun olarak yapılmalıdır.

## 5. HİDROJEOLJİ

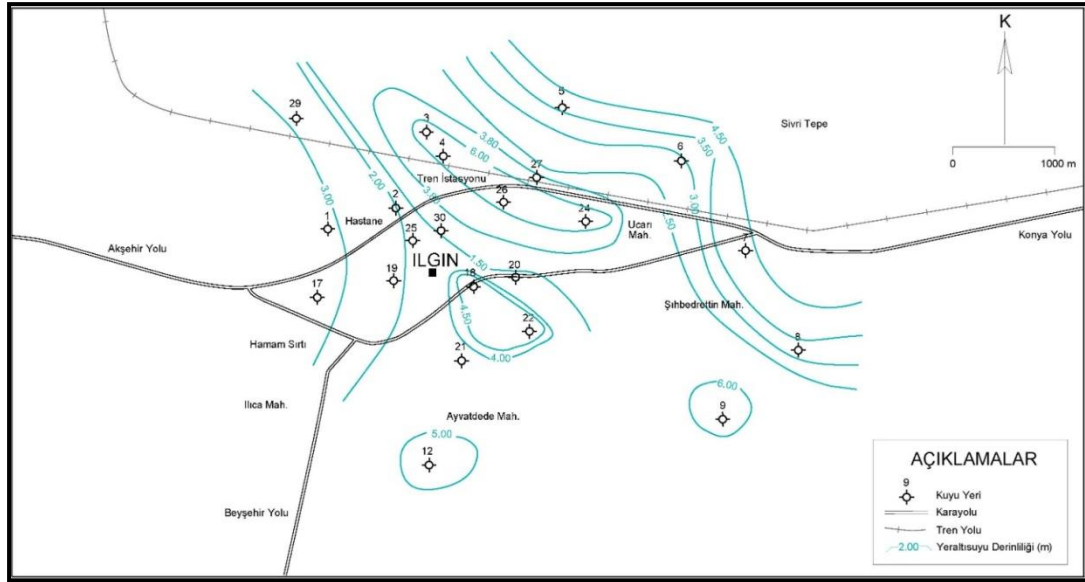
İnceleme alanının hidrojeolojik özelliklerini belirlemek amacıyla belirlenen kuyulardan yeraltı suyu seviye ölçümleri ve hidrokimyasal özellikleri ortaya çıkarmak için su örnekleri alınmıştır. Ayrıca kurak ve yağışlı dönemlere ait yeraltı suyu derinlik haritaları hazırlanmıştır.

İnceleme alanını temsil edecek şekilde yapılan kurak (2018) ve yağışlı (2019) dönem arasındaki yeraltı suyu seviyesi değişim ölçümleri belirlenmiştir (Çizelge 5.1).

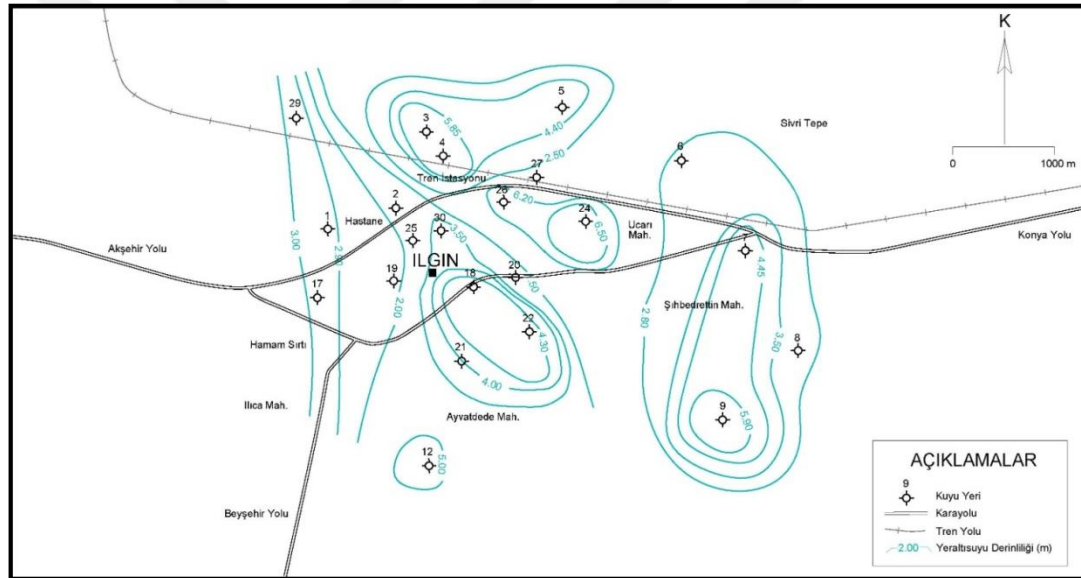
**Çizelge 5.1.** Kurak ve yağışlı dönemde yapılan yeraltı suyu derinlik ölçümleri

Kuyu Adı	Koordinatlar		Kurak Dönem Ölçümleri (m)	Yağışlı Dönem Ölçümleri (m)
	X	Y		
YAS-1	4238107,45	36 403198.74	3,00	2,90
YAS-2	4238294,24	36 403907.84	2,00	2,00
YAS-3	4239059,92	36 404186.76	6,00	5,85
YAS-4	4238811,71	36 404202.91	6,00	5,85
YAS-5	4239259,27	36 405495.78	4,50	4,40
YAS-6	4238774,41	36 406606.67	3,00	2,80
YAS-7	4237835,86	36 407259.22	4,50	4,45
YAS-8	4236853,25	36 407783.47	3,50	3,50
YAS-9	4236227,09	36 407026.85	6,00	5,90
YAS-12	4235809,88	36 404152.52	5,00	5,00
YAS-17	4237443,78	36 403168.49	3,00	3,00
YAS-18	4237547,83	36 404539.10	4,50	4,30
YAS-19	4237599,81	36 403917.57	2,00	2,00
YAS-20	4237663,58	36 405092.91	1,50	1,50
YAS-21	4236947,45	36 404658.19	4,00	4,00
YAS-22	4237107,6	36 405151.82	4,50	4,30
YAS-24	4238191,13	36 405618.63	6,00	6,50
YAS-25	4238156,00	36 404009.00	2,00	2,00
YAS-26	4238415,65	36 404804.12	6,00	6,20
YAS-27	4238617,08	36 405264.18	2,50	2,50
YAS-29	4239176,74	36 402765.56	3,00	3,00
YAS-30	4238160,05	36 404382.31	3,80	3,50

Çizelge 5.1’de verilen kurak (2018) ve yağışlı döneme ait yeraltı suyu derinliği ölçümlerine göre, İlgin’in merkezi kısmını temsil eden alanda yeraltı suyu seviyesi zeminden itibaren 1.50-6.00 m arasında değişmektedir. Özellikle kuzey kesimde bulunan hastane ve tren istasyonu bölgesinde yeraltı suları 1.50-3.50 m arasında olup, yüzeye oldukça yakındır.



Şekil 5.1. İnceleme alanının kurak (2018) dönem yeraltısuyu derinlik haritası



Şekil 5.2. İnceleme alanının yağışlı (2019) dönem yeraltısuyu derinlik haritası

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de verilen yeraltısuyu derinlik haritaları incelendiğinde, çalışma döneminde yeraltısı seviye değişimlerinin en fazla olduğu mahalleler Milli Egemenlik (30 cm), Fatih ve Ayvatdede (20 cm) ile İstasyon Mahallesi (15 cm)’dir. Buna karşın yeraltısı seviyesinde Ucarı Mahallesi’nde 50 cm ve Camiatik mahallesi’nde 20 cm’lik düşüm olduğu belirlenmiştir. Bu alanda yağışlı dönemde dikkat çekici şekilde düşüm ölçülürken, diğer kuyularda yeraltısı seviyelerinde yükselim ölçülmüş veya herhangi bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Bu dikkat çekici düşüme ölçüm yapılan kuyuların bulunduğu bölgede İlgin Sanayi Sitesi, benzin istasyonu ve İlgin

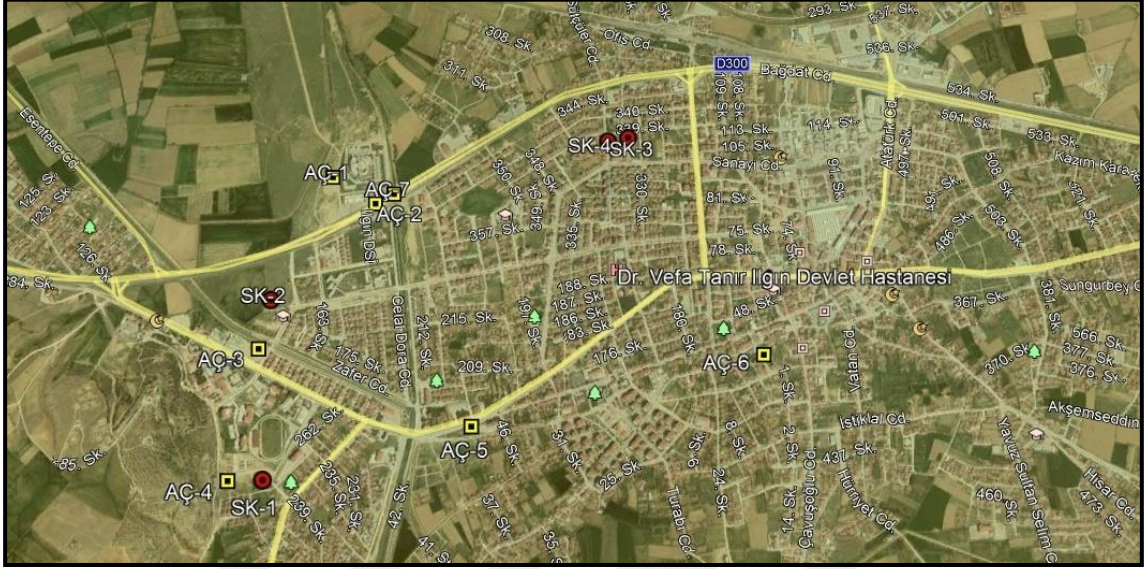
Otogarı civarından kontrolsüz yeraltısuyu tüketimini yapmasının neden olduğu düşünülmektedir.

İlgın yeraltısuyu kimyasını belirleyerek yapıların temelindeki beton ve donatı malzemelerine olası etkisini kısmi olarak değerlendirebilmek amacıyla su kimyası analizi yapılmıştır (EK 8). Yapılan ölçüm analizleri neticesinde pH'ın 6.99-7.49 arasında olduğu, iletkenliğin (Ms/cm) ise 646-1487 olduğu belirlenmiştir. Bulanıklığın ise 0.84-640 (NTU) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca klor (Cl) değerinin 27.45-158 mg/lit, sülfat (SO<sub>4</sub>) değerinin 54.27-243.39 mg/lit, magnezyum (Mg) değerinin 28.33-85.65 mg/lit, toplam sertliğin ise 36-70 FS olduğu tespit edilmiştir. Bu su örneklerinin kimyasal özellikleri ve fizikokimyasal özellikleri incelendiğinde beton için TS EN 3440 standartlarına göre bu suyun betona zararlı etkisi söz konusu değildir. Ayrıca TS EN 1008'e göre de beton karma suyu için de kullanıma uygundur.

## 6. JEOTEKNİK İNCELEMELER

### 6.1. Arazi İncelemeleri

Arazi incelemeleri sırasında jeoteknik amaçlı araştırma çukurları ve sondajlar yapılmış (Şekil 6.1), bu çalışma sırasında TORBA, UD ve SPT ile örnekler alınmıştır (Şekil 6.2).



Şekil 6.1. İnceleme alanında açılan araştırma çukurları ve sondaj noktalarının yerleri



Şekil 6.2. AÇ-1 numaralı araştırma çukuru ve SK-2 numaralı jeoteknik sondaj kuyusu çalışmasından bir görüntü

### 6.1.1. Araştırma Çukurları

İnceleme alanında 7 adet olmak üzere toplam derinliği 32.50 m olan jeoteknik amaçlı araştırma çukuru açılmıştır. Araştırma çukurlarının numarası, koordinatları, kotu ve derinliği Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. İnceleme alanında yer alan araştırma çukurlarına ait bilgiler

Araştırma Çukuru Numarası	Koordinatlar		Kot (m)	Derinlik (m)
	X	Y		
AÇ-1	4237992	36 403254	1030	6.00
AÇ-2	4237884	36 403434	1035	5.00
AÇ-3	4237285	36 403013	1037	4.00
AÇ-4	4236772	36 402944	1040	4.00
AÇ-5	4237000	36 403861	1038	4.50
AÇ-6	4237304	36 404994	1037	6.00
AÇ-7	4237926	36 403506	1034	3.00

### 6.1.2. Sondaj Kuyuları

İnceleme alanında 4 adet olmak üzere toplam derinliği 37.50 m olan jeoteknik amaçlı sondaj kuyusu açılmıştır. Sondaj kuyularının numarası, koordinatları, kotu ve derinlikleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. İnceleme alanında yer alan sondaj kuyularına ait bilgiler

Sondaj Kuyusu Numarası	Koordinatlar		Kot (m)	Derinlik (m)
	X	Y		
SK-1	4236777	36 403076	1036	9.50
SK-2	4237480	36 403045	1034	12.00
SK-3	4238166	36 404365	1032	10.00
SK-4	4238183	36 404447	1031	6.00

### 6.1.3. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

İnceleme alanında açılan dört sondaj kuyusunda ince taneli zeminlerin kıvamını, iri taneli zeminlerin sıklığını belirlemek için her 1.5 metrede bir standart penetrasyon deneyi (SPT) yapılmış (Şekil 6.3) ve deney sırasında dış çapı 2 inç, iç çapı 1 3/8 inç olan standart tip boyuna yarık tüp ile numune alınmıştır. Deney 63.5 kg ağırlığındaki şahmerdanın 0.76 m yükseklikten serbest düşmesi ile zemine 0.15 metrelik kademeler halinde toplam 0.45 m çakılması için gerekli darbe sayısı belirlenerek yapılmıştır. İlk 0.15 m’lik okuma, oturma kademesi olarak alınmış son iki kademedeki darbe sayısı toplamı zeminin penetrasyon direnci (SPT N) olarak kayıt edilmiştir.



**Şekil 6.3.** SK-4 numaralı jeoteknik sondaj kuyusunda SPT deneyi yapılışı

SPT yapılan seviyelerde, boyuna yarık örnek alıcının içinden çıkan numuneler örselenmiş örnek olarak alınmış ve sınıflama deneylerinde kullanılmak üzere iki katlı naylon torbalar içerisine konularak laboratuvara gönderilmiştir.

Düzeltilmiş darbe sayılarına göre elde edilen veriler ince taneli zeminlerin kıvamı ve iri taneli zeminlerin sıklığı çizelgesine (Skempton, 1986) göre değerlendirmiştir (Çizelge 6.3).

**Çizelge 6.3.** Düzeltilmiş darbe sayılarına göre kıvam ve sıklık çizelgesi (Skempton, 1986)

İnce taneli zeminler		İri taneli zeminler	
N darbe sayısı	Kıvam	N darbe sayısı	Sıklık
0-2	Çok yumuşak	0-4	Çok gevşek
3-4	Yumuşak	5-10	Gevşek
5-8	Orta katı	11-30	Orta sıkı
9-15	Katı	31-50	Sıkı
16-30	Çok katı	N>50	Çok sıkı
N>30	Sert		

#### 6.1.4. Örselenmemiş Örnek (UD) Alınması

Sondaj sırasında geçilen zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini, dayanımını, oturma özelliklerini ve sıvılaşma potansiyelini incelemek amacı ile farklı derinliklerden ince cidarlı, 89 mm dış çaplı Shelby tüpü ile hidrolik baskı uygulanarak UD örnekleri alınmaya çalışılmıştır. TS 1901 standardına uygun olarak alınan tüp numunelerinin altı ve üstü düzeltilerek parafinlenmiş ve etiketlenerek laboratuvara gönderilmiştir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. SK-3 numaralı kuyudan UD numunesi alımı

#### 6.2. Laboratuvar Çalışmaları

İnceleme alanında gerçekleştirilen araştırma çukuru ve sondaj kuyusu çalışmalarında farklı derinliklerden alınan 8 adet örselenmiş ve 15 adet örselenmemiş numuneler üzerinde zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla, Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı'nda ve Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı'nda TSE standartlarına göre deneyler yapılmıştır.



Zeminin doğal su içeriği ( $\omega$ ), birim hacim ağırlığı ( $\gamma_n$ ), özgül ağırlığı (Gs), tane boyu dağılımı, Atterberg limitleri (PL, LL, PI), üç eksenli basınç ve kesme kutusu deneyi ile zeminlerin kohezyonu (c) ve içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ), konsolidasyon deneyi ile oturma miktarları bulunmuştur. Zeminlerin jeoteknik özelliklerini gösterir tablo EK-1'de verilmiştir.

### 6.2.1. Doğal Su İçeriği

Toplam 23 adet örneğin su içeriği TS 1900-1 (2006) standardına uygun olarak belirlenmiştir. Zeminlerin su içeriği %8 ile %30 arasında değişmektedir (Çizelge 6.4).

Çizelge 6.4. Doğal su içeriği deney sonuçları

Araştırma Çukuru/Sondaj Numarası	Örnek No	Derinlik (m)	Doğal Su İçeriği $\omega_n$ (%)
AÇ-1	TORBA-1	4.50	18
	TORBA-2	6.00	23
AÇ-2	TORBA	5.00	18
AÇ-3	TORBA	4.00	20
AÇ-4	TORBA	4.00	26
AÇ-5	TORBA	4.50	8
AÇ-6	TORBA	5.00	13
AÇ-7	TORBA	3.00	16
SK-1	UD	4.50	17
SK-1	UD	6.50	20
SK-1	UD	9.50	26
SK-2	UD	3.00	18
SK-2	UD	6.00	10
SK-2	UD	8.00	24
SK-2	UD	10.00	24
SK-2	UD	12.00	24
SK-3	UD	3.00	22
SK-3	UD	6.00	30
SK-3	UD	8.00	27
SK-3	UD	10.00	31
SK-4	UD	3.00	21
SK-4	UD	4.50	25
SK-4	UD	6.00	27

### 6.2.2. Doğal Birim Hacim Ağırlık

Toplam 12 adet örneğin doğal birim hacim ağırlığı TS 1900-1 (2006) standardına uygun olarak belirlenmiştir. Zeminlerin doğal birim hacim ağırlığı 17.96 kN/m<sup>3</sup> ile 20.81 kN/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.5. Doğal birim hacim ağırlık deney sonuçları

Araştırma Çukuru/Sondaj Numarası	Örnek No	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlık $\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )
SK-1	UD	4.50	18.59
SK-1	UD	6.50	18.83
SK-1	UD	9.50	19.37
SK-2	UD	3.00	19.56
SK-2	UD	8.00	19.00
SK-2	UD	10.00	19.14
SK-3	UD	3.00	19.93
SK-3	UD	6.00	20.81
SK-3	UD	8.00	19.58
SK-3	UD	10.00	17.96
SK-4	UD	4.50	18.34
SK-4	UD	6.00	19.76

### 6.2.3. Özgül Ağırlık

Toplam 16 adet örneğin özgül ağırlık değeri TS 1900-1 (2006) standardına uygun olarak belirlenmiştir (Şekil 6.5). Zeminlerin özgül ağırlığı %1.47 ile %2.83 arasında değişmektedir(Çizelge 6.6).



Şekil 6.5. Özgül ağırlık deneyi yapılışı

Çizelge 6.6. Özgül ağırlık deney sonuçları

Sondaj Numarası	Örnek No	Derinlik (m)	Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )
SK-1	UD	4.50	2.72
SK-1	UD	6.50	2.78
SK-1	UD	9.50	2.76
SK-2	UD	3.00	2.75
SK-2	UD	6.00	2.70
SK-2	UD	8.00	2.78
SK-2	UD	10.00	2.73
SK-2	UD	12.00	2.81
SK-3	UD	3.00	1.47
SK-3	UD	6.00	2.82
SK-3	UD	8.00	2.83
SK-3	UD	10.00	2.78
SK-4	UD	3.00	2.75
SK-4	UD	4.50	2.78
SK-4	UD	6.00	2.80
SK-4	SPT	6.25	2.73

#### 6.2.4. Elek Analizi

İnceleme alanındaki ince taneli zeminlerde elek analizi sınıflama amaçlı yapılmıştır. Zeminlerin tane boyu dağılımı ıslak elek yöntemi ile TS 1900-1 (2006) standardına göre yapılarak, toplam 23 adet örneğin tane boyu dağılımı eğrileri çizilerek EK 2’de verilmiştir (Şekil 6.6).



Şekil 6.6. Elek analizi deneyi yapılışı

### 6.2.5. Hidrometre

Hidrometre deneyi 7 adet ince taneli zemin örneğinin tane boyuna göre sınıflamasını yapmak için TS 1900-1 (2006) standardına uygun olarak yapılmış (Şekil 6.7) ve EK 3'de verilmiştir.



Şekil 6.7. Hidrometre deneyi

### 6.2.6. Atterberg Limitleri

16 adet ince taneli zemin örneğinin likit limit, plastik limit ve plastisite indisi TS 1900-1 (2006) standardına uygun olarak belirlenmiş (Şekil 6.8) ve aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Zeminlerin likit limitleri %32 ile %55 arasında, plastik limitleri %18 ile %31 arasında ve plastisite indisleri %13 ile %30 arasında değişmektedir (Çizelge 6.7).



Şekil 6.8. Atterberg Limitleri tayini deney düzeneği ve yapılışı

Çizelge 6.7. Atterberg Limitleri deney sonuçları

Araştırma Çukuru/Sondaj Numarası	Örnek No	Derinlik (m)	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)
AÇ-1	TORBA-1	4.50	40	20	20
AÇ-1	TORBA-2	6.00	43	21	23
AÇ-2	TORBA	5.00	36	19	17
AÇ-3	TORBA	4.00	32	19	13
AÇ-4	TORBA	4.00	41	23	18
AÇ-5	TORBA	4.50	37	23	14
SK-1	UD	4.50	37	23	14
SK-1	UD	6.50	50	20	30
SK-1	UD	9.50	39	20	19
SK-2	UD	3.00	36	19	17
SK-2	UD	10.00	35	18	17
SK-3	UD	6.00	39	21	18
SK-3	UD	8.00	44	25	19
SK-3	UD	10.00	55	31	24
SK-4	UD	6.00	39	21	18

### 6.2.7. Boşluk Oranı

3 adet zemin örneğinin minimum ve maksimum boşluk oranı belirlenmiş (Şekil 6.9) ve aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Zeminlerin minimum boşluk oranı %0.45 ile %0.68 arasında ve maksimum boşluk oranı %0.61 ile %1.28 arasında değişmektedir (Çizelge 6.8).



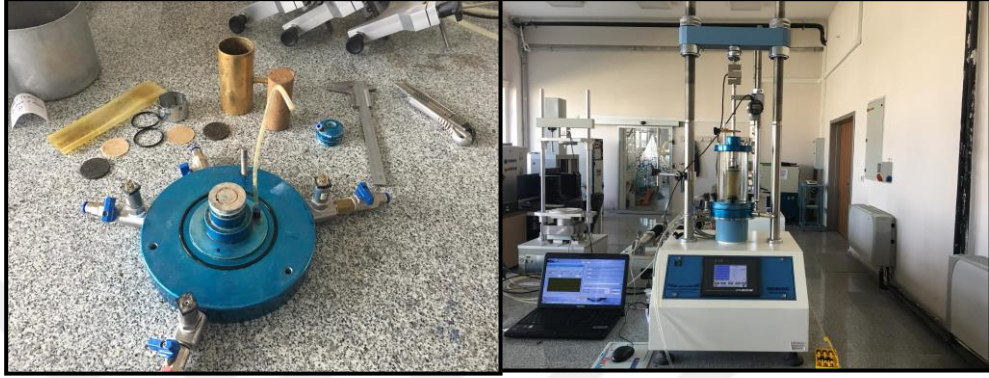
Şekil 6.9. Min./Max. boşluk oranı tayini deney düzeneği ve yapılışı

Çizelge 6.8. Minimum/Maksimum boşluk oranı deney sonuçları

Sondaj Numarası	Örnek No	Derinlik (m)	Minimum Boşluk Oranı (%)	Maksimum Boşluk Oranı (%)
SK-2	UD	6.00	0.45	0.61
SK-2	UD	8.00	0.54	0.80
SK-3	UD	3.00	0.68	1.28

### 6.2.8. Üç Eksenli Basınç

İnceleme alanında 12 adet örselenmemiş UD örnekleri için üç eksenli basınç deneyi TS 1900-2 (2006) standardına uygun olarak drenajsız ve konsolidasyonsuz şartlarda yapılmıştır (Şekil 6.10). Deneyler sonucu  $1 \sigma$  ve  $3 \sigma$  asal gerilmeler altında örneklerin yenilme şartları ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı bulunmuştur. Deney sonuçları EK 4’de yer almaktadır.



Şekil 6.10. Üç eksenli basınç deney düzeneği ve yapılışı

### 6.2.9. Kesme Kutusu

İnceleme alanında 24 adet örselenmemiş UD örnekleri için kesme kutusu deneyi TS 1900-2 (2006) standardına uygun olarak yapılmıştır (Şekil 6.11). Deneyler sonucu ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı bulunmuştur. Deney sonuçları EK 5’de yer almaktadır.



Şekil 6.11. Kesme Kutusu deney düzeneği

### 6.2.10. Konsolidasyon

İnceleme alanında 12 adet örselenmemiş UD örnekleri için konsolidasyon deneyi TS 1900-2 (2006) standardına uygun olarak yapılmıştır (Şekil 6.12). Deneyler sonucu ile boşluk oranı-basınç ilişkisi elde edilmiştir. Sonuçlar EK 6'da yer almaktadır.



Şekil 6.12. Konsolidasyon deney düzeneği

### 6.2.11. Tekrarlı Dinamik Kesme

İnceleme alanından alınan 2 adet numune üzerinde tekrarlı dinamik kesme deneyi yapılmıştır (Şekil 6.13). Deneyler sonucu ile kumlu zeminlerin sıvılaşma enerjisi belirlenmiştir.



Şekil 6.13. Tekrarlı Dinamik Kesme deney düzeneği

### 6.3. Jeoteknik Değerlendirme

#### 6.3.1. Taşıma Gücü

Terzaghi ve Peck (1948) kohezyonlu zeminlerde kare temel için taşıma gücü ile emniyetli taşıma gücünü aşağıdaki eşitlikler ile hesaplamışlardır.

$$q_f = (1+0.3 B/L).c.N_c + \gamma_1.D_f.N_q + 0.5(1-0.2 B/L)\gamma_2.B.N_\gamma \quad (1.1)$$

$$q_{emn} = q_f / SF \quad (1.2)$$

$q_f$  : Taşıma gücü ( $kg/cm^2$ )

$q_{emn}$  : Emniyetli taşıma gücü ( $kg/cm^2$ )

$c$  : Kohezyon (kPa)

$D_f$  : Temel derinliği (1 m)

$B$  : Temel genişliği (2 m)

$L$  : Temel uzunluğu (2 m)

$\gamma_1$  : Temel üstünde yer alan zeminin birim ağırlığı ( $kN/m^3$ )

$\gamma_2$  : Temel zeminin birim ağırlığı ( $kN/m^3$ )

$SF$  : Emniyet katsayısı (5) alınmıştır.

$\Phi$  : İçsel sürtünme açısı (derece)

$N_c, N_q$  ve  $N_\gamma$  : Taşıma gücü katsayıları

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) yüzeysel temellerin taşıma gücü aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$q_k = c.N_c.sc.dc.ic.gc.bc + q.N_q.sq.dq.iq.gq.bq + 0,5.\gamma.B'.N_\gamma.s_\gamma.d_\gamma.i_\gamma.g_\gamma.b_\gamma \quad (1.3)$$

$$q_t = q_k / \gamma(R_v) \quad (1.4)$$

$q_k$  : Temel taşıma gücünün karakteristik dayanımı

$sc, sq, s_\gamma$  : Temel şekli katsayıları

$dc, dq, d_\gamma$  : Derinlik katsayıları

$ic, iq, i_\gamma$  : Yükleme eğikliği katsayıları

$gc, gq, g_\gamma$  : Temel zemini eğimi katsayıları

$bc, bq, b_\gamma$  : Temel taban eğimi katsayıları

$N_c, N_q, N_\gamma$  : Taşıma gücü katsayıları

$c$  : Kohezyon

$q_t$  : Tasarım dayanımı  $R_t$ 'nin temel taşıma gücüne ilişkin karşılığı

$\gamma_{Rv}$  : Temel taşıma gücü dayanım katsayısı



Kare temel için elde edilen değerlere göre inceleme alanında yer alan zeminin emniyetli taşıma gücü değerleri hesaplanmıştır. Kesme kutusu deneyi sonuçlarına göre emniyetli taşıma gücü değerleri Çizelge 6.9’da verilmiştir.

**Çizelge 6.9.** Kesme Kutusu deneyi sonuçlarına göre taşıma gücü değerleri

Sondaj Numarası	Örnek No	Derinlik (m)	Emniyetli Taşıma Gücü ( $q_{emn}$ ) ( $kg/cm^2$ )	
			Terzaghi ve Peck (1948)	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)
SK-1	UD	6.50	0.75	3.21
SK-1	UD	9.50	1.25	6.07
SK-2	UD	3.00	0.93	4.12
SK-3	UD	3.00	1.16	5.33
SK-4	UD	4.50	0.98	4.29
SK-4	UD	6.00	1.37	6.41

Üç Eksenli Basınç deneyi sonuçlarına göre emniyetli taşıma gücü değerleri çizelge 6.10’da verilmiştir.

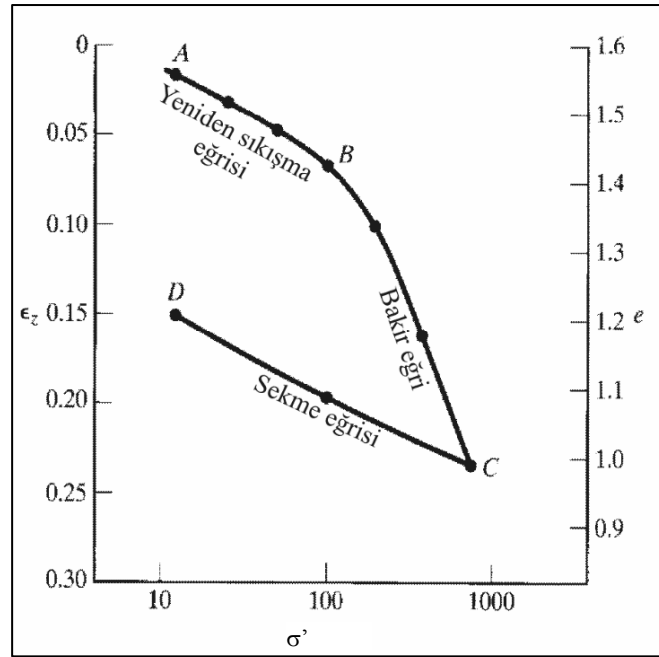
**Çizelge 6.10.** Üç Eksenli Basınç deneyi sonuçlarına göre taşıma gücü değerleri

Sondaj Numarası	Örnek No	Derinlik (m)	Emniyetli Taşıma Gücü ( $q_{emn}$ ) ( $kg/cm^2$ )	
			Terzaghi ve Peck (1948)	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)
SK-1	UD	6.50	1.43	5.81
SK-1	UD	9.50	0.74	2.65
SK-2	UD	3.00	1.59	8.98
SK-3	UD	10.00	1.07	4.18

### 6.3.2. Oturma

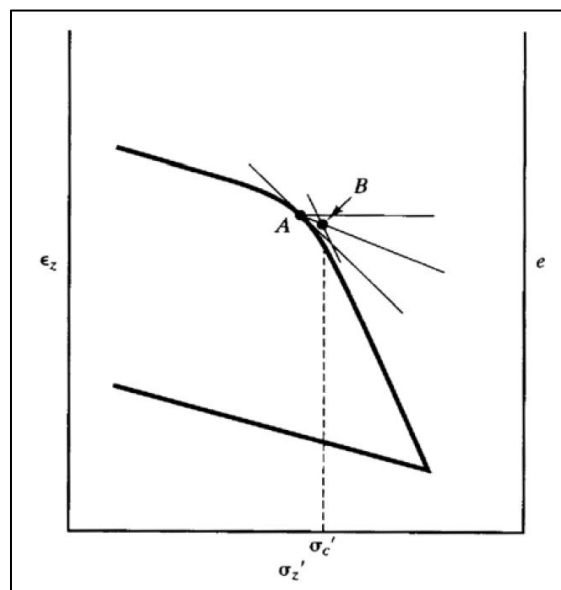
#### 6.3.2.1 Sıkışma ve Yeniden Sıkışma İndeksine Göre Oturma Hesabı

Konsolidasyon deneyi sonucunda numunelerde konsolidasyon parametrelerinden olan; sıkışma indeksi ( $C_c$ ),yeniden sıkışma indeksi ( $C_r$ ), konsolidasyon katsayısı ( $c_v$ ), ön konsolidasyon gerilmesi ( $\sigma'_p$ ) değerleri elde edilmiştir. Örneklerin sıkışma indeksi, yeniden sıkışma indeksi ve ön konsolidasyon gerilmelerini belirlemek için boşluk oranı (e)-efektif gerilme ( $\sigma'$ ) grafikleri kullanılmıştır. Bu grafiklerde sıkışma indeksini bulmak için bakir sıkışma eğrisinin eğimi (B-C), yeniden sıkışma indeksini bulmak için yeniden sıkışma eğrisinin eğimi (A-B) yerine sekme eğrisinin eğimi (D-C) kullanılmıştır (Şekil 6.14).



Şekil 6.14. Birim deformasyon ( $\epsilon$ ) veya boşluk oranı ( $e$ )-efektif gerilme ( $\sigma'$ ) grafiği (Coduto, 2006)

Ön konsolidasyon gerilmesi Casagrande 1936 yöntemine göre boşluk oranı ( $e$ )-efektif gerilme ( $\sigma'$ ) grafiği üzerinde aşamalı olarak bulunmuştur. Bu aşamalar a) yeniden sıkışma eğrisinden bakır sıkışma eğrisine geçişteki en küçük yarıçap noktasının seçilmesi (A), b) bu noktadan yatay çizgi çekilmesi ve bu noktaya teğet çizilmesi, c) A noktasından teğetle yatay çizgi arasındaki açıyı ikiye bölecek şekilde çizgi çekilmesi, d) bakır sıkışma eğrisi üzerinden açıyı ikiye bölen çizgiyi kesecek şekilde bir doğru çizilmesi ve kesiştikleri noktanın (B) ön konsolidasyon basıncı olarak kabul edilmesi olarak belirlenmiştir (Şekil 6.15).



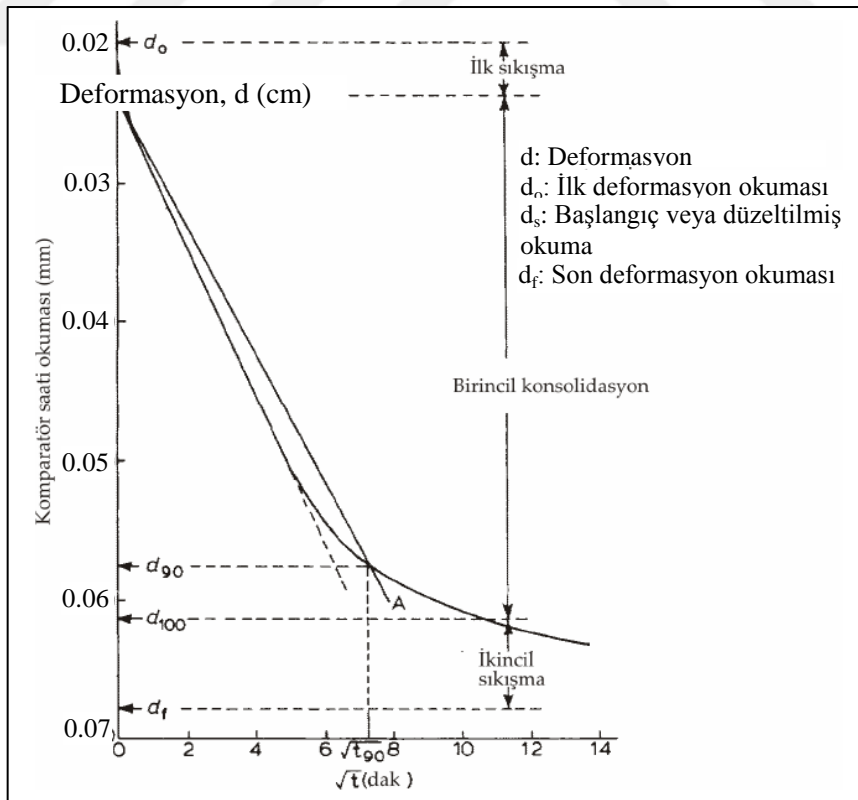
Şekil 6.15. Boşluk oranı ( $e$ )-Efektif gerilme ( $\sigma'$ ) grafiği (Coduto, 2006)

Konsolidasyon katsayısı ( $c_v$ ) deformasyon ( $d$ )-karekök zaman ( $\sqrt{t}$ ) grafiğinden Eşitlik (1.5) kullanılarak bulunmuştur.

$$C_v = T_v d^2 / t_{90} \quad (1.5)$$

$t_{90}$  değerini bulmak için deformasyon-karekök zaman eğrisinin düz kısmından deformasyon eksenini kesen bir doğru çizilmiş ve eksenini kestiği nokta ( $d_s$ ) işaretlenmiştir. Deformasyon ekseninin herhangi bir noktasından bu doğruyu kesen bir yatay çizgi çizilmiş ve uzunluğu kaydedilmiştir. Kaydedilen değer 1.15 ile çarpılmış ve deformasyon ekseninden hesaplanan yeni uzunluk değeri kadar yatay bir çizgi çekilmiştir. Yeni yatay çizginin sonu ile  $d_s$  noktasından geçen bir doğru çizilmiş ve deformasyon-karekök zaman eğrisini kestiği nokta işaretlenmiştir. Bu noktadaki karekök zaman değeri kaydedilmiştir (Şekil 6.16). Kaydedilen değerın karesi alınarak  $t_{90}$  değeri elde edilmiştir.

$T_v$  ise  $t_{90}$  değeri deformasyon karekök zaman grafiğinden elde edildiğinden dolayı sabit bir sayı olan 0.848 değerini almaktadır. Konsolidasyon deney düzeneği numune içine iki yönde su giriş-çıkışına izin verdiği için  $d$  kat sayısı da 1 olarak alınmıştır.



Şekil 6.16. Konsolidasyon katsayısının belirlenmesi için kullanılan deformasyon-karekök zaman grafiği

Konsolidasyon sonuçlarına göre oturma hesapları çizelge 6.11'deki veriler kullanılarak yapılmıştır.

**Çizelge 6.11.** SK-1 (4.50 m) için Konsolidasyon deneyi sonuçlarına göre oturma hesabı

Arazide sıkışabilir tabaka kalınlığı ( $H_o$ ) (cm)	200
Tekrar sıkışma indisi ( $C_r$ )	0,014
Sıkışma indisi ( $C_c$ )	0,131
Başlangıç boşluk oranı ( $e_o$ )	0,770
Düşey gerilme artışı ( $\Delta\sigma'_v$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ )	3
Ortalama jeolojik yük ( $\sigma'_{vo}$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ )	1,2
Toplam düşey gerilme ( $\sigma'_{v2}$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ )	4,2
Önkonsolidasyon basıncı ( $\sigma'_p$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ )	0.53
<b>Konsolidasyon oturması (<math>S_c</math>) (cm)</b>	<b>12.76</b>

**Çizelge 6.12.** Konsolidasyon deneyi sonuçlarına göre oturma hesabı

Sondaj Numarası	Örnek No	Derinlik (m)	Oturma Miktarı ( $S_c$ ) (cm)
SK-1	UD	4.50	12.76
SK-1	UD	6.50	17.41
SK-1	UD	9.50	9.93
SK-2	UD	3.00	8.31
SK-2	UD	8.00	14.19
SK-2	UD	10.00	12.46
SK-3	UD	3.00	13.31
SK-3	UD	6.00	13.14
SK-3	UD	8.00	8.80
SK-3	UD	10.00	12.03
SK-4	UD	4.50	16.89
SK-4	UD	6.00	14.72

İnceleme alanında oturma miktarı 8.31 cm ile 17.41 cm arasında değişmektedir.

### 6.3.3. Kumlu Zemin Tabakalarının Sıvılaşma Enerjisi Özellikleri

Kohezyonsuz zeminler olarak adlandırılan iri taneli zeminlerin (kum, çakıl vb.) özellikle kumlu zeminlerin sıvılaşma potansiyeli arazide (SPT veya CPT vb. gibi) ve laboratuvarında farklı yöntemlerle belirlenebilmektedir.

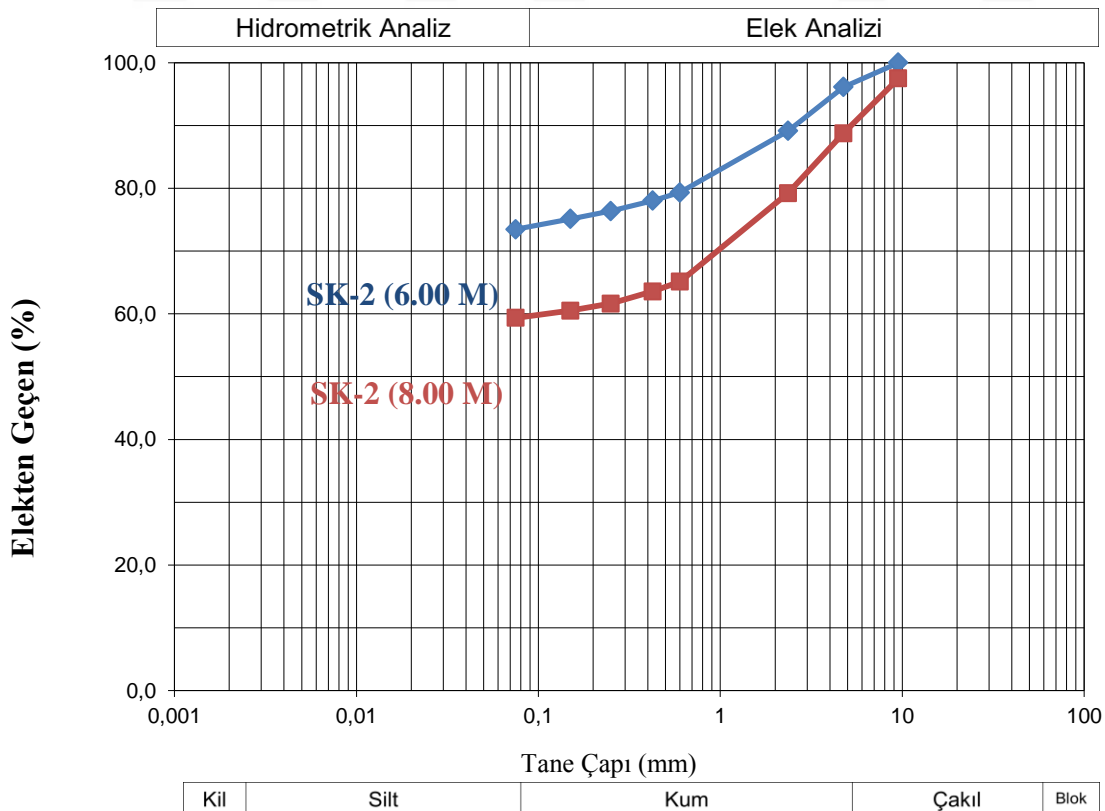
Arazi yöntemlerinin temelinde zemine uygulanan “gerilme etkisinin” değerlendirilmesi yatmaktadır. Ancak, gerilme prensibi temelinde tanımlanmış olan arazi yöntemleri yerine, kumların sıvılaşma potansiyelinin laboratuvarında belirlenmesi, birbirinden farklı yöntemlerle yapılmaktadır. Bu yöntemlerin bir bölümü uygulanan gerilme prensibine; bir başka bölümü deformasyon (gerilme) prensibine; bir diğer bölümü ise enerji prensibi temelinde dayanmaktadır.

Laboratuvar yöntemi olarak dinamik üç eksenli kesme yöntemi en yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir. Ancak, bu yöntem sadece düşey yönde dinamik etkide bulunmaktadır. Gerçekte dinamik kuvvet; yatayda (2 bileşen) ve düşeyde (1 bileşen) olmak üzere, 3 yönde bileşenlerine ayrılan, vektörel kuvvetler olarak zemine etki etmektedir.

Dinamik yükleme koşulları için kullanılan diğer laboratuvar yöntemleri; içi boş silindirik burulmalı kesme deneyi, dinamik üç eksenli deneyi, rezonant kolonu deneyi, devirsel basit kesme deneyi, bender elemanı deneyi vb. deneylerdir. Kum zeminlerin sıvılaşma potansiyelini laboratuvarında belirlemede, son zamanlarda enerji kavramı da kullanılmaya başlanmıştır. Bu yaklaşımda başlıca gerekli parametreler zeminin rölatif sıklığı ve efektif gerilmedir.

### 6.3.3.1 Materyal

Bu çalışmada, Ilgın yerleşim alanı içerisindeki kumlu zeminlerin sıvılaşma enerjisi "çok yönlü tekrarlı basit kesme deney düzeneği" kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla, Ilgın yerleşim alanı içerisinde açılan sondaj kuyularının farklı derinliklerinden elde edilen kumlu zemin numuneleri (kum numuneleri) kullanılmıştır. Kumların tane boyu dağılımı analizi (elek analizi) yapılmıştır (Şekil 6.17).



Şekil 6.17. Kumların tane boyu dağılım eğrisi

Deneylere başlamadan önce kumlu zemin numuneleri üzerinde zemin mekaniği deneyleri (jeoteknik deneyler) yapılmıştır. Bunlar;

- Yoğunluk, birim hacim ağırlık (bha), özgül ağırlık (GS) (piknometre yöntemiyle), su içeriği, boşluk oranı, minimum boşluk oranı, maksimum boşluk oranı vb. diğer bazı deneylerdir. Yapılan deneyler sonucunda kum örneklerinin jeoteknik özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 6.13).

**Çizelge 6.13.** İlgın zeminlerinden karotlu sondaj yardımıyla elde edilen kum(lu) zeminlerin jeoteknik özellikleri

Özellik	SK-2 (6.00 m)	SK-2 (8.00 m)
Özgül ağırlık ( $G_s$ )	2.70	2.78
Su içeriği (w: %)	10	24
Minimum boşluk oranı ( $e_{min}$ )	0.45	0.54
Maksimum boşluk oranı ( $e_{maks}$ )	0.61	0.80

Deney yapılacak kum örnekleri, 100 mm çaplı numune hazırlama aparatı kullanılarak sıvılaştırma enerjileri belirlenmiştir (Şekil 6.18).



**Şekil 6.18.** Kum örneklerinin tekrarlı basit kesme deneyine hazırlamakta kullanılan numune hazırlama aparatına/kalıbına kumun yerleştirilmesi

Tüm sıvılaşma deneylerine %40 rölatif sıklık değeriyle başlanmıştır. %70 değerine varıncaya kadar dört (4) ayrı rölatif sıklık değerinde deney yapılmıştır. Test edilmesi amacıyla hazırlanan örneklerin çapları 100 mm'dir. Yükseklik(H)/Çap(D) oranı ise SK-5 nolu örnek için: 1/5 (=0,2); SK-6 nolu örnek için: 1/2 (=0,5)'dir.

Bütün kum numuneleri 0,1 Hz frekansta (f) salınımına tabi tutulmuştur. %40, %50, %60 ve %70 rölatif sıklıklarda ( $D_r$ ) deneylere devam edilmiştir. Hazırlanan kum numunelerin hepsi %5 oranında, kesme birim deformasyonu etkisinde bırakılmıştır. Bu şekilde deneye tabi tutulacak kum numunelerine her bir rölatif sıklık ve deformasyon oranı için  $r_v=1/2$  oranını sağlayacak şekilde; toplam düşey gerilme ( $\sigma_v$ ) 100 kPa, boşluk suyu basıncı (u) 50 kPa olacak şekilde düşey gerilme etkisinde bırakılmıştır. Bu şartlar altında bir tür kum numunesi için 4 farklı rölatif sıklıkta ( $D_r$ ) deneyler yapılmıştır. Ayrıca, numune miktarına bağlı olarak, 2 farklı yükseklik oranında (Çap/Boy (D/H) oranı= 0.5 ve 0.25 olan) numuneler üzerinde deneyler tekrarlanmıştır. Dolayısıyla, toplamda 8 deney yapılmıştır. Yükleme şekli olarak, tek yönlü ve 0,1 Hz frekansta harmonik yükleme uygulanmıştır.

Çalışma sonucunda 100 mm çapta (D) ve 4 ayrı rölatif sıklıkta ( $D_r$ ) hazırlanan kum türü için; örnek boyutunun sıvılaşma enerjisi hesaplanmıştır.

Bu bölümde yapılan çalışmadan elde edilen sonuç, Ilgın yerleşim alanı zeminlerinin sıvılaşma enerjisi değerinin belirlendiği ilk çalışmadır. Dolayısıyla bu çalışma, daha sonraki araştırmalar için önemli bir referans olacaktır. Ancak, kısıtlı araştırma imkânlarıyla yapılan çalışmadan elde edilen veriler gerçekçi bir değerlendirme için yeterli değildir. Bu nedenle bu çalışmanın kapsamlı bir şekilde devam ettirilmesi, ileride meydana gelebilecek olası bir depremde, zemin tepkisinin önceden tahmin edilebilmesinin sağlayabilecektir. Aynı zamanda, zemin sıvılaşmasına bağlı can ve mal kayıplarının en az düzeyde kalmasına etki edebilecektir. İleri düzey yorumlar yapabilmek amacıyla bu çalışmanın; daha geniş proje imkânlarıyla çalışılması, daha kapsamlı olarak devam ettirilmesi, ileri düzey araştırma ve deneylerinin yapılması oldukça önemlidir.

Bu çalışmada kullanılan "tekrarlı (devirsel) basit kesme deney düzeneği", numuneye üç yönde hareket uygulayabilen, ülkemizde daha önceki araştırmalarda kullanılmamış yeni bir deney düzeneğidir. Cihaz, yatayda iki (2) yönde kesme gerilmesi, düşey yönde gerilme uygulayabilme özelliğine sahiptir. Üç ortogonal yönde gerçek deprem verisi girilerek deney yapılabilmesi düzeneğin en ayrıcalıklı özelliğidir.

Bu düzenek ile sıvılaşma enerjisinin belirlenmesinin diğer yöntemlerden daha güvenilir olacağı düşünülmektedir.

İlgın ilçe merkezinde yerleşime açık alanlardaki kumlu zeminlerin sıvılaşma enerjileri, tekrarlı (devirsel) basit kesme deney düzeneği kullanılarak ilk defa hesaplanmıştır. Bu çalışmada numune almada yaşanan bazı teknik aksaklıklar nedeniyle yeterli sayıda numune alınamamıştır. Ayrıca, mevcut imkanlarla alınan numuneler, kullanılan cihazın standart numune hazırlama aparatı için yeterli gelmemiştir. Numunelerin yeterli olmadığı durumlarda alternatif olarak kullanılması için hazırlanmış olan daha küçük boy numune hazırlama aparatından faydalanılmıştır. Bu nedenle, daha fazla alandan ve yeterli miktarda numune alınabildiği bir durumda bu deneylerin tekrarlanması mevcutta elde edilen sonuçların kontrol edilmesi açısından yararlı olacaktır.

### 6.3.3.2 Yöntem

Bu çalışmada, gerçek zemin koşullarını modellemede çok daha fazla fonksiyonlara sahip olup, kumların sıvılaşma enerjisinin hesaplanabilmesine imkan veren parametrelerin elde edilebildiği ve zemine yatayda iki yönde dinamik kesme gerilmesi, üçüncü yönde (düşeyde) ise dinamik yük uygulayabilen "dinamik (tekrarlı) basit kesme deney düzeneği" kullanılmıştır (Şekil 6.19). Cihaz, yaygın olarak kullanılan, sadece düşey yönde tekrarlı yük uygulayan cihazlardan farklı olarak, yatayda iki yönde dinamik kesme kuvveti, üçüncü yönde (düşeyde) ise dinamik yük uygulayabilmektedir. Yatay ve düşey yöndeki yükleme kapasitesi 10 kN olan cihazın dinamik koşullardaki yükleme hızı her yönde 10 Hz'e kadar çıkabilmektedir. Cihaz hem harmonik yüklemeye hem de rasgele (random) yüklemeye izin vermektedir. Cihaz dinamik pompaların pistonlarıyla birlikte hareket eden ve 50 mm'ye kadar ölçüm alabilen deformasyon ölçerler ile teçhiz edilmiştir. Boşluk suyu basıncı uygulanmasına ve ölçümüne olanak veren sistemde kapasite 1 MPa'dır.

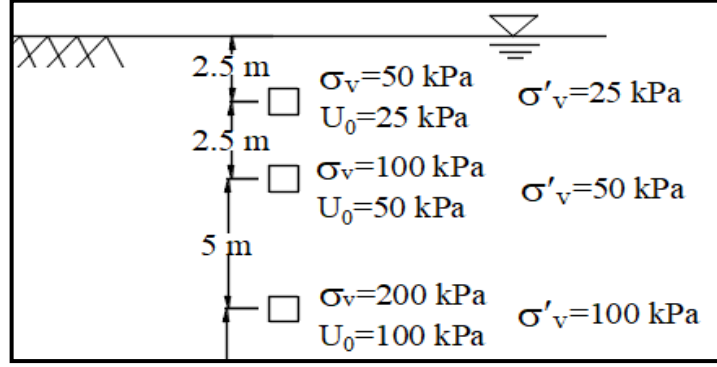
Çalışmada kullanılan malzeme, İlgın yerleşim alanında yapılan karotlu sondajlardan elde edilen karasal kumdur. Bu kumların özellikleri tablo halinde sunulmaktadır (Çizelge 6.13). Deney numuneleri, %40-%70 aralığında dört (4) ayrı rölatif sıklıkta hazırlanmıştır. Numune hazırlamada, kumun havadan serbest düşmesi ile sağlanan "havada kuru yağmurlama tekniği" kullanılmıştır. Belirlenen rölatif sıklıkta hazırlanan numune, dinamik kesme düzeneğine yerleştirildikten sonra 100 kPa gibi bir düşey gerilme uygulanmıştır.





**Şekil 6.19.** Tekrarlı basit kesme deney düzeneği

Suya doyurma Numune içerisindeki havanın tahliye edilebilmesi amacıyla Daha sonra su ile doyurulacak ve  $ru = 1/2$  şartını sağlayacak şekilde, gerilme değerindeki; 50 kPa boşluk suyu basıncı uygulanacaktır (Şekil 6.20). Bu durumda, efektif gerilme toplam gerilmeye eşittir. Membran içinde ve teflon kaplı bileziklerle kuşatılan zemine 0,1 Hz harmonik yükleme yapılacaktır. Bu yükleme sırasında tipik olarak Şekil 3'de verilene benzer kesme gerilmesi-kesme birim deformasyonu döngüleri oluşur. Numune tekrarlı yükleme altında makaslandıkça, boşluk suyu basıncının başlangıçtaki değeri giderek artacaktır. Dinamik yükleme etkisi ile gelişen boşluk suyu basıncı, efektif gerilmeye ulaşana kadar artmaya devam eder ve sonuçta belli sayıda kesme gerilmesi-kesme birim deformasyonu döngüsü oluşur. Her bir döngü sırasında numuneye uygulanan enerjinin bir bölümü döngü (histerez) içinde soğurulur. Soğurulan bu enerji zeminde boşluk suyu basıncı artışına sebep olan "iş"e ( $\delta W$ ) karşılık gelmektedir. Her bir döngü sırasında yapılan/harcanan enerji, aşağıdaki denklem (1) yoluyla toplandığında numuneyi sıvılaştırmak için gerekli olan iş, metreküp başına Joule ( $J/m^3$ ) cinsinden hesaplanmış olur.



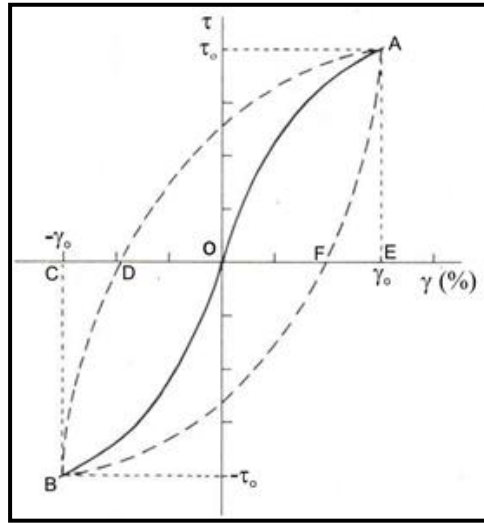
Şekil 6.20. Kumların sıvılaşma deneylerinde öngörülen, arazide derinlik-düşey gerilme ilişkisi (Özçelik, 2019)

Bu şekilde 0,1 Hz frekansta test edilen bir tek zemin numunesi için; 3 farklı çapa (D) sahip numune hazırlama hücresi yardımıyla 3 farklı D/H oranında numuneler hazırlanacaktır. 5 farklı rölatif sıkılıkta ( $D_r$ ), 0.5 deformasyon oranında, 100 kPa düşey gerilme ve 50 kPa boşluk suyu basınçlarında 45 deney yapılmış olacaktır.

Membran içinde ve teflon kaplı bileziklerle kuşatılan zemine 0,1 Hz harmonik yükleme yapılacaktır. Bu yükleme sırasında tipik olarak Şekil 6.21'de verilene benzer kesme gerilmesi - kesme birim deformasyonu döngüleri oluşur. Numune tekrarlı yükleme altında makaslandıkça başlangıçta sıfır olan boşluk suyu basıncı giderek artacaktır. Dinamik yükleme etkisi ile gelişen boşluk suyu basıncı, efektif gerilmeye ulaşana kadar artmaya devam eder ve sonuçta belli sayıda kesme gerilmesi - kesme birim deformasyonu döngüsü oluşur. Her bir döngü sırasında numuneye uygulanan enerjinin bir bölümü döngü (histerez) içinde soğurulur. Soğurulan bu enerji zeminde boşluk suyu basıncı artışına sebep olan "iş"e ( $\delta W$ ) karşılık gelmektedir. Her bir döngü sırasında yapılan/harcanan enerji, aşağıdaki denklem (1.6) yoluyla toplandığında numuneyi sıvılaştırmak için gerekli olan iş, metre küp başına Joule ( $J/m^3$ ) cinsinden hesaplanmış olur.

$$\delta W = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{2} (\tau_i + \tau_{i+1}) (\gamma_i + \gamma_{i+1}) \quad (1.6)$$

Çalışmada, araziden alınmış kum kullanılmıştır. Sıvılaşma enerjisini rölatif sıkılık, efektif gerilme ve ortalama tane çapının bir fonksiyonu olarak ifade eden "iş" değerleri elde edilmiştir.



**Şekil 6.21.** Numunenin yatay yönde makaslanması sırasında oluşması beklenen gerilme döngüsüne tipik bir örnek (Hardin ve Drenevich, 1972; Kayabalı ve diğ., 2018'den alınmıştır)

Deney düzeneğinde, 1 mm kalınlığındaki teflon kaplı yassı bileziklerin serbest hareketiyle kesme oluşturulmaktadır. Numune hazırlanırken yassı bileziklerin hareket etmemesi için (deneyden önce kesme meydana gelmemesi için) yassı bilezikler ve numuneler bir sabitleme hücresi içerisine yerleştirilerek hazırlanmaktadır (Şekil 6.22).

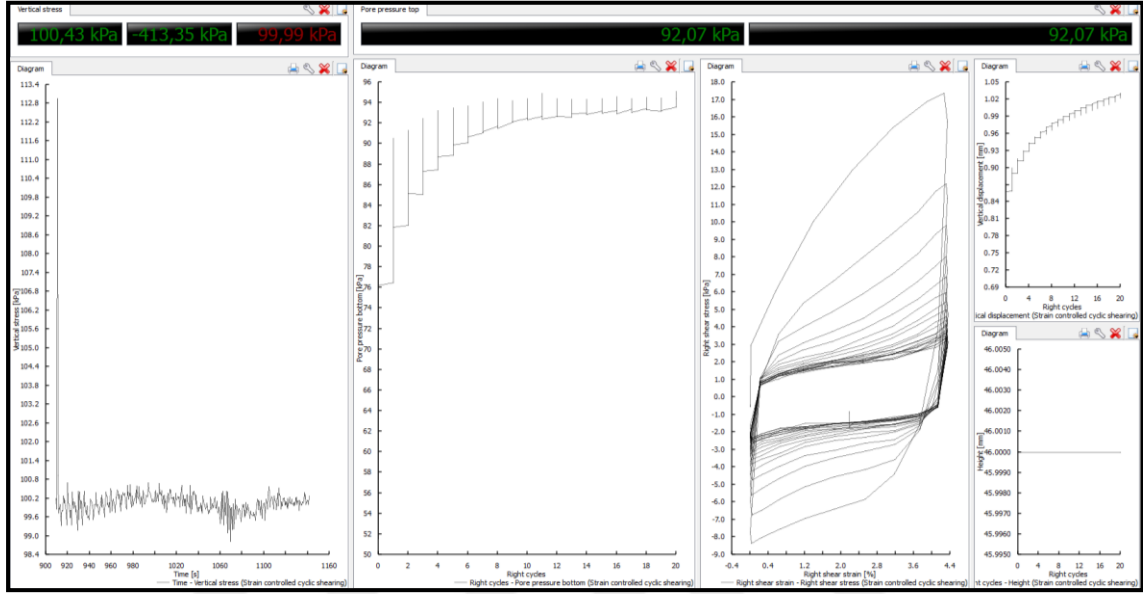


**Şekil 6.22.** Kum numunesi hazırlama aparatı örneği (Özçelik, 2019)

Deneye başlamadan önce tüm numuneler suya doymun hale getirilmiştir. Deney numunelerinde hava kabarcığı kalmaması için suya doyurma işleminden önce CO<sub>2</sub> gazı ile doyurma işlemi yapılmıştır. Doyurma işlemi sırasında, suda bulunan hava kabarcıklarının olumsuz etki yapmaması amacıyla, deneyde kullanılan suyun havası alınmıştır. Bu işlem suyu havasızlaştırma düzeneğinde yapılmıştır. Havası alınmış su yardımıyla numune doymun hale getirildikten sonra deneye başlanmıştır.

Deneyler %40, %50, %60 ve %65 rölatif sıklılıklardaki kumlara, 1 yönde (1-D) sarsıntı uygulanarak; 100 kPa efektif düşey gerilme, 50 kPa boşluk suyu basıncı, 0.1 Hz frekans (harmonik yükleme), %5 kesme birim deformasyonu oranı şartlarında

uygulanmıştır (Şekil 6.23). Efektif gerilmenin sıfıra ulaştığı anda, sıvılaşmanın gerçekleştiği kabul edilerek, deneye son verilmiştir. Deneyle elde edilen veriler kullanılarak; rölatif sıkılık, efektif gerilme ve kesme gerilmesi/birim deformasyon oranı parametrelerinin etkisindeki kumun sıvılaşma enerjisi, Denklem-1’de verilen bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.



**Şekil 6.23.** %40 rölatif sıkılık değerinde yapılan sıvılaşma deneyine ait ekran görüntüsü (a. Zaman(s)-Düşey gerilme(kPa); b. Devir sayısı-Boşluk suyu basıncı(kPa); c. Kesme birim deformasyonu(%)-Kesme gerilmesi(kPa); d. Devir sayısı-Düşey yer değiştirme (mm) grafikleridir)

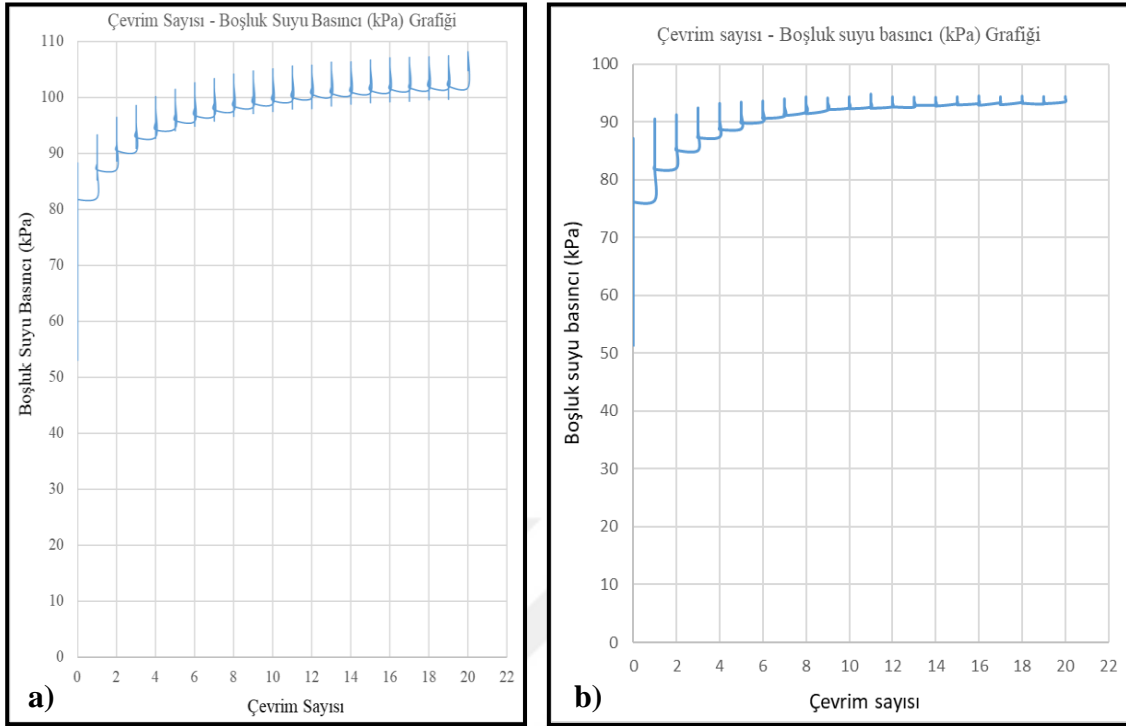
### 6.3.3.3 Sıvılaşma Enerjisi Hesabı

Devirsel Basit Kesme Deney düzeneğinde, yapılan sıvılaşma deneyleri sırasında, cihazın mevcut yazılımı, otomatik olarak bir veri dosyası kaydetmektedir (Çizelge 6.14). Bu veri dosyasındaki veriler kullanılarak Şekil 6.24’dekine benzer biçimde, Devir sayısı-Boşluk suyu basıncı (kPa) grafiği (Şekil 6.24), Kesme birim deformasyonu(%)-Kesme gerilmesi(kPa) grafiği (Şekil 6.25) vb. birçok grafik çizilebilmektedir.

**Çizelge 6.14.** Sıvılaşma deneylerinde otomatik olarak kaydedilen veri dosyası örneği

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
Actual phase	Time	Vertical load	Vertical displacement	Vertical extension	Vertical stress	Right load	Right displacement	Right extension	Right shear stress	Left Load	Left displacement	Left extension	Left shear stress	Height	Backpressure	Burette	Vertical stress	
	s	kN	mm	mm	kPa	kN	mm	mm	kPa	kN	mm	mm	kPa	mm	kPa	ml	kPa	
1	2	935.3	0.78519999	0.222	-0.00322	99.974769	0.13888	-0.047999999	-5.00E-04	17.682751	0.02126	0.001	-0.0013	2.7069073	20	0.72544092	0.1204	99.974769
2	2	935.8	0.78254999	0.222	-0.00278	99.637361	0.13806	-0.047999999	-0.00125	17.578345	0.02096	0.001	-9.00E-04	2.6687101	20	0.72556657	0.1208	99.637361
3	2	936.3	0.783	0.223	-0.00256	99.694656	0.17654	-0.042	-0.00125	22.477771	0.01836	0.001	-0.001	2.3376678	20	0.72561759	0.0865	99.694656
4	2	936.8	0.64429999	0.263	-0.00298	82.034824	0.43246	0.191	-0.0013	55.062517	-0.00684	0.001	-0.00155	-0.87089585	20	0.72534329	0.1062	82.034824
5	2	937.3	0.78939999	0.272	-0.00286	100.50953	0.5319	0.586	-0.001	67.723611	0.0017	0.001	-0.00115	0.21645072	20	0.7256012	0.103	100.50953

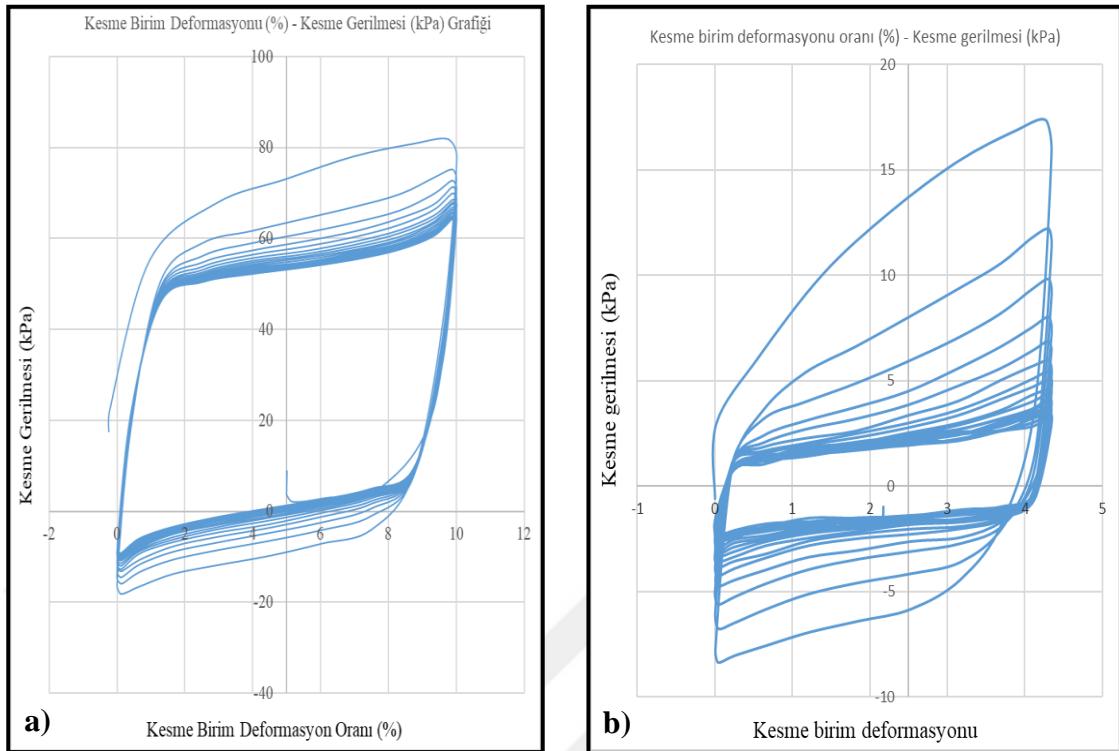
W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM
Sample Area	Piston Area	Vertical cycles	Right cycles	Left cycles	Tare Value	test	Deviator	Right shear strain	Left shear strain	Vertical strain	Pore pressure bottom	Pore pressure top	Pore pressure	Global Counter	Type of test	Actual height
mm*2	mm*2				µm	mm	kPa	%	%	%	kPa	kPa	kPa	int		mm
7853.9808	7853.9808	0	0	0	0	20	49.985	-0.239999999	0.005	1.11	53.235999	51.119	53.235999	935321	5	19.778
7853.9808	7853.9808	0	0	0	0	20	49.7403	-0.239999999	0.005	1.11	53.194999	51.113	53.194999	935820	5	19.778
7853.9808	7853.9808	0	0	0	0	20	49.8153	-0.21	0.005	1.115	53.125	51.037	53.125	936320	5	19.776999
7853.9808	7853.9808	0	0	0	0	20	32.1558	0.955	0.005	1.315	71.351	69.224999	71.351	936820	5	19.736999
7853.9808	7853.9808	0	0	0	0	20	50.63	2.93	0.005	1.36	75.731	73.631999	75.731	937320	5	19.727999



**Şekil 6.24.** Devir sayısı-Boşluk suyu basıncı (kPa) grafiklerine örnek  
[a) 5 nolu kum, 4. çevrimde sıvılaşma; b) 6 nolu kum, 8. çevrimde sıvılaşma]

Şekil 6.24'e göre; uygulanan sarsıntı etkisiyle numunede boşluk suyu basıncı artışı meydana gelmiştir. Ancak bu artış 4. çevrimden sonra (4. tekrardan/4. devirsel gerilmeden sonra) düşey gerilmeye eşit duruma gelmiştir. 4. Çevrimden sonra, numuneye etkiyen efektif gerilme sıfır (0)'a düşmüştür. Numuneye yatay yönde tekrarlı yük uygulanmaya başlandığında, numuneye bir kesme kuvveti uygulanmaktadır. Numune, bu duruma bir tepki olarak direnç göstermiştir. Deney sırasında numunenin gösterdiği direnç, kesme gerilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Deney sırasında, numune yaklaşık olarak 81 kPa bir kesme direnci göstermiştir (Şekil 6.25). Bu değer bir miktar yüksek olduğu ifade edilebilir. Zeminde karşımıza çıkan bu yüksek kesme direncinin nedeni; öncelikle numunenin inceden-iriye (0,1-4 mm) kadar değişen geniş bir aralıktaki çaplarda kohezyonsuz daneler içermesinden ve kum danelerinin köşeli oluşundan kaynaklandığı düşünülmektedir.



**Şekil 6.25.** Kesme birim deformasyonu (%) - Kesme gerilmesi (kPa) grafiğine örnek  
 [a) 5 nolu kum, Kesme Gerilmesi: 80.8 kPa; b) 6 nolu kum, Kesme Gerilmesi: 17.4 kPa]  
 (Tek yönlü (1D) deney, çap-D: 100 mm, Dr: %40, frekans: 0,1 Hz, %5 Kesme birim deformasyonu oranında gerçekleştirilmiştir)

Deneyler sonucunda, Ilgın yerleşim alanı zeminlerinden alınan kumların sıvılaşma enerjisi değerleri 2 ayrı lokasyon için belirlenmiştir (Çizelge 6.15).

**Çizelge 6.15.** Ilgın yerleşim alanı zeminlerinden alınan kumların sıvılaşma enerjisi (a,b)  
 a) SK-2 (6.00 m) kum

Deney No (5)	Hedeflenen Dr	Gerçekleşen Dr	Kesme Gerilmesi (kPa)	Sıvılaştığı Çevrim	u (kPa)	Sıvılaşma Ener. W (J/m <sup>3</sup> )	Sıvılaşma Ener. W (kJ/m <sup>3</sup> )
1	40	40	80.8	4	100.2	2920	2.92
2	50	48	111.4	10	93.8	9039	9.04
3	55	52	144.0	10	97.3	11790	11.79

b) SK-2 (8.00 m) kum

Deney No	Hedeflenen Dr	Gerçekleşen Dr	Kesme Gerilmesi (kPa)	Sıvılaştığı Çevrim	u (kPa)	Sıvılaşma Ener. W (J/m <sup>3</sup> )	Sıvılaşma Ener. W (kJ/m <sup>3</sup> )
1	40	40	17.4	8	94.4	350	0.35
2	50	51	63.4	2	100.0	1171	1.17
3	55	57	79.7	2	100.1	1498	1.50
4	60	62	75.7	13	97.5	5986	5.99
5	65	65	98.9	12	100.1	7224.25	7.22

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 7.1. Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında Ilgın (Konya) yerleşim alanı zeminlerinin jeoteknik özellikleri araştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

1. İnceleme alanının büyük bir bölümünü alüvyon içerisinde yer alan yüksek plastisiteli inorganik kil, düşük plastisiteli inorganik kil, yüksek plastisiteli inorganik silt, düşük plastisiteli inorganik silt, siltli kum oluşturmaktadır.
2. İnceleme alanındaki alüvyon içerisinde yeraltı su seviyesi 1.50 ve 6.00 m arasında değişmektedir.
3. Bu çalışma döneminde kurak ve yağışlı döneme ilişkin yeraltı suyu seviye ölçümleri arasındaki aşırı değişimlerin; özellikle Ilgın yerleşim alanının yoğun olduğu bölgede ve halkın çoğunlukla ikamet ettiği mahallerin bu bölgede olması olası bir deprem durumunda deprem dalgalarının oluşturacağı titreşime bağlı yeraltı suyu dalgalanma oluşacak sıvılaşma tehlikesini artırır. Değişimin yoğun olduğu merkezi kesim Ilgın Medaş-Ilgın Belediyesi-Ilgın Garı'na doğru olan ve kuzey-güney istikametinde bir kesime denk gelmektedir. Dolayısıyla bu bölge yeraltı suyu değişiminin en fazla olduğu ve deprem tehlikesi söz konusu olduğunda da zemin sitabilitesi bakımından en riskli alandır.
4. İnceleme alanında zeminlerin su içeriği %8 ile %30, doğal birim hacim ağırlığı  $17.96 \text{ kN/m}^3$  ile  $20.81 \text{ kN/m}^3$ , likit limitleri %32 ile %55 arasında, plastik limitleri %18 ile %31 arasında ve plastisite indisleri %13 ile %30 arasında değişmektedir.
5. İnceleme alanındaki zeminlerin özgül ağırlığı %1.47 ile %2.83 arasında, minimum boşluk oranı %0.45 ile %0.68 arasında ve maksimum boşluk oranı %0.61 ile %1.28 arasındadır.
6. Konsolidasyonsuz ve drenajsız üç eksenli deney şartlarında incelenen zeminlerin içsel sürtünme açısı ortalama  $17.75^\circ$  ve kohezyon ortalama  $0.23 \text{ kgf/cm}^2$ 'dir.
7. Kesme kutusu deneyi sonucunda hesaplanan içsel sürtünme açısı ortalama  $22.66^\circ$  ve kohezyon ortalama  $0.1 \text{ kgf/cm}^2$ 'dir.
8. İnceleme alanında oturma miktarı 8.31 cm ile 17.41 cm arasında değişmektedir.
9. İnceleme alanında taşıma gücü Terzaghi ve Peck (1948)'e göre  $0.74 \text{ kg/cm}^2$  ile  $1.59 \text{ kg/cm}^2$ , Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'e göre  $2.65 \text{ kg/cm}^2$  ile  $8.98 \text{ kg/cm}^2$  arasındadır. Ancak inceleme alanında problemlili zemin yapısı ve

deprem tehditinin bulunması nedeniyle Iğın'daki yapılar için taşıma gücü hesaplamalarında emniyetli tarafta kalınması gerektiği belirlenmiştir.

10. Deneyler sonucunda, Iğın yerleşim alanı zeminlerinden alınan kumların sıvılaşma enerjisi değerleri 2 ayrı lokasyon için belirlenmiştir.
11. Uygulanan sarsıntı etkisiyle numunelerde boşluk suyu basıncı artışı meydana gelmiştir. Ancak, bu artış 5 nolu kum için: 4. çevrimden sonra (4. tekrardan / 4. devirsel gerilmeden sonra) düşey gerilmeye eşit duruma gelmiştir. 4. Çevrimden sonra, numuneye etkiyen efektif gerilme sıfır (0)'a düşmüştür. Numuneye yatay yönde tekrarlı yük uygulanmaya başlandığında, numuneye bir kesme kuvveti uygulanmaktadır. Numune, bu duruma bir tepki olarak direnç göstermiştir. Deney sırasında numunenin gösterdiği direnç, kesme gerilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Deney sırasında, numune yaklaşık olarak 81 kPa bir kesme direnci göstermiştir. Bu değer bir miktar yüksek olduğu ifade edilebilir. Zeminde karşımıza çıkan bu yüksek kesme direncinin nedeni; öncelikle numunenin inceden-iriye kadar (0,1-4 mm) değişen geniş bir aralıktaki çaplarda kohezyonsuz daneler içermesinden ve kum danelerinin köşeli oluşundan kaynaklandığı düşünülmektedir.
12. 6 nolu kum için: 2. çevrimden sonra düşey gerilmeye eşit duruma gelmiştir. 2. Çevrimden sonra, numuneye etkiyen efektif gerilme sıfır (0)'a düşmüştür. Numuneye yatay yönde tekrarlı yük uygulanmaya başlandığında, numuneye bir kesme kuvveti uygulanmaktadır. Numune, bu duruma bir tepki olarak direnç göstermiştir. Deney sırasında numunenin gösterdiği direnç, kesme gerilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Deney sırasında, numune yaklaşık olarak 17.4 kPa bir kesme direnci göstermiştir. Bu değer, numunenin rölatif sıkılığı arttıkça kesme direnci de artmaktadır. Bu kum türünde elde edilen kesme direnci, literatürdeki değerlerle uyumludur.
13. Bu çalışma kapsamında yapılan Tekrarlı Dinamik Kesme Deneyi verileri kullanılarak elde edilen kum zeminlerde sıvılaşma enerjisi özelliklerine bakıldığında inceleme alanının sıvılaşma enerjisinin yüksek olduğu belirlenmiştir.



## 7.2. Öneriler

Sonuç olarak elde edilen bu değerlere göre Ilgın'ın yerleşim alanında yapılarda gözlenen deformasyonlarda yeraltı su seviyesinin ve zeminlerdeki konsolidasyonun etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 7.1). Bu nedenle inceleme alanında elde edilen jeoteknik veriler, ölçülen yeraltı su seviyeleri ve bölgenin depremselliğine göre yapılaşmanın planlanması gerekmektedir. Ayrıca olası afet hasarlarını en aza indirgeyecek şekilde mevcut binalarda gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.



Şekil 7.1. İnceleme alanında mevcut yapılarda meydana gelen zemin problemlerine bağlı hasarlar

Mevcutta bulunan yapılarda olası deprem hasarını en aza indirmek için yapı elemanlarının (kiriş, kolon, döşeme) onarılması ve güçlendirme işlemlerinin yapılması gerekir.

Zemin taneleri arasındaki yeraltı suyunun, zeminin dayanımını oldukça düşürdüğü, Ilgın yerleşim alanında 20 cm'yi geçen miktarlarda oturmalar olabileceği, Ilgın yerleşim bölgesinde ve çevresinde 6-6,5 büyüklüğünde deprem olması durumunda aynı özelliklere sahip zeminlerde önemli sıvılaşma beklenebileceği, bu nedenle Ilgın ve çevresinde meydana gelen kayıpları önlemek için önlem alınması gerekmektedir. Ayrıca alüvyon kaplı alanda temel çalışmalarında ana kayaya kadar inilmesi ve zemin iyileştirmelerinin yapılması önerilir.

İnceleme alanında zemin iyileştirme yöntemlerinden sıkıştırma, zemin güçlendirmede taş kolonlar, kireç kolonlar, fore kazık, derin karıştırma, zemin enjeksiyon tekniklerinden kompaksiyon enjeksiyonu, jet enjeksiyonu, zeminin kazılması/değiştirilmesi ve mutlaka yeraltı su seviyesinin düşürülmesi amacıyla drenajın yapılması gereklidir.

İyileştirme yöntemlerinin haricinde ise tarıma elverişli olmayan alanlar belirlenip, detaylı jeoteknik çalışmalar yapıldıktan sonra; Ilgın için yeni yerleşim alanı belirlenmesi, mevcut yerleşimlerin de bu yeni alana taşınması önerilir. Yapılacak yapılar için parsel bazında zemin etütlerinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne uyulmalıdır. Ancak bu çalışmada da Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde verilen yüzeysel temellerin taşıma gücü denklemlerine göre yapılan hesaplamalarda elde edilen değerlerin diğer taşıma gücü hesaplamaları ile elde edilen değerlerden yüksek olduğu tespit edildiğinden, Ilgın gibi deprem riski taşıyan problemlili zemin yapısına sahip alanlarda taşıma gücü hesaplamalarında emniyetli taraftaki değerin kullanılması uygun olacaktır.

Bu çalışma, Ilgın yerleşim alanı zeminlerinin sıvılaşma enerjisi değerinin belirlendiği ilk çalışmadır. Dolayısıyla bu çalışma, daha sonraki araştırmalar için önemli bir referans olacaktır. Ancak, kısıtlı araştırma imkânlarıyla yapılan çalışmadan elde edilen veriler gerçekçi bir değerlendirme için yeterli değildir. Bu nedenle bu çalışmanın kapsamlı bir şekilde devam ettirilmesi, ileride meydana gelebilecek olası bir depremde, zemin tepkisinin önceden tahmin edilebilmesinin sağlayabilecektir. Aynı zamanda, zemin sıvılaşmasına bağlı can ve mal kayıplarının en az düzeyde kalmasına etki edebilecektir. İleri düzey yorumlar yapabilmek amacıyla bu çalışmanın; daha geniş proje imkânlarıyla çalışılması, daha kapsamlı olarak devam ettirilmesi, ileri düzey araştırma ve deneylerinin yapılması oldukça önemlidir.

## KAYNAKLAR

- Akın, Ö., 2014, Influence of plasticity and fines content on cyclic behaviour of sand. M.Sc. Thesis, ITU, Graduate School of Science Engineering and Technology, İstanbul.
- Alan, İ., Şenol, Ş., Kop, A., Keskin, H., Böke, N., Altun, İ., Balcı, V., Elibol, H., Bakırhan, B., Arman, S., Saçlı, L., Dönmez, M., 2010, Kütahya-Bolkar Dağı Kuşağı'nda Yer Alan Konya ve Ilgın Yöresindeki Naplı Yapıların Tektono Stratigrafik Özellikleri, 63. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, 45-46.
- Alavi, A.H., Gandomi, A.H., 2012, Energy-based numerical models for assessment of soil liquefaction, *Geoscience Frontiers*, 3(4), 541-555.
- Altun, S., 2004, Suyu doymuş kumların drenajsız koşullardaki davranışının tekrarlı yükler altında burulmalı kesme deney aleti ile incelenmesi, *DEÜ, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6 (1), 145-158.
- Altun, S. ve Ansal, A.M., 2005, Anizotropik konsolide zeminlerin dinamik davranışı, *İMO Teknik Dergi*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 16 (29), 3523-3545.
- Aminia, P.F., Noorzad, R., 2018, Energy-based evaluation of liquefaction of fiber-reinforced sand using cyclic Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 104, 45-53.
- Anonim, 2009, 1/100000 L27 Paftası Jeoloji Haritası, MTA.
- Arab, A., Shahrour, I., and Lancelot, L., 2011, A laboratory study of liquefaction of partially saturated sand, *Journal of Iberian Geology*, 37 (1), 29-36.
- Arıcı, Ö.K., 2018, Konya İli Ilgın İlçesi 126 Ada 219 Parsel Ilgın Belediyesi Sağlık Binası Jeoteknik Etüt Raporu, Konya.
- Avcı, A., 2017, Konya İli Ilgın İlçesi 2828-I Pafta 375 Ada 4 Parsele ait Zemin Etüt Raporu, Konya.
- Baziar, M.H., and Jafarian, Y., 2007, Assessment of liquefaction triggering using strain energy concept and ANN model, capacity energy, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27, 1056–1072.
- Baziar, M.H., Jafarian, Y., Shahnazari, H., Movahed, V., Tutunchian, M.A., 2011, Prediction of strain energy-based liquefaction resistance of sand–silt mixtures: an evolutionary approach, *Comput. Geosci*, 37 (11), 1883–1893.
- Berrill, J.B., and Davis, R.O., 1985, Energy dissipation and seismic liquefaction of sands: revised model, *Soils and Foundations*, 25(2): 106–118.
- Bilge, H.T., Çetin, K.Ö., 2014, Sıvılaşma tetikleme analizlerinde düşey efektif gerilme etkisinin performans esaslı olarak belirlenmesi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 15. Ulusal Kongresi*, 16-17 Ekim 2014, ODTÜ, Ankara.
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 1868, Konya ili Ilgın ilçesi merkez 100 km yarıçapındaki 5 ve üzerinde olan depremler, [http: www.koeri.boun.edu.tr](http://www.koeri.boun.edu.tr), [Ziyaret Tarihi: 01.07.2019]
- Boulanger, R.W., Idriss, I.M., 2012, Probabilistic standard penetration test-based liquefaction-triggering procedure, *J. Geotech, Geoenviron*, 138, 1185–1195.
- Brennich, G., 1954, 1/100.000 Ölçekli Genel Jeolojik Harita İzahnamesi, Akşehir (90-1,2,3,4) ve Ilgın (91/1 ve 91/3) Paftaları, MTA Derleme Rapor, No:2514, Ankara, 106.
- Casagrande, A., 1936, Determination of the Preconsolidation Load and Its Practical Significance, *Proceedings, 1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cambridge, Mass., Vol. 3, 60-64.*

- Cetin, K.O., Seed, R.B., Der-Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder, Jr. L.F., Kayen, R.E., Moss, R.E.S., 2004, Standard penetration test-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 130 (12).
- Chen, Y.R., Hsieh, S.C., Chen, J.W., and Shih, C.C., 2005, Energy-based probabilistic evaluation of soil liquefaction, *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 25 (1), 55–68.
- Coduto, D. P., 2011, *Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar, Bölüm 3.5: Sıkışabilirlik ve Oturma*, Gazi Kitabevi, Ankara, Çeviren: Kâmil Kayabalı, Murat Mollamahmutoğlu.
- Çağlar, A.T., Taş, N., 1984, Konya-İlgın-Haremiköy ve Kurugöl Çevresinde Yapılan Etüt ve Sondajlı Çalışmalara ait Jeolojik Rapor, MTA Derleme Rapor No: 7999, Ankara, 143.
- Çolak, S., 2011, Konya İli Ilgın İlçesi 268 Ada 2 Parsel Ilgın (Konya) Belediyesi Termal Su Oyunları ve Yüzme Havuzu Zemin Etüt Raporu, Konya.
- Çolak, S., 2016, Konya İli Ilgın İlçesi 60 Ada 44 Parsel Ilgın (Konya) Kültür Merkezi Jeoteknik Etüt Raporu, Konya.
- Çolak, S., 2018, Konya İli Ilgın İlçesi 771 Ada 10 Parsel Bekir Yüksel ve His. Jeoteknik Etüt Raporu, Konya.
- Dobry, R., Ladd, R., Yokel, F., Chung, R., Powell, D., 1982, Prediction of pore water pressure buildup and liquefaction of sands during earthquakes by the cyclic strain method, *National Bureau of Standards Building Science Series*, US Dept of Commerce, 138.
- Elibol, B., 2005, Kısmi doygün kumların tekrarlı yükler altındaki davranışları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Eren, Y., 1996a, Ilgın-Sarayönü (Konya) Güneyinde Bozdağlar Masifinin Yapısal Özellikleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 39/2, 49-64.
- Eren, Y., 1996b, Ilgın-Sarayönü (Konya) Güneyinde Bozdağlar Masifinin Stratigrafisi ve Jeoloji Evrimi, *K.T.Ü. 30. Yıl Sempozyumu Bildirileri*, 694-707.
- Figuroa, J., Saada, A., Liang, L., and Dahisaria, N., 1994, Evaluation of soil liquefaction by energy principles, *Journal of Geotechnical Engineering*, 120(9): 1554–1569.
- Green, R.A., 2001, *Energy-based Evaluation and Remediation of Liquefiable Soils*, (PhD dissertation), Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.
- Gratchev, I.B., Sassa, K., Osipov, V., and Sokolov, V.N., 2006, The liquefaction of clayey soils under cyclic loading, *Engineering Geology*, 86, 70-84.
- Hadush, S., Yashima, A., and Uzuoka, R., 2000, Importance of viscous fluid characteristics in liquefaction induced lateral spreading analysis, *Computers and Geotechnics*, 27, 199-224.
- Hardin, B.O., Drenevich, V.P., 1972, Shear modulus and damping in soils – design and curves, *ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 94 (SM3), 689-708.
- Hüseyinca, M.Y., 2005, Ilgın (Konya) Kuzeyinin Stratigrafisi ve Yapısal Özellikleri, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Hyodo, M., Tanimizu, H., Yasufuku, N., Murata, H., 1994, Undrained cyclic and monotonic triaxial behavior of saturated loose sand, *Japan Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Soils and Foundations*, 34(1), 19-32.

- Ishihara, K., and Yasuda, S., 1975, Sand liquefaction in hollow cylinder torsion under irregular excitation, *Soils Found*, 15 (1), 45–59.
- Ishihara, K., and Towhata, I., 1983, Sand response to cyclic rotation of principal stress directions as induced by wave loads, *Soils and Foundations*, 23 (4), 11-26.
- Ishihara, K., Tsuchiya, H., Huang, Y., and Kamada, K., 2001, Recent studies on liquefaction resistance of sand effect of saturation, *Proc. 4th Int. Conf. Recent Advance in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, 1-7.
- Ishihara, K., Tsukamoto, and Kamada, K., 2004, Undrained behavior of near-saturated sand in cyclic and monotonic loading, *Proceedings of the International Conference on Cyclic Behaviour of Soils and Liquefaction Phenomena*, Edited by: Triantafyllidis, Th., A. A. Balkema Publishers.
- Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Takagi, Y., 1978, Shear moduli of sands under cyclic torsional shear loading, *Soils and Foundations (Japan Soc. of Soil Mech. and Found. Eng.)*, 18, 39-56.
- Jafarian, Y., Towhata, I., Baziar, M.H., Noorzad, A., and Bahmanpour, A., 2012, Strain energy based evaluation of liquefaction and residual pore water pressure in sands using cyclic torsional shear experiments, *Soil Dyn. and Earthq. Eng.*, 35: 13-28.
- Kahraman, İ., 2013, Seismic Liquefaction: 1-G Model Testing System and Shake Table Tests, MSc. Thesis, İzmir Inst. of Technolgy, Graduate School of Engineering and Science, İzmir.
- Kammerer, A., and Pestana, J.M., 2002, Undrained Response of Monterey 0/30 Sand Under Multidirectional Cyclic Simple Shear Loading Conditions, Technical Report, University of California, Berkeley.
- Kaya, T., 2003, Zemin Sıvılaşması ve Ilgın (Konya) İlçesi Yerleşim Alanı Zemininin Sıvılaşma Potansiyeli S.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü Bitirme Tezi, Konya.
- Kayabali, K., Yılmaz, P., Fener, M., Aktürk, Ö. ve Habibzadeh, F., 2018, Zemin sıvılaşmasının enerji yaklaşımıyla değerlendirilmesi, *MTA Dergisi*, 156: 195-206.
- Kokusho, T., 2013, Liquefaction potential evaluation: energy-based method compared to stress-based method, In *Proceedings of the Seventh International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, Chicago, Ill., 29 April – 4 May 2013.
- Kovacs, W.D., and Leo, E., 1981, Cyclic simple shear of large scale sand samples: Effects of diameter to height ratio, *Proceedings: 1st International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, April 26-May 3, St. Louis, Missouri.
- Law, K.T., Cao, Y.L., He, G.N., 1990, An energy approach for assessing seismic liquefaction potential, *Canadian Geotechnical Journal*, 27, 320–329.
- Lebküchner, R.F., 1969, Konya-Ilgın-Aşağıçiğil Linyit Kömür Sahasındaki Jeoloji Detay İncelemelerin Sonuçları Üzerine Rapor, MTA Derleme Rapor No:4279, 32, Ankara.
- Liang, L., 1995, Development of an energy method for evaluating the liquefaction potential of a soil deposit [Ph.D. dissertation], Cleveland, Ohio: Department of Civil Engineering, Case Western Reserve University.
- Monkul, M.M., Etminan, E., and Şenol, A., 2016, Influence of coefficient of uniformity and base sand gradation on static liquefaction of loose sands with silt, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 89, 185-197.

- Moss, R.E.S., Seed, R.B., Kayen, R.E., Stewart, J.P., Der Kiureghian, A., Cetin, K.O., 2006, CPT based probabilistic and deterministic assessment of in situ seismic soil liquefaction potential, *J. Geotech, Geoenviron.* 132, 1032–1051.
- Nemat-Nasser, S., and Shokooh, A., 1979, A unified approach to densification and liquefaction of cohesionless sand in cyclic shearing, *Canadian Geotechnical Journal*, 16(4): 659–678.
- Nateghi, A., 2015, Numerical modelling of sand behavior under cyclic simple shear tests in a special liquefaction box, MSc. Thesis, İTÜ, Graduate School of Science Engineering and Technology, İstanbul.
- Obermeier, S.F., 1996, 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 paleoearthquakes, *Engineering Geology*, 44, 1-76 pp.
- Okamura, M., and Soga, Y., 2006, Effects of pore fluid compressibility on liquefaction resistance of partially saturated sand, *Soils and Foundations*, 46(5), 695-700.
- Okamura, M., and Noguchi, K., 2009, Liquefaction resistances of unsaturated non-plastic silt, *Soils and Foundations*, 49(2), 221-229.
- Orhan, M., Ateş, A., 2012, Rölatif Sıklığın Saruhanlı (Manisa) İlçesi Zeminlerinin Sıvılaşmasına Etkisinin Dinamik Üç Eksenli Deneyi ile Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler Dergisi, 2(1), 26-41.
- Ozdemir, A. and Ince, I., 2004, Geology Seismotectonics and Soil Liquefaction Susceptibility of Ilgın (west-central part of Turkey) Residential Area. *Engineering Geol.*, 77, 169–188.
- Ozdemir, A. and Nalbantçılar, M.T., 2016, Potential Settlement due to Seismic Effects in the Residential Area of Ilgın (Konya, Turkey), *Earth Sciences Research Journal*, 20/2, F1-F9.
- Örtlek A.T., 2017, Ilgın (Konya) Yöresinin Linyit Olanakları ve Ekonomik Değerinin Tespiti, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Özçelik, Ş., 2019, Kulu zeminlerin sıvılaşma enerjisinin laboratuvarında belirlenmesinde numune boyutunun etkisinin araştırılması, PAÜ, Fen Bil. Enst., Yük. Lis. Tezi (Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Turgay BEYAZ), Denizli.
- Özdamar, Ş., Esenli, F. ve Uz, B., 2010, Ilgın (Konya) Kuzeyindeki Metasedimanter ve Metavolkanik Kayaçların Jeolojisi ve Jeokimyası, İ.T.Ü. Dergisi, Cilt: 9, Sayı: 3, 25-37.
- Papadopoulou, A., Kallioglou, P., Tika, T.H., Papadopoulos, S., and Batum, E., 2010, Liquefaction resistance of silty sands and dynamic properties of cohesive soils from Düzce, Turkey, *Journal of Earthq, Engineering*, 14, 351-362.
- Polito, C., Green, R.A., Dillon, E., Sohn, C., 2013, Effect of load shape on relationship between dissipated energy, *Can, Geotech. J.*, 50, 1118-1128.
- Seed, R.B., 1980, Closure to soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes, *J. Geotech. Eng., ASCE*, 106 (GT6), 724.
- Seed, R.B., Idriss, I.M., 1971, Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 97, 1249-1274 (SM8).

- Seed, R.B., Idriss, I.M., Makdisi, F., Banerjee, N., 1975, Representation of Irregular Stress Time Histories by Equivalent Uniform Stress Series in Liquefaction Analyses, Report No. UCB/EERC-75/29, Earthquake Engineering Research Centre, U.C. Berkeley.
- Seed, R.B., and Lee, K.L., 1966, Liquefaction of saturated sands during cyclic loading, Proc. ASCE, 92 (SM6), 105-134.
- Seed, R.B., Cetin, K.O., Moss, R.E.S., Kammerer, A.M., Wu, J., Pestana, J.M., and Reimer, M.F., 2001, Recent advances in soil liquefaction engineering and seismic site response evaluation, 4th nt. Conf. on Recent Advances in Geotechnical Earthq. Eng. and Soil Dynamics (Mar 26th – Mar 31st), Paper No: SPL-2.
- Simcock, J., Davis, R.O., Berrill, J.B., Mallenger, G., 1983, Cyclic triaxial tests with continuous measurement of dissipated energy, Geotech Test J, GTJODJ, 6(1): 35–9.
- Szilvagyi, Z., Hudacsek, P., and Ray, R.P., 2016, Soil Shear Modulus from Resonant Column, Torsional Shear and Bender Element Tests, Int. J. of GEOMATE, 10-2 (Sl. No. 20) , 1822-1827, Geotech., Const. Mat. and Env. , ISSN: 2186-2982(P), 2186-2990(O), Japan.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985, Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey As a Case Study, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 37:227-264.
- Terzaghi, K. and Peck, B.R., 1948, Soil Mechanicsin Engineerin Practice, John wiley and Sons Inc., 729p.
- Towhata, I., 2008, Geotechnical earthquake engineering, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, p. 698.
- Towhata, I., Ishihara, K., 1985, Shear work and pore water pressure in untrained shear, Soils and Foundation, 25(3): 73–84.
- Umut M., Karabıyıkoglu, M., Saraç, G., Bulut, V., Demirci, A.R., Erkan, M., Kurt, Z., Metin, S., Özgönül, E., 1987, Tuzlukçu-Ilgın-Doğanhisar-Doğanbey (Konya İli) ve Dolayının Jeolojik Etüdü Hakkında Rapor, MTA Derleme Rapor No:8246, Ankara, 51.
- Unutmaz, B., 2008, Assessment of Soil-Structure-Earthquake Interaction Induced Soil Liquefaction Triggering, PhD. Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of METU, Ankara.
- Ural, N., Özocak, A., Önalp, A., 2007, Dinamik üç eksenli deneyde frekansın etkisi, 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007. İstanbul.
- Uslu, Ö., 2011, Konya İli Ilgın İlçesi 974 Ada 1A Parsel 100 Yataklı Devlet Hastanesi Zemin Etüt Raporu, Konya.
- Uygun, R., 2010, Ilgın (Konya) Kuzeydoğusunda Orhaniye, Çobankaya, Avdan, Karaköy ve Zaferiye Köyleri arasının Jeolojisi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Konya.
- Vissers, R.L.M., Koopman, M., Koç, A., Kaymakçı, N., 2012, Neojen Ilgın Havzasının Yapısı ve Tektoniđi, 65.Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, 106-107.
- Yalçınlar, İ., 1952, Sultandađ Eteklerinde Omurgalıları İhtiva Eden Neojen Tabakaları, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, IV:117-121.
- Yenişan, T., 2014, TOKİ Konya İli Ilgın İlçesi 863 Adet Konut 20 Adet Dükkan 1 Adet 16 Derslikli İlköğretim Okulu İnşaatı İle Alt Yapı Ve Çevre Düzenlemesi İnşaatı İşine Ait Zemin Etüt Raporu, Konya.

- Yoshimi, Y., Tokimatsu, K., and Hosaka, Y., 1989a, Evaluation of liquefaction resistance of clean sands based on high-quality undisturbed samples, *Soils and Foundations*, 29(1), 93-104.
- Yoshimi, Y., Tanaka, K., and Tokimatsu, K., 1989b, Liquefaction resistance of a partially saturated sand, *Soils and Foundations*, 29(3), 157-162.
- Yoshimine, M., and Ishihara, K., 1998, Flow potential of sand during liquefaction, *Soils and Foundations*, 38(3), 189-198.
- Youd, T.L., Idriss, I.M., 2001, Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction Resistance of Soils, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127 (4), 297-313.
- Zehtab, K.H., 2010, An Assessment of the dynamic properties of Adapazari soils by cyclic direct simple shear tests, M.Sc. Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of METU, Ankara.
- Zhang, W., Goh, A.T.C., Zhang, Y., Chen, Y., Xiao, Y., 2015, Assessment of soil liquefaction based on capacity energy concept and multivariate adaptive regression splines, *Engineering Geology*, 188, 29-37.



**EKLER**

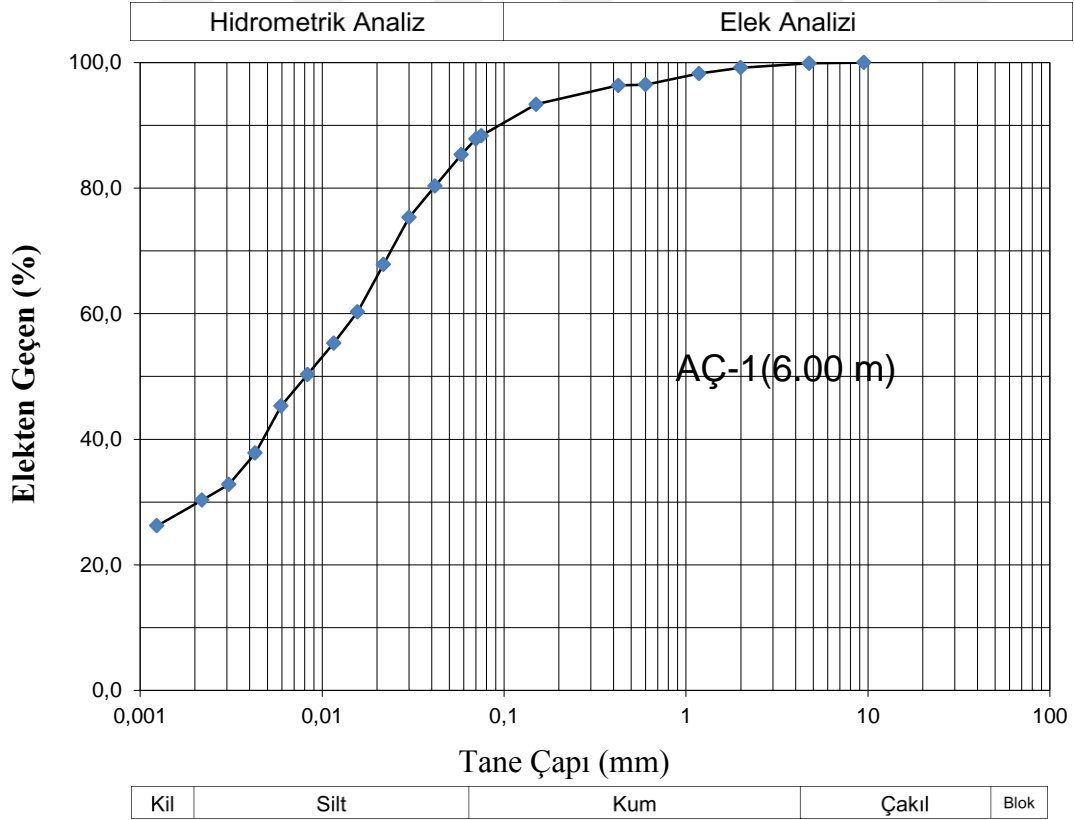
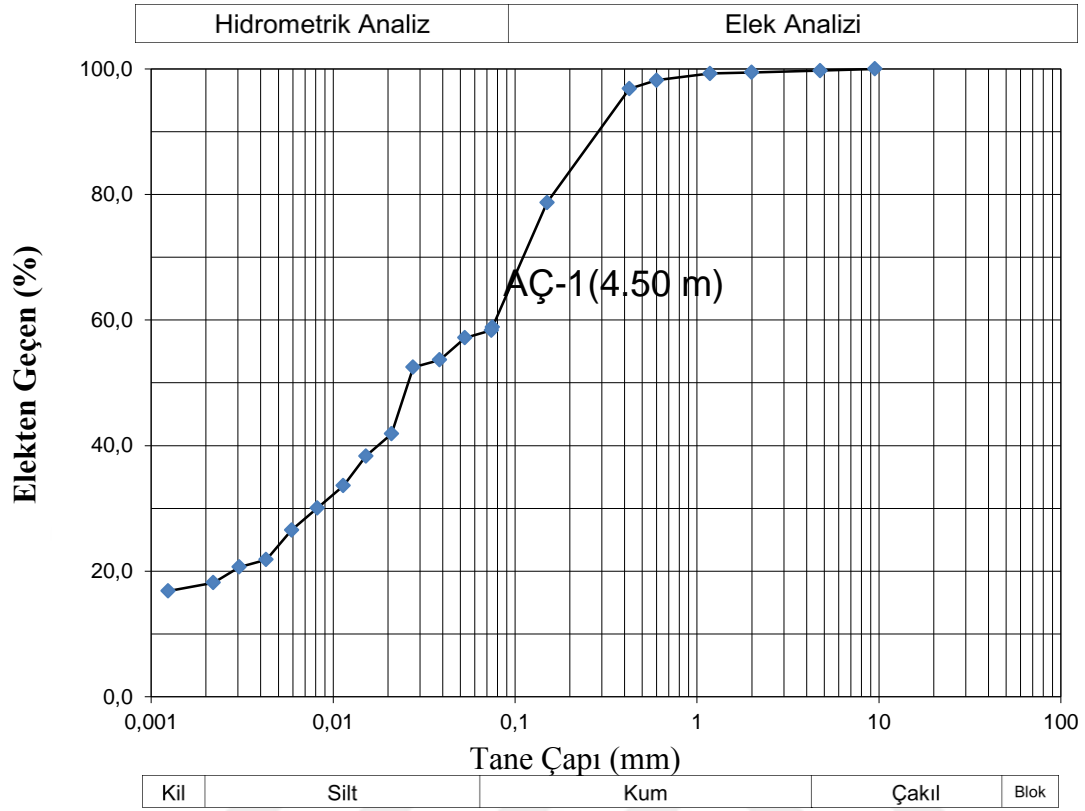
- EK-1** İnceleme alanı zeminlerinin jeoteknik özellikleri
- EK-2** Tane Boyu Dağılım Eğrileri
- EK-3** Hidrometre Deneyi Sonuçları
- EK-4** Üç Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları
- EK-5** Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları
- EK-6** Konsolidasyon Deneyi Sonuçları ve Boşluk Oranı-Efektif Gerilme Grafikleri
- EK-7** Yeraltısuyu Derinlik Haritaları
- EK-8** Su Kimyası Analiz Sonuçları

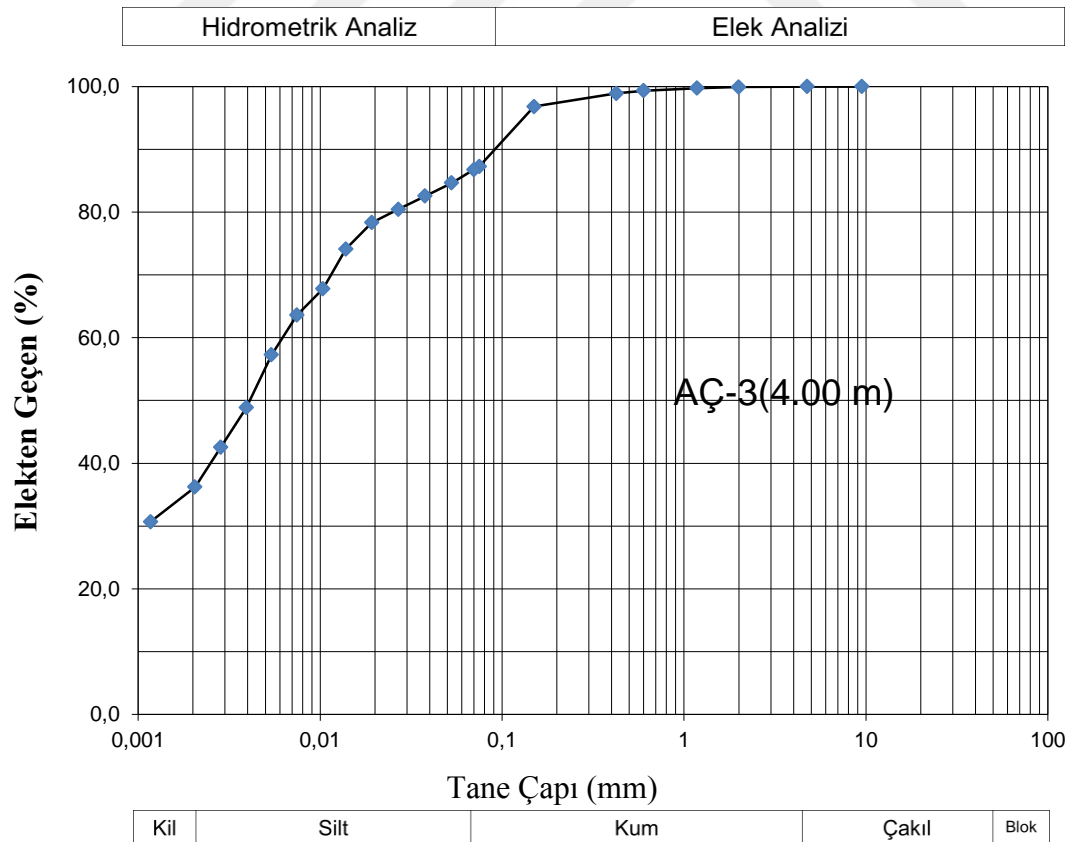
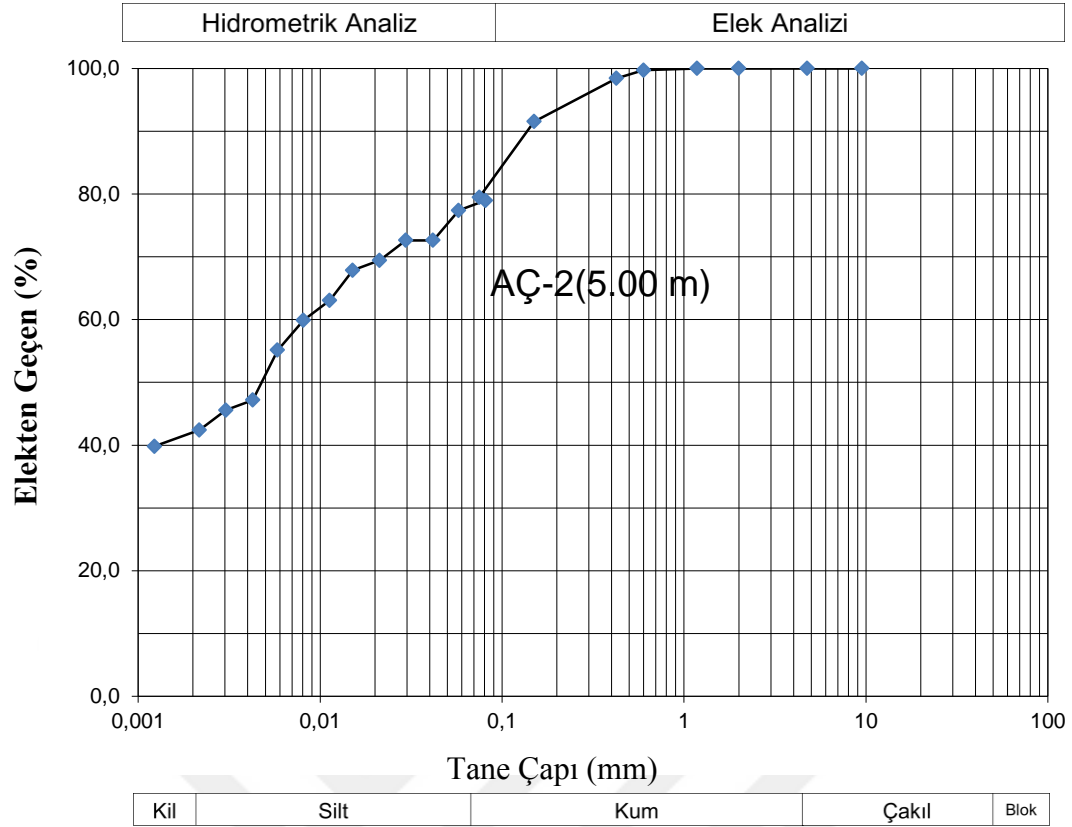


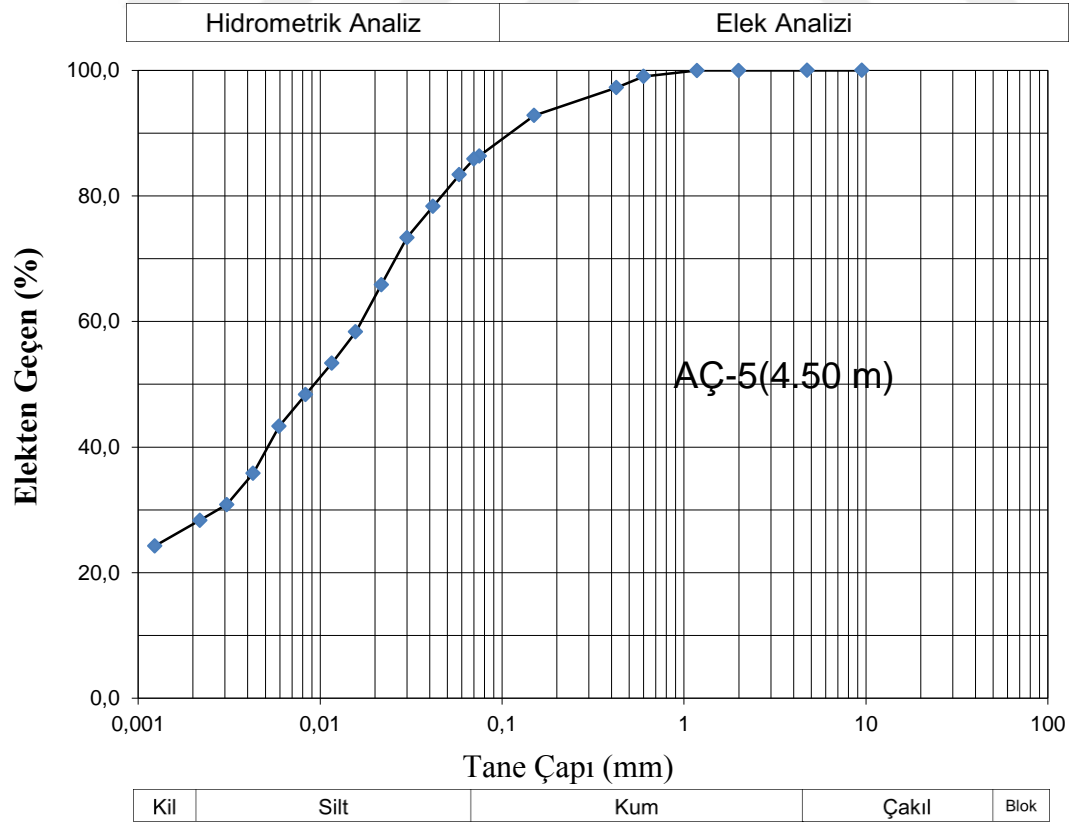
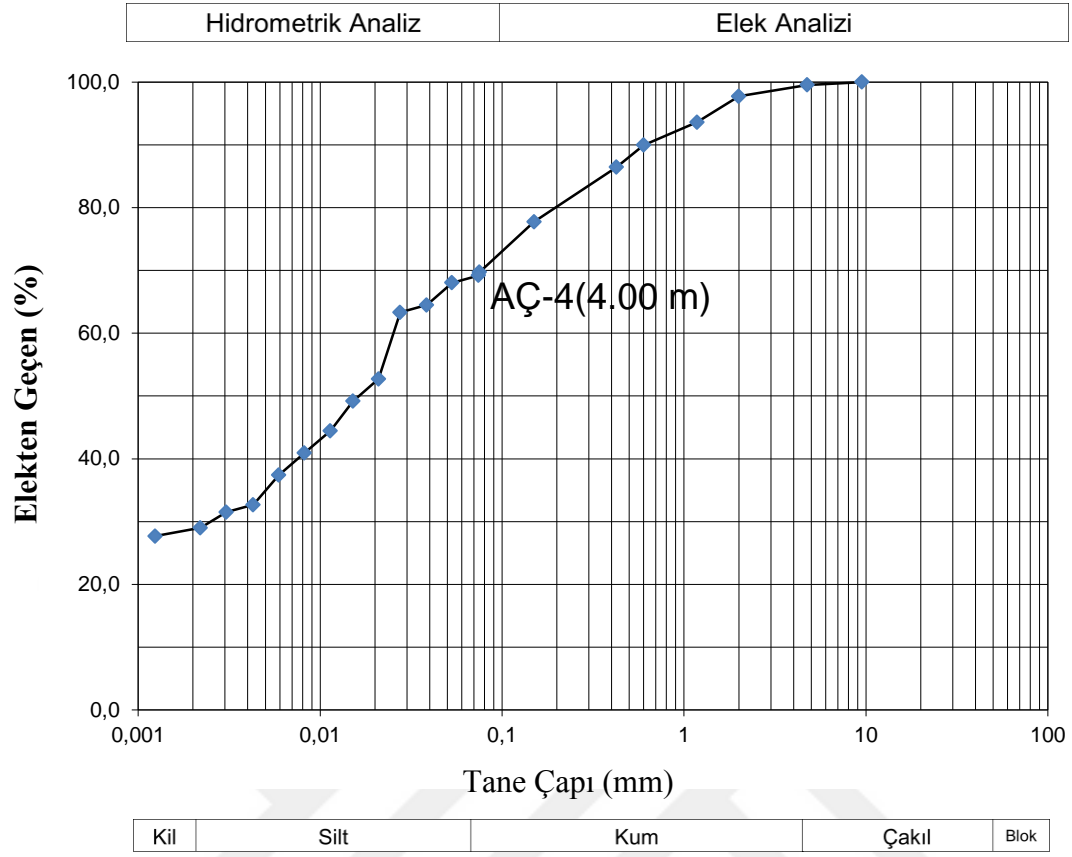
**EK-1** İnceleme alanı zeminlerinin jeoteknik özellikleri

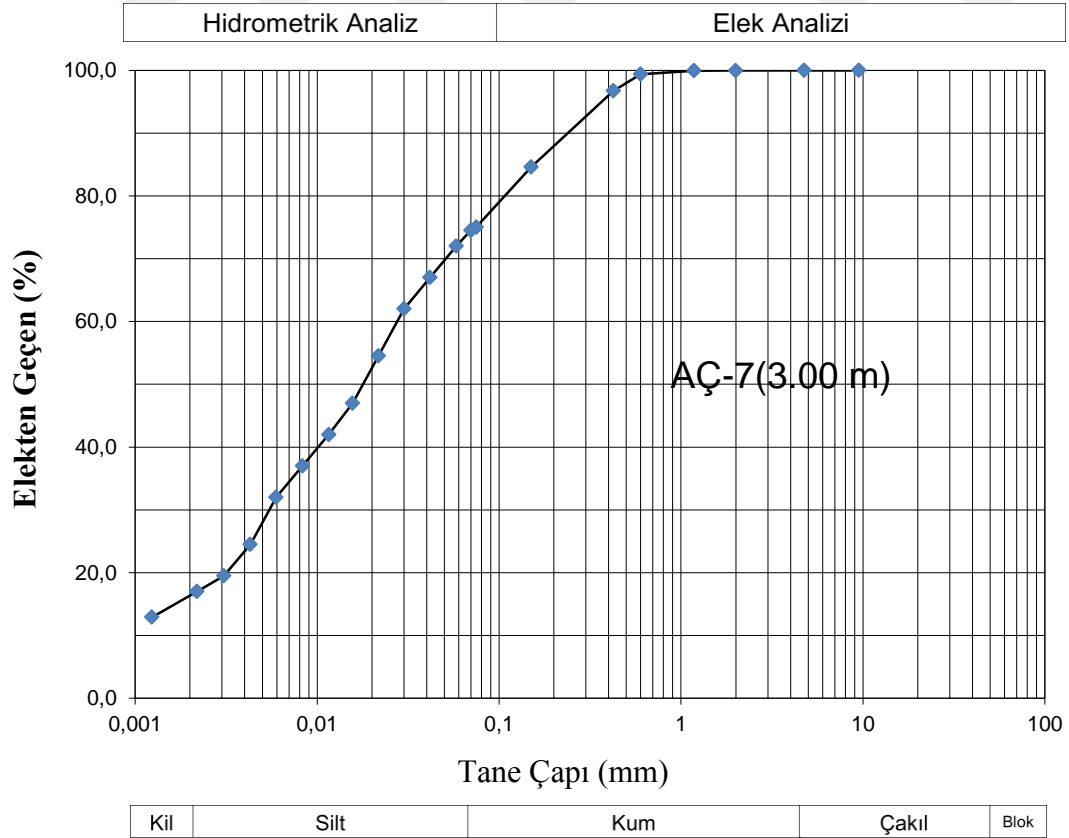
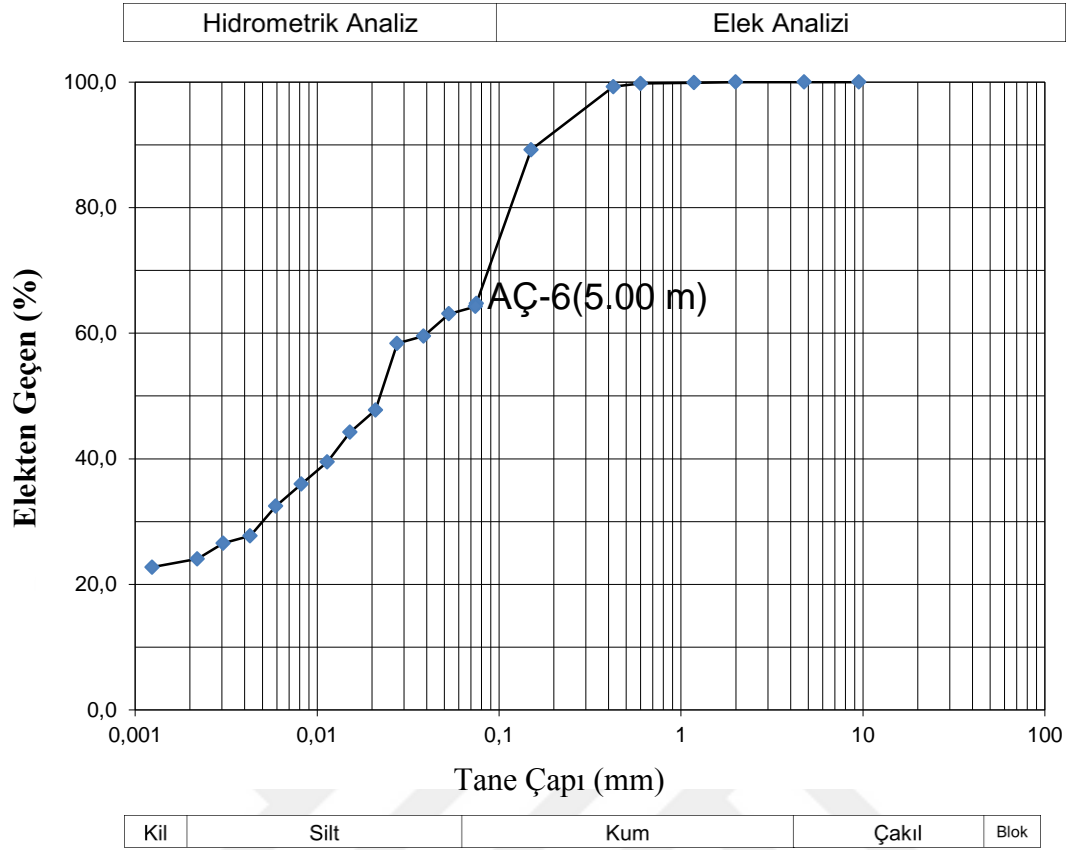
Numune Adı	Derinlik (m)	Elek Analizi (%)		Atterberg Limitleri (%)			Zemin Sınıfı (USCS)	Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Doğal Su İçeriği (%)	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )
		4 Nolu Elek Kalan	200 Nolu Elek Geçen	LL	PL	PI					
AÇ-1(TORBA)	4,50	0,3	59,7	40	20	20	CL	-	-	18	-
AÇ-1(TORBA)	6,00	0,1	88,4	43	21	23	CL	-	-	23	-
AÇ-2(TORBA)	5,00	0	79,5	36	19	17	CL	-	-	18	-
AÇ-3(TORBA)	4,00	0	87,5	32	19	13	CL	-	-	20	-
AÇ-4(TORBA)	4,00	0,4	70,06	41	23	18	CL	-	-	26	-
AÇ-5(TORBA)	4,50	0	86,5	37	23	14	CL	-	-	8	-
AÇ-6(TORBA)	6,00	0	65,4	*			ML	-	-	13	-
AÇ-7(TORBA)	3,00	0	75,4	*			ML	-	-	16	-
SK-1(UD-1)	4,50	5	67,1	37	23	14	CL	2,72	1,90	17	18,59
SK-1(UD-2)	6,50	0,9	93,5	50	20	30	CH	2,78	1,92	20	18,83
SK-1(UD-3)	9,50	0	95,7	30	20	19	CL	2,76	1,97	26	19,37
SK-2(UD-1)	3,00	0	88,2	36	19	17	CL	2,75	1,99	18	19,56
SK-2(UD-2)	6,00	6,8	53,6	*			ML	2,70	-	10	-
SK-2(UD-3)	8,00	16,7	22,3	*			SM	2,78	1,94	14	19,00
SK-2(UD-4)	10,00	4,3	81,2	35	18	17	CL	2,73	1,95	24	19,14
SK-2(UD-5)	12,00	7,1	11,7	*			SM	2,81	-	24	-
SK-3(UD-1)	3,00	0	85,5	*			ML	1,47	2,03	24	19,93
SK-3(UD-2)	6,00	2,7	92,9	39	21	18	CL	2,82	2,12	22	20,81
SK-3(UD-3)	8,00	1,5	93,9	44	25	19	CL	2,83	2,00	30	19,58
SK-3(UD-4)	10,00	0	96,1	55	31	24	MH	2,78	1,83	27	17,96
SK-4(UD-1)	3,00	0,9	68,6	*			ML	2,75	-	31	-
SK-4(UD-2)	4,50	0	88,9	*			ML	2,78	1,87	21	18,34
SK-4(UD-3)	6,00	0	94	39	21	18	CL	2,80	2,01	25	19,76
SK-4(SPT-1)	6,25	0,2	87,2	*			ML	2,73	-	27	-

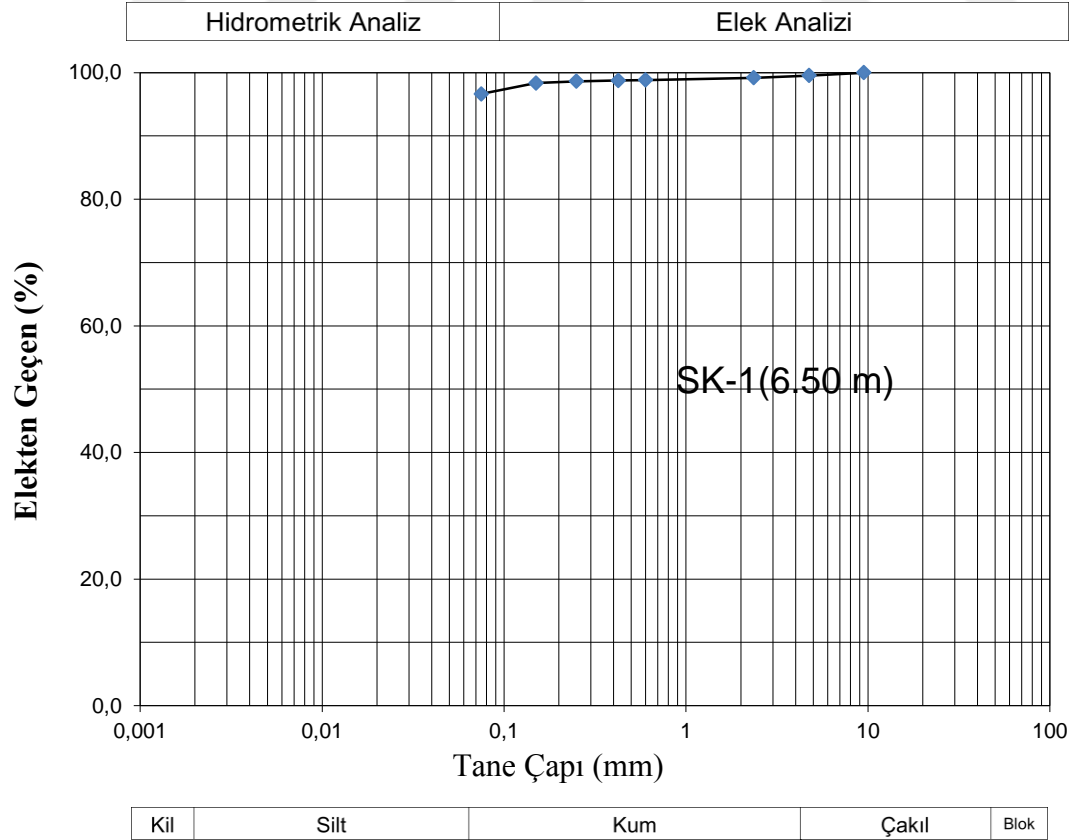
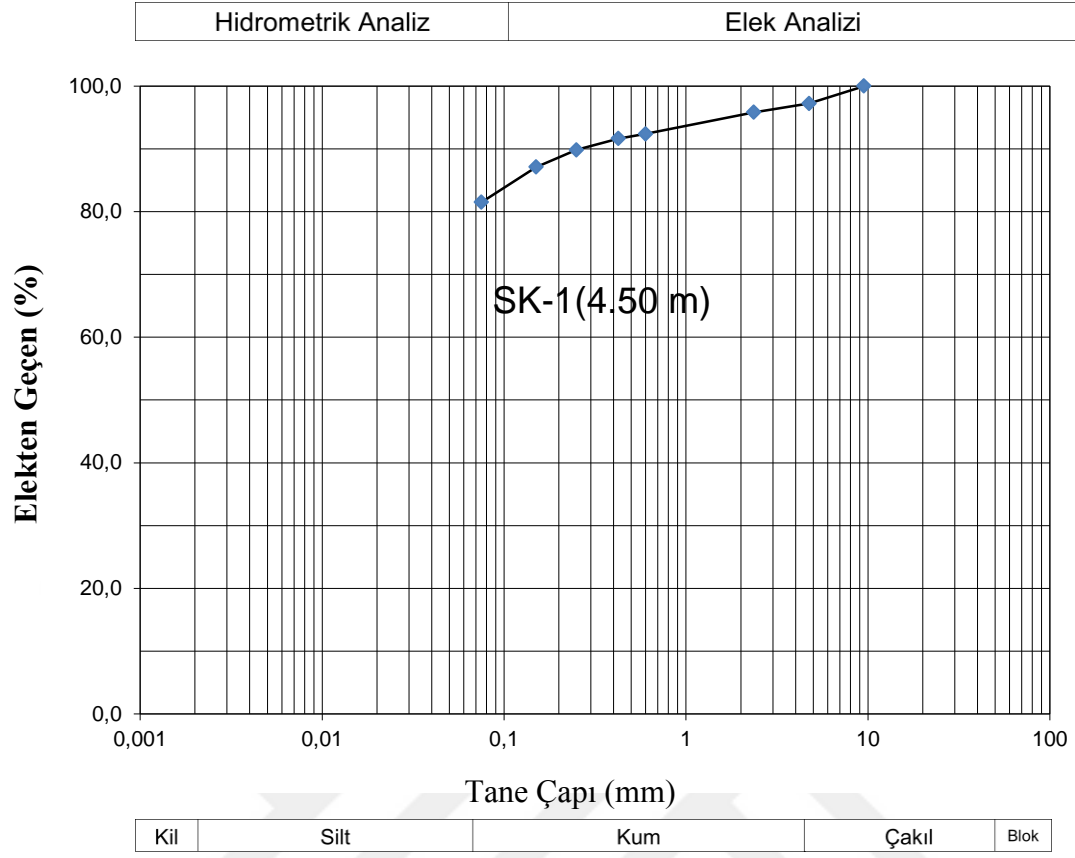
## EK-2 Tane Boyu Dağılım Eğrileri

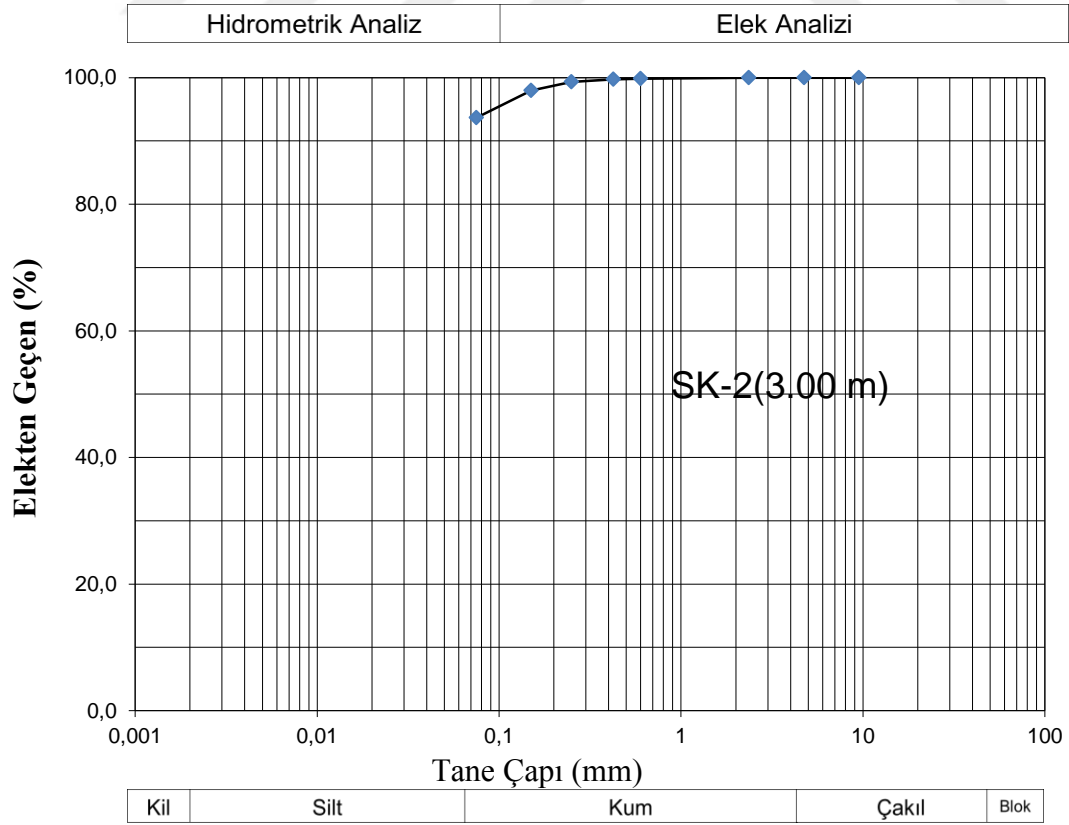
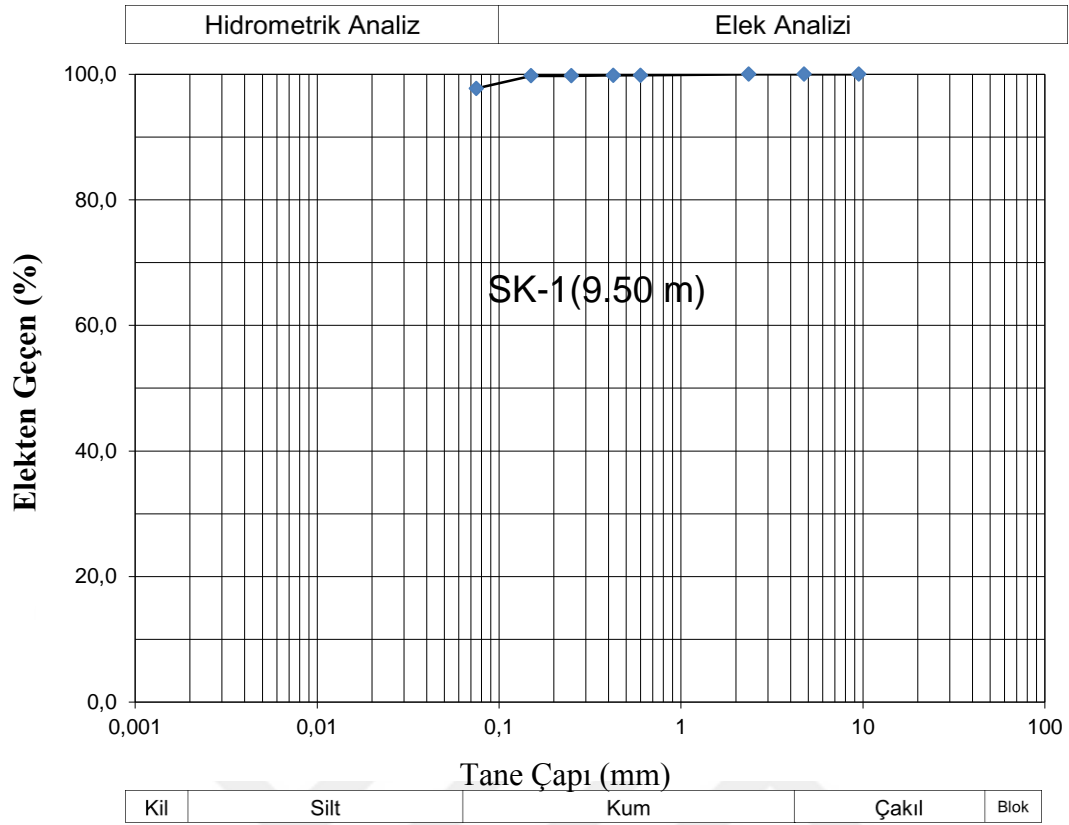




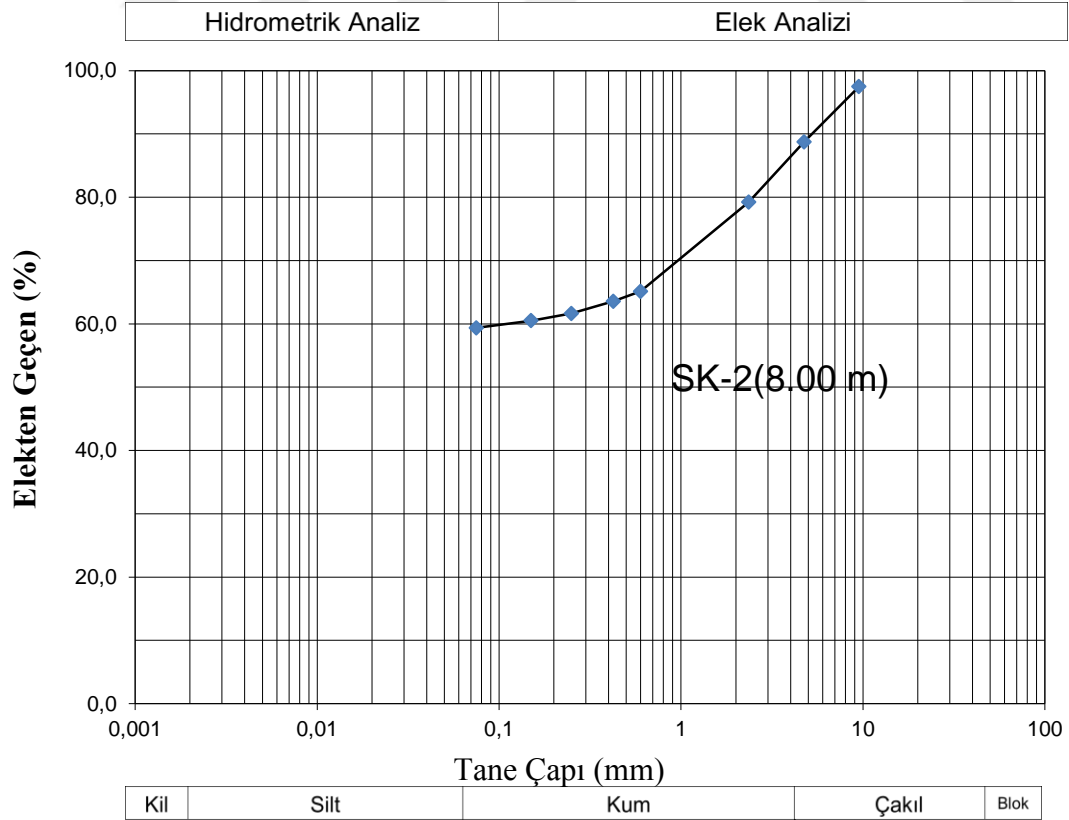
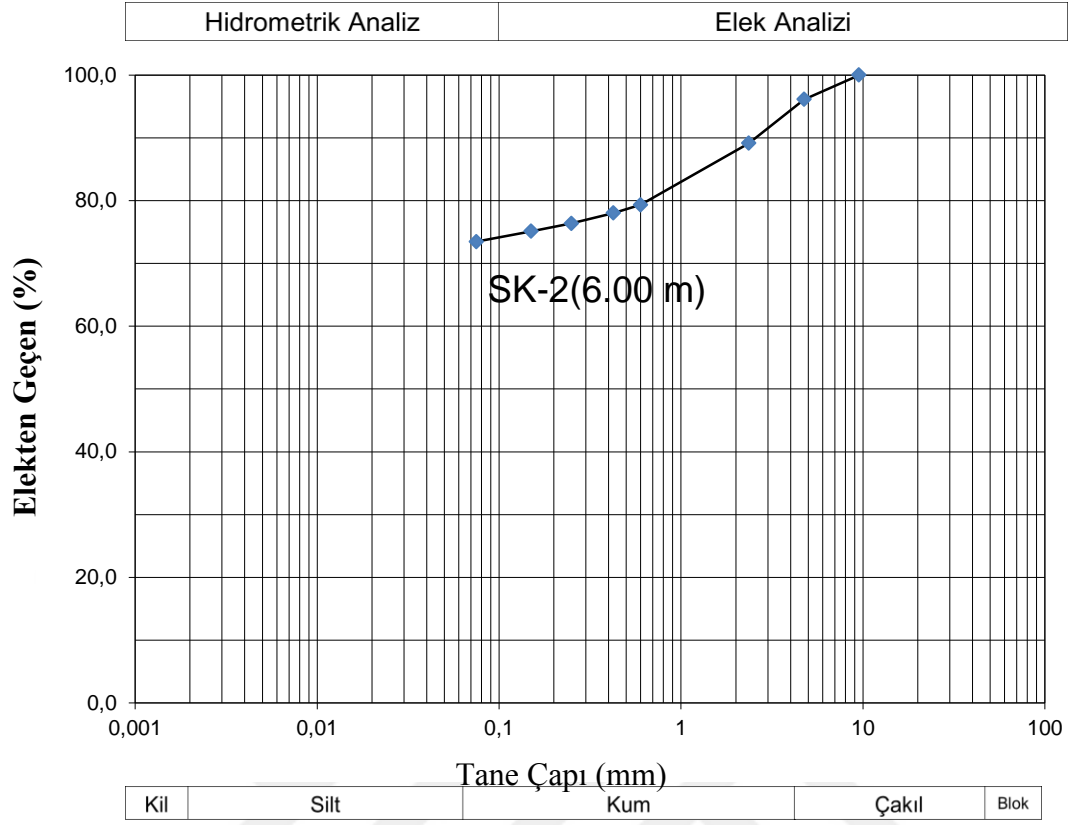


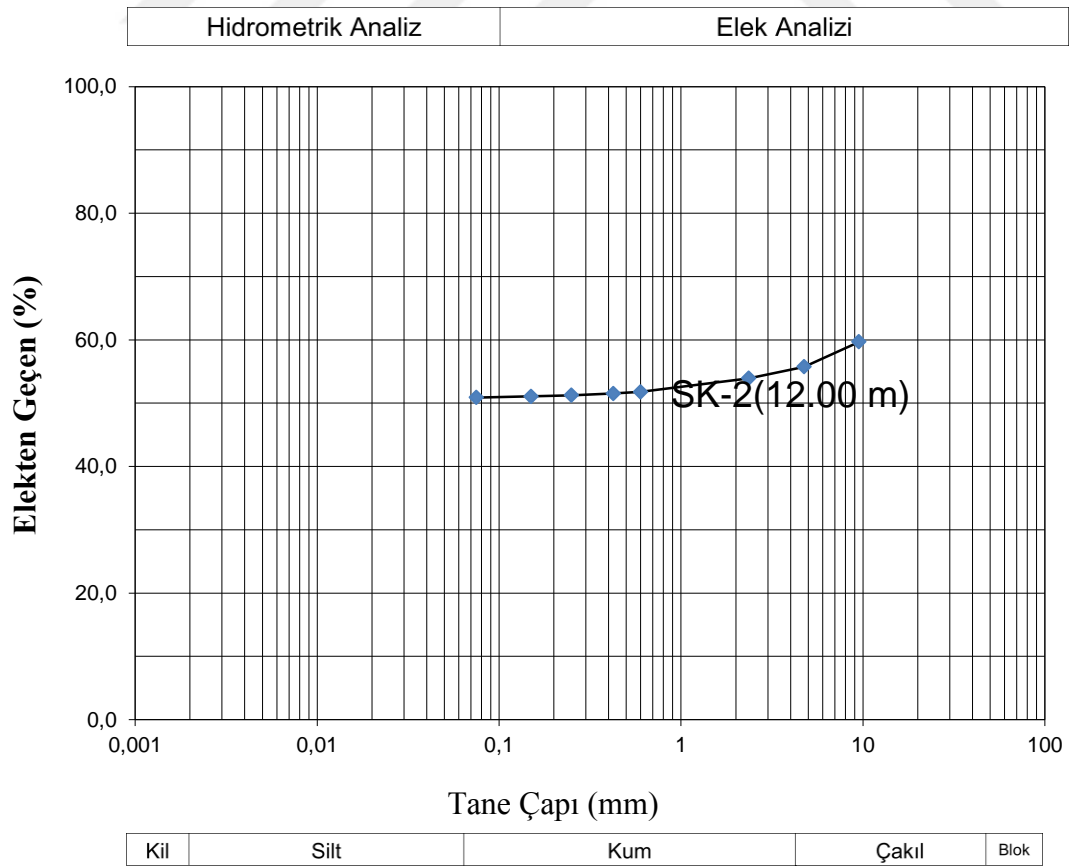
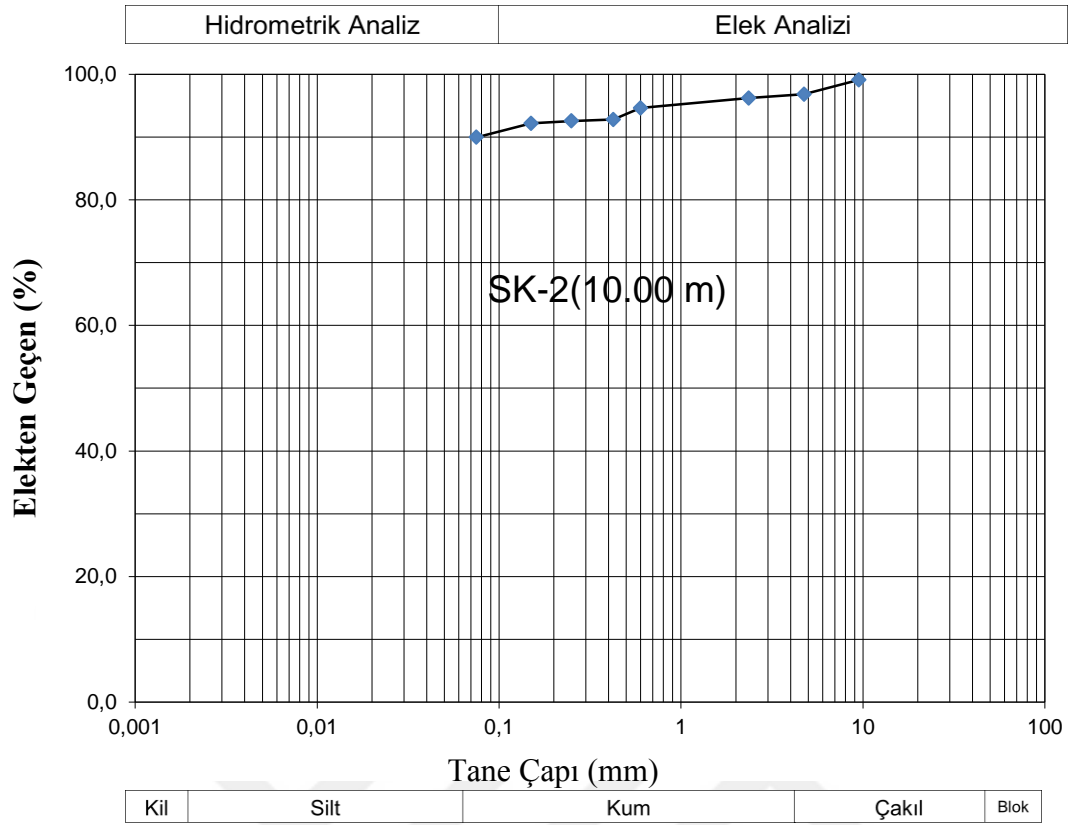


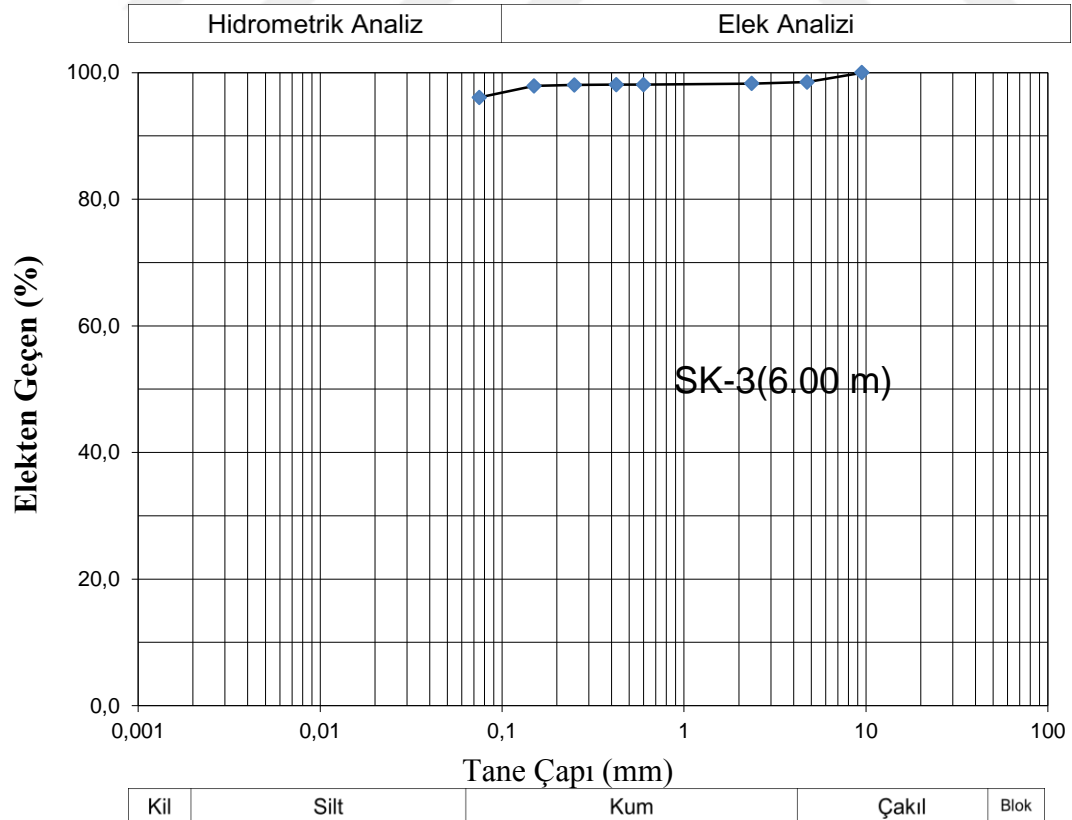
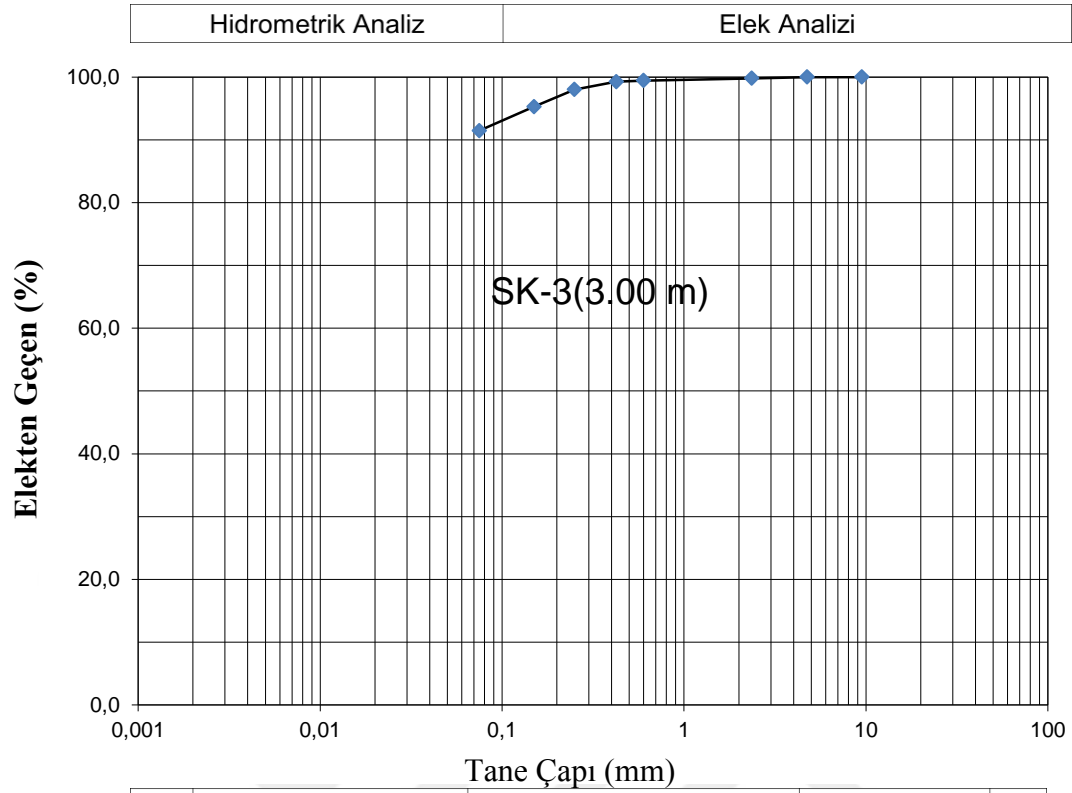


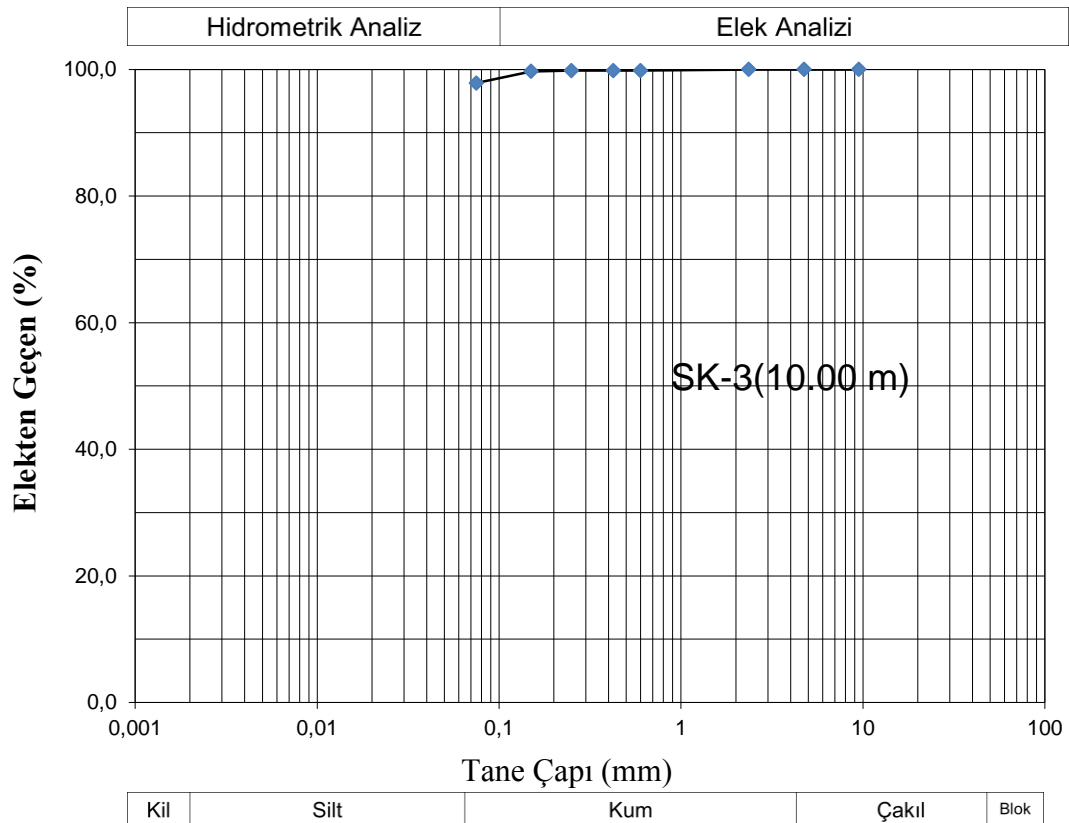
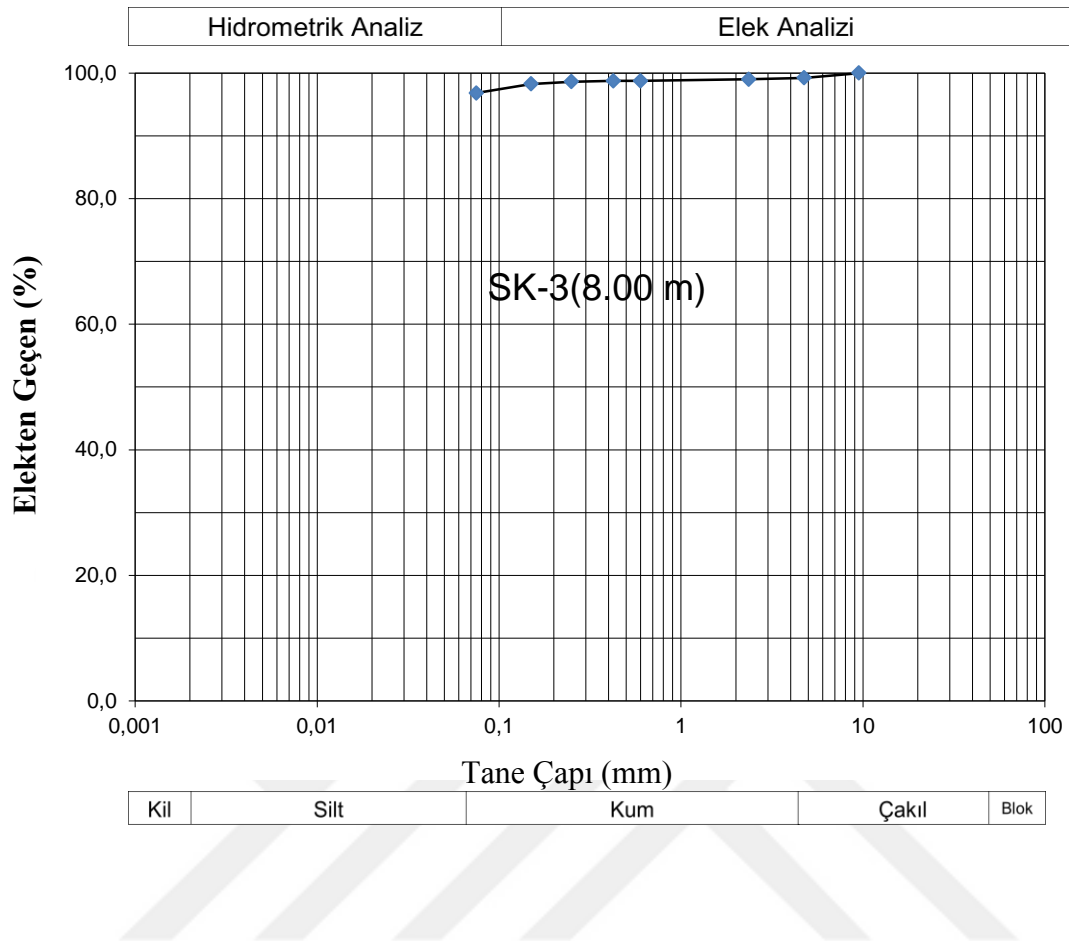


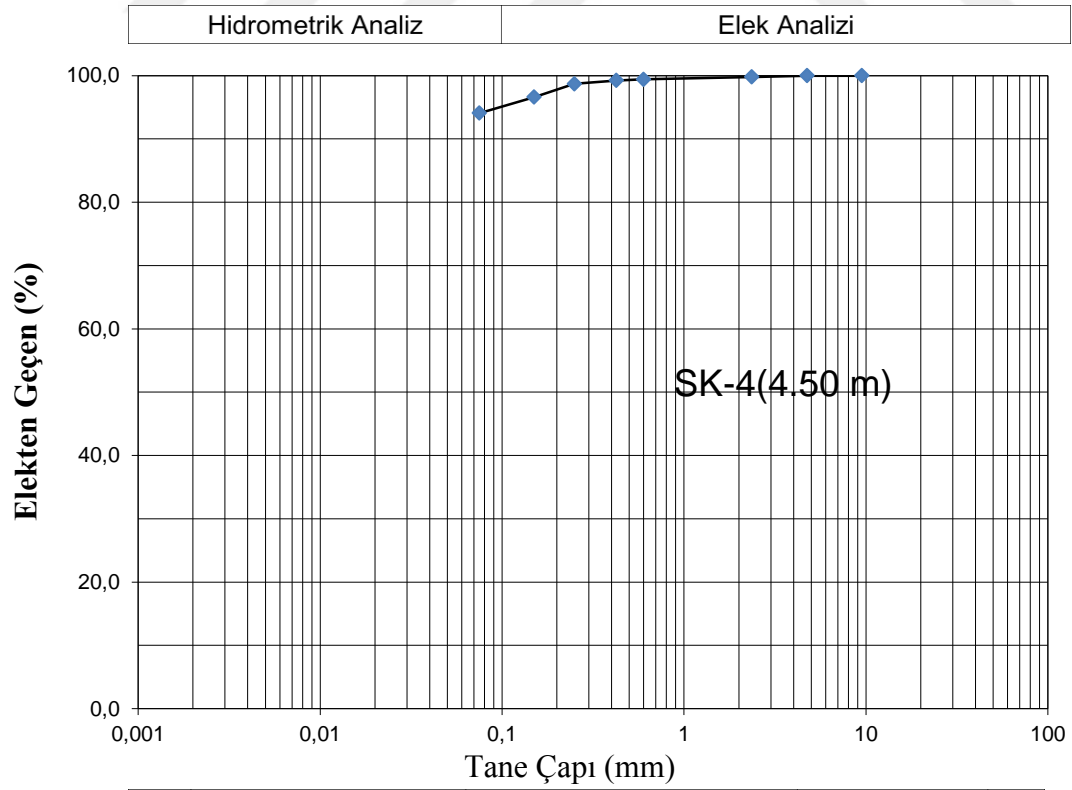
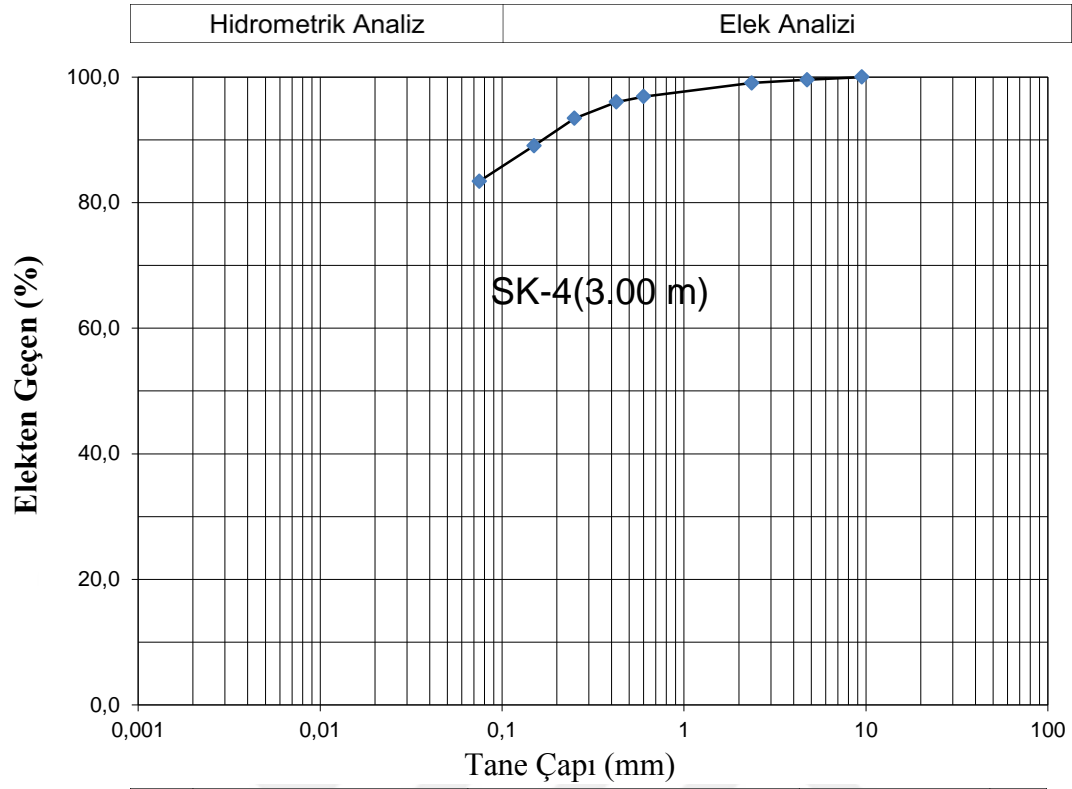


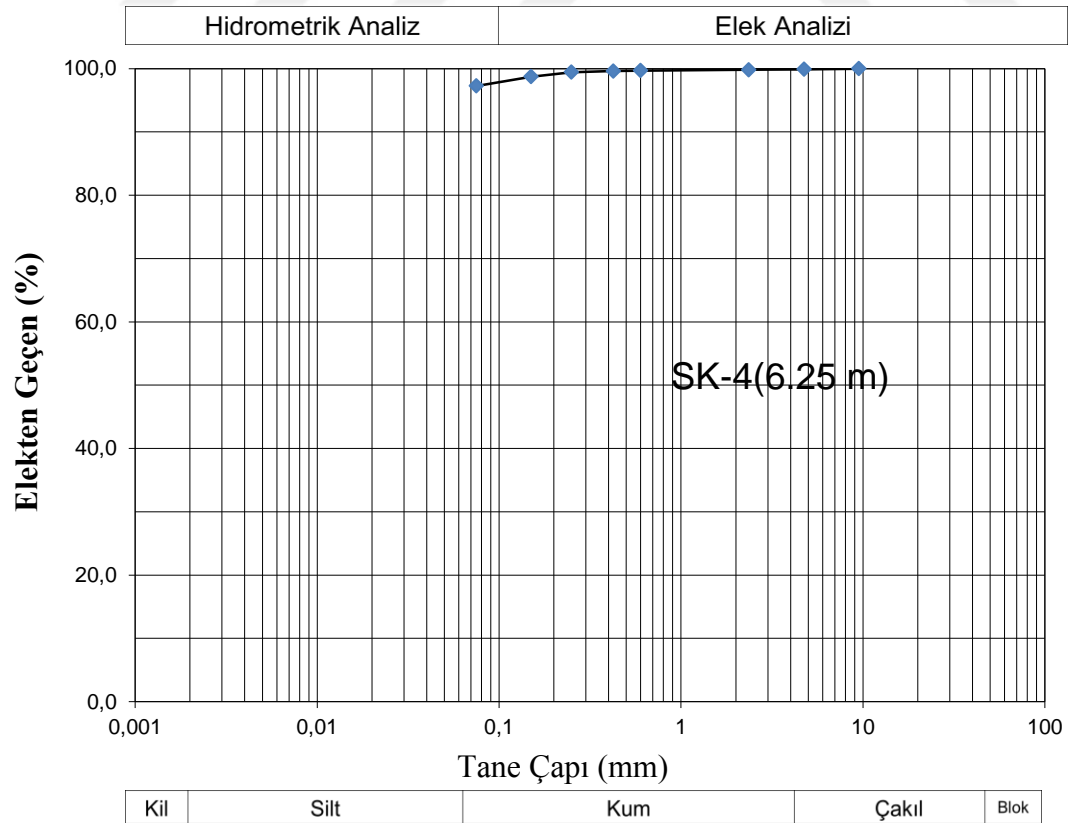
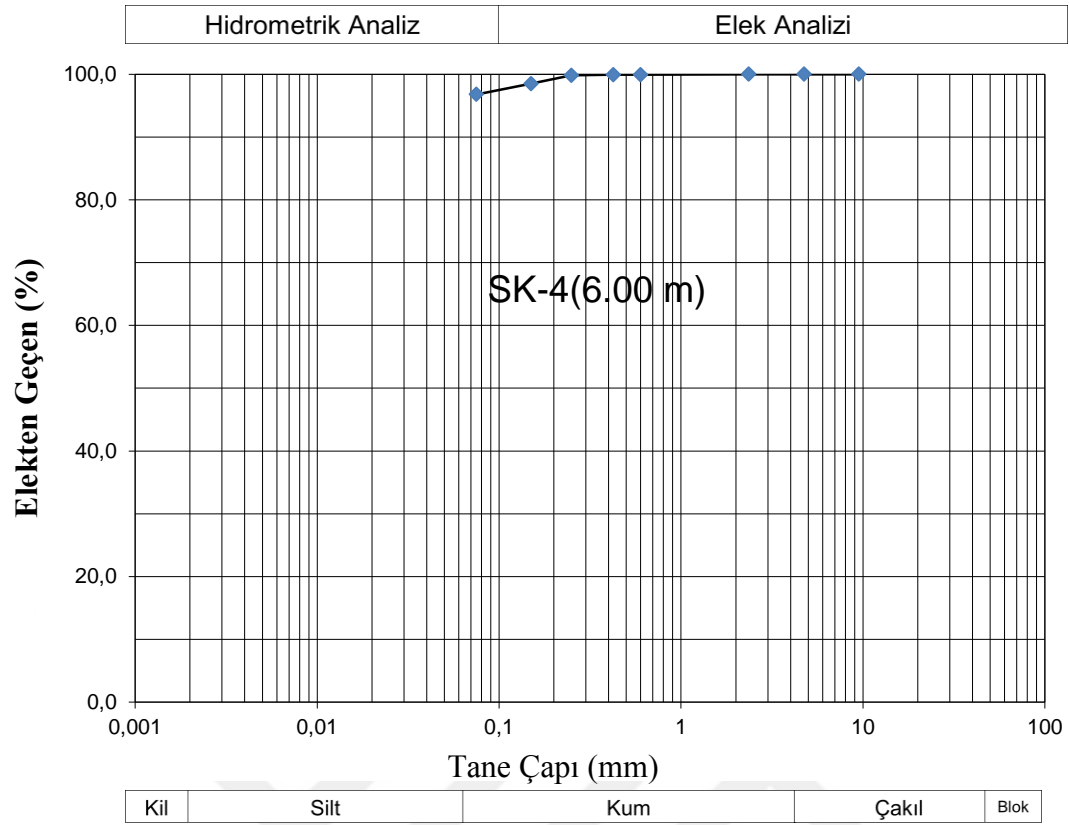




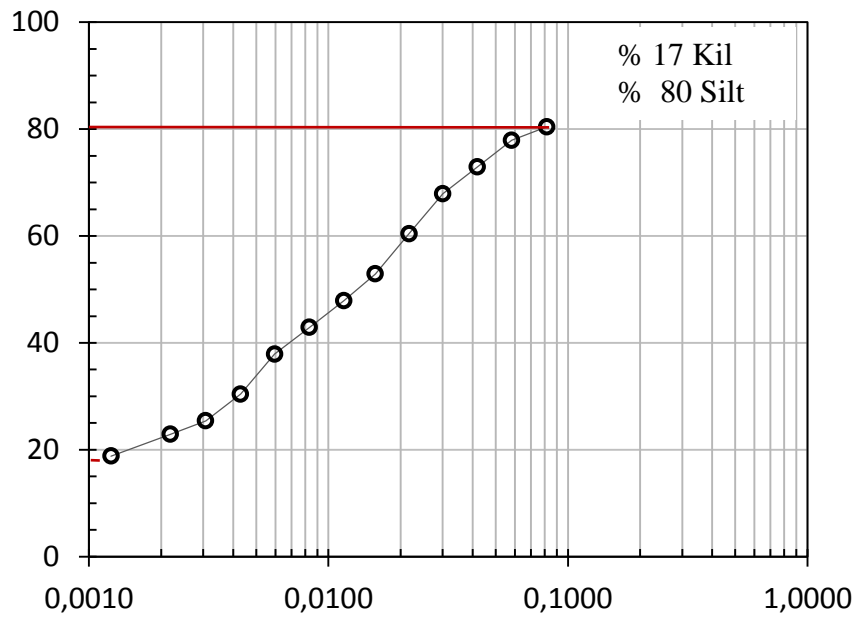
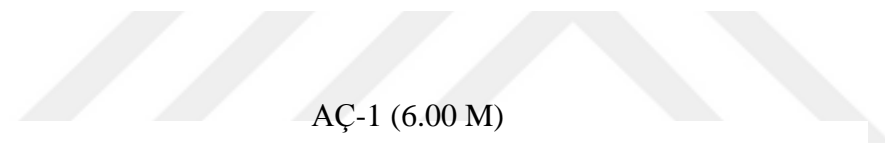
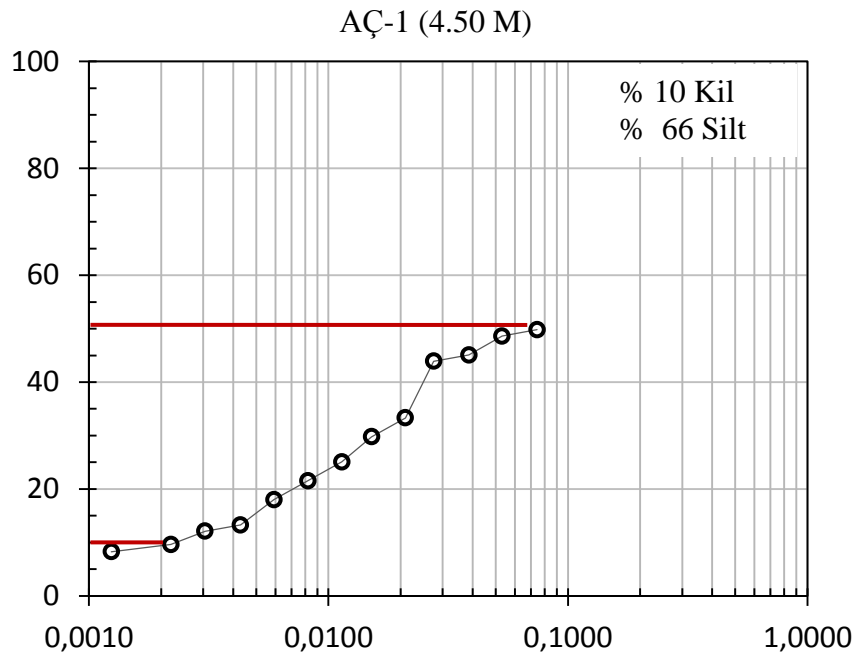


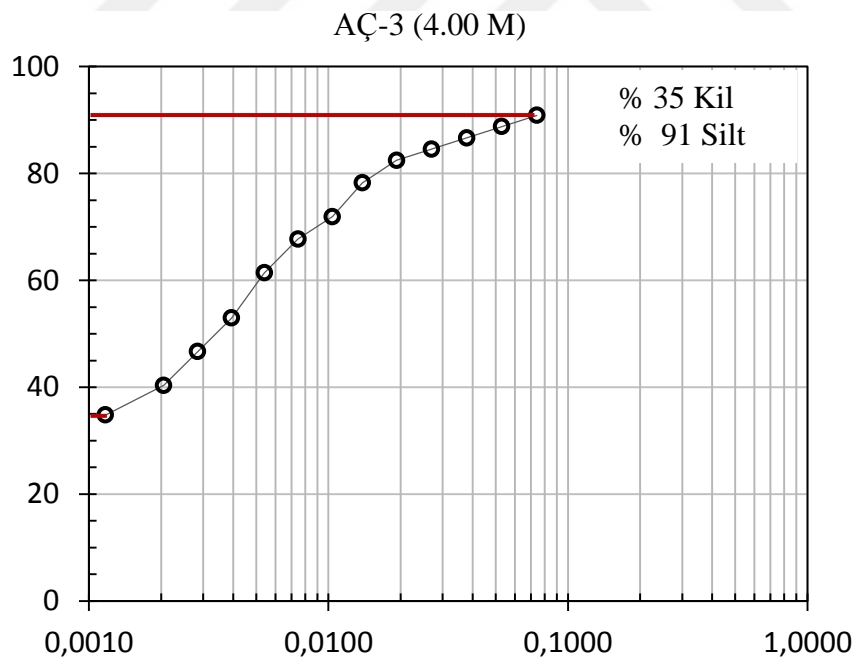
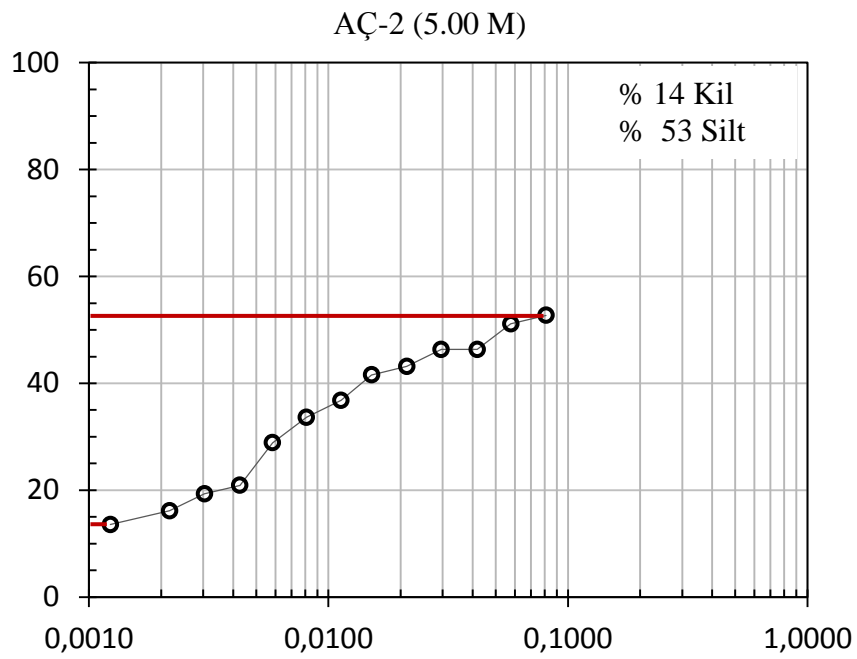






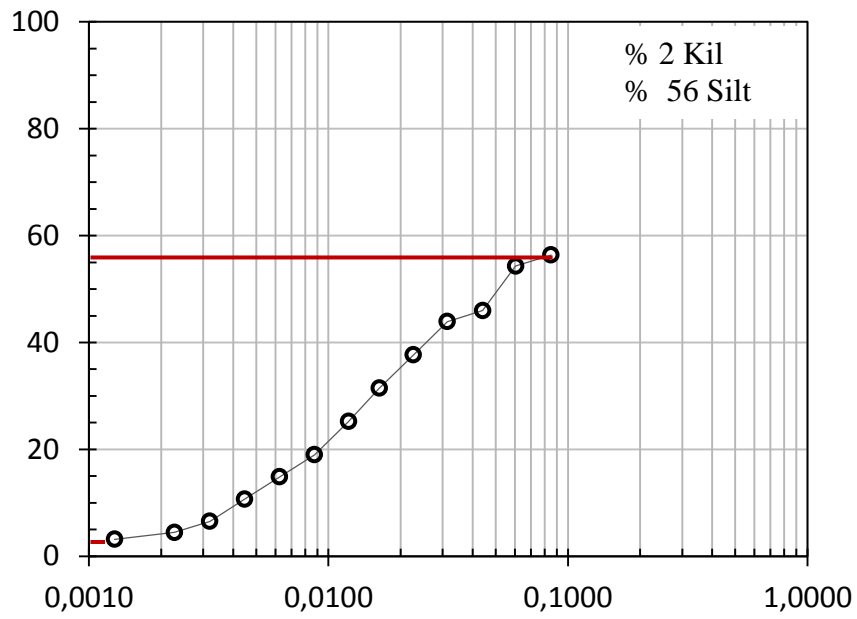
## EK-3 Hidrometre Deneyi Sonuçları



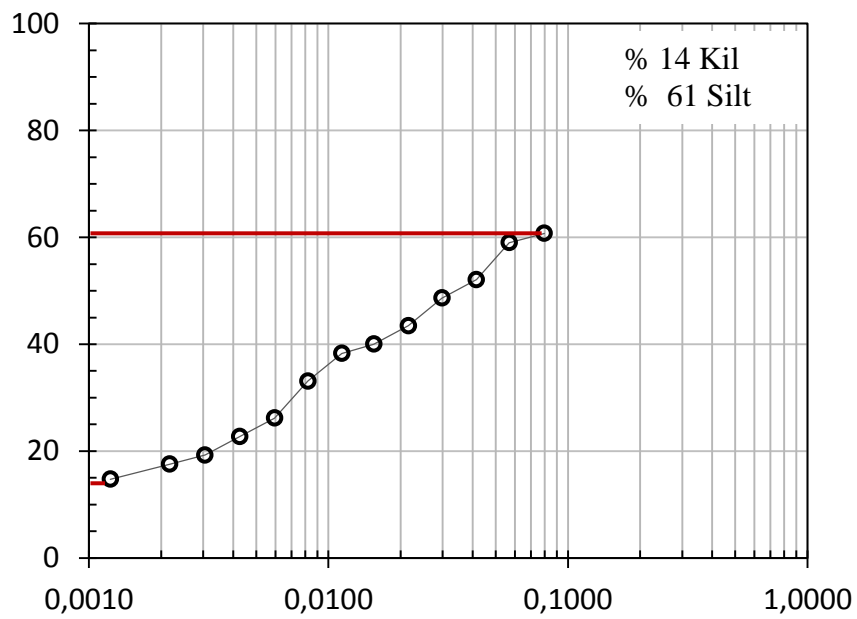


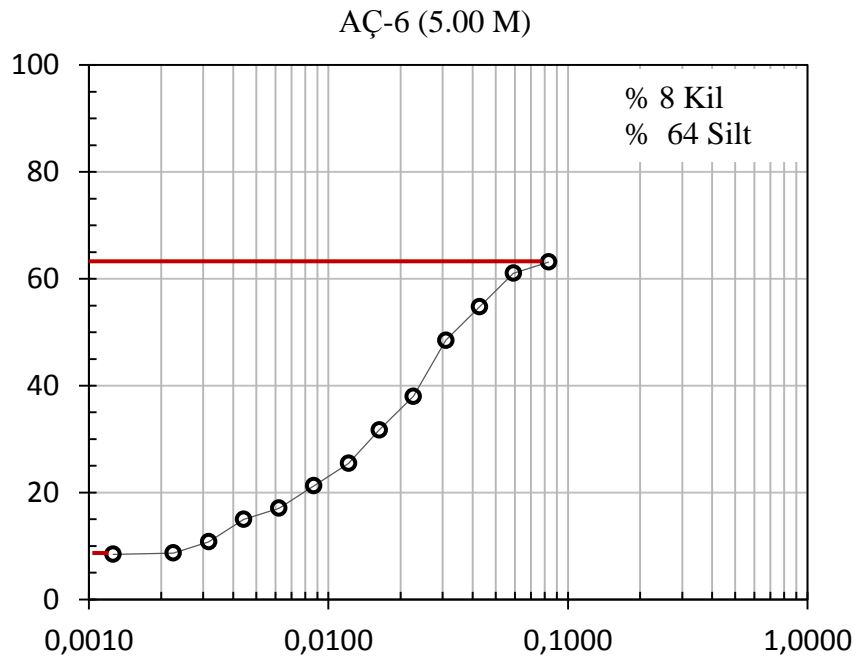


AÇ-4 (4.00 M)



AÇ-5 (4.50 M)

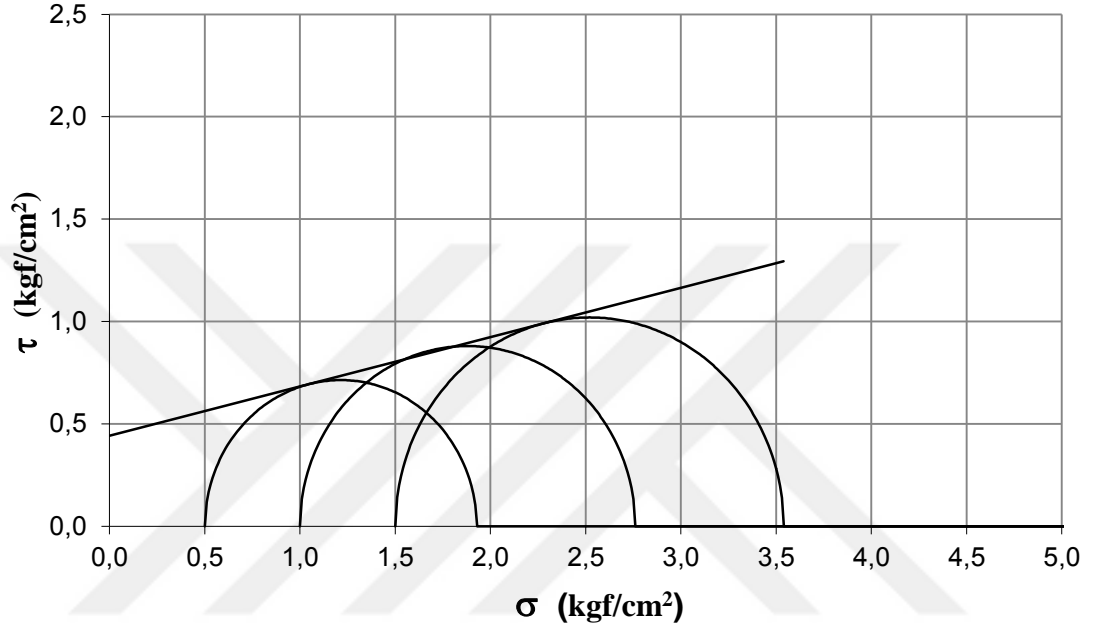




### EK-4 Üç Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları

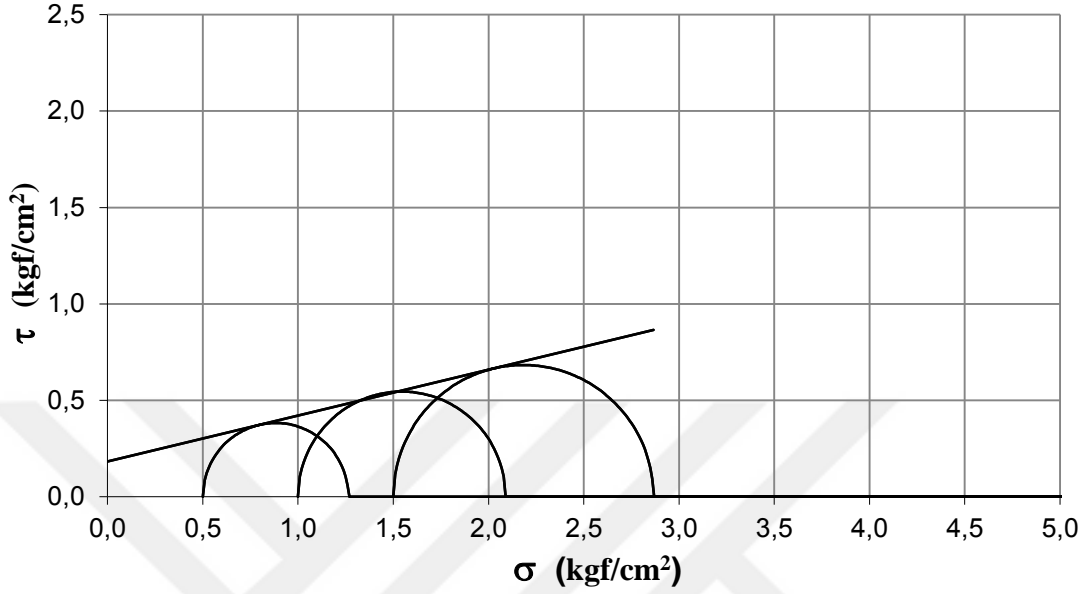
#### SK-1 (6.50 M)

Hücre Basıncı ( $\sigma_3$ , kgf/cm <sup>2</sup> ):	0.50	1.00	1.50	c: 0.44 kgf/cm <sup>2</sup>
Yenilme Gerilmesi ( $\sigma_1$ , kgf/cm <sup>2</sup> ):	1.93	2.76	3.54	$\phi$ : 14°

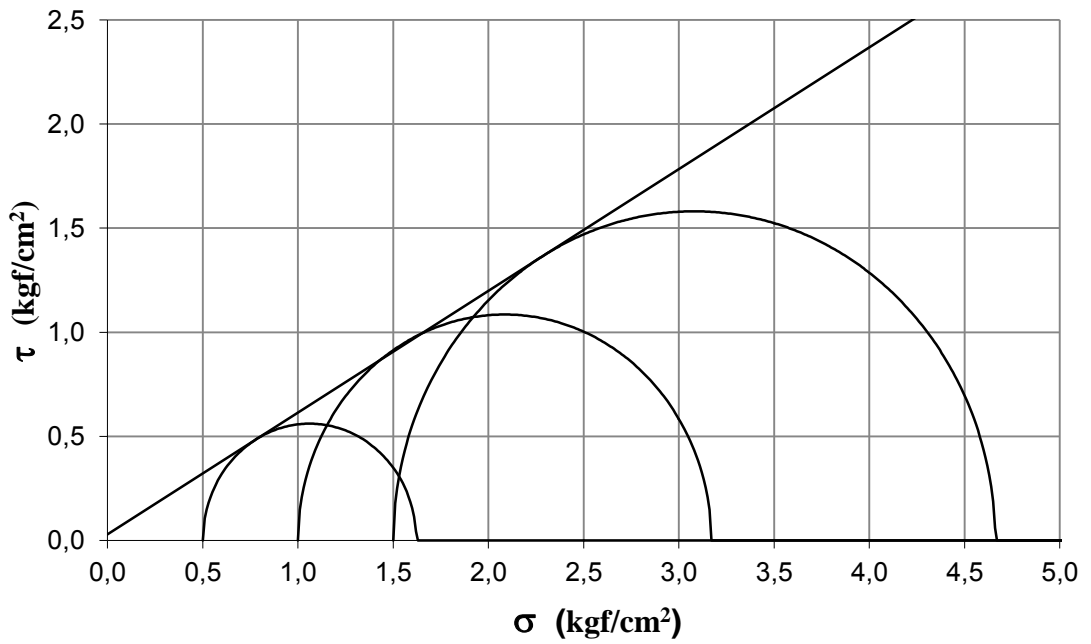


**SK-1 (9.50 M)**

Hücre Basıncı ( $\sigma_3$ , kgf/cm <sup>2</sup> ):	0.50	1.00	1.50	c: 0.18 kgf/cm <sup>2</sup>
Yenilme Gerilmesi ( $\sigma_1$ , kgf/cm <sup>2</sup> ):	1.26	2.09	2.87	$\phi$ : 13°

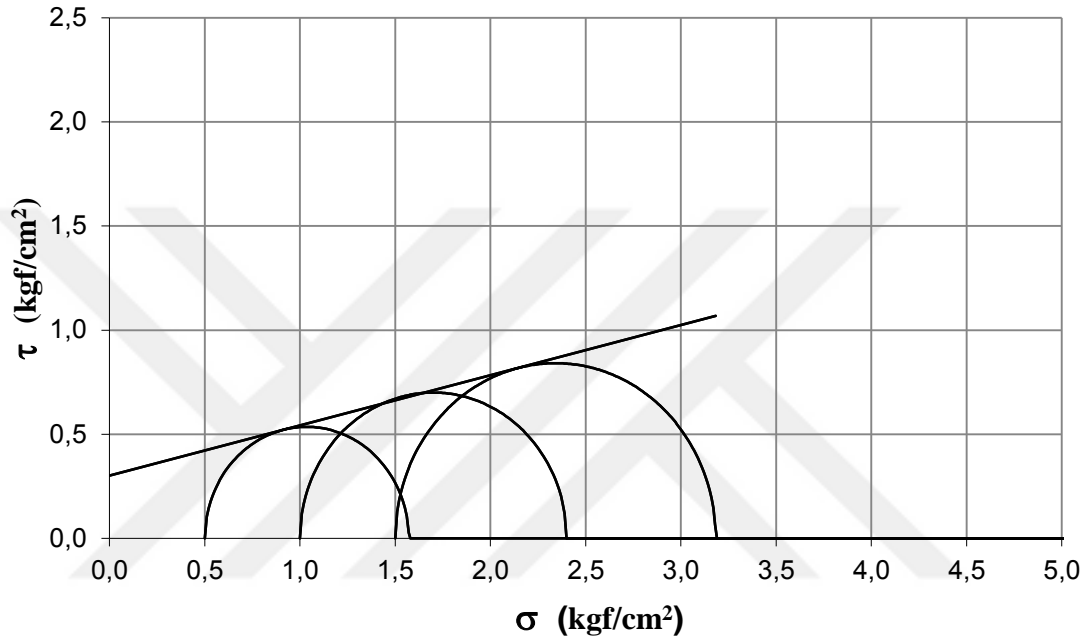
**SK-2 (3.00 M)**

Hücre Basıncı ( $\sigma_3$ , kgf/cm <sup>2</sup> ):	0.50	1.00	1.50	c: 0.03 kgf/cm <sup>2</sup>
Yenilme Gerilmesi ( $\sigma_1$ , kgf/cm <sup>2</sup> ):	1.62	3.17	4.66	$\phi$ : 13°



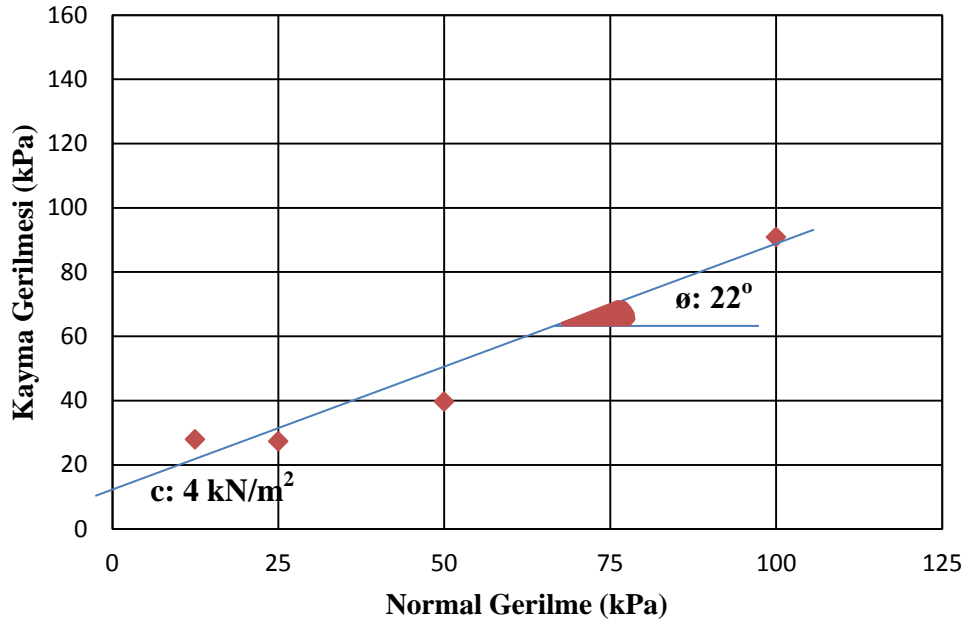
**SK-3 (10.00 M)**

Hücre Basıncı ( $\sigma_3$ , kgf/cm <sup>2</sup> ):	0.50	1.00	1.50	c: 0.30 kgf/cm <sup>2</sup>
Yenilme Gerilmesi ( $\sigma_1$ , kgf/cm <sup>2</sup> ):	1.57	2.40	3.18	$\phi$ : 14°

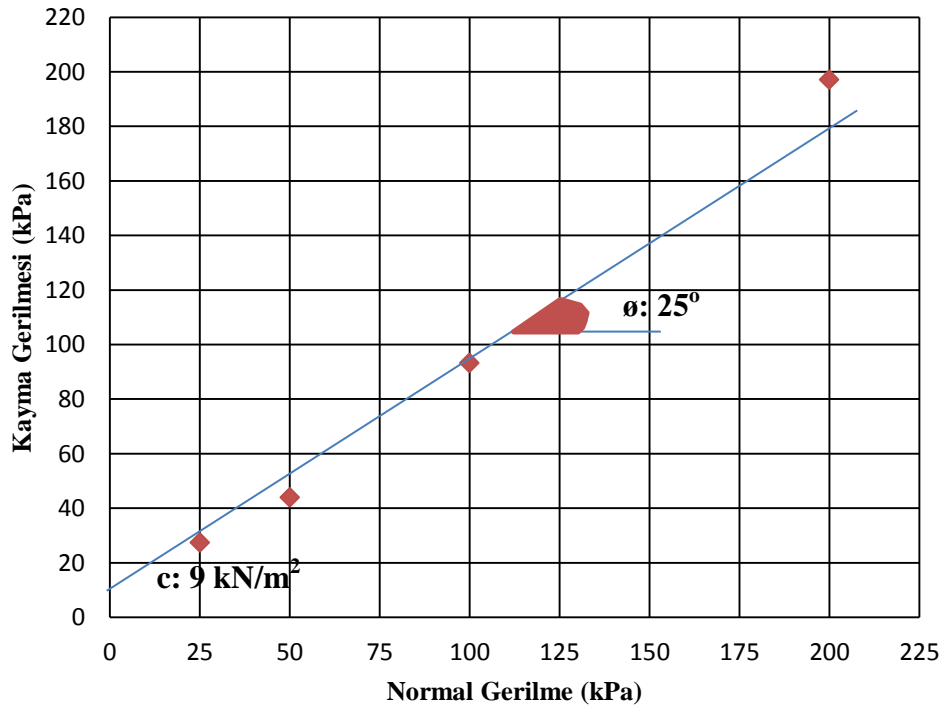


## EK-5 Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları

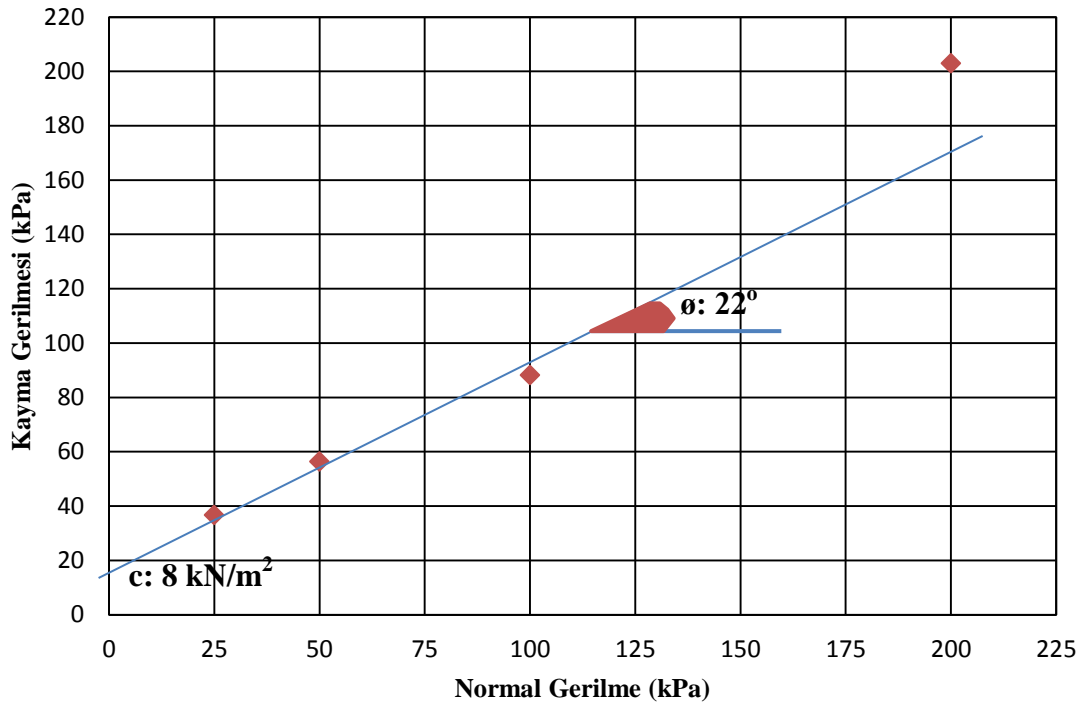
## SK-1 (6.50 M)



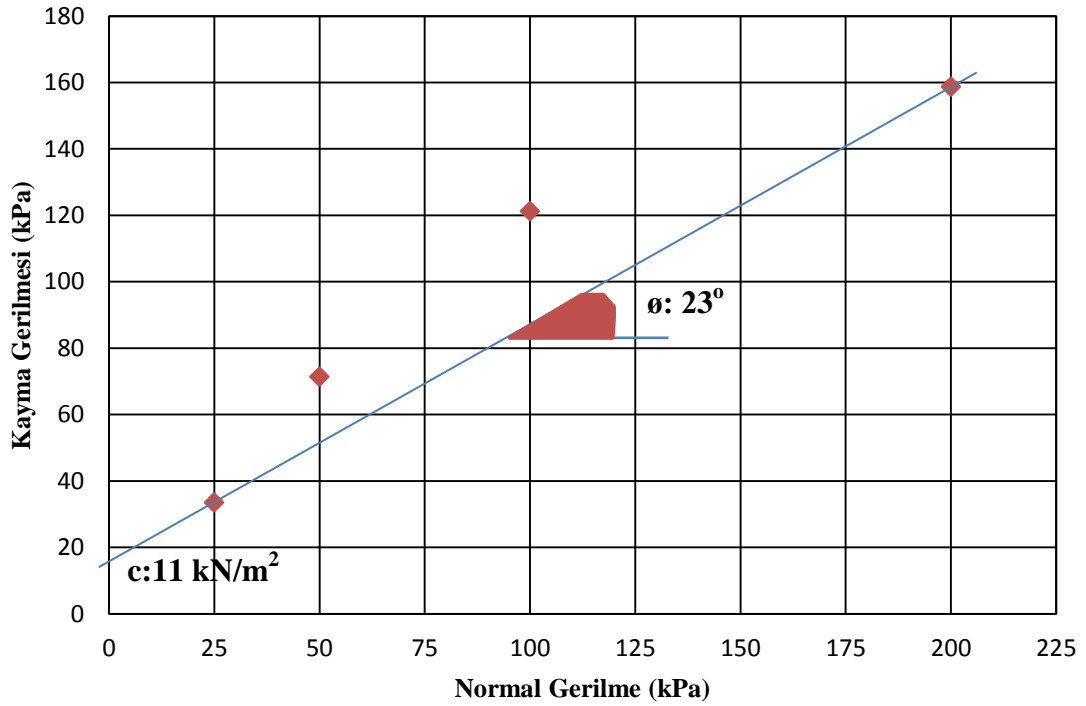
## SK-1 (9.50 M)



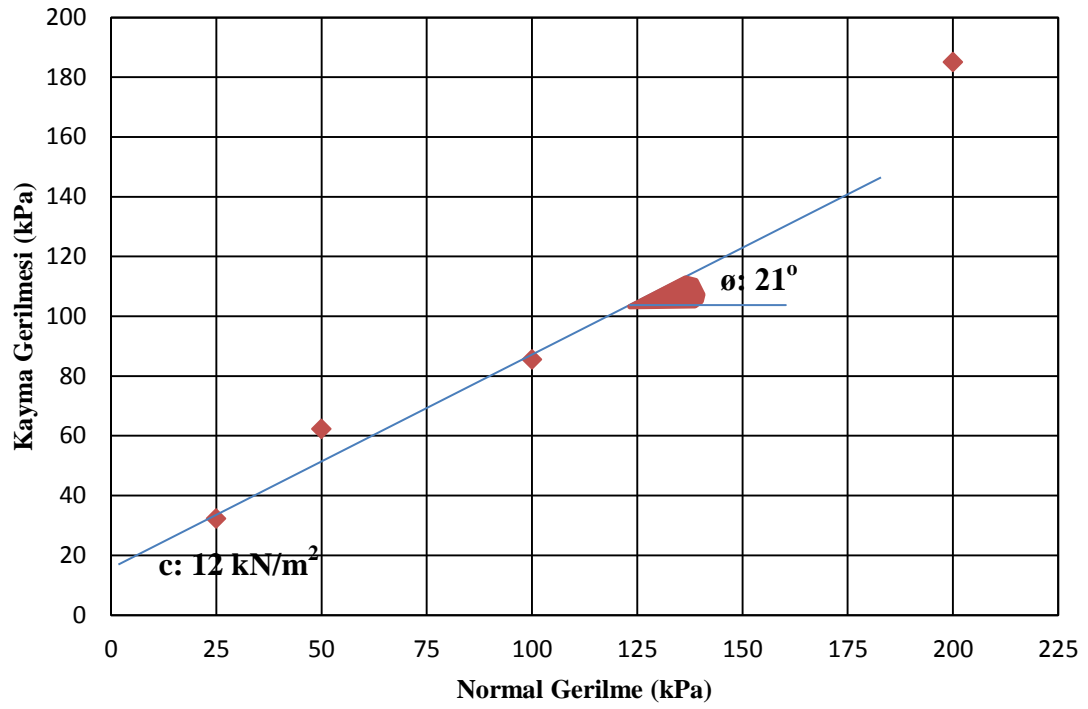
## SK-2 (3.00 M)



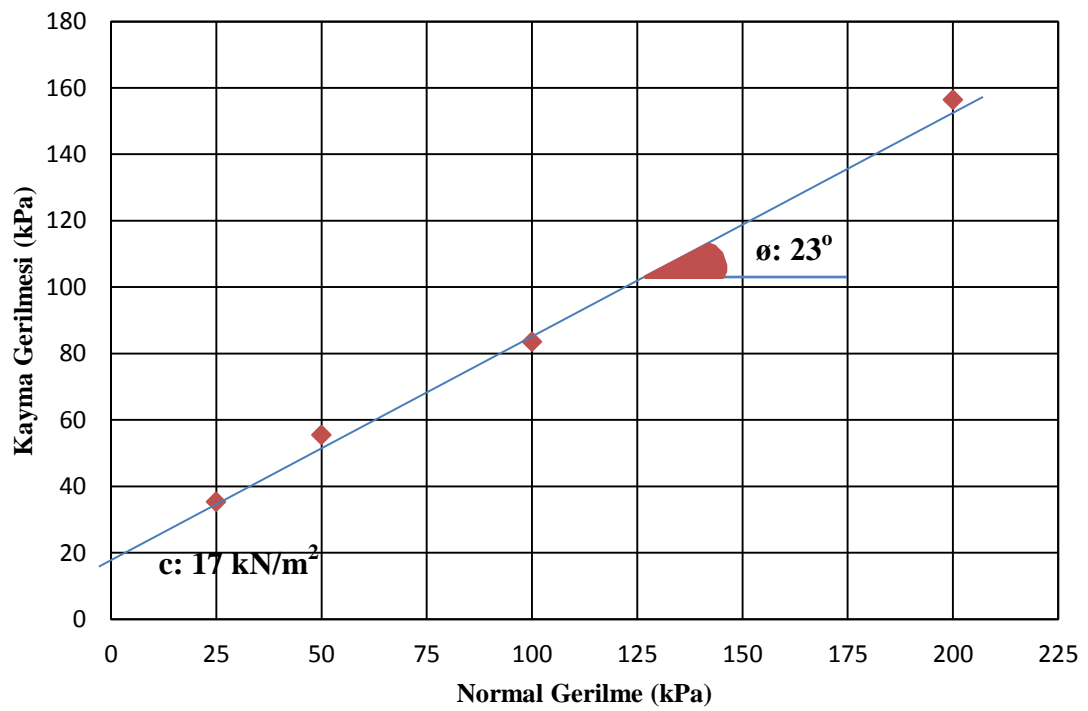
## SK-3 (3.00 M)



## SK-4 (4.50 M)



## SK-4 (6.00 M)



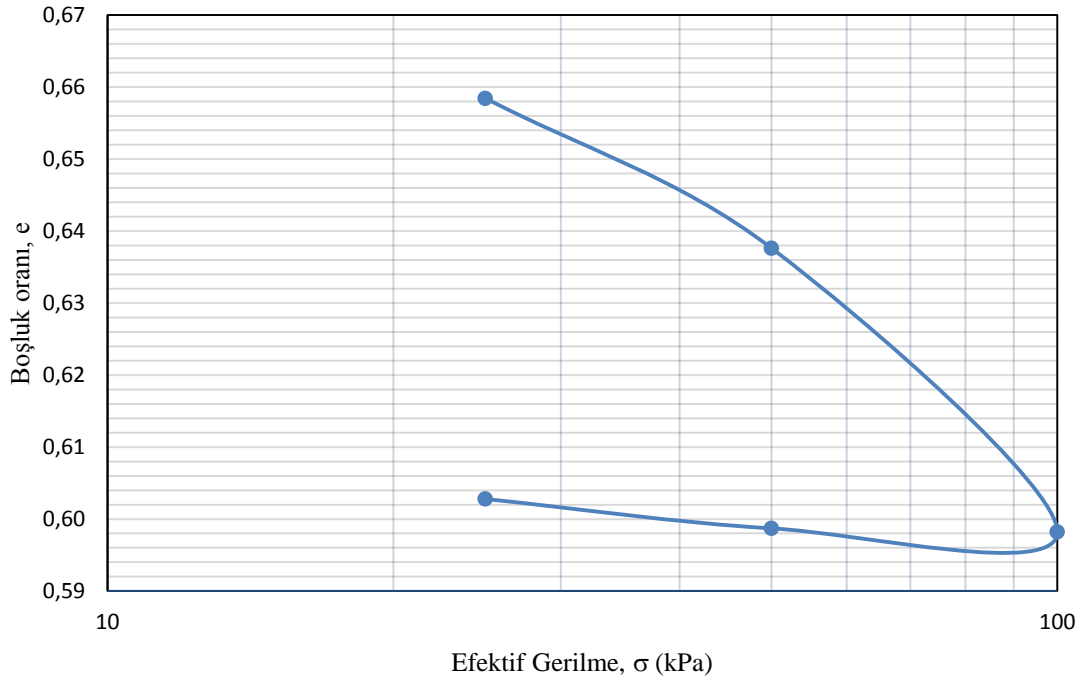


**EK-6 Konsolidasyon Deneyi Sonuçları ve Boşluk Oranı-Efektif Gerilme Grafikleri**

**SK-1 (4.50 M)**

Boşluk oranı ve Deformasyon Verileri					
Yüklemeye adımları (kPa)	$d_r$ düzeltilmiş (mm)	$\Sigma\Delta H$ (mm)	$\varepsilon\Sigma\Delta H/H_0$ (%)	$H$ $H_0 - \Delta H$ (mm)	$e$ $(H - H_s)/H_s$
Başlangıç	9,2173	0	0	20,0000	0,770
25	7,9600	1	6	18,7427	0,658
50	7,7248	1	7	18,5075	0,638
100	7,2794	2	10	18,0621	0,598
50	7,2850	2	10	18,0677	0,599
25	7,3310	2	9	18,1137	0,603

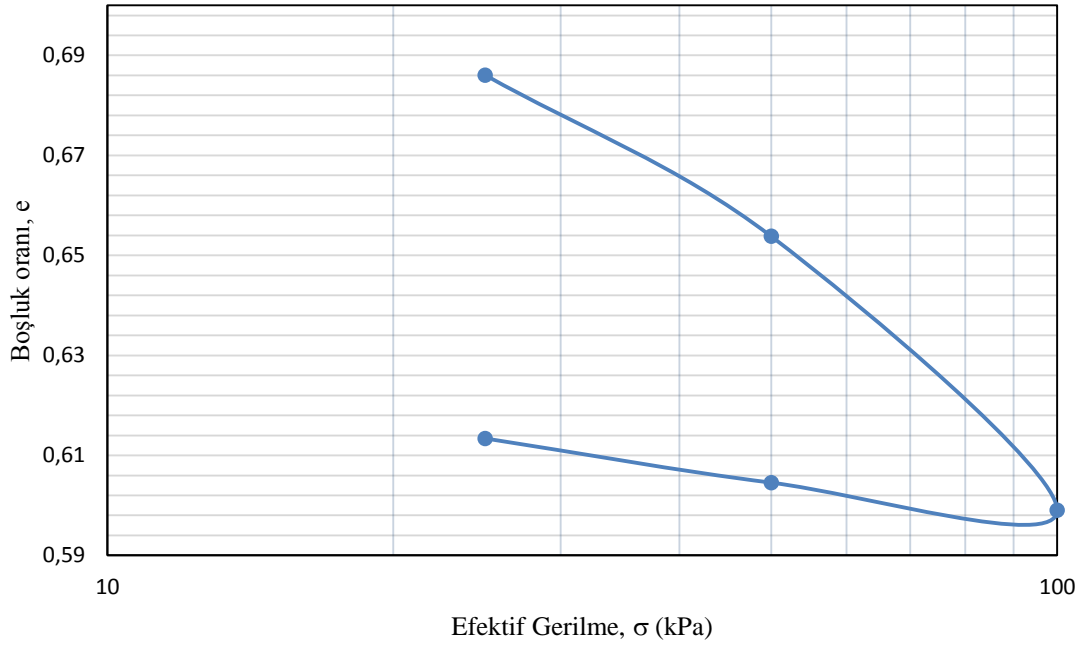
**e- $\sigma$  Grafiği**



$C_c$	0.1309
$C_r$	0.0135
$\sigma'_p$ (kPa)	53

**SK-1 (6.50 M)**

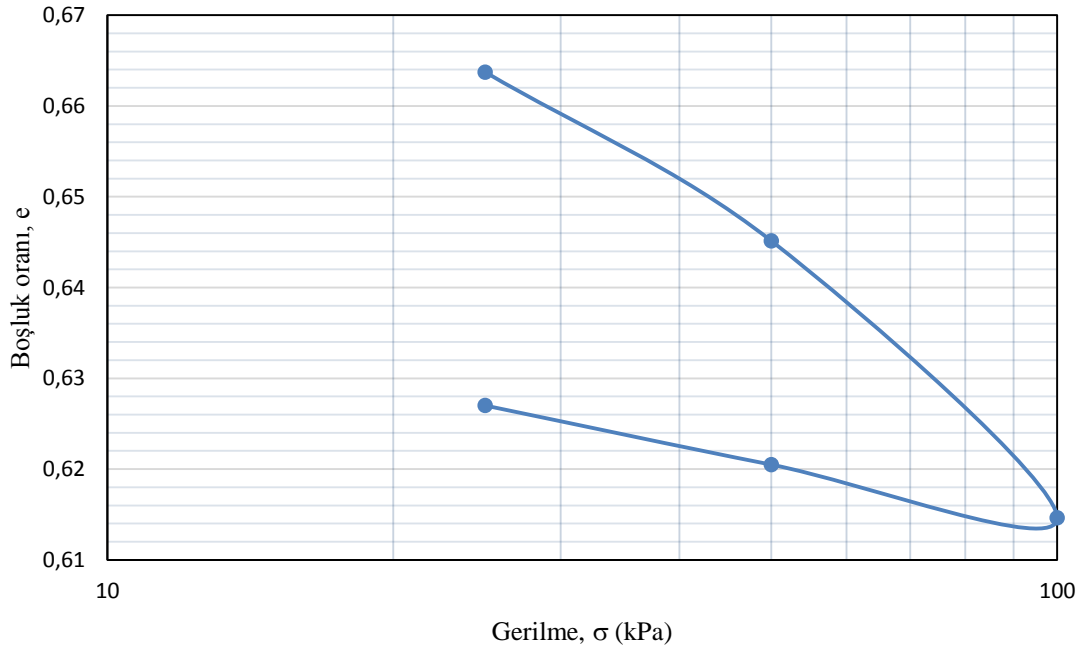
Boşluk oranı ve Deformasyon Verileri					
Yükleme adımları (kPa)	$d_f$ düzeltilmiş (mm)	$\Sigma\Delta H$ (mm)	$\varepsilon\Sigma\Delta H/H_0$ (%)	H $H_0 - \Delta H$ (mm)	e $(H - H_s)/H_s$
Başlangıç	8,0483	0	0	20,0000	0,774
25	7,0557	1	5	19,0074	0,686
50	6,6922	1	7	18,6439	0,654
100	6,0749	2	10	18,0266	0,599
50	6,1370	2	10	18,0887	0,605
25	6,2366	2	9	18,1883	0,613

**e- $\sigma$  Grafiği**

$C_c$	0.1819
$C_r$	0.0293
$\sigma'_p$ (kPa)	52

**SK-1 (9.50 M)**

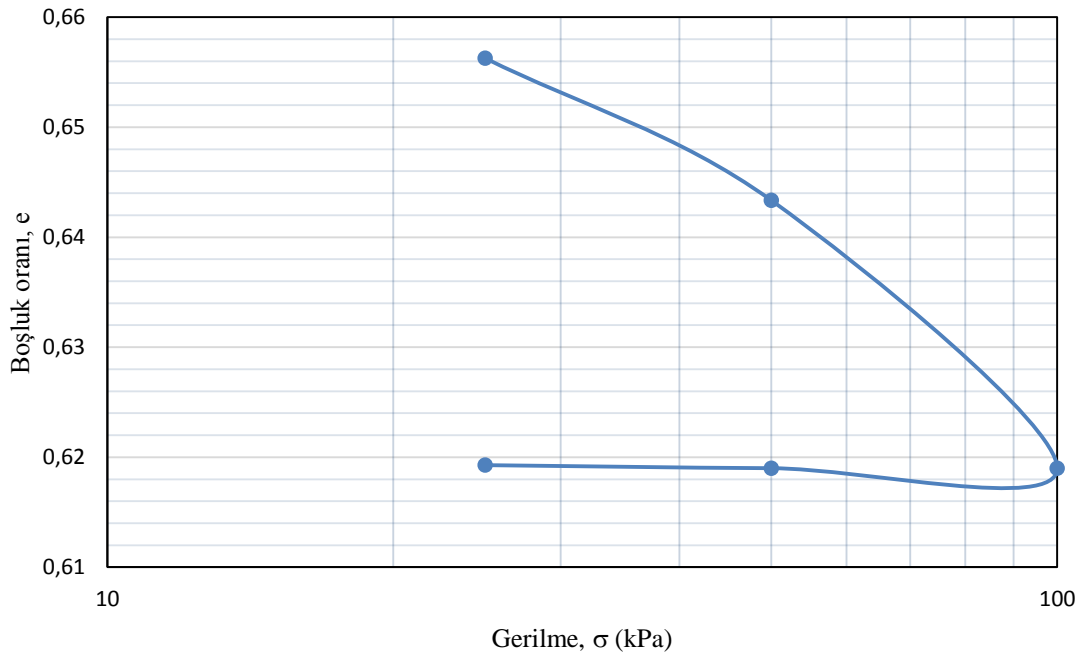
Boşluk oranı ve Deformasyon Verileri					
Yükleme adımları (kPa)	$d_f$ düzeltilmiş (mm)	$\Sigma\Delta H$ (mm)	$\varepsilon\Sigma\Delta H/H_0$ (%)	H $H_0 - \Delta H$ (mm)	e $(H - H_s)/H_s$
Başlangıç	8,9717	0,00	0,0	20,00	0,75
25	8,0263	0,95	4,7	19,05	0,66
50	7,8135	1,16	5,8	18,84	0,65
100	7,4639	1,51	7,5	18,49	0,61
50	7,5312	1,44	7,2	18,56	0,62
25	7,6057	1,37	6,8	18,63	0,63

**e- $\sigma$  Grafiği**

$C_c$	0.1014
$C_r$	0.0216
$\sigma'_p$ (kPa)	48

**SK-2 (3.00 M)**

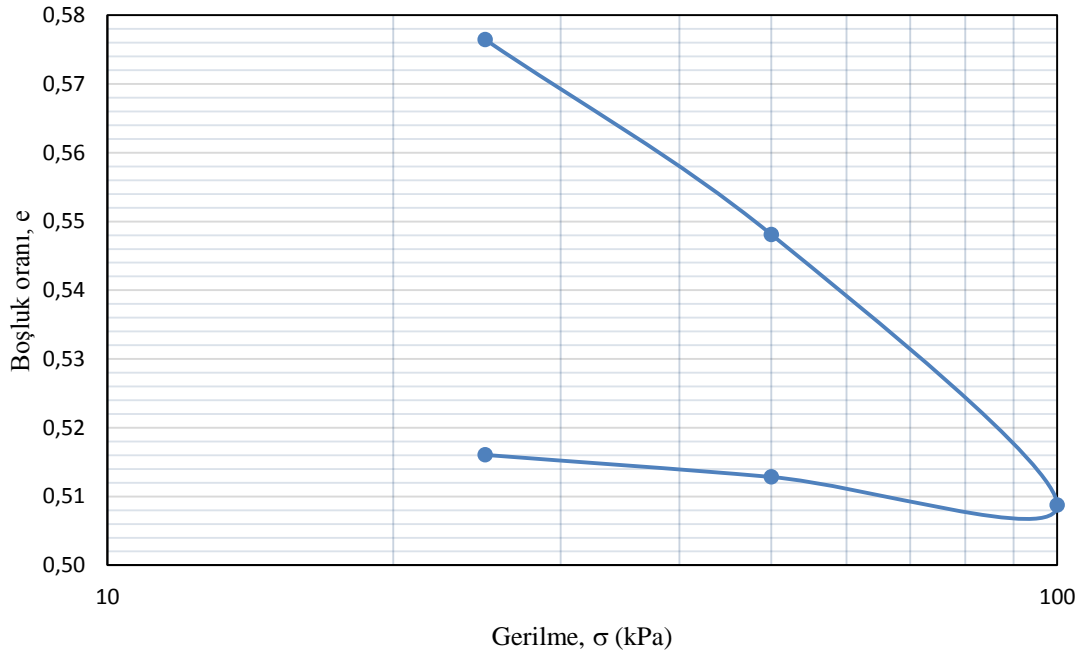
Boşluk oranı ve Deformasyon Verileri					
Yüklemeye adımları (kPa)	$d_f$ düzeltilmiş (mm)	$\Sigma\Delta H$ (mm)	$\epsilon\Sigma\Delta H/H_0$ (%)	H $H_0 - \Delta H$ (mm)	e $(H - H_s)/H_s$
Başlangıç	10,2668	0	0	20,0000	0,688
25	9,8915	0	2	19,6247	0,656
50	9,7385	1	3	19,4717	0,643
100	9,4500	1	4	19,1832	0,619
50	9,4500	1	4	19,1832	0,619
25	9,4533	1	4	19,1865	0,619

**e- $\sigma$  Grafiği**

$C_c$	0.0809
$C_r$	0.0009
$\sigma'_p$ (kPa)	52

**SK-2 (8.00 M)**

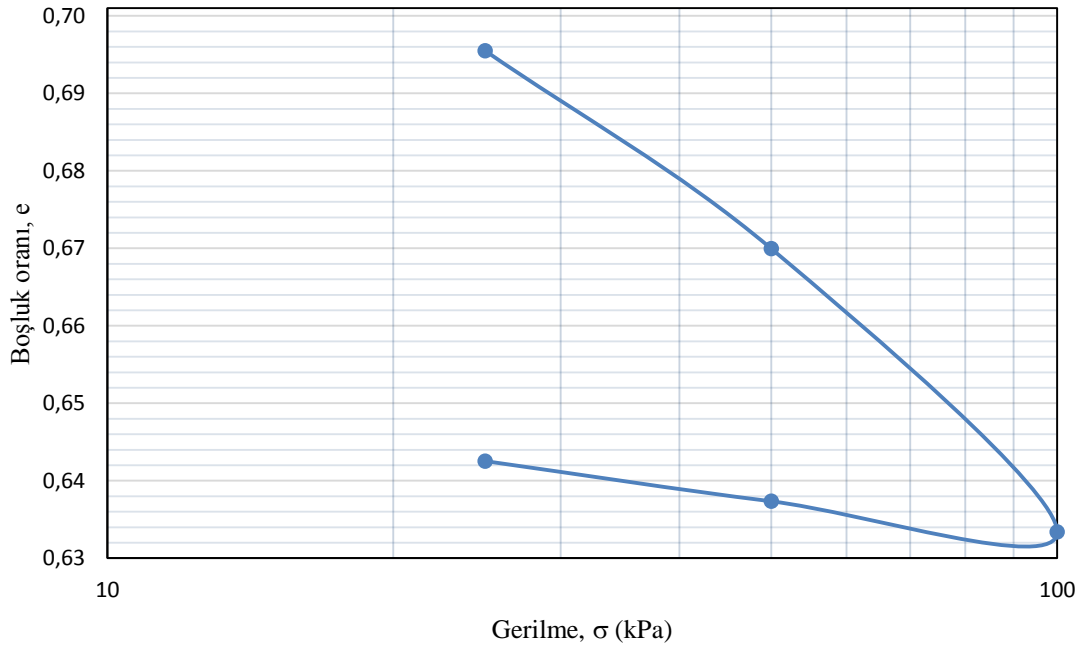
Boşluk oranı ve Deformasyon Verileri					
Yükleme adımları (kPa)	$d_f$ düzeltilmiş (mm)	$\Sigma\Delta H$ (mm)	$\epsilon\Sigma\Delta H/H_0$ (%)	H $H_0 - \Delta H$ (mm)	e $(H - H_s)/H_s$
Başlangıç	9,6137	0	0	20,0000	0,662
25	8,5816	1	5	18,9679	0,576
50	8,2408	1	7	18,6271	0,548
100	7,7671	2	9	18,1534	0,509
50	7,8164	2	9	18,2027	0,513
25	7,8550	2	9	18,2413	0,516

**e- $\sigma$  Grafiği**

$C_c$	0.1308
$C_r$	0.0107
$\sigma'_p$ (kPa)	49

**SK-2 (10.00 M)**

Boşluk oranı ve Deformasyon Verileri					
Yüklemeye adımları (kPa)	$d_r$ düzeltilmiş (mm)	$\Sigma\Delta H$ (mm)	$\varepsilon\Sigma\Delta H/H_0$ (%)	H $H_0 - \Delta H$ (mm)	e $(H - H_s)/H_s$
Başlangıç	9,8827	0	0	20,0000	0,742
25	9,3380	1	3	19,4553	0,694
50	9,0449	1	4	19,1622	0,669
100	8,6251	1	6	18,7424	0,632
50	8,6705	1	6	18,7878	0,636
25	8,7300	1	6	18,8473	0,642

**e- $\sigma$  Grafiği**

$C_c$	0.1215
$C_r$	0.0172
$\sigma'_p$ (kPa)	47

**SK-3 (3.00 M)**

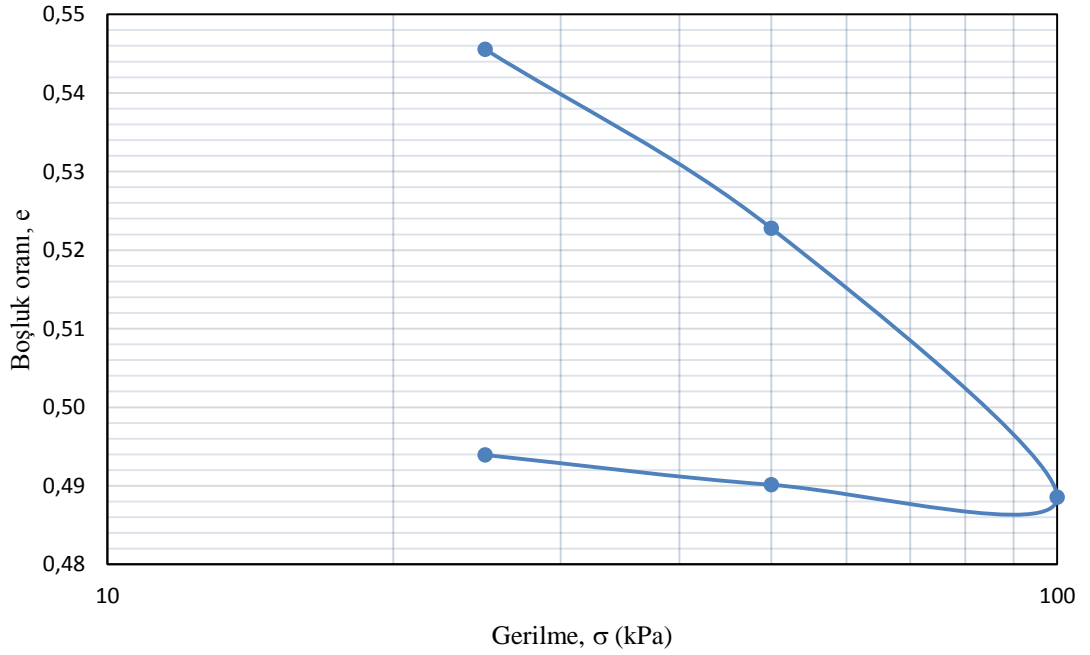
Boşluk oranı ve Deformasyon Verileri					
Yükleme adımları (kPa)	$d_f$ düzeltilmiş (mm)	$\Sigma\Delta H$ (mm)	$\varepsilon\Sigma\Delta H/H_0$ (%)	H $H_0 - \Delta H$ (mm)	e $(H - H_s)/H_s$
Başlangıç	8,501	0	0	20,0000	0,333
25	7,2345	1,27	6	18,7335	0,249
50	6,9273	2	8	18,4263	0,228
100	6,4644	2	10	17,9634	0,198
50	6,5395	2	10	18,0385	0,203
25	6,6109	2	9	18,1099	0,207

**e- $\sigma$  Grafiği**

$C_c$	0.1025
$C_r$	0.0158
$\sigma'_p$ (kPa)	50

**SK-3 (6.00 M)**

Boşluk oranı ve Deformasyon Verileri					
Yükleme adımları (kPa)	$d_f$ düzeltilmiş (mm)	$\Sigma\Delta H$ (mm)	$\varepsilon\Sigma\Delta H/H_0$ (%)	H $H_0 - \Delta H$ (mm)	e $(H - H_s)/H_s$
Başlangıç	9,6412	0	0	20,0000	0,612
25	8,8196	1	4	19,1784	0,546
50	8,5373	1	6	18,8961	0,523
100	8,1125	2	8	18,4713	0,489
50	8,1321	2	8	18,4909	0,490
25	8,1792	1	7	18,5380	0,494

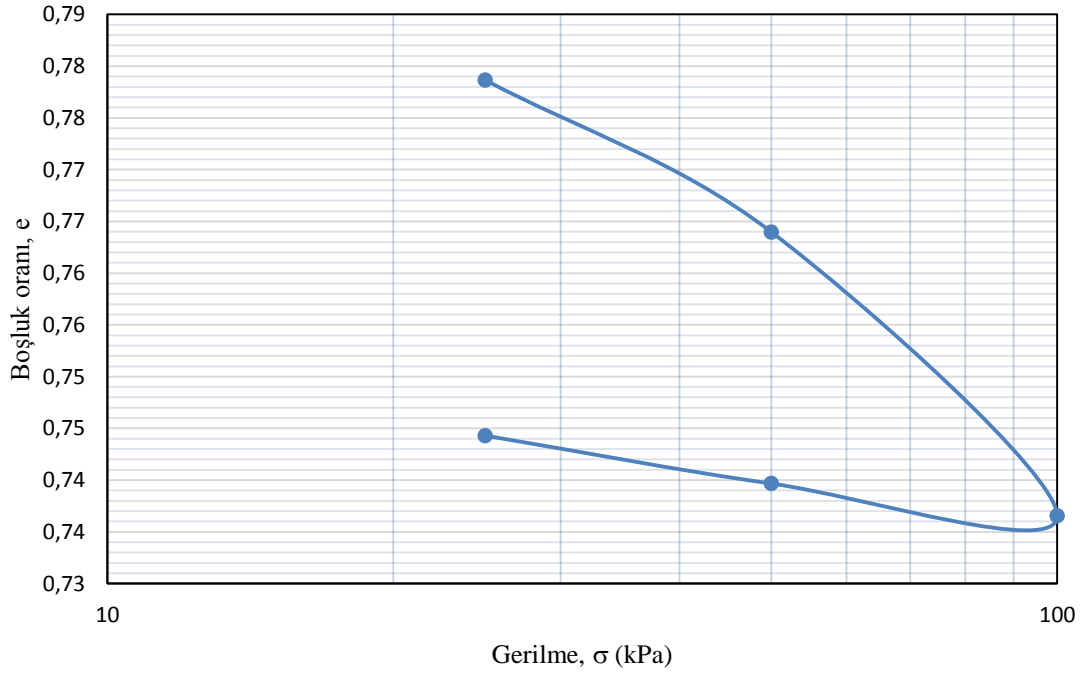
**e- $\sigma$  Grafiği**

$C_c$	0.1137
$C_r$	0.0126
$\sigma'_p$ (kPa)	44



**SK-3 (8.00 M)**

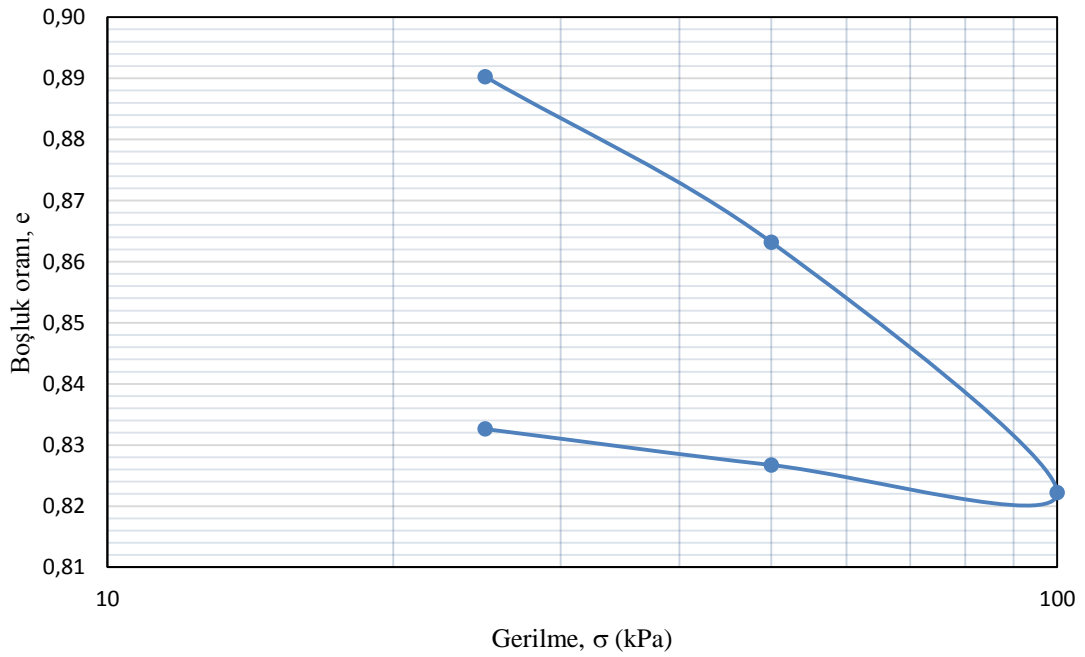
Boşluk oranı ve Deformasyon Verileri					
Yükleme adımları (kPa)	$d_f$ düzeltilmiş (mm)	$\Sigma\Delta H$ (mm)	$\epsilon\Sigma\Delta H/H_0$ (%)	H $H_0 - \Delta H$ (mm)	e $(H - H_s)/H_s$
Başlangıç	9,274	0	0	20,0000	0,812
25	8,9032	0	2	19,6292	0,779
50	8,7413	1	3	19,4673	0,764
100	8,4386	1	4	19,1646	0,737
50	8,4731	1	4	19,1991	0,740
25	8,5241	1	4	19,2501	0,744

**e- $\sigma$  Grafiği**

$C_c$	0.0911
$C_r$	0.0154
$\sigma'_p$ (kPa)	48

**SK-3 (10.00 M)**

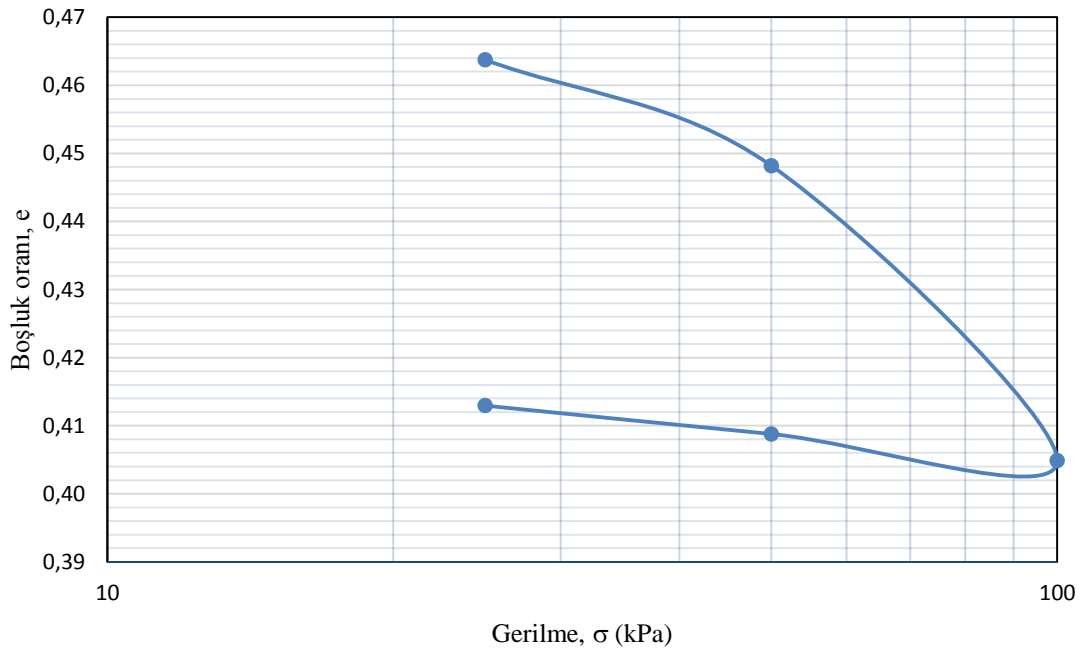
Boşluk oranı ve Deformasyon Verileri					
Yüklemeye adımları (kPa)	$d_f$ düzeltilmiş (mm)	$\Sigma\Delta H$ (mm)	$\epsilon\Sigma\Delta H/H_0$ (%)	H $H_0 - \Delta H$ (mm)	e $(H - H_s)/H_s$
Başlangıç	9,7657	0	0	20,0000	1,022
25	8,461	1	7	18,6953	0,890
50	8,1934	2	8	18,4277	0,863
100	7,7879	2	10	18,0222	0,822
50	7,8328	2	10	18,0671	0,827
25	7,8910	2	9	18,1253	0,833

**e- $\sigma$  Grafiği**

$C_c$	0.1362
$C_r$	0.0195
$\sigma'_p$ (kPa)	47

**SK-4 (4.50 M)**

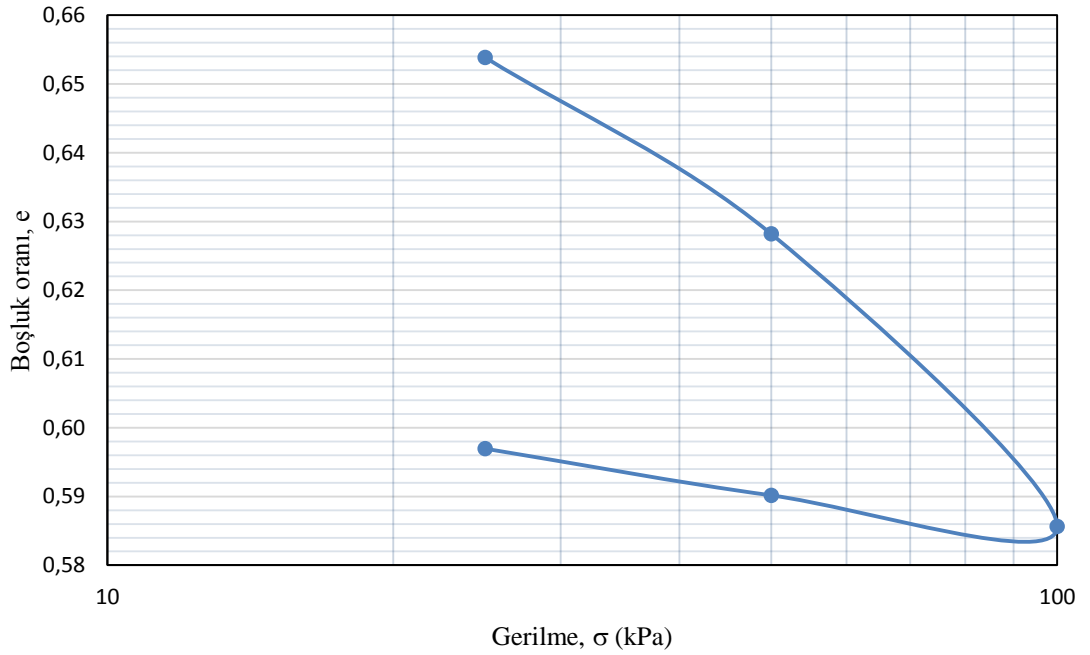
Boşluk oranı ve Deformasyon Verileri					
Yükleme adımları (kPa)	$d_r$ düzeltilmiş (mm)	$\Sigma\Delta H$ (mm)	$\varepsilon\Sigma\Delta H/H_0$ (%)	H $H_0 - \Delta H$ (mm)	e $(H - H_s)/H_s$
Başlangıç	9,5573	0,00	0,0	20,00	0,54
25	8,6215	0,94	4,7	19,06	0,46
50	8,4191	1,14	5,7	18,86	0,45
100	7,8551	1,70	8,5	18,30	0,40
50	7,9059	1,65	8,3	18,35	0,41
25	7,9601	1,60	8,0	18,40	0,41

**e- $\sigma$  Grafiği**

$C_c$	0.1439
$C_r$	0.0138
$\sigma'_p$ (kPa)	48

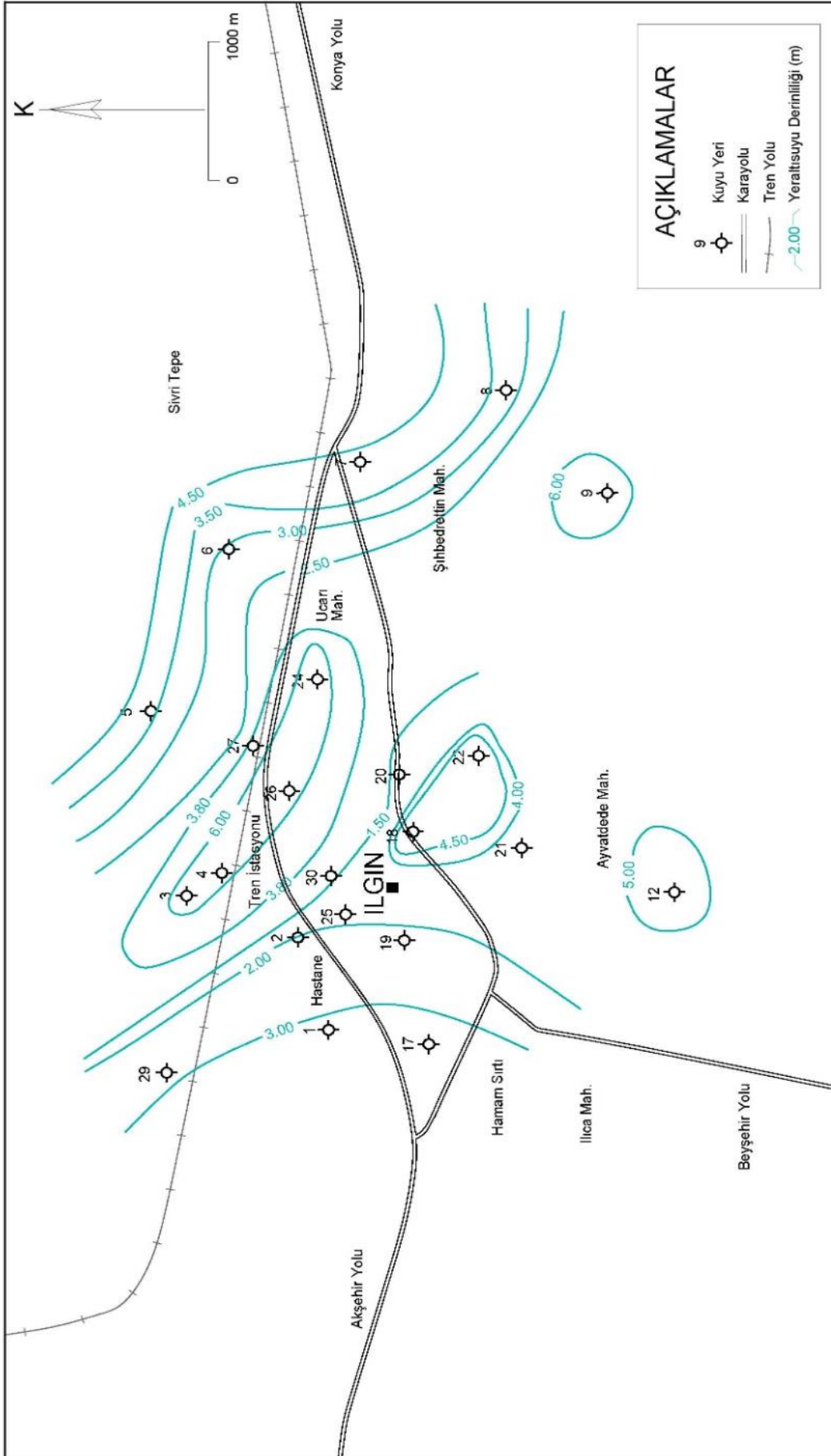
**SK-4 (6.00 M)**

Boşluk oranı ve Deformasyon Verileri					
Yükleme adımları (kPa)	$d_f$ düzeltilmiş (mm)	$\Sigma\Delta H$ (mm)	$\varepsilon\Sigma\Delta H/H_0$ (%)	H $H_0 - \Delta H$ (mm)	e $(H - H_s)/H_s$
Başlangıç	9,9836	0	0	20,0000	0,717
25	9,2488	1	4	19,2652	0,654
50	8,9500	1	5	18,9664	0,628
100	8,4544	2	8	18,4708	0,586
50	8,5072	1	7	18,5236	0,590
25	8,5862	1	7	18,6026	0,597

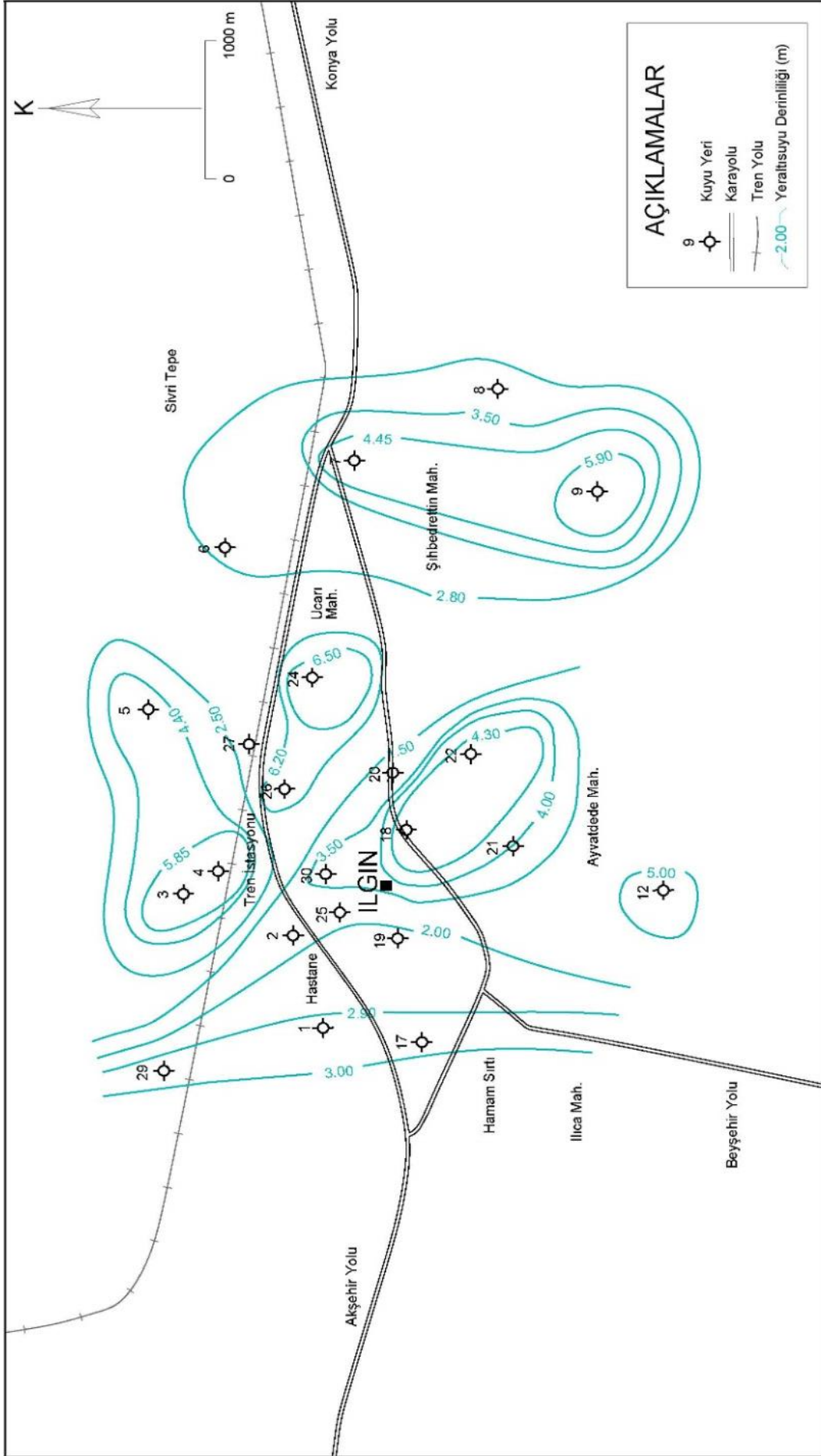
**e- $\sigma$  Grafiği**

$C_c$	0.1413
$C_r$	0.0225
$\sigma'_p$ (kPa)	46

## EK-7 Yeraltısıyu Derinlik Haritaları



Kurak (2018) Dönem Yeraltısıyu Derinlik Haritası



Yağışlı (2019) Dönem Yeraltısıyu Derinlik Haritası

## EK-8 Su Kimyası Analiz Sonuçları

		SONUÇLAR					STANDARTLAR (Sağlık Bakanlığı İçme Suyu)	
		1.NUMUNE	2.NUMUNE	3.NUMUNE	4.NUMUNE	5.NUMUNE		
KOORDİNATLAR	X	4239201	4238490	4238269	4237550	4237882		
	Y	36 402748	36 403705	36 404210	36 403140	36 409002		
LOKASYON ADI		Fahrettin Altay-1	İstasyon	Milli Egemenlik	Fahrettin Altay-2	Şihbedrettin		
ANALİZ ADI	BİRİMİ						Alt	Üst
Bulanıklık	NTU	1,66	33,00	10,40	35,00	0,84	TKEDY	
pH		7,25	7,49	7,35	6,99	7,18	6,5	9,5
İletkenlik	Micromhos/cm	1350,00	646,00	860,00	1066,00	752,00	0	2500
Magnezyum (Mg)	Frs.Sert.	85,65	49,49	62,30	41,25	28,43		
Toplam Sertlik	mg/lt	60 FS	40 FS	51 FS	53 FS	40 FS		
Sülfat (SO <sub>4</sub> )	mg/lt	243,39	54,27	80,78	165,69	66,46	0	250
Klorür	mg/lt	51,07	28,39	43,01	33,83	39,14	0	250
Bakiye Klor	mg/lt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,5
Arsenik (As)	mg/lt	1,81	4,23	2,09	12,20	0,89	0	10

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Nagihan ÖZLEN  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Ilgın-20.12.1992  
**Telefon** : 0545 353 18 82  
**Faks** : -  
**E-Posta** : nagihanbenzer@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Ilgın Hüseyin Aksoy Lisesi / Ilgın / KONYA			2006-2010
Üniversite	: Aksaray Üniversitesi / AKSARAY			2010-2014
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi / KONYA			2014-2019
Doktora	: -			

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015-2018	Grafik Jeoteknik Laboratuvar Enerji Maden Taah. San. Ve Tic. Ltd. Şti.	Rapor Müellifliği

### UZMANLIK ALANI

Uygulamalı Jeoloji

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLAR

III. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi – Mühendislik (BILMES ENG 2019) / Ilgın (Konya, Türkiye) Yerleşim Alanı Zeminlerinin Jeoteknik Özelliklerinin Araştırılması (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır.)