

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ORGANİK ZEMİNLERE OTURAN YÜZEYSEL  
TEMELLERDE TAŞIMA GÜCÜNÜN DENEYSEL  
OLARAK İNCELENMESİ**

**Hazırlayan  
Aykut EROL**

**Danışman  
Doç. Dr. Zülküf KAYA**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Ocak 2019  
KAYSERİ**



**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ORGANİK ZEMİNLERE OTURAN YÜZEYSEL  
TEMELLERDE TAŞIMA GÜCÜNÜN DENEYSEL  
OLARAK İNCELENMESİ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
Aykut EROL**

**Danışman  
Doç. Dr. Zülküf KAYA**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi  
tarafından FYL-2017-7490 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Ocak 2019  
KAYSERİ**

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.



Aykut EROL

## YÖNERGEYE UYGUNLUK

**“Organik Zeminlere Oturan Yüzeysel Temelerde Taşıma Gücünün Deneysel Olarak İncelenmesi”** adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Tezi Hazırlayan

Aykut EROL



Danışman

Doç. Dr. Zülküf KAYA



İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı


Prof. Dr. A. Alper ÖNER

**Doç. Dr. Zülküf KAYA** danışmanlığında **Aykut EROL** tarafından hazırlanan “**Organik Zeminlere Oturan Yüzeysel Temelerde Taşıma Gücünün Deneysel Olarak Belirlenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

07 / 01 / 2019

**JÜRİ:**

Danışman : Doç. Dr. Zülküf KAYA



Üye : Doç. Dr. Erdal UNCUOĞLU



Üye : Doç. Dr. Müge AKIN

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 29/01/2019 tarih ve 2019/01-14 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



  
Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının ilk olgunlaşmaya başladığı günden son noktanın koyulduğu ana kadar tüm bilgi, birikim, tecrübe konularında gerekli olan yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Zülküf KAYA'ya ve minnetlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Yılların kendisine kazandırdığı tecrübe ve farkındalık ile bu mühendislik alanına ayrı bir bakış açısı ile bakmamı sağlayan sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi H. Bekir KARA'ya, tez çalışması hakkında değerli fikirlerini benden esirgemeyen Doç. Dr. Müge AKIN'a ve her ihtiyaç duyduğumda yanımda desteğini hissettiğim çok değerli hocam Doç. Dr. Erdal UNCULOĞLU'na teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FYL-2017-7490) teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana her zaman sonsuz güven duyan, inanan ve hep daha ileri gitmeye teşvik eden, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim anne ve babama, gelecekte kendisinin çok iyi bir kariyere sahip olacağına inandığım ve daima benden çalışkan olan kız kardeşime de ayrıca teşekkür ediyorum.

Son olarak da yine benimle aynı alanda çalışmalar yürüten, maddi ve manevi anlamda beni sürekli destekleyen, sevgili eşim Gül'e minnetlerimi sunarım...

Aykut EROL  
Kayseri, Ocak 2019

# ORGANİK ZEMİNLERE OTURAN YÜZEYSSEL TEMELLERDE TAŞIMA GÜCÜNÜN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Aykut EROL

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2019  
Danışman: Doç. Dr. Zülküf KAYA

## ÖZET

Gelişen sosyo-ekonomik koşullara ve sürekli artış eğiliminde bulunan dünya nüfusu dikkate alındığında, uygun zemin sahalarının yanında uygun olmayan alanlarda da yapılaşmaya ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Geoteknik mühendisliğinde bilinen en problemlili zemin türlerinden birisi olan organik zeminlerin, yükler altında nasıl bir davranış gösterdiğinin deneysel olarak araştırılması bu tez çalışmasının temelini oluşturmaktadır.

Tez çalışması kapsamında Kayseri Serbest Bölge ve Kayseri Organize Sanayi Bölgesinde bulunan organik zeminler kullanılmıştır. Araziden alınan organik zemin numuneleri üzerinde laboratuvar koşullarında yükleme deneyleri yapılabilecek bir model çerçeve sisteminde deneyler yürütülmüştür.

Zemin numuneleri üzerinde, inşaat mühendisliği uygulamalarında sıkça uygulanan ve görülen temel sistemlerinden olan yüzeysel temeller yerleştirilmiştir. Yükleme deneylerinde kullanılan organik zeminin dane çapı dağılımı, kıvam limitleri ve zemin sınıfı gibi endeks özellikleri ile kohezyon değeri (c) ve kayma mukavemeti açısı değerleri ( $\phi$ ) belirlenmiştir. Laboratuvarda çerçeve sisteminde yapılan yükleme deneylerinden elde edilen deney sonuçları, organik zeminin taşıma gücü ve kayma mukavemeti parametreleri kullanılarak literatürde yaygın olarak kullanılan formüller yardımı ile hesaplanmıştır. Taşıma gücü eşitliklerinden elde edilen taşıma gücü değerleri ile yükleme deneylerinden elde edilen taşıma gücü karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Organik zeminler; yüzeysel temeller, model yükleme deneyleri, taşıma gücü



# EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF BEARING CAPACITY ON SHALLOW FOUNDATIONS SETTLED ON ORGANIC SOILS

Aykut EROL

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Master Thesis, January 2019  
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zülküf KAYA

## ABSTRACT

Considering the socio-economic conditions and the increasing world population, it is seen that there is a need for proper land areas as well as inappropriate areas. Experimental investigation of the behavior of organic soils, which is one of the most problematic soil types known in geotechnical engineering, is the basis of this thesis. Within the scope of the thesis, organic soils in Kayseri Free Zone and Kayseri Organized Industrial Zone considered. A modeling system will be installed on the organic soil sample that has been taken and can be carried out under laboratory conditions. On the ground, the shallow foundations, which are frequently applied and seen in civil engineering applications, shall be installed. Index properties such as soil class, Atterberg limits, cohesion value, internal friction angle value will be determined by the index properties experiments to be carried out. In the loading tests to be performed on the modeled ground profile, the bearing capacity values of the soil can be determined.

The experimental results obtained from the loading tests carried out in the frame model system in the laboratory were calculated by using the formulas which are commonly used in the literature by using the bearing capacity and shear strength parameters of organic soil. Bearing capacity values obtained from the loading tests and bearing capacity equations were compared.

**Keywords:** Organic soils, shallow foundations, model loading test, bearing capacity

## KISALTMALAR VE SİMGELER

ASTM	American Society for Testing and Materials
IPS	International Peatland Society
K.O.S.B	Kayseri Organize Sanayi Bölgesi
LL	Likit Limit
PI	Plastisite İndeksi
PL	Plastik Limit
RL	Rötre Limit
USCS	United Soil Classification System

## İÇİNDEKİLER

### ORGANİK ZEMİNLERE OTURAN YÜZEYSEL TEMELLERDE TAŞIMA GÜCÜNÜN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK .....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR .....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	viii
TABLO LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
GİRİŞ .....	1

#### 1. BÖLÜM

#### ORGANİK ZEMİNLER

1.1 Giriş .....	6
1.2 Organik Zeminlerin Tanımlanması ve Belirlenmesi.....	8
1.3 Organik Zeminlerin Sınıflandırılması.....	8
1.4 Organik Zeminlerin Mühendislik Özellikleri.....	12
1.5 Organik Zeminlerin Endeks Özellikleri.....	13
1.5.1 Organik Madde Miktarı.....	16
1.5.2 Su Muhtevası Değeri.....	16
1.5.3 Kıvam (Atterberg) Limitleri .....	18
1.5.4 Birim Hacim Ağırlığı ve Özgül Ağırlığı.....	20
1.6 Organik Zeminlerin Deformasyon Özellikleri.....	22
1.7 Organik Zeminler Üzerine Literatür Çalışmaları .....	26

#### 2. BÖLÜM

#### YÜZEYSEL TEMELLER

2.1 Yüzeysel Temellerin Tanımı ve Çeşitleri.....	29
2.1.1 Tekil Temeller .....	30
2.1.2 Sürekli Temeller.....	30
2.1.3 Radye Temeller .....	30

2.2 Yüzeysel Temellerde Taşıma Gücü Göçmeleri .....	31
2.2.1 Genel Kayma Göçmesi .....	31
2.2.2 Kısmi (Bölgesel) Kayma Göçmesi .....	32
2.2.3 Zımbalama Göçmesi .....	32
2.3 Temel Tabanında Oluşan Basınçlar .....	33
2.4 İlave Yüklerden Dolayı Oluşan Gerilmeler .....	36
2.5 Taşıma Gücü İfadeleri .....	40
2.6 Taşıma Gücü Eşitlikleri .....	42
2.6.1 Terzaghi Taşıma Gücü Eşitliği .....	42
2.6.2 Meyerhof Taşıma Gücü Eşitliği.....	45
2.6.3 Hansen Taşıma Gücü Eşitliği .....	47

### 3. BÖLÜM

#### MATERYAL VE METOD

3.1 Giriş .....	50
3.2. Araziden Örselenmemiş Zemin Numunesinin Alınması .....	50
3.3 Deneysel Çalışmalar .....	57
3.3.1 Organik Zemin Endeks Deneyleri.....	57
3.3.1.1 Su Muhtevasının Tayini.....	57
3.3.1.2 Dane Çapı Dağılımının Belirlenmesi .....	59
3.3.1.2.1 Elek Analizi Deneyi.....	59
3.3.1.2.2 Hidrometre Deneyi.....	61
3.3.1.3 Kıvam Limitlerinin Belirlenmesi .....	64
3.3.1.4 Özgül Ağırlığın Belirlenmesi.....	67
3.3.1.5 Organik Madde Tayini .....	68
3.3.1.6 Serbest Basınç Deneyi.....	69
3.3.1.7 Konsolidasyon Deneyi.....	71

### 4.BÖLÜM

#### MODEL YÜKLEME DENEYLERİ VE TAŞIMA GÜCÜNÜN BELİRLENMESİ

4.1 Giriş .....	74
4.2 Yükleme Deneyleri .....	76
4.3 Taşıma Gücünün Literatür Yardımıyla Belirlenmesi .....	81
4.4 Taşıma Gücü Belirleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması .....	82

**5.BÖLÜM****SONUÇLAR VE TARTIŞMA**

<b>EK-1.....</b>	<b>86</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>96</b>



## TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1	Dünya üzerindeki turbalık alanların kıtalar ve ülkeler üzerindeki dağılımı	7
Tablo 1.2.	ASTM D4427 standardına göre organik madde durumunun belirlenmesi.	9
Tablo 1.3.	Organik içerik durumu temel alınarak organik zemin sınıflandırılması.	10
Tablo 1.4.	Organik içerik durumuna bağlı Von Post zemin grupları.	11
Tablo 1.5.	Organik içerik durumu temel alınarak organik zemin sınıflandırılması.	11
Tablo 1.6.	Organik içerik durumu temel alınarak organik zemin sınıflandırılması.	12
Tablo 1.7.	Von Post sınıflandırma sisteminde su muhtevasına bağlı oluşan sınıfların özellikleri.	15
Tablo 2.1.	Etki yükünün tesir noktasına göre taban basıncı dağılım formülleri.	36
Tablo 2.2.	Temel geometrisine bağlı şekil katsayı değerleri.	43
Tablo 2.3.	Temel geometrisine bağlı şekil katsayı değerleri.	44
Tablo 2.4.	Meyerhof taşıma gücü teorisi şekil, derinlik ve yük eğiklik faktörleri.	47
Tablo 2.5.	Hansen taşıma gücü teorisi hesap faktörleri.	49
Tablo 3.1.	Su muhtevası deneyi sonuçları.	58
Tablo 3.2.	Elek analizinde kullanılan elekler ve elek aralıkları.	60
Tablo 3.3.	Organik zemin numuneleri için elek analizi sonuçları.	61
Tablo 3.4.	Hidrometre deney sonuçlarına göre ince danelerin dağılım yüzdeleri.	63
Tablo 3.5.	Kıvam limitleri deney sonuçları.	67
Tablo 3.6.	Piknometre deneyi sonuçları.	68
Tablo 3.7.	Organik Zemin Numunesinin Özellikleri.	73
Tablo 4.1	Organik zemin için hesaplanan taşıma gücü değerleri.	81

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1.	Casagrande (A) ve Koni Penetrometre (B) deney aletleri.....	18
Şekil 1.2.	Atterberg limitleri faz diyagramı.....	19
Şekil 1.3.	Casagrande deneyinin kesiti (A) ve Casagrande deney kaşıkları (B) .....	20
Şekil 1.4.	Ön konsolidasyon basıncının Casagrande yöntemiyle belirlenmesi .....	25
Şekil 2.1.	Tipik bir yapı temel kesiti.....	30
Şekil 2.2.	Genel kayma göçmesi durumu .....	31
Şekil 2.3.	Kısmı (Bölgesel) kayma göçmesi durumu .....	32
Şekil 2.4.	Zımbalama göçmesi durumu .....	32
Şekil 2.5.	Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde temel taban basınç dağılımları.....	33
Şekil 2.6.	Q merkezi yüklü bir temelin gerilme durumu .....	34
Şekil 2.7.	Eksantrik yüklü temelerde gerilme dağılımı .....	34
Şekil 2.8.	Yükün etkime noktasına göre oluşan taban basınç dağılımları .....	35
Şekil 2.9.	Yükün etkime noktasına göre oluşan taban basınç dağılımları .....	36
Şekil 2.10.	Zeminde oluşan mevcut ve ilave düşey gerilemeler.....	37
Şekil 2.11.	Gerilme soğanı yöntemi .....	37
Şekil 2.12.	Basit kabul yöntemi.....	38
Şekil 2.13.	Köşe noktaları ortak olan dikdörtgen alanlar için Boussinesq yöntemi .....	39
Şekil 2.14.	Boussinesq eşitliğinde etki katsayısını veren Boussinesq abağı .....	40
Şekil 2.15.	Terzaghi taşıma gücü teorisinin kırılma yüzeyleri .....	43
Şekil 2.16.	Meyerhof taşıma gücü teorisinin kırılma yüzeyleri.....	46
Şekil 3.1.	Numune alınan arazinin genel lokasyonu.....	51
Şekil 3.2.	Numune alınan arazinin detaylı lokasyonu .....	51
Şekil 3.3.	Numune alınan bölgenin arazi üzerinde detaylı gösterimi .....	51
Şekil 3.4.	Araştırma Çukuru (AÇ-1) kazı çalışması ve nihai görünümü.....	52
Şekil 3.5.	Araştırma Çukurundan (AÇ-1) elde edilen zemin numuneleri .....	53
Şekil 3.6.	Numune almak için tasarlanmış deney kasası .....	54
Şekil 3.7.	Numune kasalarının 1.kademe üzerinde hazır hale getirilmesi.....	54
Şekil 3.8.	Numune kasalarının organik zemin içerisine gömülmesi işlemi.....	55
Şekil 3.9.	Numune kasalarının zemin içerisinden çıkarılması.....	56

Şekil 3.10.	Numune Kasalarının Örtüler ile Muhafaza Edilmiş Durumu.....	57
Şekil 3.11.	Su muhtevası tayini için etüvde kurutulan numune örnekleri .....	58
Şekil 3.12.	Hidrometre deneyi numunesi ve hidrometre mezürleri.....	62
Şekil 3.13.	Numune-A için granülometri eğrisi.....	64
Şekil 3.14.	Numune-B için granülometri eğrisi.....	64
Şekil 3.15.	Numune-A ve Numune-B için likit limit grafikleri.....	66
Şekil 3.16.	Organik madde Tayini için Kullanılan Kül Fırını .....	68
Şekil 3.17.	Serbest basınç deney grafiği .....	70
Şekil 3.18.	e-Log P grafiği.....	72
Şekil 3.19.	$\Delta H/H$ -Log P grafiği .....	73
Şekil 4.1.	Yükleme çerçevesi.....	74
Şekil 4.2.	Deney kasalarının kutu profiller ile yerlerinin tespiti.....	75
Şekil 4.3.	Deney kasalarının yükleme çerçevesine yerleştirilmesi.....	76
Şekil 4.4.	Yükleme sonrası göçme yüzeylerinin gözlemlenmesi .....	78
Şekil 4.5.	Yükleme-1 (YD-1) deney grafiği .....	78
Şekil 4.6.	Yükleme-2 (YD-2) deney grafiği .....	79
Şekil 4.7.	Yükleme deneylerinin ortak gösterimi .....	79
Şekil 4.8.	Yükleme deneylerine ait grafikler .....	80
Şekil 4.9.	Farklı yöntemler ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin karşılaştırması .....	82



## GİRİŞ

Yeryüzünde, farklı iklim bölgelerinde çeşitli zemin grupları bulunmaktadır. Geoteknik mühendisliğinin kendine has bir disiplin olmasını sağlayan bu çeşitlilik, beraberinde avantajları getirdiği gibi dezavantajları da getirmektedir. Farklı olgularla (depremler, heyelanlar, şev stabilitesi problemleri) karşılaşılması ve buna bağlı olarak özgün çözüm önerileri üretilerek bu disipline katkı sağlanması bu disiplin için bir avantaj iken, aynı zemin türünün farklı yükler ve durumlar altında farklı davranışlar sergilemesi ise bir dezavantaj olarak görülmektedir.

Nüfusun artış eğiliminde olması ve gelişen teknolojinin bilim alanlarında kullanılmasının giderek yaygınlaşması yeryüzünde üzerinde yapı yapılabilecek sağlam zeminleri tüketmekte ve doğru orantılı olarak artmakta olan talep dengesine bağlı olarak inşaat için uygun zemin sahalarının yanında uygun olmayan alanlarda da yapılaşmaya ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bu alanları kullanıma uygun duruma getirilmesi zorunluluk arz etmektedir. Bu durum özellikle geoteknik mühendislerini zemini doğru tanımlamaya, iç ve dış etkiler altında nasıl davrandığını tespit etmeye ve zayıf zeminleri kullanıma elverişli hale getirmeye yönlendirmektedir.

Mühendislik açısından zemin, çeşitli inşaat mühendisliği projelerinde yapı malzemesi olarak kullanılmakta ve yapısal olarak temelleri de destekleyebilmektedir. Zemin mekaniği, zeminin fiziksel özellikleri ve yüklemeler altındaki zemin kütlelerinin davranışını inceleyen bir bilim alanıdır. Zemin mühendisliği ise zemin mekaniği prensiplerinin pratik problemlere uygulanması olarak tanımlanabilir.

Geoteknik mühendisliği ise üzerinde çalışma yapılan alanların farklılık göstermesi ve zeminlerin farklı noktalarda birbirine tamamen benzememesi yönünden diğer anabilim dallarından ayrılan mühendislik bölümüdür. Bu bilim dalı, yerküre üzerinde bulunan ve erişilebilen maddeleri inceleyen inşaat mühendisliğinin bir alt dalı olarak bilinmektedir.

Bu mühendislik uğraşısı, temel tasarımı, dayanma yapıları ve toprak yapılarına zemin mekaniği prensiplerinin uygulanmasıyla doğrudan ilişkilidir.

Geoteknik mühendisliğinin tarihsel gelişimi dikkate alındığında aslında insanların binlerce yıldır yaşamlarının neredeyse her alanında yerküre ile içli dışlı oldukları görülmektedir. Antik dönemlerde, insanların zemini ilk olarak yapı malzemesi olarak kullandığı tarihsel kayıtlarda mevcuttur. Geoteknik mühendisliği uğraşısı yıllar boyunca geçmiş zamanlarda yapılan ve sonuca ulaşılmış olan başarılı deneysel çalışmaları temel olarak ilerlemesini sürdürmüştür. Bu mühendislik türünün günümüzde aldığı aşamayı değerlendirebilmek için ise ilk olarak 18.yüzyılın başlarına gitmek gerekir.

Skempton (1985), geoteknik mühendisliğinin gelişme ve ilerlemesi amacıyla yapılan çalışmaları 4 ana zaman dilimine ayırarak incelemiştir.

1. Klasik Zemin Mekaniği Öncesi Dönemi (1700-1776)
2. Klasik Zemin Mekaniği Dönemi, 1.Dönem (1776-1856)
3. Klasik Zemin Mekaniği Dönemi, 2.Dönem (1856-1910)
4. Modern Zemin Mekaniği Dönemi (1910-1927)

1. Bu dönem içerisinde, temel olarak çeşitli zemin tiplerinin birim hacim ağırlık (B.H.A) ve içsel sürtünme açısını ( $\phi$ ) tespit etmek amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Aynı zamanda yarı-ampirik toprak basınç teorisi bu dönemde ortaya çıkmıştır. Bu dönem çalışma yapan önemli araştırmacılar;

Henri Gautier (1660-1737)

Bernard Belidor (1671-1761)

Francois Gadroy (1705-1759)

2. Klasik zemin mekaniğinin ilk döneminde, dayanma yapılarında oluşan yanal toprak basıncını hesaplamak amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Bu dönemde Coulomb yaptığı analizlerde zemin kütlesi için zeminin sürtünme ve kohezyon parametrelerini de göz önüne alarak çalışmalar gerçekleştirmiştir. Bu dönemin son yıllarında Rankine, Coulomb teorisini geliştirerek bir toprak basınç teorisi oluşturmuştur. Bu dönem araştırma yapmış olan önemli isimler;

Charles Augustin Coulomb (1736-1806)

William John M. Rankine (1820-1872)

Alexandre Collin

(1808-1890)

3. Klasik zemin mekaniğinin ikinci döneminde ise daha çok kumlar üzerine yapılan deneysel çalışmalar literatürde yer almıştır. Darcy (1856) bu dönemde yaptığı çalışmalarda, kum filtrelerdeki permeabiliteyi incelediği bir çalışma yayınlamıştır. Bu çalışmaya göre, Darcy zeminde geçirimlilik katsayısını tanımlamıştır. Bu geçirimlilik katsayısı değeri günümüzde de zemin parametreleri arasında önemini korumaktadır.

Bu dönemin en önemli araştırmacılarından biri olan Boussinesq, homojen, yarı sonsuz ve yarı izotropik bir zeminin yükleme altındaki gerilme dağılımını inceleyen bir çalışma yapmıştır. Bu dönemde çalışmalar yapmış en önemli araştırmacılar;

George Howard Darwin

(1845-1912)

Joseph Valentin Boussinesq

(1842-1929)

4. Modern Zemin Mekaniği döneminde, kilin temel özellikleri ve geoteknik parametreleri üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Dönemin en önemli araştırmacılarından olan Atterberg, dane dağılımı içerisinde kil danelerinin 2 mikrondan küçük boyuttaki danecikler olduğunu belirtmiştir. Aynı zamanda yaptığı çalışmalarında zemin içerisinde bulunan kil danelerinin çeşitli çevre faktörleri ve etkileri altında geoteknik parametreler açısından önem arz ettiğini vurgulamıştır. 1911 yılında yayınladığı çalışmasında, likit limit (LL), plastik limit (PL), rötre limit (RL) ve plastisite indeksi (PI) değerlerini tanımlamıştır. Bu dönemin en önemli araştırmacılarından olan Terzaghi' de günümüzde de halen kullanmakta olduğumuz kil zeminlerdeki konsolidasyon teorisini ülkemizde İstanbul' da Robert Koleji'nde çalıştığı zamanlarda geliştirerek katkıda bulunmuştur.

Karl von Terzaghi

(1883-1963)

Albert Mauritz Atterberg

(1846-1916)

Jean Fontard

(1884-1962)

1927 yılında sonra, Terzaghi' nin öncülük ettiği ve diğer araştırmacılarında katkısıyla zemin mekaniğinin gelişimi hızlanmış ve zemin mekaniği açısından yeni bir çağ başlamıştır. 1936 yılında Harvard' da düzenlenen 'International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering' konferansı, zemin mekaniğinin çok çeşitli alanlarında yeni çağrışım ve ufuklar açmasından dolayı önemli bir yer tutmaktadır.

Bu konferansta;

- Efektif gerilmeler,
- Santrifüj deneyleri,
- Şişebilen killere üzerine yapılan çalışmalar,
- Deprem ve sıvılaşma

vb. gibi yeni çalışma konularında fikirler sunulmuştur.

Bahse konu olan dönemler boyunca araştırmacıların zihinlerinde bulunan olgulardan biri de zayıf zeminlerin incelenmesi olmuştur. Zayıf zeminler üzerine çalışmalar, özellikle endüstrileşme ve kentsel kalkınma olgusunun sosyal yaşamın içerisinde yer alması ile artmıştır. Bu zeminler karakteristik olarak düşük taşıma gücü ve yüksek deplasman değerleri ile bilinmektedir. Organik zeminler, bu zemin türleri içerisinde çok yaygın alanlarda bulunmamasına rağmen araştırmacılar tarafından üzerinde çalışılan önemli zemin türlerinden biri olmuşlardır.

Uygun coğrafi koşullar ve iklim altında sulak alanlarda, bitki kalıntılarının çürümesi ve fosilleşmesiyle birikerek oluşan zeminler olan organik zeminler, genellikle derinliği çok fazla olmayan tabakalar halinde ve sınırlı bölgelerde görülmektedir.

Organik zeminler, mühendislik özelliklerini etkileyecek kadar organik içeriğe sahip silt ve killerden oluşan zeminlerdir.

Organik zeminlerin içerdiği organik maddenin miktarı, bitki örtüsü, iklim koşulları, zaman vb. gibi faktörler sayesinde değişebilir. Değişik sınıflandırma sisteminde zeminler içerisindeki organik madde miktarına göre sınıflandırılmaktadır. Taşıma gücü düşük ve oturma değerleri yüksek zeminlerden biri olan organik zeminlerin yükler altında nasıl bir davranış gösterdiğinin deneysel olarak araştırılması bu tez çalışmasının temelini oluşturmaktadır.

Zemin ile üst yapı arasında sağlıklı bir etkileşim sağlanabilmesi, yapıdan gelecek kesit tesirlerinin ve yüklerin doğru bir biçimde zemine aktarılmasını sağlamak amacıyla yapılan temeller, inşaat mühendisliği açısından önemli bir yere sahiptir.

Temeller iki ana gruba ayrılırlar:

1. Yüzeysel temeller (Tekil temel, sürekli temel, radye temel)
2. Derin temeller (Kazıklar, ayaklar ve kesonlar)

Bu proje çalışmasında kullanılacak olan temel türü yüzeysel temeldir. Yüzeysel temeller, derinliğinin genişliğine oranı 1 veya daha küçük olan temellerdir. Bazı durumlarda ise bu oran 2,5 değerine kadar sığ yani yüzeysel temel olarak kabul edilmektedir.

Tasarlanan her temel birbirinden bağımsız olarak iki şartı sağlamak zorundadır.

1. Temelin göçmeye karşı yeter bir güvenliği bulunmalıdır (Taşıma gücü şartı).
2. Doğması muhtemel maksimum toplam ve farklı oturmalar, kabul edilebilecek değerleri geçmemelidir (Oturma Şartı).

Bu iki şartı sağlayan basınç veya yük sığ temellerde zemin (temel) emniyet gerilmesi olarak adlandırılmaktadır.

Tez çalışması ile amaçlanan hedeflerden biri de zeminin yerinde sahip olduğu mevcut çevre koşulları ve gerilme durumlarının bir model deney sistemi yardımıyla laboratuvar ortamına aktarılmasıdır. Zeminlerin arazide bulunduğu koşullar korunarak laboratuvar ortamına aktarılması özellikle geoteknik mühendisliği açısından oldukça zor bir durumdur. Bu tür durumlarda zeminlerde örselenme meydana gelmekte ve zeminin endeks özellikleri ve geoteknik parametrelerinde değişimler söz konusu olmaktadır. Bu durum zeminlerde Shelby tüpleri yardımıyla örselenmemiş numune alınarak giderilmeye çalışılmaktadır.

Arazi koşulları göz önüne alınarak laboratuvar koşullarında oluşturulan sistemlerden; taşıma gücü ve oturma miktarı elde edilmektedir. Elde edilen bu parametreler sayesinde laboratuvar koşullarında yapılan yükleme deneylerinden elde edilen taşıma g değerleri ile taşıma gücü eşitliklerinden elde edilen taşıma gücü değerlerinin kıyası yapılacaktır.

# 1. BÖLÜM

## ORGANİK ZEMİNLER

### 1.1 Giriş

Geoteknik mühendisliğinde incelenmesi ve üzerinde durularak değerlendirilmesi gereken zemin türlerinden biri organik zeminler olup birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir.

Büyüyen ve gelişen şehirlerde yeni imara açılacak yerler, sanayi bölgeleri ve entegre üretim yapan fabrikalar için ihtiyaca cevap verecek büyük alanların bulunması her geçen gün azalmaktadır. Sonuç olarak, zayıf temel zemini özelliği gösteren sahalar istenmese de kullanıma açılmakta, uygun olmayan zeminler üzerinde yapılan yapılaşma beraberinde birçok mühendislik problemini de gündeme getirmektedir [1].

Bu zeminler; belirli iklim ve topografik koşullar altında sulak alanlarda oluşan, genellikle parçalanmış, bozunmuş bitki artıkları ve organik madde karışımlarının zamanla kimyasal olarak değişip fosilleşmesi sonucunda meydana gelen düşük kayma mukavemeti ve yüksek deformasyon özelliklerine sahip zemin türleridir.

Su altında yüzlerce yıl toplanmış ölü bitki kalıntılarının tamamının veya bir kısmının kimyasal yapılarının değişmesiyle ve fosilleşmesiyle oluşan, yumuşak zeminlerin aşırı halini temsil eden ve içerisinde %75' den fazla organik madde içeren zeminler organik zeminlerdir. Organik zemin tabakalarının çoğu buzul çağında oluşmuş olup yerkürenin yüzölçümünün yaklaşık %8'ini oluşturan bu tabakaların yaşı 1.000 ila 10.000 yıl arasındadır [2].

Organik zeminler genel olarak kısıtlı alanlarda derinliği çok fazla olmayan tabakalar halinde ve sınırlı alanlarda bulunur [3]. Dünyanın birçok ülkesinde görülen organik zeminler Amerika Birleşik Devletlerinde 42 eyalette, toplam 30 milyon hektarlık alanı kaplarken Kanada ve Rusya’da bu zeminlerin kapladığı alanlar sırasıyla 170 ve 150 milyon hektardır [4].

Tropik turba alanlarının yaklaşık olarak %67 sine tekabül eden 30 milyon hektarlık alan Güneydođu Asya’da bulunmaktadır. Sadece Malezya da bu turba arazilerinin yüzölçümü yaklaşık 3 milyon hektardır. Bu rakam ülkenin toplam yüz ölçümünün %8’ine eşittir [5].

Tablo 1.1. Dünya üzerindeki turbalık alanların kıtalar ve ülkeler üzerindeki dağılımını [6]

<b>BULUNDUĞU KITA</b>	<b>ÜLKE</b>	<b>TURBALIK ALAN km<sup>2</sup></b>
Asya	Rusya	1500000
	Endonezya	170000
	Çin	42000
	Malezya	25000
Amerika	Kanada	1500000
	Amerika Birleşik Devletleri	600000
	Brezilya	15000
	Şili	11000
Avrupa	Finlandiya	100000
	İsveç	70000
	Norveç	30000
	Almanya	16000
	Polonya	13000
Afrika	Uganda	14000
	Zambiya	11000
Diğer 26 ülkenin sahip olduğu toplam turbalık alanlar		220-10000
	Türkiye	560

Çeşitli çalışmalardan alıp derlediği bilgilerde yaklaşık 436 milyon hektarlık bir arazinin organik zeminler ve turbalardan meydana geldiğini tespit etmiştir [7].

## 1.2 Organik Zeminlerin Tanımlanması ve Belirlenmesi

ASTM D4427 standardı; kuru kütlelerinin %75' inden daha fazlası organik madde olan zeminleri turba olarak adlandırırken, organik içeriği %75'den az olan zeminleri bataklık ya da organik zemin olarak sınıflandırmaktadır [8]. Uluslararası Turba Topluluğu IPS ise bir zemini organik zemin ya da turba zemin olarak sınıflandırabilmek için %20 organik içerik oranını kullanır. IPS' e göre eğer bir zemin %20'den fazla organik içeriğe sahipse turba, organik içerik %20'den az ise organik zemindir [9].

## 1.3 Organik Zeminlerin Sınıflandırılması

Zeminin ayrışma derecesine ve fiziksel özelliklerine göre oluşturulan Von Post sınıflandırma sistemi [10], yaygın ve geniş kullanım alanına sahip sınıflandırma sistemlerinin başında gelmektedir. Diğer bir yöntem ise daha çok bu konu üzerinde çalışma yapan mühendislerin kullanımı için geliştirilmiş olan Radforth sınıflandırma sistemleridir [11]. Bu sistemlerin arasındaki temel farklılık, Radforth sınıflandırma sisteminin turba vb. gibi organik tabaka içeren zeminleri sınıflandırmayı amaçlaması, Von Post sınıflandırma sisteminin ise tarım ve bitki yetiştiriciliği konusundaki uygulamalarda işlem görecektir olan tüm organik zeminler için geliştirilmiş olmasıdır. Yukarıda bahsedilen bu sebeplerden dolayı Radforth sınıflandırma sistemi, daha çok mühendislerin kullanımı için geliştirilmiş ve Von Post sınıflandırma sistemine nazaran daha az botaniksel bilgi içeren bir sınıflandırma sistemidir.

Kanada' da geliştirilen Radforth sınıflandırma sisteminde zeminler turba yapısına göre; amorf granüler turbalar, ince lifli turbalar ve kaba lifli olmak üzere üç ana sınıf içerisinde gruplandırılır. Bu üç tür turba arasında; kaba lifli turbalar en yüksek doğal boşluk oranı ve sıkışabilirliğe sahipken amorf granüler turbalar en düşük kayma mukavemetine sahiptir.

Yüzeysel bir saha incelemesi sırasında, zemin örneğinin avuç içinde sıkılması sonucu açığa çıkan suyun sahip olduğu renk ve bulanıklığın araştırılması esasına dayanan ve 1920'li yıllarda Güney İsveç' de Von Post adlı bilim adamı tarafından geliştirilen basit bir arazi yönteminde turba zeminler ayrışma oranına bağlı olarak kategorize edilmişlerdir.



Karşılaşılan faktörler ve yetersizlikler nedeniyle 1980 yılında Uluslararası Turba Topluluğu evrensel bir sınıflandırma sistemine rehberlik edecek proje önermiştir. Projede turbalar, botaniksel orijinine göre yosun turba, otsu turba ve odunsu turba; ayrışma derecelerine göre az, orta ve çok ayrılmış turba; bitki maddesi kapsamı ve kimyasal özelliklere göre de eutropik, mezotropik ve oligotropik olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır [12].

Tüm zemin sınıflandırma sistemlerinin amacı benzer mühendislik davranışı sergileyen zeminleri gruplandırmak olup, zemin sınıflandırma sistemlerinde organik zemin, hem organik madde içeriğine hem de görsel gözlemler dikkate alınarak sınıflandırılmaktadır. ASTM D2487' e göre zeminler dane boyutları dağılımı ve kıvam limitlerinin baz alındığı Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemine (USCS) göre sınıflandırılır. Bu sistemde zeminler ince daneli ve kaba daneli olmak üzere iki ana gruba ayrılır ve organik zeminler; ince daneli zeminlerin bir alt grubu olarak dikkate alınır. Özellikle, numunenin kurutulmuş haldeki likit limit değerinin kurutulmamış haldeki likit limit değerine oranı 0.75'den az ise zemin organik olarak isimlendirilir. Bu şart sağlanmadığı takdirde ince daneli zemin silt veya kil grubundadır. Zeminler organik maddenin yaygınlığı, koyu renkleri ve kendilerine has kokuları baz alınarak yüksek derecede organik zemin (turba) olarak tanımlanır.

ASTM D4427' de turbalar lif içeriği, kül içeriği, asit derecesi, su tutma kapasitesi ve botanik kompozisyon esas alınarak sınıflandırılır. ASTM D5715 turba zemini humuslaşma derecesine göre, ASTM D1997 ise turba zemini lif içeriğine göre; fibrik, hemik ve saprik olmak üzere üç gruba ayırmıştır.

Tablo 1.2. ASTM D4427 standardına göre organik madde durumunun belirlenmesi [13].

Zemin Tipleri	Tanımlama	Organik Madde Yüzdesi (%)
Kil, Silt veya Kum	Az organik içerikli	2-20
Organik zemin	-	25-75
Turba	-	>75

Tablo 1.3. Organik içerik durumu temel alınarak organik zemin sınıflandırılması [14].

Zemin Tipleri	Tanımlama	Sembol	Organik Madde Yüzdesi (%)
Kil, Silt veya Kum	Az organik içerikli	O	2-20
Organik zemin	-	O	25-75
Turba	-	Pt	>75

Hafif organik siltler veya killer, bazı görünür organik kalıntıların neden olduğu organik bir koku ve siyah-koyu kahverengi renk özellikleriyle inorganik ince taneli topraklar olarak görülecektir. Bu zemin grubunun plastisite sınırları, diğer ince taneli inorganik topraklarda olduğu gibi değerlendirilebilir. Bu zeminler daha sonra düşük, orta veya yüksek plastisiteli siltler veya killer olarak sınıflandırılır.

Diğer bir taraftan turba, tamamen organik bitki kalıntıları içermekte, düşük bir yoğunluğa sahip ve ayrıca renkli organik topraklarda alt bölümlere ayırmak daha zor olabilir. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS) altında, organik zeminler ayrı bir zemin varlığı olarak kabul edilir. Turba yüksek organik içeriğe sahip bir zemin grubudur ve Pt simgesi ile ifade edilmektedir.

ASTM standardına göre (ASTM 1990), turba sınıflandırması, lif içeriğine, kül içeriğine ve toprağın asitlik derecesini baz alan üç sınıfa indirgenmiştir. Lif içeriği sınıflandırmasında, turba üç gruba ayrılmaktadır. Lifli (en az çözünen, %67'den fazla lif içeriğine sahip), hemik (yarı lifli, ara ayrışma) ve saprik (Amorf, en fazla ayrışan, %33'den daha az lif içeriği ile) olmak üzere 3 grup bulunmaktadır.

Lifli turba, organik ve lif bakımından zengin bir içeriğe sahip olmakla birlikte az miktarda nemli yapıya sahiptir. Ayrışmayan fibrik denilen lifli organik maddelerden oluşur, kolayca tanımlanabilir ve son derece asidik bir karaktere sahiptir. Saprik turba ise lifli maddelerin aksine çok ayrışmış materyaller içerir. Orijinal bitki kökenleri çoğunlukla yok olmuştur. Su tutma kapasitesi genellikle hem lifli hem de hemik turba türlerinin sahip olduğu su tutma kapasitesinden daha azdır. Genellikle çok koyu gri ile siyah renktedir ve fiziksel özelliklerinde oldukça kararlı bir yapıdadır. Lifli turba çökelleri ile karşılaştırıldığında saprik turba yatakları, muhtemelen daha düşük boşluk

oranlarına ve daha düşük geçirgenliğe sahip olduğu görülecektir. Hemik turba ise lifli ve saprik turba türleri arasında özelliklere sahiptir [15].

Tablo 1.4. Organik içerik durumuna bağlı Von Post zemin grupları [16]

Zemin	Von Post Sınıflandırması	Zemin Tanımlaması	Sembol
Turba			<i>Pt</i>
	H1-H3	Fibrik (Lifli)	<i>f</i>
	H4-H6	Hemik	<i>h</i>
	H7-H10	Saprik (Amorf)	<i>a</i>

Tablo 1.5. Organik içerik durumu temel alınarak organik zemin sınıflandırılması [17].

Turba Türü	Lif Oranı (%)	Von Post Sınıflandırması
Fibrik Turba	> %66	H4 ya da daha alt sınıf
Hemik Turba	%33-66	H5 ve H6
Saprik Turba	<%33	H7

Fibrik turba çoğunlukla ayrışmamıştır ve genellikle açık kırmızı-kahverengi rengindedir. Hemik turba ise bozunma veya ıslah derecesi, organik içerik oranı, birim hacim ağırlığı ve tipik olarak koyu kırmızı-kahverengi rengi ile fibrik ve saprik turba arasındaki ara maddedir. Saprik turba ise, genellikle, fibrik ve hemik turba türlerine göre daha koyu renkli ve daha fazla parçalanma ve ayrışma özelliğine sahiptir. Genellikle üç turba türünün içinde en yüksek organik içeriğe ve birim hacim ağırlık değerine sahip olan turba çeşididir.

Von Post sınıflandırma sisteminde lif oranına bağlı olarak yapılan sınıflandırmaların yanında ayrışma düzeyi ile uçucu madde miktarı ve asitlik derecesine bağlı olarak yapılan sınıflandırmalarda mevcuttur. Ayrışma düzeyine bağlı olarak yapılan sınıflandırmalarda fibrik turba, psödo-fibrik turba ve amorf turba olmak üzere 3 ayrı kategori belirlenmiştir.

1. Fibrik turba, düşük nem yüzdesine sahip ve rengi kahverengiden, kahverengiye çalan sarı renktir (H1-H4).

2. Psödo-fibrik turba, orta derecede su muhtevasına sahip olup nispeten geleneksel yapıya aykırıdır. Bu turba türü genellikle kahverengi renge sahiptir. Bir numune avuç içinde sıkıldığında, turba kütlelerinin yarısından azı parmaklar arasında geçer (H5-H7).
3. Amorf turba, oldukça nemli olup kahverengi ile kahverengi-siyah renktedir. Avuç içinde bir numune alınır ve sıkıştırılırsa, turba kütlelerinin yarısından fazlası parmakların arasında geçer. Sıkma esnasında, kök lifleri ve ahşap kalıntıları gibi yalnızca birkaç katı bileşen hissedilebilir (H8-H10).

ASTM standardına göre uçucu madde miktarı ve asitlik derecesine bağlı olarak yapılan sınıflandırmalardaki kriterler ve sınır değerleri Tablo 1.6 da verilmiştir.

Tablo 1.6. Organik içerik durumu temel alınarak organik zemin sınıflandırılması [18].

	ASTM Standartı	Tanımlama	
Lif Oranı (%)	ASTM D1997	<i>Fibrik</i>	Lif oranı > %67
		<i>Hemik</i>	Lif oranı %33-%67 arasında
		<i>Saprik</i>	Lif oranı <%33
Uçucu Madde Oranı (%)	ASTM D2974	<i>Düşük</i>	Uçucu madde oranı <%5
		<i>Orta</i>	Uçucu madde oranı %5-%15 arasında
		<i>Yüksek</i>	Uçucu madde oranı > %15
Asitlik Oranı (%)	ASTM D2976	<i>Az</i>	pH derecesi 4.5-5.5 arasında
		<i>Kısmi</i>	pH derecesi 5.5-7.0 arasında
		<i>Bazik</i>	pH derecesi > 7.0

#### 1.4 Organik Zeminlerin Mühendislik Özellikleri

Geleneksel zemin mekaniğinde zeminler, kayaların aksine daneli yapıya sahip maddeler olarak düşünülür ve aynı anda üç faz içerebilir: katı, sıvı ve gaz. Sıvı ve gaz fazları katı daneler arasındaki boşluklarda veya gözeneklerde bulunur. Bu safhalardan zeminlerin ağırlık-hacim ilişkileri türetilir. Bunlar nem içeriği, doygunluk derecesi, birim ağırlığı, yoğunluğu, boşluk oranı ve zeminlerin özgül ağırlığıdır. Turba ve organik zemin durumunda, katı faz iki bileşenden oluşur. Bunlar organik madde ve inorganik toprak mineralleridir [19].

Organik zeminlerde hacmin büyük bir bölümünü iç boşluklar almaktadır. Bu boşluklar daha çok lifli organik zeminlerde liflerin içerisinde bulunur. Bu sebepten organik

zeminler yüksek oranlarda su tutar ve yüksek sıkışma eğilimi gösterirler. Tutulan suyun büyük bölümü fiberlerin içerisinde bulunmaktadır. Bunun dışında suyun bir kısmı da organik zemini oluşturan parçaların arasındaki boşluklarda tutulmaktadır. Yüksek orandaki sıkışma özelliğinden dolayı bu zeminler üzerine yapılan yapılar büyük konsolidasyon oturmalarına özellikle ikincil konsolidasyon oturmalarına maruz kalırlar. Bu tür zeminlerin taşıma kapasitelerini artırmak ve oturma miktarlarını azaltmak için çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri kullanılmaktadır.

Organik zeminlerin mühendislik açısından önemli olan geoteknik özellikleri organik içerik, organik maddenin türü, organik maddenin ayrışma derecesi ve boşluk oranına bağlı olarak değişmektedir. Zeminin organik içeriği arttıkça su muhtevası, kıvam limitleri, kation değişim kapasitesi ve asitlik derecesi genel olarak artarken, spesifik yoğunluğu, birim hacim ağırlığı, plastisite indeksi ve kompaksiyon verimliliği azalmaktadır. Organik madde içeriğinin yanı sıra, organik maddenin ayrışma derecesi ve organik maddenin tipi gibi etkenler de organik zeminlerin sahip olduğu mukavemet, sıkışabilirlik ve geçirgenlik gibi geoteknik parametrelerini etkileyen önemli faktörlerdir. Organik zeminin sahip olduğu lifli yapının ve bu yapının ayrışma derecesinin az olması genel olarak geçirgenlik ve sıkışabilirlik olgularını daha yüksek mertebelere çıkarmaktadır. Organik zeminlerin sahip olduğu organik madde türü ve içeriği ile ayrışma derecesi, bu zeminlerin önemli geoteknik özelliklerini kontrol eden bir parametredir [20].

### **1.5 Organik Zeminlerin Endeks Özellikleri**

Zeminlerin lifli yapıda olması; büyük boşluk oranları nedeniyle su moleküllerinin çekiminin arttırmasına sebep olur. Daha yüksek lif oranına ve daha düşük ayrışma derecesine sahip olan zeminlerde geçirgenliğin ve sıkışma oranının fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle lifli organik zeminler yüksek oranlarda su tutar ve yüksek sıkışma eğilimi gösterirler [21]. Bu durum ile birlikte tutulmakta olan suyun büyük bir kısmı organik zeminin sahip olduğu lifler içerisinde tutulmaktadır. Bunun dışında organik ve turbalık zeminlerin yapısındaki suyun bir kısmı organik zemini oluşturan parçaların arasındaki boşluklarda, bitki kalıntılarının hücrelerinde ve organik malzemenin içinde tutulur. Bahsedilen bu özelliklerinden dolayı çok yüksek su

muhtevasına sahip olan organik zeminlerde su muhtevası %500 değerlerine ulaşmaktadır. Turba diye adlandırılan ve fazla miktarda organik madde içeren zeminlerde ise bu oran %700'lere ulaşabilmektedir. Bu değer, silt ve özellikle killerde %70' in üstüne, yer altı suyu seviyesi altında ki yumuşak killerde ise %100'ün üstüne çıkabilmektedir [22,23].

Huat (2004), tarafından yapılan çalışmada dünyanın farklı bölgelerinde bulunan organik zeminlerin su muhtevası değerleri, birim hacim ağırlıkları, özgül ağırlıkları ve organik içerik yüzdeleri belirtilmiştir. Japonya bölgesindeki organik zeminlerin doğal su muhtevalarının %1320 lere ulaştığı, Doğu Malezya bölgesindeki organik zeminlerin su muhtevalarının da %2200 mertebelerine eriştiğini belirtmiştir. Aynı çalışmada genel olarak birim hacim ağırlıklarının  $9.0 \text{ kN/m}^3$  ile  $11.0 \text{ kN/m}^3$  arasında değer aldığı vurgulanmıştır.

Birim hacim ağırlığı değeri, organik zeminler özelinde organik içerik, özgül ağırlık ve boşluk oranı ile bağlantılı olarak değişebilmektedir. Turba ve organik zeminlerin bünyesinde bulunan lifler, birim hacim ağırlık değerini negatif yönde etkilemektedir. Bir organik zeminin birim hacim ağırlık değeri ne kadar düşük mertebede ise ayrışma derecesinin o kadar düşük, lif içeriğinin ise o kadar yüksek mertebede olduğu anlaşılabilmektedir.

Organik zeminlerin sahip olduğu özgül ağırlık değerleri ise inorganik zeminlerin sahip olduğu özgül ağırlık değerlerine kıyasla daha düşük mertebelere sahiptir. Organik zeminlerde özellikle organik içerik miktarı özgül ağırlığın değişiminde temel etkenlerden birisidir. Organik madde zemin içerisindeki organik madde miktarı arttıkça özgül ağırlık değerlerinin azalma eğilimi gösterdiği görülmüştür [24].

Nemlilik derecesi genellikle von Post skalası ile değerlendirilir. Von Post içerisindeki su miktarı, botanik kompozisyonu, su içeriği, ince ve kaba liflerin içeriği ve bitkisel kalıntılar gibi bir dizi faktöre dayanan bir sınıflandırma sistemi önerdi. Von Post sisteminde toprağın elle sıkıştırılması sırasında ekstrüzyona uğrayan toprak suyunun görünümüne dayalı olarak tespit edilen 10 derece dayanan bir sınıflandırma sistemi (H1-H10) vardır. Geoteknik mühendisliği için, bu 10 derecelik sistem genellikle

sırasıyla fibrik veya fibröz (en az parçalanmış), hemik veya yarı lifli (ara) ve saprik veya amorf (en fazla ayrışan) olmak üzere üç sınıfa indirgenir [25].

Von Post sınıflandırma sisteminde su miktarına bağlı olarak oluşturduğu sınıfların özellikleri Tablo 1.7' de belirtilmiştir.

Tablo 1.7. Von Post sınıflandırma sisteminde su muhtevasına bağlı oluşan sınıfların özellikleri [11]

Von Post Sınıflandırma	Tanımlama
<b>H1</b>	Tamamen bozulmamış turbaların oluşturduğu sınıftır. Avuç içinde sıkıldığında berrak bir su açığa çıkar. Bitki kolayca tanımlanabilmekte olup amorf malzeme mevcut değildir
<b>H2</b>	Bozulmamış turbaların oluşturduğu sınıftır. Sıkıldığında berrak veya sarı renge çalan bir renkte su açığa çıkar. Bitki hala kolayca tanımlanabilmektedir
<b>H3</b>	Çok az ayrışmış turba sınıfıdır. Sıkıldığında kahverengi renkte su açığa çıkar.
<b>H4</b>	Hafifçe ayrışan turba türü olup sıkıldığında çok koyu çamurlu bir su bırakır. Parmaklar arasından sızan turba yok fakat bitki kalıntılarında hafifçe macun kıvamında rastlanmaktadır
<b>H5</b>	Orta derece ayrışmış turba, sıkıldığında çok çamurlu bir su ve parmaklar arasından sızan az miktarda amorf granüler turba vardır
<b>H6</b>	Oldukça ayrışmış olan bu turba türünde çok belirsiz olarak bir bitki yapısı mevcuttur. Sıkıldığında, turba zemin miktarının yaklaşık olarak üçte biri parmaklar arasından geçebilmektedir. Bitkisel kalıntı çok yapışkan bir halde bulunmaktadır
<b>H7</b>	Oldukça ayrışmış bu turba türünün içinde az algılanan çok hafif miktarda amorf malzeme mevcuttur. Sıkıldığında turbanın yaklaşık olarak yarısı parmaklar arasında kaçabilmektedir
<b>H8</b>	Çok yüksek oranda ayrışmış turba sınıfıdır. Fazla miktarda amorf malzeme ve neredeyse belirsiz yapıda bitki kalıntıları içermektedir. Sıkıldığında turbanın yaklaşık olarak üçte ikisi parmakların arasından geçmektedir. Az miktarda macun kıvamında su salınımı gerçekleşebilir. Kalan bitki malzemesi, ayrışmaya dirençli kökler ve lifler gibi kalıntılardan meydana gelmektedir
<b>H9</b>	Bünyesinde neredeyse ayrışabilen bir bitki yapısı bulunmayan, tamamen ayrışmış turba türüdür. Sıkıldığında bir macuna benzer bir karakter göstermektedir
<b>H10</b>	Tamamen ayrışmaya uğramış turba türü olup fark edilebilir bir bitki yapısı mevcut değildir. Parmaklar arasında sıkıldığında tamamen nemli durumdadır.

Yer altı suyu seviyesinin belirli bir süre indirgemeye uğrayarak daha düşük kotlarda bulunması, organik zeminin havayla temas etmesine ve böylece büzülerek oksitlenmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak, hızlandırılmış ayrışma nedeniyle lif yapısı tahrip olur ve daha amorf-granüler hale gelir [26]. Bu faaliyet mühendislik özelliklerinde önemli değişikliklerle sonuçlanabilir.

### 1.5.1 Organik Madde Miktarı

Organik içerik miktarı, turba ve organik zeminler için önemli olan bir parametredir. Organik içerik madde miktarı genel olarak etüv kurusu malzemenin yüzdelik kaybı ile hesaplanır. Yerinden alınan numune örneği 24 saat boyunca  $105\pm 5$  C° de kurutulma işlemine tabi tutulur. Daha sonra yaklaşık olarak 1 saat süreyle 440 C° de yüksek sıcaklık değerlerine sahip kül yakma etüvünde işlem görür. Buradan  $M_1$  kütlesi elde edilir. Etüvden gelen kuru zemin bir kaptaki ölçülür. Bu kütle  $M_2$ 'dir. Zemin numunesi 24 saat süreyle 440 C° de yüksek sıcaklık etüvünde yakılır. Daha sonra oda sıcaklığında bekletilerek soğuyunca tartma işlemi gerçekleştirilir.  $M_3$  kütlesi de bu şekilde tespit edilir. N yakma sonrası yüzdelik kayıp ise aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$N = (M_2 - M_3) / (M_2 - M_1) \quad (1.1)$$

Skempton ve Petley (1970) çalışmasında organik içerik madde miktarı (H) için önerdiği formül;

$$\%H = 100 - C \cdot (100 - N) \quad (1.2)$$

Formülde belirtilen C değeri düzeltme faktörüdür. Bu değer, 450°C sıcaklıkta C=1.0 olarak kabul edilmektedir. Bazı Avrupa ülkelerinde 550°C için düzeltme faktörü C=1.04 olarak tespit edilmiştir. Genel olarak bu küçük farklılık pratik kullanımda önemli bir değer teşkil etmemektedir [24].

### 1.5.2 Su Muhtevası Değeri

Zeminler için su muhtevası genel olarak su miktarını kuru zemin miktarına oranlanmasıyla yüzdesel olarak tespit edilir.



$$\omega = \left( \frac{W_w}{W_s} \right) \cdot \%100 \quad (1.3)$$

Bu formülde  $W_w$  zemin içerisindeki su miktarını,  $W_s$  ise kuru zemin numunesinin miktarını belirtmektedir. Su muhtevasının yüzdesi ise  $\omega$  olarak belirtilmektedir. Su muhtevasını belirlemek amacıyla laboratuvara gelen zemin numunesi 24 saat boyunca  $105 \pm 5$  °C de kuruma işlemine tabi tutulur. Organik zeminler için ise bu sıcaklık değeri bazı araştırmacılarda içindeki organik zeminlerin karbonlaşmasını ve bu durumun su içeriğinin hızlı bir değişime uğrayacağı yönünde endişeler uyandırmaktadır. Bu nedenle bazı araştırmacılar  $50^\circ\text{C}$  ile  $95^\circ\text{C}$  arasında daha düşük bir sıcaklık değerinin uygun olabileceğini savunmaktadırlar. Zemin numunesinin kuruması için standart olarak tabi tutulduğu sıcaklık  $105^\circ\text{C}$ 'dir. 24 saat etüvde bu sıcaklıkta bekletildikten sonra su muhtevası hesaplanabilmektedir. Su muhtevası hesabı için kullanılan formül aşağıda belirtilmiştir.

$$W = \left( \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \right) \cdot \%100 \quad (1.4)$$

Belirtilen formülde;

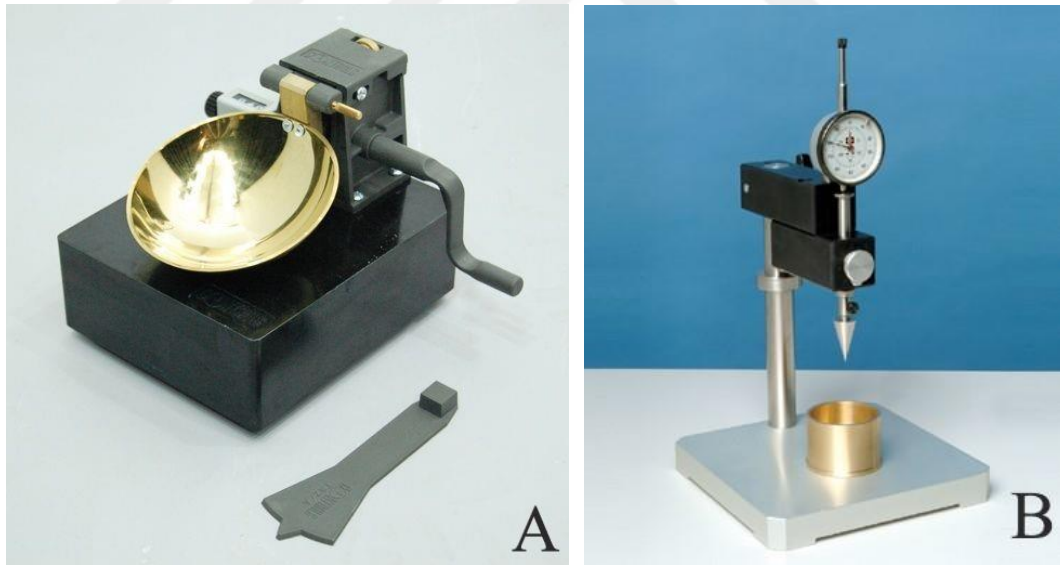
- $W_1$  zemin numunesinin tartıldığı daranın ağırlığını
- $W_2$  ıslak zemin numunesi + daranın ağırlığını
- $W_3$  kuru zemin numunesi + daranın ağırlığını göstermektedir.

Dünyanın bazı bölgelerinde bulunan organik zeminler dikkate alındığında su muhtevası değerleri %2200'lere ulaşmaktadır. Kanada bölgesindeki turbalara ait su muhtevası değeri %223 ile %1040 arasında değişmekte olup, Malezya bölgesindeki turbalara ait su muhtevası değeri ise %150 ile %2207 arasında değişmektedir. Organik zeminlerde su, organik madde ile bitki kalıntılarında yer bulmaktadır.

### 1.5.3 Kıvam (Atterberg) Limitleri

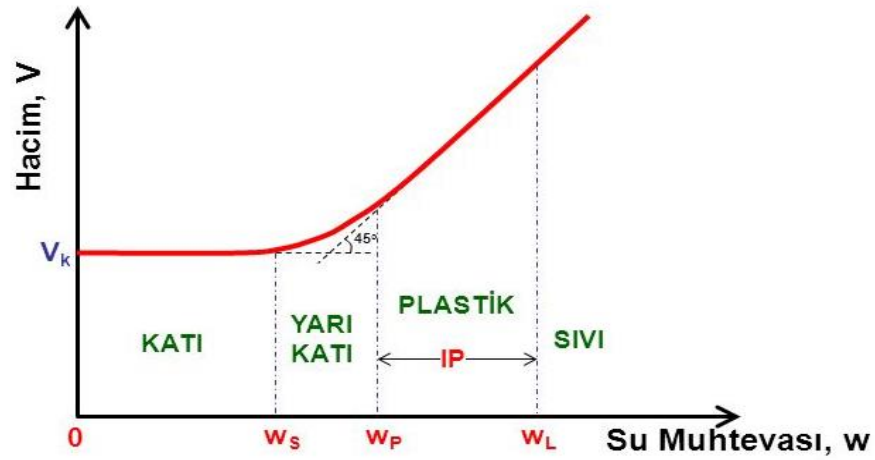
1911 yılında İsveçli bilim adamı Atterberg tarafından su içeriği ile zeminin kıvamı arasındaki ilişkiyi açıklayan bir kısım çalışmalar gerçekleştirilmiştir. 1930'lu yıllarda ise Terzaghi ve Casagrande bu çalışmalarını bazı mühendislik alanındaki çalışmalara adapte etmiş ve inşaat mühendisliği açısından önemli bilgiler ve deneyimler elde etmişlerdir. Bu araştırmacıların deneyimlediği testlerden üç tanesi likit limit deneyi, plastik limit deneyi ve rötire limit deneyidir. Günümüzde bu deneyler Atterberg limit deneyleri olarak da adlandırılmaktadır.

Likit limit deneyi günümüzde çoğu zemin mekaniği laboratuvarlarında kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Bu deney özellikle kohezyonlu zeminler (siltler ve killer) üzerinde yapılabilmektedir. Likit limit değerinin hesaplanmasında iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler Casagrande deney yöntemi ve koni penetrometre yöntemidir.



Şekil 1.1. Casagrande (A) ve Koni Penetrometre (B) deney aletleri [27, 28].

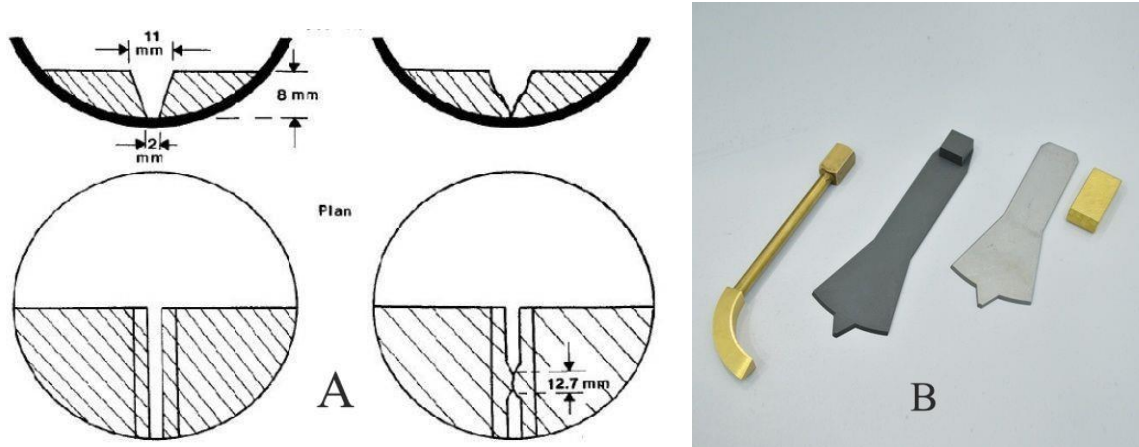
Atterberg limitlerine ait olan ve zeminin fiziksel hal geçişlerini gösteren diyagram aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Atterberg limitleri faz diyagramı [29].

Likit limit değeri, Casagrande cihazında 25 vuruşa karşılık gelen su muhtevası olarak tespit edilmektedir. Bu deney, Casagrande kolunun çevrilerek kabın belirli bir yükseklikten saniyede 2 vuruş yapacak şekilde düşürülmesi prensibine dayanan bir deneydir. Kaba yerleştirilen zemin numunesinin ortasından deney sistemine ait olan bir kaşık ile yarık açılır. Açılmış olan yarığın yaklaşık olarak 13 mm uzunlukta bir şerit halinde kapanıncaya kadar vuruş işlemine devam edilir. Yarığın 13 mm birleşmesi sonucunda elde edilen vuruş sayısı belirlenerek zemin numunesi etüvde 24 saat boyunca  $105 \pm 5$  °C de kurutulma işlemine tabi tutulur. Zemin numunesi etüve atılmadan önce Casagrande kabından bir miktar temsili numune alınarak yaş numune + dara miktarı belirlenir. 24 saat sonra çıkan numunenin kuru ağırlığı + dara miktarı tartılarak belirlenir.

Daha önceden belirtilmiş olan su muhtevası formülüne dayanarak, bu vuruş sayısına denk gelen su muhtevası belirlenir. Su muhtevası ve vuruş sayısı verileri diyagram üzerinde yalnızca bir noktaya tekabül etmektedir. Bu şekilde gerçekleştirilen her değer diyagram üzerinde bir noktayı temsil etmektedir. Daha sonra bu noktalara en uygun bir doğru çizilir ve bu doğrunun x-eksenindeki vuruş sayısında 25 vuruşa tekabül ettiği su muhtevası değeri likit limit değerini vermektedir.



Şekil 1.3. Casagrande deneyinin kesiti (A) ve Casagrande deney kaşıkları (B) [30].

Organik zeminlerin ve turbaların likit limit ile plastik limit değerleri buldukları bazı bölgelere göre değişkenlik göstermektedir. Genel olarak bir inceleme yapıldığında likit limit değerlerinin %50 değerinden başlayıp %1500 değerlerine çıktığına rastlanmaktadır. Plastik limit değerleri ise yaklaşık olarak %30 ile %400 arasında değişkenlik göstermektedir. Dünyanın çeşitli bölgeleri incelendiğinde örneğin İrlanda'da turbalar için likit limit değeri %690 olarak, plastik limit değeri ise %561 olarak belirlenmiştir [31].

#### 1.5.4 Birim Hacim Ağırlığı ve Özgül Ağırlığı

Birim hacim ağırlık olarak bilinen yoğunluk değeri geoteknik açıdan önemli parametrelerden birisidir. Genel birim hacim ağırlığın tespit edildiği formül;

$$\gamma = W / V \quad (1.5)$$

olarak gösterilir. Bu formülde  $\gamma$  sembolü birim hacim ağırlığını, W sembolü toplam kütleyi, V ise toplam hacmi göstermektedir.

Doğal birim hacim ağırlık ( $\gamma_n$ ) ise doğal durumda bulunan zemin numunesi ağırlığının ( $M_s$ ), toplam hacme (V) oranlanmasıyla elde edilmektedir.

$$\gamma_n = M_s / V \quad (1.6)$$

Kuru birim hacim ağırlık değeri, turbalarda yük altındaki davranışı inceleyebilmek adına en önemli mühendislik parametrelerden biridir. Kuru birim hacim ağırlık, üzerine etkileyen efektif turba ağırlık yükünden etkilenmektedir. Turba zeminlerde kuru birim hacim ağırlık değerleri genel olarak  $1.3 \text{ kN/m}^3$  olup  $0.7 \text{ kN/m}^3$  değerlerine kadar düşebilmektedir.

Organik zemin ve turbaların birim hacim ağırlık değerleri kil, silt vb. gibi kohezyonlu diğer zeminlere nazaran daha düşük bir mertebededir. Bu durum organik zeminlerin yapısında ihtiva ettiği organik madde miktarı, mineral içeriği, su muhtevası ve doygunluk derecesi ile ilişkilidir. Normal koşullarda bir organik zeminin birim hacim ağırlığı, suyun birim hacim ağırlık değerinden biraz fazladır.

Özgül ağırlık değeri ( $G_s$ ), zeminin dane birim hacim ağırlığının ( $\gamma_s$ ) suyun birim hacim ağırlığına ( $\gamma_w$ ) oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (1.7)$$

Özgül ağırlık değeri laboratuvarında piknometre deneyi yardımıyla bulunmaktadır. Bu deneyde yaklaşık 50 ml kapasiteli piknometre şişesi bulunur. İlk olarak piknometre haznesinin ağırlığı ( $W_1$ ) tartılır. Daha sonra örselenmiş olarak deneye hazırlanan 50 gramlık zemin numunesini piknometre haznesine ilave edilerek tartılır ve  $W_2$  ağırlığı elde edilir. Piknometre içindeki zemin numunesinin yüzeyini tamamen kaplayacak ve numunenin üzerini geçecek seviyede hazneye su ilave edilir. Hazne içerisindeki su ve zemin numunesi, haznenin ağzına yerleştirilen bir hava pompası veya desikatör sayesinde hava çıkışı duruncaya kadar işleme tabi tutulur. Piknometre içerisindeki su ve zemin ile (hava çıkışından sonra) tartılarak  $W_3$  ağırlığı tespit edilir. Piknometrenin zemin numunesi olmaksızın sadece su ile tartıldığındaki ağırlığı ise bize  $W_4$  ağırlığını vermektedir. Deney sırasında tespit edilen  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$  ve  $W_4$  ağırlıklarına bağlı olarak aşağıda verilen bağıntı ile özgül ağırlık değeri hesaplanır.

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (1.8)$$

Özgül ağırlık değeri birimsiz bir değer olup genel olarak 2.60 ile 2.80 arasında değişmektedir. Birim hacim ağırlık değerinde olduğu gibi özgül ağırlık değeri de turba ve organik zeminlerde daha düşüktür. Örneğin Kaolin kilinin özgül ağırlığı 2.62-2.68 arasında değişirken, bataklık turbasının özgül ağırlık değeri 1.40-1.60 arasında değişmektedir [24].

### **1.6 Organik Zeminlerin Deformasyon Özellikleri**

Organik zemin ve turbalar sıklıkla düşük kayma mukavemeti, yüksek sıkışma kapasitesi ve yüksek su muhtevasına sahip olmaları nedeniyle problemlili zemin grupları olarak adlandırılmaktadır.

Turbalar, uygun iklim ve topografik şartlar altında sulak alanlarda oluşan parçalanmış organik materyallerin bir karışımıdır ve kimyasal etkiler altında değişimi uğrayarak bozunmuş, ayrılmış, fosilleşmiş bitki kalıntılarından meydana gelmiştir [32].

Zeminlerde sıkışma durumu genel olarak zeminin dane dağılımına bağlı olarak farklılık göstermektedir. İnce daneli zeminlerde bu durum konsolidasyon veya oturma olarak adlandırılırken, kaba daneli zeminlerde sıkışma veya kompaksiyon olarak adlandırılmaktadır. Bir zemin üst yapıdan gelen yük nedeniyle bir gerilme artışına maruz kaldığında oturma veya sıkışma olayı gerçekleşir. Oturma olayı teorik olarak 3 aşamada gerçekleşmektedir. Bu aşamalar ani oturma, birincil oturma (konsolidasyon oturması) ve ikincil oturmadır.

Turbalar bünyesinde barındırdığı lif içeriği, doğal su muhtevası, boşluk oranı, geçirgenlik durumu ve daneler arasındaki kimyasal bağın derecesi gibi faktörler sıkışma özelliğini doğrudan etkilemektedir [33].

Kaba ve ince daneli zeminler ile kıyaslandığında turbalar yüksek organik madde içeriği ve yüksek sıkışabilme kapasitesine sahiptir. Bununla birlikte turbaların genel olarak drenajsız mukavemetleri düşüktür. Turba üzerindeki binalar genel olarak kazıklar veya jet grout gibi zemin iyileştirme yöntemleri ile desteklenir. Yük altında bu zemin türü hızlı gerçekleşen bir deformasyon karakteristiğine sahiptir.

Turbalar yük etkisi altında iki şekilde sıkışma durumu gösterir.

1. Yavaş gerçekleşen oturma durumu: Bu durum kademeli konsolidasyon ve sıkışma işleminin gerçekleştiği durumdur. Bu karakteristiğe sahip turbalar, bir yol veya dolgu inşa etmek için en ideal zemin gruplarıdır. Turba, zaman ile dayanımını ve taşıma gücünü arttırmaktadır.
2. Hızlı gerçekleşen oturma durumu: Hacimde herhangi bir değişim olmaksızın turbalar, kesme etkisiyle hızlı bir şekilde göçme durumuna ulaşır. Turbalar oluşabilecek olan aşırı gerilme durumlarına karşı yüksek dirence sahip değildirler. Yüklerin mevcut durumda bulunan gerilme durumunu koruması için kontrol altında tutulması gerekmektedir.

Turbaların sıkışma durumu diğer zemin türlerine göre farklılık göstermektedir. İlk olarak turbanın sahip olduğu sıkışma ve oturma değeri çok daha büyük mertebelere sahiptir. Diğer ise, ani oturma evresi, turbaların toplam oturma kapasitesini belirlemede diğer zemin tiplerine göre daha önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin fibrik turba türünde birincil konsolidasyon olarak adlandırılan evre çok hızlı gerçekleşmektedir. Bunun yanında konsolidasyon oturmalarının ve ikincil oturma evresinin de bu turba türü içinde görüldüğü tespit edilmiştir. Fibrik turbaların sahip olduğu boşluk oranı değeri yüksektir. Nedeni, sıkışabilen ve bükülebilen bitkisel lif yapılarının birbirine geçmiş bir biçimde ağ oluşturarak yapılanma göstermesi, daneler arasında su bulunmasına yol açar. Hem birincil hem de ikincil konsolidasyon aşamasında su, bu liflerin arasındaki boşluklardan faydalanarak drene olur [34]. Fibrik turba türünün sahip olduğu bu karakteristik özellik neticesinde sahip olduğu  $e$ -log  $P$  eğrileri üzerinde belirlenebilen sıkışma katsayısının ( $c_c$ ) yüksek bir değerini gösterdiği anlamına gelen dik bir eğime sahiptir. Ayrıca zeminin içerisindeki suyun drene işlemi tamamlanmadan (aşırı boşluk suyu basıncına sahip iken) ikincil konsolidasyonun başlama olasılığı mevcuttur [35].

Bazı araştırmacıların sıkışma katsayısının ampirik bağlantılar ile hesaplanması konusunda yaptığı çalışmalar mevcuttur. Bu formüller genel olarak likit limit ve zeminin sahip olduğu su muhtevasına bağlı türetilen eşitliklerdir.

$$c_c = 0.007 \times (LL - 10) \quad (1.9)$$

Sıkışma katsayısının likit limite bağlı olan eşitliği yukarıda verilmiştir. Bu eşitlik ile hesaplanan sıkışma katsayısı değeri genel olarak 5 ile 10 arasında değişmektedir. Bu durum sıkışma katsayısı değeri yaklaşık olarak 0.2 ile 0.8 arasında değişen kil zeminlere kıyasla daha yüksek mertebede bir değerdir [36].

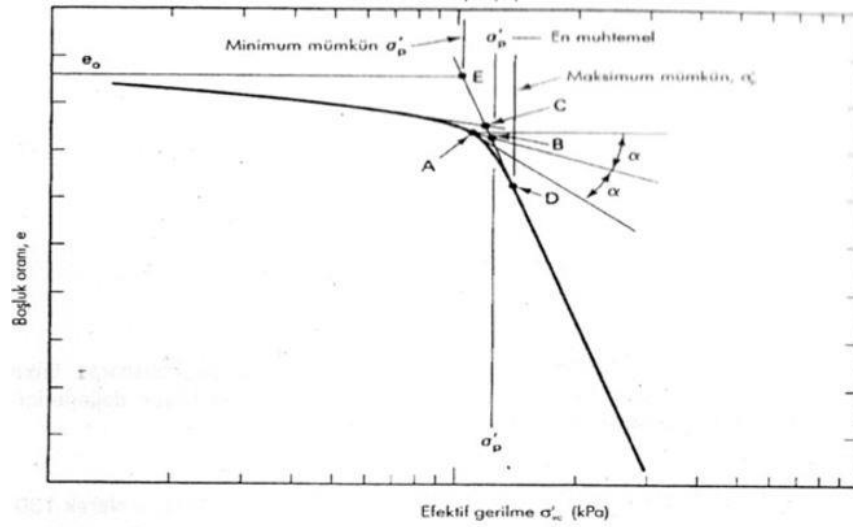
$$c_c = 0.0115 \times \omega \quad (1.10)$$

Turbalar ve organik zeminler için sıkışma katsayısını öneren bu eşitlik su muhtevasına bağlı bir ampirik bağlantı ile önerilmiştir. Bu eşitlikte  $\omega$  simgesi su muhtevasını temsil etmektedir [37].

Konsolidasyon deneyinde  $c_c$  indisini hesaplamak için ampirik eşitliklerin yanı sıra boşluk oranı ( $e$ ) ve gerilme değerlerine ( $P$ ) bağlı olarak oluşturulan grafik üzerinden de tespit edilebilmektedir.  $c_c$  değeri yükleme eğrisinin sahip olduğu eğimden hesaplanabilmektedir.  $c_s$  değeri ise yükleme tamamlandıktan sonra yükün boşalmasını temsil eden eğrinin eğiminden hesaplanır. Burada grafiğin x-ekseninde bulunan gerilme değerleri logaritmik olarak grafiğe yansıtılmaktadır. Bu grafikten aynı zamanda ön konsolidasyon basıncı ( $P_c$ ) hesaplanabilmektedir.

Ön konsolidasyon basıncının hesabı ise bir takım işlem adımlarını barındırmaktadır. İlk olarak  $e$ -log  $P$  eğrisinin eğrilik yarı çapının minimum olduğu nokta belirlenir (O noktası). Bu O noktasından log  $P$  eksenine paralel bir doğru çizilir (OA doğrusu). Buna ek olarak yine O noktasından  $e$ -log  $P$  eğrisine teğet olan farklı bir doğru daha çizilir (OB doğrusu). Oluşan AOB açısının açıortayı olan OC doğrusu çizilir. Sıkışma eğrisinin en doğru kısmının uzantısı olan doğru çizilir ve OB doğrusu ile kesiştirilir. Bu kesişim noktasının log  $P$  eksenindeki izdüşümü ön konsolidasyon basıncını ( $P_c$ ) yani o zemin numunesinin geçmişte etki altında kaldığı en yüksek gerilme değerini verir.





Şekil 1.4. Ön konsolidasyon basıncının Casagrande yöntemiyle belirlenmesi [38].

Zeminin sahip olduğu başlangıç boşluk oranı tıpkı likit limit değeri gibi önemli bir parametredir. Sahip olduğu su muhtevasına bağlı olarak başlangıç boşluk oranının hesaplanması için eşitlik geliştirilmiştir (1.11). Su muhtevasının artış göstermesiyle boşluk oranının artış gösterdiği gözlenmektedir [39].

$$e_0 = \frac{(\omega_0 + 0.88)^{0.116}}{1.12} - 30 \quad (1.11)$$

Konsolidasyon katsayısı olan ( $c_v$ ) zeminlerin durağan yükler altında sıkışma hızını temsil eden bir katsayıdır. Ön konsolidasyon basıncı etkisinde efektif gerilmenin artmasıyla örselenmemiş numunenin sahip olduğu konsolidasyon katsayısında ( $c_v$ ) önemli bir azalış meydana gelmektedir. Konsolidasyon katsayısının değerinin hesaplanması için Casagrande (log t yöntemi) ve Taylor (karekök t yöntemi) yöntemleri mevcuttur. Bu parametre konsolidasyon denkleminde konsolidasyon oranını belirleyen zemin özelliklerini dikkate alan tek parametredir. Zeminin sıkışabilirliğini elde edebilmek için yapılan artan yüklemeli konsolidasyon deneyleri yapılmaktadır. Her yük artışının zemin numunesi üzerinde belirli bir süre kalması sonucu oluşan ilave boşluk suyu basıncının sönmüldüğü kabul edilmektedir. Deformasyon ölçerler ile yapılan ölçümler bu yüklemelerin artışı sırasında alınmaktadır. Buna bağlı olarak konsolidasyon katsayısı deformasyon verisinin zamana bağlı değişiminden elde edilmektedir.

## 1.7 Organik Zeminler Üzerine Literatür Çalışmaları

Organik zeminler, düşük taşıma gücü ve yüksek deformasyon özellikleri sebebiyle dönemler boyunca araştırmacıların ilgisini çeken zeminlerin başında gelmektedir. Üst yapıdan gelen kesit tesirleri karşısında nasıl davranış gösterdikleri, ne boyutlarda deformasyonlar gösterdikleri vb. gibi konular çalışmalarda önemli yer tutmuştur. Ayrıca bu zeminin türünün mühendislik özelliklerinin çeşitli yöntemler ile nasıl iyileştirilebileceği de çoğu araştırmacı tarafından üzerinde çalışılan konulardan birisi olmaya devam etmektedir.

Literatür taraması yapıldığında organik zeminler üzerinde iyileştirme çalışması yapılmadan gerçekleştirilen model yükleme deneylerine sık rastlanmamaktadır. Genel olarak model deneylerden elde edilen veriler, zemin iyileştirme yöntemlerinden (kazık temeller, jet uygulamaları, katkı maddesi ile stabilizasyon vb. gibi) biri ile iyileştirilmesi işlemi sonucunda bulunan değerler ile mukayese edilmektedir.

Love ve arkadaşları (1987), yumuşak zeminlerin üzerine rijit bir yüzeysel temel yapısı yerleştirerek laboratuvarında iki boyutlu yükleme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Yükleme deneyi sonucunda yumuşak zeminde oluşan deplasmanlar gözlenmiştir [40].

Dash ve arkadaşları (2003), laboratuvar koşullarında model yükleme sistemi oluşturmuşlardır. Dairesel bir yüzeysel temelin üzerine etkidiği yumuşak kil tabakası içerisine uygulan geogrid uygulamasının yük etkisi altında taşıma gücüne etkisi araştırılmıştır [41].

Rahman ve arkadaşları (2004), organik zeminler üzerinde yaptıkları çalışmada, organik zeminlerin drenajlı ve drenajsız durumdaki parametrelerini belirleyerek taşıma gücünü tespit etmişlerdir. 3 farklı çapta dairesel yüzeysel temel kullanarak drenajlı ve drenajsız durumda organik zeminin taşıyabileceği yük miktarının kıyasını yapmışlardır [42].

Black ve arkadaşları (2007), kum tabakaları arasında bir organik zemin tabakası oluşturmuşlardır. Bu tabakalara yüzeysel temel aracılığı ile 3 farklı koşulda yük aktarımı gerçekleştirilmiştir. 1. koşul; tabakalar içerisinde herhangi bir eleman (kazık veya kolon eleman) modellenmeden yükleme yapılmasını içermektedir. 2. ve 3. koşullarda ise çimento ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kolonlar tabakaların içine

yerleştirilmiştir. Orta tabakada yer alan organik zeminin tabaka kalınlığı değiştirilerek kıyaslamalar da yapılmıştır. Farklı deplasmanlar birbiri ile kıyaslanmış ve taşınan yük değerleri belirlenmiştir [43].

Örnek ve arkadaşları (2012), doğal kil zeminlerin üzerinde bulunan dolgu tabakasının üzerine yüzeysel temeller ile yükleme deneyleri gerçekleştirmiştir. Farklı çaplarda seçilmiş olan dairesel yüzeysel temellerin etki ettiği kil zeminin oturma miktarları ve taşıma gücü belirlenmiştir. Elde edilen değerler yapay sinir ağları ile de yapılan analizler ile karşılaştırılmıştır [44].

Razali ve arkadaşları (2013), Malezya' da bulunan organik zeminler üzerinde iki farklı deney kasası içerisinde deneyler gerçekleştirmiştir. Bu deney kasalarının birincisinde organik zemin katmanları arasında ince bir kum şeridi oluşturmuş, ikinci deney kasasında ise kum zemin katmanları arasında ince bir organik zemin şeridi oluşturmuştur. Bu deneyler sonucunda da her iki deney kasası içinde göçme yüzeylerini ve deplasman miktarlarını tespit etmiştir [45].

Örselenmiş ve örselenmemiş organik zemin numunelerinin alındığı K.O.S.B' de farklı alanlarda araştırmacılar tarafından organik zeminler üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında değerlendirilen alana yakın bölgelerde daha önceden çalışmalar yapılması hem literatürün zenginleşmesi hem de araştırmacılara yol göstermesi amacıyla önem arz etmektedir.

Ulusay ve arkadaşları (2010), tez çalışması kapsamında numune alınan bölgenin yaklaşık 6 km güneyinde kalan bir alan üzerine çalışmalarını yürütmüşlerdir. Organik zeminler üzerine oturan fabrika hangarlarında meydana gelen deformasyonları gözlemlemişlerdir. Sondaj kuyusu ve araştırma çukuru açılarak bölgeden organik zemin numuneleri alınmış ve endeks deneyler gerçekleştirilmiştir. Organik zeminin kayma mukavemeti (üç eksenli deney ve direkt kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir), konsolidasyon miktarı ve karakteristiği tespit edilerek sonuçlar ve öneriler sunulmuştur [46].

Özcan (2015), aynı alan üzerinde yapılan araştırmalarda farklı oturmalar yapmış olan yapılar tespit edilmiştir. Açılan araştırma çukuru, yapılan sondajlar ve jeolojik etütler yardımı ile organik zeminin yapısal olarak derinliğe bağlı olarak nasıl değişim

gösterdiği gözlenmiştir. Çalışma alanına bir gözlem platformu oluşturulmuş ve bu platformlar üzerine yaklaşık 17 tonluk bir ağırlık yardımıyla uzun süreli deformasyonlar gözlenmeye çalışılmıştır [47].

Özcan ve arkadaşları (2018), Ulusay ve arkadaşları (2010) tarafından yapılan çalışmaya oldukça yakın bir bölgede araştırma gerçekleştirmiştir. Bu çalışma kapsamında alınan zemin numunelerinin elektron mikroskobu yardımıyla farklı ölçeklerde görüntüleri alınmıştır. Alınan zemin numuneleri üzerinde yapılan endeks deneyleri yardımıyla zemin sınıfı ve organik madde miktarı gibi parametreler belirlenmiştir. Bunların yanı sıra kayma modülünün belirlenmesine yardımcı olmak amacıyla dinamik zemin deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte organik zeminin derinlik boyunca kayma dalgası hızı tespit edilmiştir [48].

## 2. BÖLÜM

### YÜZEYSEL TEMELLER

Yapısal yükleri yüzeye yakın zeminlere aktaran elemanları temeller olarak adlandırmaktayız. Zemin ile üst yapı arasında sağlıklı bir etkileşim sağlanabilmesi, yapıdan gelecek kesit tesirlerinin ve yüklerin doğru bir biçimde zemine aktarılmasını sağlamak amacıyla yapılan temeller, inşaat mühendisliği açısından önemli bir yere sahiptir.

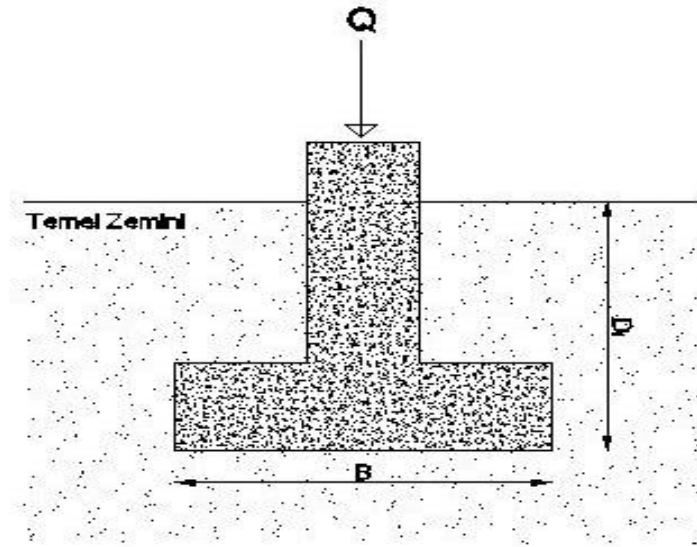
Temeller iki ana gruba ayrılırlar:

- a) Yüzeysel temeller (Tekil temel, sürekli temel, radye temel)
- b) Derin temeller (Kazıklar, ayaklar ve kesonlar)

#### 2.1 Yüzeysel Temellerin Tanımı ve Çeşitleri

Temel mühendisliğinde yapı temellerini genel olarak yüzeysel temeller oluşturur.  $D_f/B \leq 1$  olarak değerlendirilirler. Literatürde, yüzeysel temel tanımında kullanılmak üzere  $D_f/B$  oranı ile ilgili olarak  $D_f/B \leq 1,0$ ,  $D_f/B \leq 2,5$ ,  $D_f/B \leq 4,0$  olmak üzere farklı yaklaşımlar mevcuttur.

Yüzeysel temellerin çeşitli tipleri bulunmaktadır. Bu temeller tekil temel, sürekli veya şerit temel ve radye temeldir.



Şekil 2.1. Tipik bir yapı temel kesiti

### 2.1.1 Tekil Temeller

Uygulanmış olan yapısal yükleri, bir kolon veya taşıyıcı duvar altında yeteri kadar geniş bir zemin alanı üzerine yayarak yapılan genişletmedir. Her kolon ve her taşıyıcı duvarın tipik olarak kendi tekil temeli mevcuttur.

Tekil temellerin 4 farklı çeşidi bulunmaktadır.

1. Kare Temeller
2. Dikdörtgen Temeller
3. Dairesel Tekil Temeller
4. Sürekli Temeller

### 2.1.2 Sürekli Temeller

Kolon veya perde yükleri 1 veya 2 yerde aynı temele taşınıyor ve uzunluk/genişlik oranı  $L > 5B$  ise bu temele sürekli temel denir. Zemin özelliklerine göre tek veya çift doğrultulu olarak yapılabilmektedir.

### 2.1.3 Radye Temeller

Yapı oturum alanının kaplayan bir temel türüdür. Genel bir kural olarak yapı oturum alanının %50 sini aşan yüzeysel temel durumunda radye temel daha ekonomik hale

gelmektedir. Maliyet olarak diğerlerine göre daha maliyetli olan bu temellerin yapımına karar verme aşamasında dikkat edilen 2 unsur bulunmaktadır. Bu unsurlar;

- Zemin taşıma gücü çok düşük ya da yapı yükü çok fazla,
- Zeminden dolayı farklı oturmaların oluşabilmesi durumu

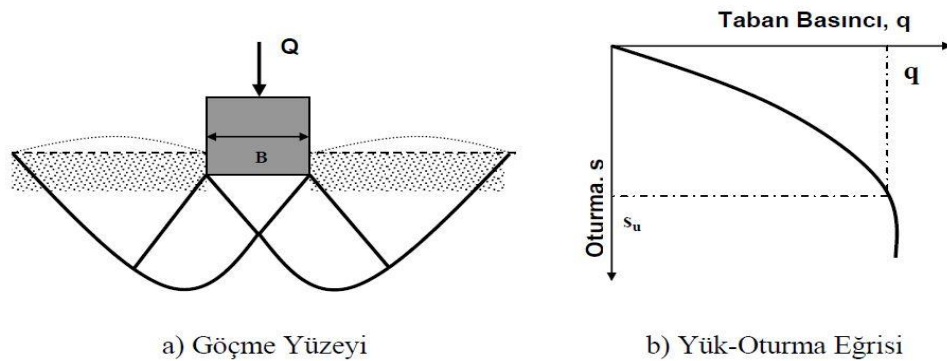
## 2.2 Yüzeysel Temelerde Taşıma Gücü Göçmeleri

Temelden aktarılan yüklerin, zeminde oluşturduğu kayma gerilmeleri zeminin kayma mukavemetini aşarsa taşıma gücü göçmesi meydana gelir. Zeminin türüne ve yoğunluğuna bağlı olarak, taşıma gücü göçmeleri genellikle temellerin daha derinlere penetre etmesiyle, kenarlarda kabarmayla ya da temelin bir kenarının zayıf zemin içerisine batmasıyla ortaya çıkmaktadır. 3 tür taşıma gücü göçmesi mevcuttur [49].

- Genel Kayma Göçmesi
- Kısmi (Bölgesel) Kayma Göçmesi
- Zımbalama Göçmesi

### 2.2.1 Genel Kayma Göçmesi

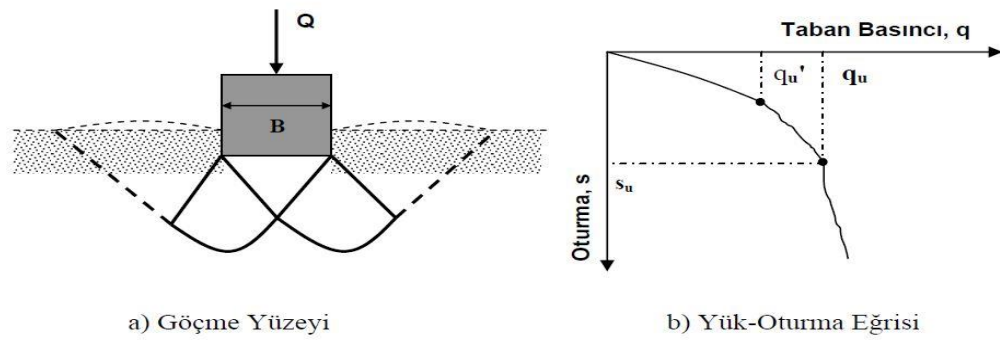
En yaygın görülen göçme şeklidir. Sıkı kum zeminlerde, aşırı konsolide kil zeminlerde ve drenajsız koşulların hakim olduğu, aynı zamanda yeterli yükleme hızına sahip doymun normal konsolide killerde görülür. Kabarmalar temelin her iki yakasında da gözlenir. İyi tanımlı göçme yüzeylerinin mevcut olmasının yanında ani ve yıkıcı bir göçme meydana gelmesi ve temelin yan yatması gibi durumlarda muhtemeldir [50].



Şekil 2.2. Genel kayma göçmesi durumu

### 2.2.2 Kısmı (Bölgesel) Kayma Göçmesi

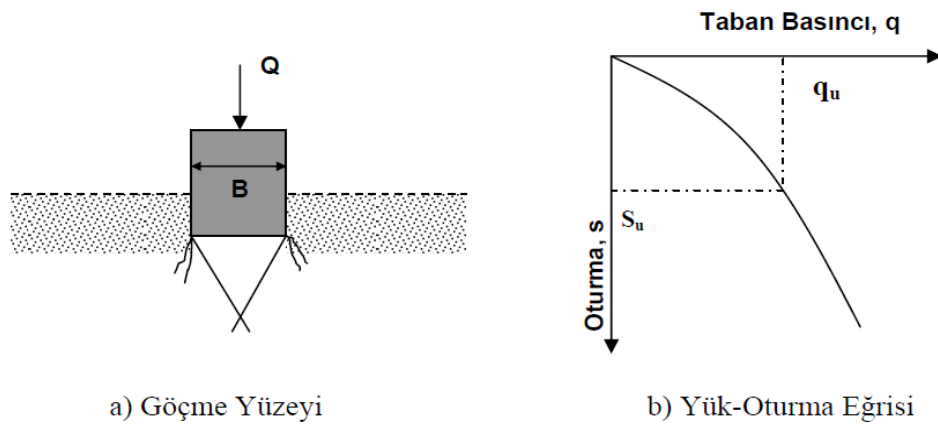
Bu göçme türü bir ara durumu belirtmektedir. Kayma yüzeyleri temel altındaki zeminde belirgin olup temel yanlarında ve etrafındaki zemin yüzeylerinde belirsiz olabilmektedir. Zemin yüzeyinde meydana gelen kabarmalar genel kayma göçmesine göre daha az mertebededir. Genellikle orta sıkı kum ve orta katı killerde bu göçme türü gözlenmektedir [51].



Şekil 2.3. Kısmı (Bölgesel) kayma göçmesi durumu

### 2.2.3 Zımbalama Göçmesi

Göçme yüzeyi, temel tabanı çevresi boyunca oluşur ve kum zemin yüzeyine ulaşamaz. Zemin yüzeyinde herhangi bir kabarmaya rastlanmaz. Genel olarak gevşek kum veya yumuşak killerde gözlenir. Bu göçme türünü Vesic (1973) çalışmalarıyla tanımlamıştır [52].



Şekil 2.4. Zımbalama göçmesi durumu

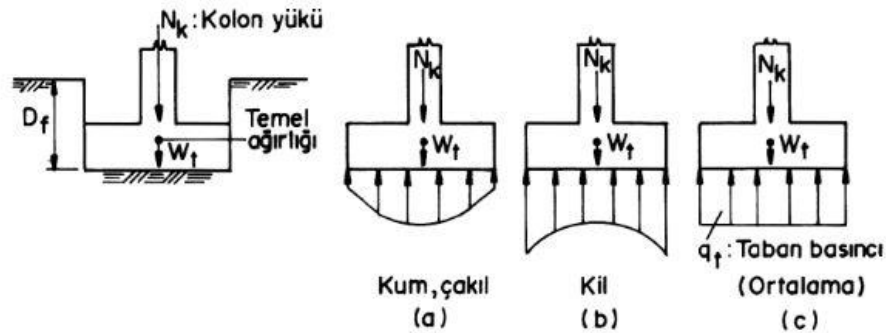


### 2.3 Temel Tabanında Oluşan Basınçlar

Geoteknik mühendisliğinde temel ile zeminin karşılıklı etkileşim halinde oldukları temas yüzeyinde oluşan gerilme, temel taban basıncı olarak adlandırılmaktadır. Zeminde meydana gelen gerilme artışları, genellikle yapı ağırlığının sebep olduğu temel taban basınçlarından oluşmaktadır.

Çoğunlukla yapı temelleri, zemin rijitliğine göre çok daha fazla rijitlerdir. Rijitlik arttıkça taban basıncı da üniform dağıldığından uzaklaşmaktadır. Kum ve kil zeminlere oturan rijit temellerin altında oluşan taban basıncı dağılımı birbirinden oldukça farklıdır [53].

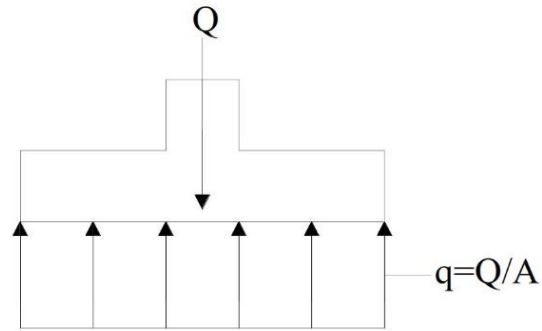
Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde üniform gerilme ile yüklenmiş esnek ve rijit temellerin tepki gerilmeleri ve deformasyon durumları aşağıdaki gibi oluşmaktadır.



Şekil 2.5. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde temel taban basınç dağılımları [54]

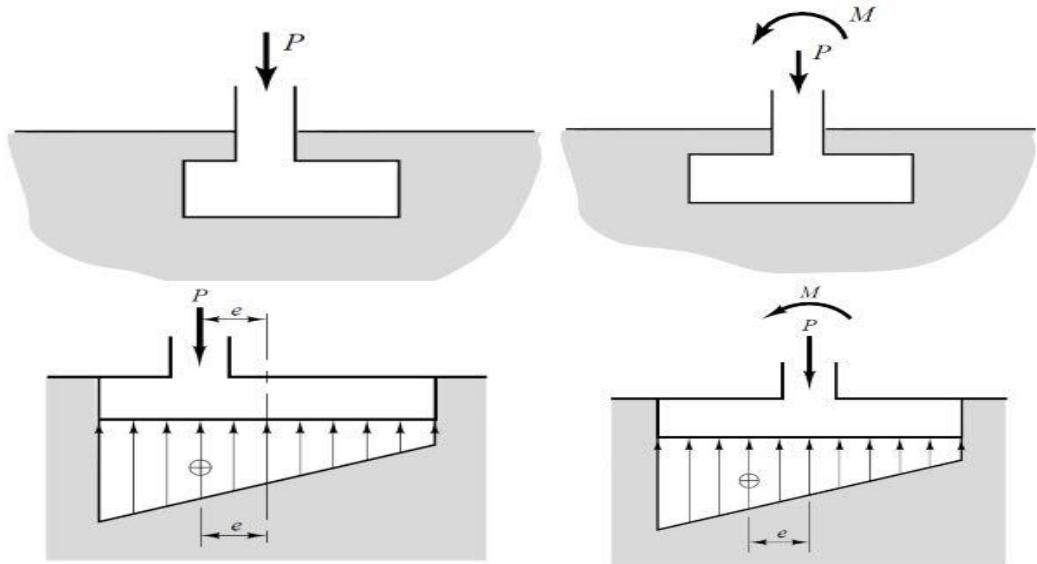
Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde rijit bir temelde oluşan tepki gerilmeleri üniform olmamaktadır. Bu nedenle çözüm kolaylığı sağlaması amacıyla zemin tepkilerinin üniform olacağı kabulü yapılır.

Merkez noktasından  $Q$  yükü,  $A$  yüzey alanına sahip bir temele rijit metod yardımıyla uygulandığında oluşan gerilme,  $q = Q/A$  olarak ifade edilir.



Şekil 2.6. Q merkezi yüklü bir temelin gerilme durumu [55]

Temeller genellikle dış yükler şekil 2.5 de olduğu gibi temelin ağırlık merkezine etkiyecek şekilde inşa edilirler. Eğer bir temel, temelin geometrik merkezi (veya ağırlık merkezi) dışında etkiyen bir dış yüke sahip ise ya da merkezi olarak etkiyen dış yüklemeye ilave olarak yatay yük ve/veya moment etkisi altında ise eksantrik yükleme söz konusudur.

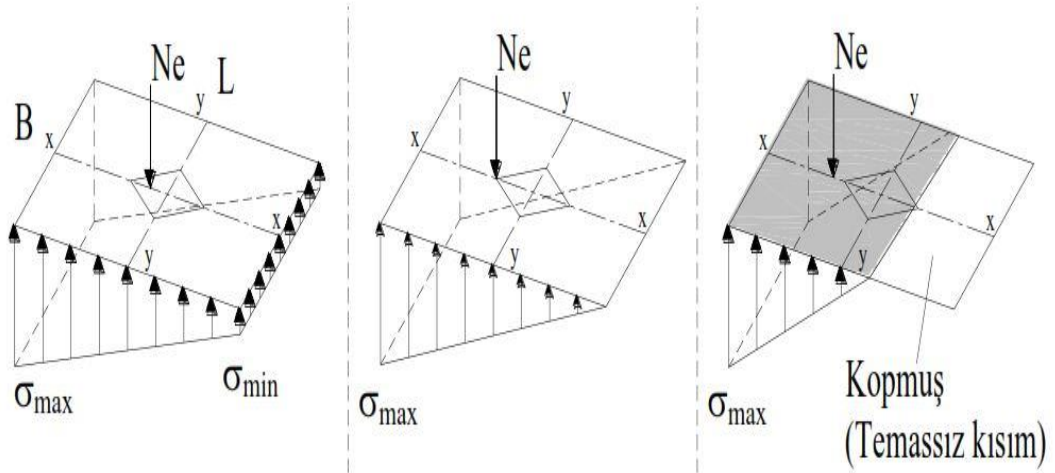


Şekil 2.7. Eksantrik yüklü temellerde gerilme dağılımı [56]

Geleneksel yöntemde, eksantrik yüklü bir rijit temel altındaki basınç dağılımlarını belirlemek için şu kabuller yapılmaktadır.

- 1) Taban basıncının dağılım biçimi doğrusaldır (lineer dağılım).





Şekil 2.9. Yükün etkime noktasına göre oluşan taban basınç dağılımları [59]

Tablo 2.1. Etki yükünün tesir noktasına göre taban basıncı dağılım formülleri [59]

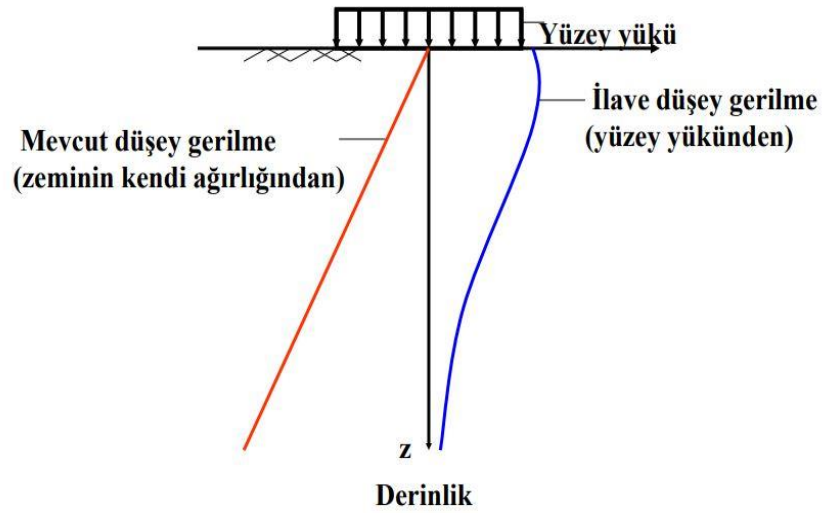
Etki Yükü Tesir Noktası	Taban Basıncı Dağılımı Formülleri	
	Maksimum Değer	Minimum Değer
Çekirdek Alanı İçinde $e_x < L/6$	$\sigma_{\max} = \frac{N_e}{B \cdot L} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e_x}{L}\right)$	$\sigma_{\min} = \frac{N_e}{B \cdot L} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_x}{L}\right)$
Çekirdek Alanı üzerinde $e_x = L/6$	$\sigma_{\max} = \frac{2 \cdot N_e}{B \cdot L}$	0
Çekirdek Alanı dışında $e_x > L/6$	$\sigma_{\max} = \frac{4 \cdot N_e}{3 \cdot (L - 2e_x) \cdot B}$	0

## 2.4 İlave Yüklerden Dolayı Oluşan Gerilmeler

Çeşitli inşaat yapıları, hareketli yükler vb. gibi dış yüklerle oluşan gerilmeler, ilave yüklerden dolayı oluşan gerilme sınıfına girer. Bu gerilmeler temel mühendisliğinin önemli bir bölümünü oluşturmakla beraber, ilgili geoteknik analizlerin çoğu zeminin bu gerilmelere olan tepkisine bağlıdır.

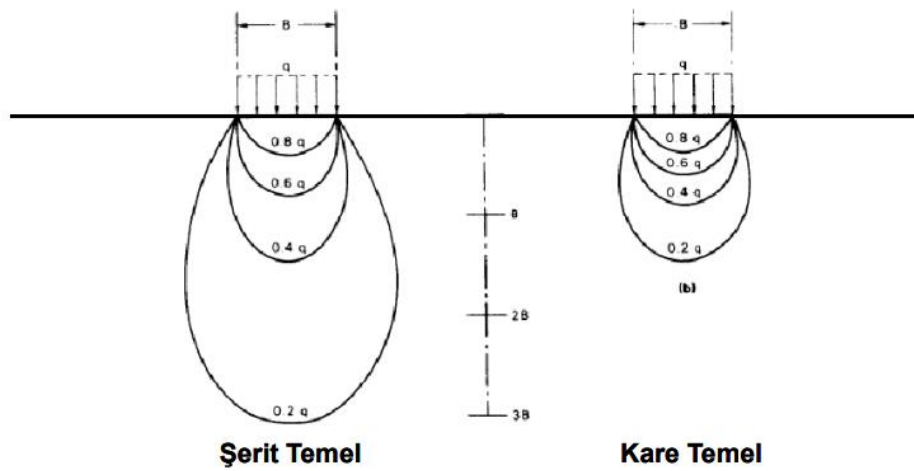
Zemin yüzeyinden itibaren aşağıdaki zemin tabakalarına iletilen düşey gerilme değerleri derinlik artması ile ters orantılı olarak azalım gösterecektir. Yüzey yükü

etkisinden kaynaklanan ilave düşey gerilme ve zeminin kendi ağırlığından oluşan mevcut düşey gerilme görsel olarak Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Zeminde oluşan mevcut ve ilave düşey gerilmeler [60]

Sürşarj adıyla adlandırılan ek yüklerden kaynaklanan gerilme artışlarını belirlemek amacıyla yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan gerilme soğanı yöntemini derinlik boyunca gerilme değişimi şerit ve kare temeller için Şekil 2.11'de gösterilmiştir.

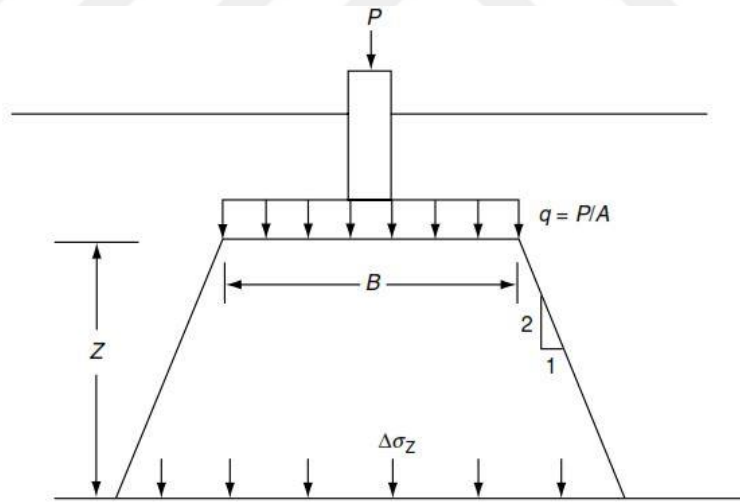


Şekil 2.11. Gerilme soğanı yöntemi [60]

Sürsarj yüklerinden kaynaklanan gerilme artışlarını hesaplamanın bir diğer yöntemi de Basit Kabul Yöntemi (2:1) olarak bilinmektedir. Gerilme artışını hesaplamaya yarayan yöntemlerden en çok bilineni 2:1 eğimle (yatayda 1 birim, düşeyde 2 birim) derinlik boyunca devam eden yaklaşımdır (Şekil 2.12). Bu yöntemin uygulanmasının diğer yöntemlere göre basit olması yöntemin önemli bir avantajıdır. Gerilme bölgesi 2:1 eğimle tanımlanırsa temel taban basıncından dolayı yüklü alanın altında herhangi bir z derinliğindeki gerilme artışı aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanabilmektedir (2.1).

$$\Delta P = \frac{Q \times B \times L}{(B + z) \times (L + z)} \quad (2.1)$$

Bu yöntem; B-4B derinlikleri arasında birçok teorik yöntemle uyumlu sonuçlar vermektedir. Ancak basit kabul yöntemi, zemin yüzeyinden B derinliğe kadar olan derinliklerde kullanılmaması önerilmektedir.



Şekil 2.12. Basit kabul yöntemi

Gerilme artışının elde edilmesinde en sık kullanılan kabullerden birisi, prensip olarak Elastisite Teorisine dayanan Boussinesq gerilme artışı yöntemidir. Boussinesq eşitliği; yarı-sonsuz, homojen, izotrop, ağırlıksız bir elastik yarım uzayın yüzeyi üzerinde etkiyen bir tekil yükü göz önüne almaktadır. Boussinesq eşitliği (2.2) özellikle yarı-sonsuz, izotrop, homojen bir yarım uzay için geliştirilmiş olmasına rağmen bütün zemin

tipleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Hesaplanan gerilme değerlerinin deneysel olarak ölçülmüş değerler ile iyi bir uyum sergilediği gözlenmiştir.

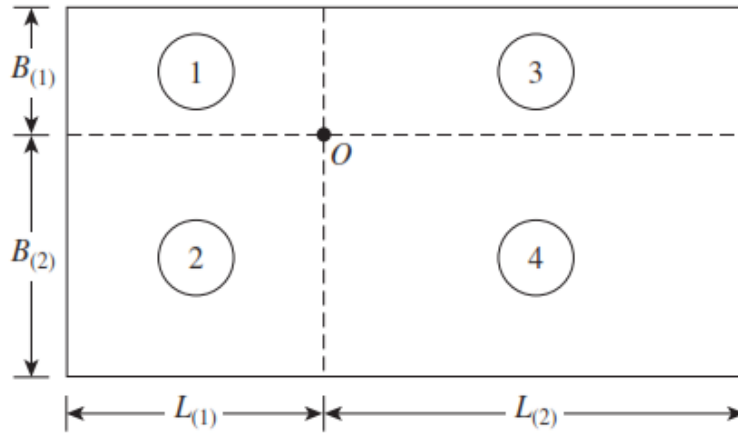
$$\Delta P = \frac{3Q}{2\pi z^2} \times \frac{1}{[1+(r/z)^2]^{5/2}} = \frac{Q}{z^2} \times A_b \quad (2.2)$$

B ve L boyutlarına sahip bir temel için Boussinesq eşitliğinde bilinmesi gereken bazı parametreler mevcuttur. Boussinesq abağından temelin kısa ve uzun boyutuna bağlı olarak gerilme artışının hesaplanacağı derinlik için etki katsayısı değeri elde edilecektir (2.3) (2.4) (2.5).

$$\Delta \sigma = q_0 \times I_p \quad (2.3)$$

$$m = \frac{B}{z} \quad (2.4)$$

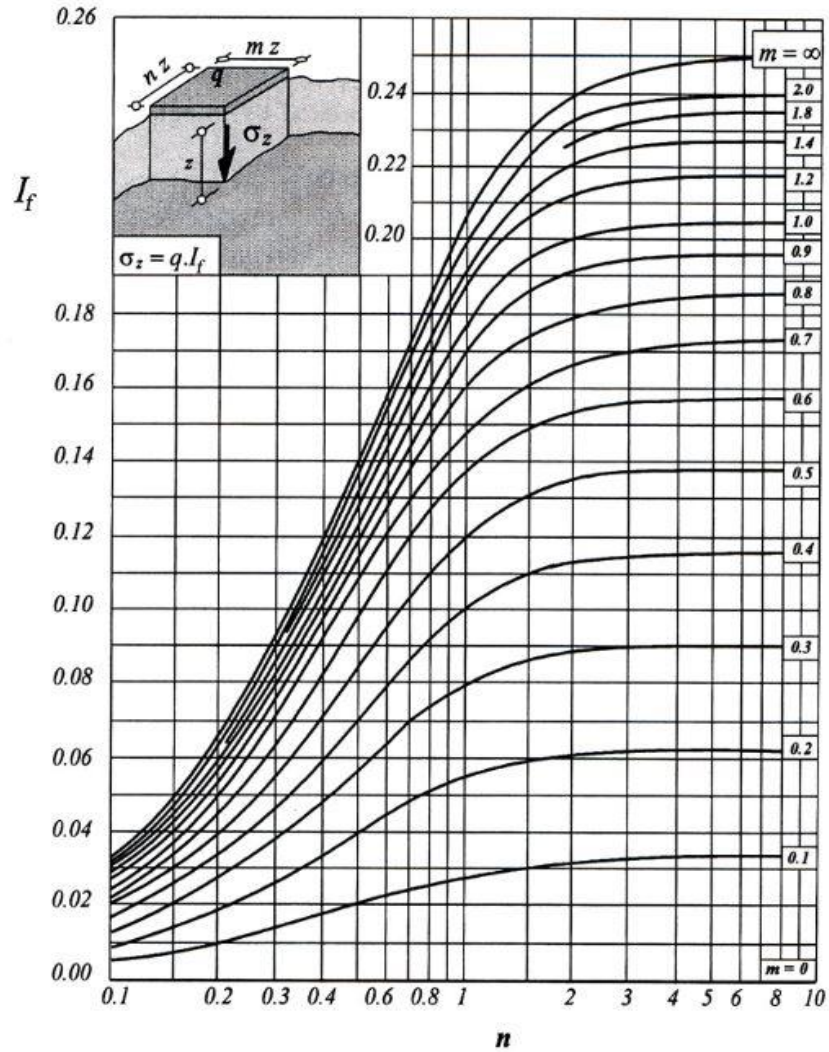
$$n = \frac{L}{z} \quad (2.5)$$



Şekil 2.13. Köşe noktaları ortak olan dikdörtgen alanlar için Boussinesq yöntemi [61]

Şekil 2.13'de verilen 4 farklı dikdörtgen alanlar için Boussinesq abağından I değeri (etki katsayısı) ayrı ayrı elde edilir (Şekil 2.14). 4 farklı alan için oluşan Boussinesq eşitliği aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir. (2.6)

$$\Delta\sigma = q_0 \times (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) \quad (2.6)$$



Şekil 2.14. Boussinesq eşitliğinde etki katsayısını veren Boussinesq abağı [62]

## 2.5 Taşıma Gücü İfadeleri

Taşıma gücü eşitliklerini irdeleyebilmek amacıyla taşıma gücü ile ilgili ifadeleri bilmek taşıma gücünün doğru hesaplanması için önem arz etmektedir. Bu nedenle taşıma gücü eşitliklerinde kullanılacak olan terimler aşağıda açıklanacaktır.

- \*  $q_0$  = Temel taban seviyesindeki toplam zemin ağırlığından kaynaklanan basınç değeridir.
- \*  $q_0'$  = Temel tabanı seviyesindeki efektif basınç değeridir.



- \*  $q_u$  = Zeminin sınır taşıma gücü değeridir. Taşıma gücü terimi ile temelin göçmeden taşıyabileceği ya da zeminin karşı koyabileceği maksimum temel taban basıncı değeri ifade edilmektedir. Zemin sınır taşıma gücü değerinin temel alanı ifadesi olan  $A$  ile çarpılması sonucu yüzeysel temelin göçmeden taşıyabileceği maksimum yük değeri bulunur.

$$Q_u = q_u \times A \quad (2.7)$$

- \*  $q_{nu}$  = Zeminin net sınır taşıma gücü değeridir. Zeminin üst yapı yükü nedeniyle karşı koyabileceği maksimum ilave basınç artış değeridir. Temel tabanı seviyesindeki taşıma gücünden o seviyedeki zemin ağırlığından doğan basıncın çıkarılması ile elde edilir.

$$q_{nu} = q_u - q_0 \quad (2.8)$$

- \*  $q_a$  = İzin verilebilir taşıma gücü (emin taşıma gücü) değeridir. Üst yapının zemindeki kayma göçmesine bağlı olarak çökmesini önlemek için sınır taşıma gücü  $q_u$ 'nun belirli bir güvenlik katsayısı (FS) ile bölümü sonucu elde edilir. Temel tasarımı yapılırken taban basınçlarının emin taşıma gücü değerinden büyük olmaması sağlanır.

$$q_a = \frac{q_u}{FS} = q_{emin} \quad (2.9)$$

- \*  $q_{na}$  = Zemin net sınır taşıma gücü değerinin belirli bir güvenlik katsayısına bölünmesi ile elde edilen izin verilebilir net taşıma gücü değeridir.

$$q_{na} = \frac{q_u - \gamma \cdot D_f}{FS} = \frac{q_{nu}}{FS} \quad (2.10)$$

- \*  $q_s$  = Emniyetli taşıma gücü değeridir. Bu taşıma gücü değeri temelin izin verilebilir sınırlar içerisinde oturma yapmasını sağlamaktadır. Temel emin taşıma gücüne boyutlandırılır ve oturmalar hesaplanır. Bulunan oturma değerleri

izin verilen sınırları aşıyorsa temel taban alanı büyütülerek taban basıncı azaltılır ( $q_s \leq q_a$ ).

## 2.6 Taşıma Gücü Eşitlikleri

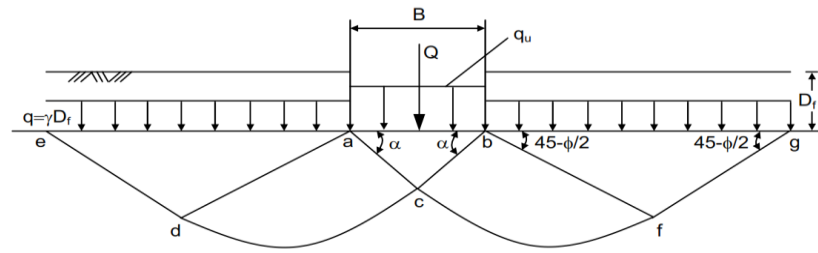
Zeminlerde taşıma gücünü hesaplayabilmek amacıyla çeşitli araştırmacılar birçok katsayı ve denklem önermişlerdir. Bu tez çalışması kapsamında taşıma gücü eşitlikleri incelenirken 3 araştırmacının (Terzaghi, Meyerhof ve Hansen) taşıma gücü eşitlikleri dikkate alınarak değerlendirilmeler ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

### 2.6.1 Terzaghi Taşıma Gücü Eşitliği

Terzaghi (1943), genel zemin durumunu ( $c-\phi$  zemini) için nihai taşıma gücü  $q_u$ 'yu tanımlamak amacı ile geliştirdiği teoride bazı kabullerde bulunmuştur. Bu kabuller;

1. Problem iki boyutludur.
2. Zemin homojen, yarı-sonsuz ve izotropdur.
3. Temel tabanı pürüzlüdür.
4. Genel kayma göçmesi durumu söz konusudur.
5. Zemin yüzeyi yataydır.
6. Uygulanan yük basınç kuvvetidir ve temelin ağırlık merkezine düşey doğrultuda etkimektedir. Eksantrisite olmadığından dolayı moment kuvveti söz konusu değildir.
7. Temel zemine kıyasla daha rijittir. Bu durum deformasyonların temelde değil, zeminde oluşacağını gösterir.
8. Yer altı su seviyesi oldukça derinde bulunmaktadır.
9. Temel taban seviyesi üzerinde yer alan zemin ağırlığı, temel tabanı seviyesinde etkiyen eşdeğer bir sürşarj yükü olarak dikkate alınır.

Yüzeysel temeller için Terzaghi tarafından tanımlanan kırılma yüzeyleri (Şekil 2.15) ve taşıma gücü eşitliği aşağıda verilmiştir (2.11).



Şekil 2.15. Terzaghi taşıma gücü teorisinin kırılma yüzeyleri [63]

$$q_u = k_1 \cdot c \cdot N_c + \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q + k_2 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \quad (2.11)$$

Şekil 2.15’de görüldüğü üzere temel altındaki göçme bölgesi 3 bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgelerden ilki abc bölgesidir. Bu bölge temelin hemen altında yer alan kama şeklindeki elastik bir bölgedir. Üçgenin ac ve bc kenarları eşit olup, kırılma açısı  $\alpha$ , kayma mukavemeti açısı ise  $\phi$  değerine eşittir. bcf bölgesi radyal kayma bölgesidir ve bfg bölgesi pasif rankine bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgenin yatay ile yaptığı açı  $(45 - \phi/2)^\circ$  dir.

(2.11) eşitliği, taşıma gücünün eşitliğinin 3 kısımdan oluştuğunu göstermektedir. İlk kısım, temel zeminindeki kohezyonun taşıma gücüne katkısını; ikinci kısım, temel tabanı üzerinde yer alan sürşarj yükünün taşıma gücüne katkısını ve son kısım ise zemin ağırlığının taşıma gücüne katkısını göstermektedir. Denklem yer alan  $N_c$ ,  $N_q$  ve  $N_\gamma$  ifadeleri taşıma gücü katsayılarını göstermektedir. B ifadesi temel genişliği veya çapı, L ifadesi temel uzunluğunu,  $D_f$  temel derinliğini ve  $q_u$  ise nihai taşıma gücü değerini belirlemektedir. Eşitlikte yer alan k katsayıları ise temel geometrisine bağlı olarak değişen şekil katsayılarıdır. Temel tipine bağlı olarak k katsayısının hangi değerleri aldığı Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Temel geometrisine bağlı şekil katsayı değerleri [64]

Temel Tipi	Şekil Katsayıları	
	$k_1$	$k_2$
Şerit veya Sürekli Temel	1.00	0.50
Kare Temel	1.30	0.40
Dairesel Temel	1.20	0.30
Dikdörtgen Temel	$1 + 0.3 \times \frac{B}{L}$	$0.5 - 0.1 \times \frac{B}{L}$

Tablo 2.2 de verilen şekil katsayıları dikkate alındığında taşıma gücü eşitlikleri şerit temel, kare temel ve dairesel temeller için sırasıyla verilmiştir (2.12)(2.13)(2.14)

$$q_u = c \cdot N_c + \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \quad (2.12)$$

$$q_u = 1.3 \cdot c \cdot N_c + \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q + 0.4 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \quad (2.13)$$

$$q_u = 1.2 \cdot c \cdot N_c + \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q + 0.3 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \quad (2.14)$$

Terzaghi taşıma gücü eşitliklerinde kullanılan içsel sürtünme açısına bağlı olarak ( $\phi$ ) değişkenlik gösteren  $N_c$ ,  $N_q$  ve  $N_\gamma$  değerleri Tablo 2.3 de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Temel geometrisine bağlı şekil katsayı değerleri [64]

$\phi^\circ$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\phi^\circ$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5.7	1.0	0.0	30	37.2	22.5	19.7
5	7.3	1.6	0.1	35	57.8	41.4	42.4
10	9.6	2.7	1.2	40	95.7	81.3	100.4
15	12.9	4.4	1.8	45	172.3	173.3	360.0
20	17.7	7.4	5.0	50	347.5	415.1	1072.8
25	25.1	12.7	9.7				

Zeminin nihai taşıma gücünü hesaplamak için geliştirilmiş olan teorik eşitlikler yer altı su seviyesinin temel tabanından itibaren temel genişliği B kadar ya da daha büyük bir derinlikte diğer bir ifade ile zemin yüzeyinden itibaren  $D_f + B$  ya da daha büyük bir derinlikte yer aldığı kabulüne dayanılarak geliştirilmiştir. Yer altı su seviyesi (Y.A.S.S) potansiyel kayma alanı içerisinde ise bu durumda boşluk suyu basınçları söz konusu olacak ve bunun sonucu olarak da kayma yüzeyi boyunca efektif gerilme ve kayma dayanımı daha küçük olacağından nihai taşıma gücü azalacaktır. Taşıma gücü hesabı yapılırken bu etki dikkate alınmalıdır. Yer altı su seviyesi derinliğinin  $D_f + B$  den daha küçük olması durumunda taşıma gücü eşitlikleri suyun varlığından etkilenecektir.

$$q_u = k_1 \cdot c \cdot N_c + \gamma_{e1} \cdot D_f \cdot N_q + k_2 \cdot \gamma_{e2} \cdot B \cdot N_\gamma \quad (2.15)$$

- \*  $\gamma_{e1}$  = Temel tabanı üzerinde yer alan zeminin ağırlıklı efektif birim hacim ağırlığıdır.
- \*  $\gamma_{e2}$  = Temel tabanı altında B derinliğinde yer alan zeminin ağırlıklı efektif birim hacim ağırlığıdır.

Y.A.S.S bulunduğu derinliğe göre iki farklı durum söz konusudur. Bu durumlar;

1. Yer altı su seviyesinin, temel taban seviyesi üzerinde olduğu durumdur. Bu durumda  $\gamma_{e1}$  değeri;

$$\gamma_{e1} = \gamma_b + \frac{D_{w1}}{D_f} \cdot (\gamma_m - \gamma_b) \quad (2.16)$$

$$\gamma_{e2} = \gamma_b \quad (2.17)$$

2. Yer altı seviyesi temel tabanından itibaren B derinliği içerisinde yer alıyorsa;

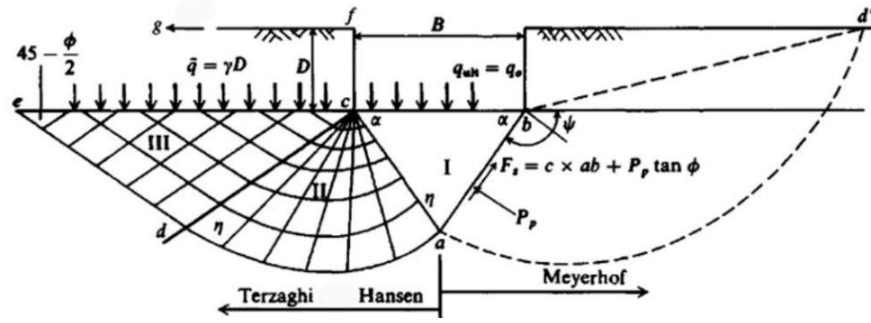
$$\gamma_{e1} = \gamma_m \quad (2.18)$$

$$\gamma_{e2} = \gamma_b + \frac{D_{w2}}{B} \cdot (\gamma_m - \gamma_b) \quad (2.19)$$

### 2.6.2 Meyerhof Taşıma Gücü Eşitliği

Meyerhof (1963), daha öncesinde Terzaghi tarafından geliştirilen taşıma gücü yönteminde kabul edilen göçme mekanizması ile gözlenen zemin hareketlerinin uyum içerisinde olmadığını belirtmiştir. Meyerhof, Terzaghi'nin önerdiği yaklaşım üzerinden çalışmalar yaparak teoriyi daha geniş kapsamlı hale getirmiştir. Meyerhof'un geliştirdiği teorisine göre plastik bölge sınırları temelin geometrik şekline bağlı olarak değişkenlik göstermekte ve plastik denge bölgeleri; temel derinliğinin artmasına bağlı olarak büyümekte ve derin temel durumunda maksimumum değere ulaşmaktadır.

Yüzeysel temeller için Terzaghi tarafından tanımlanan kırılma yüzeyleri Şekil 2.16'da verilmiştir.



Şekil 2.16. Meyerhof taşıma gücü teorisinin kırılma yüzeyleri [65]

Meyerhof,  $abd'$  bölgesi ile  $ad'$  yayı arasında sınırlanmış bölge ile yaptığı denemeler sonucu taşıma gücü katsayılarını elde etmiştir. Tanımlanan bu göçme bölgesi, temel derinliği boyunca kayma direncini de göz önüne almaktadır. Şekilde  $bd'$  eşdeğer serbest yüzey olarak adlandırılmaktadır. Eşdeğer serbest yüzeyin yatayla yaptığı açı  $\beta$  temel derinliğinin artması ile artacaktır.

Meyerhof, Terzaghi'nin önerdiğine benzer bir taşıma gücü eşitliği önermiştir (2.20). Ancak;  $N_c$ ,  $N_q$  ve  $N_\gamma$  taşıma gücü katsayıları, zemini ağırlıksız kabul ederek hesaplanmıştır.

$$q_u = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \quad (2.20)$$

(2.20) eşitliğinde  $N_c$ ,  $N_q$  ve  $N_\gamma$  değerleri taşıma gücü katsayılarını,  $s_c$ ,  $s_q$  ve  $s_\gamma$  ifadeleri şekil faktörlerini,  $d_c$ ,  $d_q$  ve  $d_\gamma$  ifadeleri derinlik faktörlerini ve  $i_c$ ,  $i_q$  ve  $i_\gamma$  ifadeleri ise yük eğiklik faktörünü ifade etmektedir. Şekil faktörleri, derinlik faktörleri ve yük eğiklik faktörlerinin içsel sürtünme açısına bağlı olarak alacağı değerler Tablo 2.4'de belirtilmiştir.

Tablo 2.4. Meyerhof taşıma gücü teorisi şekil, derinlik ve yük eğiklik faktörleri [65]

Faktörler	Formül-Sayısal Değer	İçsel Sürtünme Açısı- $\phi^\circ$
<u>Şekil Faktörü</u>	$s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L} \cdot \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$	Tüm $\phi$ açıları için
	$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1 \cdot \frac{B}{L} \cdot \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$	$\phi \geq 10^\circ$
	$s_q = s_\gamma = 1$	$\phi = 0^\circ$
<u>Derinlik Faktörü</u>	$d_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{D_f}{B} \cdot \tan \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$	Tüm $\phi$ açıları için
	$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \cdot \frac{D_f}{B} \cdot \tan \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$	$\phi \geq 10^\circ$
	$d_q = d_\gamma = 1$	$\phi = 0^\circ$
<u>Yük Eğiklik Faktörü</u>	$i_q = i_c = \left( 1 - \frac{\alpha^\circ}{90} \right)^2$	Tüm $\phi$ açıları için
	$i_\gamma = \left( 1 - \frac{\alpha^\circ}{\phi} \right)^2$	$\phi \geq 0^\circ$
	$i_\gamma = 1$	$\phi = 0^\circ$

### 2.6.3 Hansen Taşıma Gücü Eşitliği

Hansen (1970); taşıma gücünün elde edilmesine yönelik genel bir taşıma gücü eşitliği ile N taşıma gücü katsayılarının hesaplanması için eşitlikler önermiştir. Hansen taşıma gücü teorisini geliştirirken Terzaghi'nin yönteminden yola çıkmıştır. Hansen, Terzaghi'nin taşıma gücü teorisini bazı yenilikler getirmiştir. Bu yenilikler;

1. Yükleme, eksantrik veya eğik ya da hem eksantrik hem de eğik olabilmektedir.

2. Temel daima sınırlı bir L uzunluğuna sahiptir ve temelin şekli dikdörtgen olmayabilir.
3. Temel tabanı ya da yüzeyi eğimli bir yapıya sahip olabilir.

Hansen taşıma gücü teorisi herhangi bir D/B oranı için hesaplama yapmaya imkan verdiğinden hem yüzeysel hem de derin temeller için kullanılabilir. Hansen'in taşıma gücü teorisi için önerdiği eşitlik (2.21)'de verilmiştir.

$$q_u = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma \quad (2.21)$$

(2.21) eşitliğinde Meyerhof taşıma gücü eşitliğinde bulunan şekil, derinlik ve yük eğiklik faktörlerine ek olarak;  $b_c$ ,  $b_q$  ve  $b_\gamma$  ifadeleri temel yüzeyi eğiklik faktörlerini ve  $g_c$ ,  $g_q$  ve  $g_\gamma$  ifadeleri ise zemin eğiklik faktörlerini ifade etmektedir. Hansen taşıma gücü teorisindeki faktörlerin alacağı şekil, derinlik, yük eğiklik, temel yüzeyi eğiklik ve zemin eğiklik faktörleri değerleri Tablo 2.5'de belirtilmiştir.

Milovic ve Muh (1965), yaptığı çalışmada farklı boyutlarda 8 adet temel üzerine yükleme çalışması yapmıştır. Hesaplanan  $q_u$  değerleri ölçülen değerler ile karşılaştırıldığında hiçbir yöntemin diğerine en iyi tahmin anlamında bir üstünlük kuramadığı görülmüştür [66]. Bununla birlikte Terzaghi yönteminin diğer yöntemlere göre basit ve daha anlaşılabilir olması, bu yöntemi diğer yöntemlere nazaran daha popüler kılmaktadır. En az iki yöntem kullanılarak elde edilecek olan  $q_u$  değerlerinin karşılaştırılması iyi bir yaklaşım olacaktır.

Bu tez kapsamında Terzaghi, Meyerhof ve Hansen'in taşıma gücü için önermiş olduğu eşitliklerin her biri kare temeller (6cm\*6cm) için dikkate alınarak hesaplamalar yapılacak ve bu yöntemlerden elde edilmiş olan  $q_u$  değerleri ile yükleme çerçevesinde yapılan model yükleme değerleri kıyaslanarak elde edilen bulgular Sonuç ve Tartışma bölümünde belirtilecektir.



Tablo 2.5. Hansen taşıma gücü teorisi hesap faktörleri [67]

Faktörler	Formül-Sayısal Değer	İçsel Sürtünme Açısı- $\phi^\circ$
<u>Şekil Faktörü</u>	$s_c = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \cdot \left(\frac{N_q}{N_c}\right)$	
	$s_q = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \cdot \tan(\phi)$	
	$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{B}{L}\right)$	
<u>Derinlik Faktörü</u>	$d_c = 1 + 0.4 \cdot \frac{D_f}{B}$	
	$d_q = 1 + 2 \cdot \frac{D_f}{B} \cdot \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2$	
	$d_\gamma = 1$	
<u>Yük Eğiklik Faktörü</u>	$i_c = 0.5 + 0.5 \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{H}{cBL}\right)}$	$\phi = 0^\circ$
	$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$	$\phi > 0^\circ$
	$i_q = \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + c \cdot B \cdot L \cdot \cot \phi}\right)^5$	
	$i_\gamma = \left[1 - \frac{\left(0.7 - \frac{\theta^\circ}{450}\right) \cdot H}{V + c \cdot B \cdot L \cdot \cot \phi}\right]^5$	
<u>Temel Yüzeyi Eğiklik Faktörü</u>	$b_c = 1 - (\theta^\circ / 147)$	
	$b_q = \exp(-0.0349 \cdot \theta^\circ \cdot \tan \phi)$	
	$b_\gamma = \exp(-0.0471 \cdot \theta^\circ \cdot \tan \phi)$	
<u>Yük Eğiklik Faktörü</u>	$g_c = 1 - (\beta^\circ / 147)$	
	$g_q = g_\gamma = (1 - 0.5 \cdot \tan \beta)^5$	

## 3. BÖLÜM

### MATERYAL VE METOD

#### 3.1 Giriş

Bu tez çalışması kapsamında; organik zeminlere oturan yüzeysel temellerin, zemin içerisinde herhangi bir iyileştirme işlemi olmaksızın, zeminde meydana getirdiği deformasyonlar araştırılmaktadır. Bu bölümde; Kayseri Organize Sanayi Bölgesi'nden organik zemin numunelerinin alınması, laboratuvarında endeks deneyleri ile mukavemet deneylerinin yapılması ile araziden tarafımızdan tasarlanmış olan kasa şeklinde alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan yükleme deneyleri hakkında bilgiler verilmiştir.

#### 3.2. Araziden Örselenmemiş Zemin Numunesinin Alınması

Organik zemin üzerinde yapılan yükleme deneyinde Kayseri Organize Sanayi Bölgesinden (K.O.S.B) örselenmemiş organik zemin numunesi alınmıştır. Numune alınan arazi konum olarak Kayseri şehir merkezinin batı kısmında yer alan K.O.S.B' nin kuzey bölümündeki uygun bir noktadan alınmıştır. Arazinin koordinatları 38.750488 N-35.32916 E olarak belirlenmiştir. Arazi ile ilgili detaylı görünüm Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Numune alınan arazinin genel lokasyonu [68]



Şekil 3.2. Numune alınan arazinin detaylı lokasyonu [68]



Şekil 3.3. Numune alınan bölgenin arazi üzerinde detaylı gösterimi

Şekil 3.3' de gösterilen araziden -1.80 m ile -2.80 m kotları arasında 3 adet deney kasasında örselenmemiş numuneler alınmış olup, deney kasalarının boyutları; uzunluk 50 cm , genişlik 50 cm ve derinliği ise 30 cm'dir. Ayrıca endeks deneylerinin gerçekleştirilebilmesi için örselenmiş ve örselenmemiş numune almak amacıyla 1 (bir) adet araştırma çukuru açılmıştır. Araştırma Çukuru (AÇ-1) Şekil 3.4' de belirtilmiştir.



Şekil 3.4. Araştırma Çukuru (AÇ-1) kazı çalışması ve nihai görünümü

Açılan araştırma çukurlarından çıkan zemin numunelerine ait görüntü Şekil 3.5' de gösterilmiştir.





Şekil 3.5. Araştırma Çukurundan (AÇ-1) elde edilen zemin numuneleri

Örselenmemiş zemin numunesinin alınabilmesi için deney kasalarına entegre edilebilen hidrolik bir sistem yaptırılmıştır. Bunun nedeni organik zeminlerin yerinden alınması sırasında örselenmemiş numune alınmasının zor olmasıdır. Organik zemin üzerine yükleme deneyinde kullanılmak üzere ve numune almak için yapılacak olan deney kasaları üst kısmı açık şekilde imal edilmiş; alt tabanı da istendiğinde açılıp kapanabilen bir yapıya sahip olup birleşim elemanları ile rijit ve dayanıklı bir şekilde tayin edilmiştir. Kasalar sert çelik malzemesinden imal edilmiş olup et kalınlıkları 8 mm'dir. İmal edilen deney kasaları alt ve üst yüzeylerinin açılıp kapanmaya müsait olması nedeniyle, üst ve alt yüzeylerinden olmak üzere 2 deney yapılabilme kapasitesine sahiptir. Örselenmemiş numune almayı kolaylaştırmak amacıyla tasarlanmış olan hidrolik sistem; esas olarak deney kasasının zemin yüzeyinin içine gömülen kısmının zemine itilerek alt kapağının kapatılması yöntemi ile çalışması planlanmıştır. (Şekil 3.6)





3 adet deney kasası arazide kullanılabilir duruma getirilmiş, daha sonra bir iş makinesi olan bekolü yükleyicinin kepçesi yardımıyla, kasanın açık olan yüzeyi aşağıya gelecek şekilde, zemin içerisine doğru itilerek zemin içerisine dik bir konumda gömülmesi sağlanmıştır. Kasalar 1.kademenin en uç kısmına yerleştirilmiştir. Bunun nedeni 2.kademe ile arasında bulunan yaklaşık 1.00 metrelik kot farkından faydalanmaktır. Bu kademeler arası kot farkının olduğu yüzeye, deney kasasının alt kapağını kapatmaya yarayan ve karşılıklı iki kızak elemanı sayesinde kapağı kapatan bölümün dış kısmı denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Yerleştirme işleminden sonra deney kasasının üst yüzeyinde yükün kasaya zarar vermemesi için ek levhaya (iki çapraz kaynak yapılmış şerit profilin üzerine kaynak ile imal edilmiş dairesel levha) kepçenin baskı yapması ile deney kasalar zemin içerisine itilmiştir. (Şekil 3.8)



Şekil 3.8. Numune kasalarının organik zemin içerisine gömülmesi işlemi

Deney kasaları tamamen zemin içerisine gömüldükten sonra, alt kızaklı kapak kısmının kepçe yardımıyla itme kuvveti uygulanarak iç yüzeylerde bulunan kanalcıklar içerisinde hareket etmesi ile sistem tamamen kapalı duruma getirilir. Deney kasası yükleyicinin kepçesi tarafından zemine gömüldükten dairesel koruyucu levha üzerinde bulunan deliklere yine kaynaklanarak imal edilmiş iki çelik halka monte edilmiştir. Bu çelik halkaların içinden zincir geçirilmiş ve bu zincir klipsi yardımıyla birleştirilerek istenilen

uzunluk ayarlanmış ve kepçe kancasına takılarak kasalar yerinden kaldırılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Numune kasalarının zemin içerisinden çıkarılması

Zemin içerisinden çıkarılan deney kasaları dış yüzeylerine yapışmış olan organik zeminlerden temizlenmiştir. Kasanın alt ve üst kapaklarında mevcut bulunan vida ve kızak bağlantıları dikkatle kontrol edilmiş ve kasanın herhangi bir noktasında içerisindeki zeminin su kaybetmesini sağlayacak, aynı zamanda hava girişine de izin veren bir süreksizlik ve boşluğa rastlanmamıştır. 3 adet deney kasası sıkı bir şekilde streç film ve naylon örtüler ile kat kat sarılmıştır. İvedilik ile yükleme deneylerinin yapılacağı Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Geoteknik laboratuvarına getirilmiştir (Şekil 3.10).





Şekil 3.10. Numune Kasalarının Örtüler ile Muhafaza Edilmiş Durumu

### 3.3 Deneysel Çalışmalar

#### 3.3.1 Organik Zemin Endeks Deneyleri

K.O.S.B. arazisinde deney kasaları için örselenmemiş numune alma işlemi gerçekleştirilirken aynı zeminden endeks deneylerini gerçekleştirmek içinde torbalar halinde numuneler alınmıştır. Bu numuneler hava almayan iki farklı torba içerisine iç içe yerleştirilerek arazide sahip olduğu su muhtevası koşullarını kaybetmemesi amacıyla dikkatle muhafaza edilerek laboratuvar ortamına getirilmiştir. Bu zemin numuneleri üzerinde su muhtevası, elek analizi, hidrometre, piknometre vb. gibi deneyler gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalar bölümü adı altında endeks deneyleri ve zemin yükleme deneyleri adı altında iki grup deney sistemleri anlatılacaktır.

##### 3.3.1.1 Su Muhtevasının Tayini

Laboratuvar ortamına getirilen numuneler için yapılacak olan su muhtevası deneyi ASTM D2216 standardı baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Gelen numuneler için ilk olarak tartılacak olan kabın darası belirlenir. Bu haliyle tartılan zemin numunesinin ağırlığı yaş numune ağırlığı + dara ağırlığını vermektedir. 24 saat boyunca sıcaklığı 105 °C sıcaklıkta fırında (etüv) kurumaya bırakılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Su muhtevası tayini için etüvde kurutulan numune örnekleri

Bu süre sonunda fırından çıkarılıp soğumaya bırakılan numune soğuduktan sonra tartılarak kuru numune ağırlığı + dara olarak kaydedilmiştir. İki tartma işlemi arasındaki fark su miktarını vermektedir. Bulunan su miktarı; kuru numune ağırlığı + dara ağırlığından, dara ağırlığının çıkarılmasıyla elde edilecek olan kuru numune miktarına bölünüp yüz ile çarpılmasıyla yüzde olarak su muhtevası belirlenmektedir. Su muhtevasının hesaplanmasında kullanılan eşitlik (3.1) ile deney yapılan beş farklı zemin numunesinin su muhtevası deney sonuçları Tablo 3.1’de verilmiştir.

$$\omega = \frac{W_{su}}{W_{kuru}} \quad (3.1)$$

Tablo 3.1. Su muhtevası deneyi sonuçları

Numune Adı		A	B	C	D	E
Kap No.		1	8	9	14	16
Dara Ağırlığı	Gram	91,5	117,7	92,3	81,1	65,6
Islak Numune Ağırlığı + Dara	Gram	272,3	252,6	235,7	277,7	296,7
Kuru Numune Ağırlığı + Dara	Gram	169,0	164,0	157,2	154,3	150,8
Buharlaşan Su Ağırlığı	Gram	103,3	88,6	78,5	123,4	145,9
Kuru Zemin Ağırlığı	Gram	77,5	46,3	64,9	73,2	85,2
Su Muhtevası (%)	%	133,3	191,4	121,0	168,6	171,2

5 farklı deney numunesi üzerinde yapılan su muhtevası deneyi sonuçları irdelendiğinde değerlerin yaklaşık olarak %120-%190 aralığında olduğu görülmüştür. 5 deney numunesi dikkate alındığında **ortalama su muhtevası değeri %157,1** olarak bulunmuştur.

### **3.3.1.2 Dane Çapı Dağılımının Belirlenmesi**

Organik zemininin dane çapı dağılımının belirlenmesi amacıyla laboratuvarında elek analizi, hidrometre ve kıvam limit deneyleri yapılmıştır. Daha optimum bir sonuç almak amacıyla bu 3 deney için aynı yerden alınan iki farklı numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Genel olarak zeminler ince ve kaba daneli zeminler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Kaba daneli zeminler çakıl ve kum, ince daneli zeminler ise kil ve siltlerden oluşmaktadır. Kaba daneli zeminlerin yüzdece miktarları elek analizi deneyi, ince daneli zeminlerin yüzdece miktarları ise hidrometre deneyi ile tespit edilmiştir. Elek analizinden kaba daneli zeminler için alınan sonuçlar ile hidrometre deneyinden alınan ince dane dağılımları son olarak granülometri eğrisinde gösterilerek organik zemin dane çapı dağılımı belirlenmiştir.

#### **3.3.1.2.1 Elek Analizi Deneyi**

Alınan numuneler laboratuvara getirildiğinde tartılarak ilk ağırlıkları hesaplanmıştır. Elek analizi için ASTM D-421 standardında belirtilen ve dane çapına bağlı olarak alınacak olan minimum numune ağırlıkları göz önünde bulundurulmuştur [69]. Organik zeminin ince dane oranının yüksek olduğu ve yıkama sonrasında elek üstünde kalan malzeme oranının yüzdece çok düşük olması tahmin edildiğinden minimum numune ağırlıklarından daha fazla olacak şekilde ilk numune ağırlıkları alınmıştır.

Laboratuvara getirilen zemin numuneleri öncelikle No.200 eleğinden (0.075 mm çaplı elek) yıkanmaktadır. Yıkama işlemi el ayasıyla eleğe zarar vermeyecek şekilde elekten akan su berraklaşınca kadar devam etmektedir. No.200 eleğinin üzerinde kalan kısım kurutulma işleminden sonra elek analizi deneyinde kullanılmaktadır. İnce daneli zeminlerin yüzde olarak dağılımını saptamak istediğimiz için yıkama işlemi sırasında

elek altına tepsi koyularak No.200 eleğinin altına geçen ince daneli zeminler tepside toplanmıştır.

Yıkama sonucunda elek üzerinde kalan az miktardaki kaba daneli zemin 24 saat boyunca sıcaklığı 105 °C olan etüvde kurutulmaya bırakılmıştır. 24 saat sonra organik zemin numunesi tartılarak yıkamadan sonraki ağırlığı tespit edilmiştir. İlk ağırlık ile yıkamadan sonraki ağırlık arasındaki fark yıkama esnasında kaybı yani No.200 eleğinin altına geçen ince dane miktarını bize vermektedir. Elekler en geniş elek aralığına sahip elek en üstte, en dar elek aralığına sahip elek en altta olacak şekilde üst üste sıralanır. Elek analizinde kullanılan eleklerin delik çapları sırasıyla Tablo 3.2 de verilmiştir.

Tablo 3.2. Elek analizinde kullanılan elekler ve elek aralıkları

<b>Elek No.</b>	<b>Aralık (mm)</b>	<b>Elek No.</b>	<b>Aralık (mm)</b>
3 inç	76,20	10	2,000
2 inç	50,80	40	0,425
1 inç	25,40	50	0,297
3/4 inç	19,05	80	0,177
3/8 inç	9,520	100	0,149
4	4,760	200	0,075

Sıralanmış elek sisteminin içerisine No.200 eleğinin üstünde kalan numune dökülür. Shaker adı verilen sarsma cihazı ile yaklaşık olarak 5 dakika bir sarsma işlemine tabi tutulur. Bu sarsma işlemi, elek sisteminin üzerinden dökülen numunenin sarsılarak daha alt eleklerle geçmesine yardımcı olmaktadır. Sarsma işlemi sona erdikten sonra elek sisteminde bulunan her bir elek üzerindeki numune miktarı tartılır ve deney föylerine işlenerek yüzde geçenler tespit edilir. Her iki numune içinde bu işlemler gerçekleştirildikten sonra granülometri eğrisinin 0.075 mm dane çapına kadar olan kısmı oluşturulmuş olmaktadır. Elek analizleri sonucunda her iki numune içinde ortaya çıkan sonuçlar Tablo 3.3 de ifade edilmiştir.

Tablo 3.3. Organik zemin numuneleri için elek analizi sonuçları

Numune No.	Yıkama Öncesi Ağırlık	Kaba Dane Ağırlığı	İnce Dane Ağırlığı	Kaba Dane Oranı	İnce Dane Oranı
	Gram	Gram	Gram	%	%
Numune-A	534,00	17,70	516,30	3,31	96,69
Numune-B	524,00	7,50	516,50	1,43	98,57

Numune-A ve Numune-B incelendiğinde kaba dane oranlarının çok düşük olduğu görülmektedir. Genel olarak da organik zeminlerin sahip olduğu kaba dane oranı ince dane oranına kıyasla çok düşük olduğu için bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda granülometri eğrisini oluşturan temel faktör hidrometre deneyi sonuçlarından ortaya çıkan ince dane dağılımlarıdır. Yüzde olarak çok düşük kaba dane oranına sahip olan organik zemin için oluşturulan granülometri eğrisi arzu edildiği takdirde yalnızca hidrometre deney sonuçlarına göre de tayin edilebilir.

### 3.3.1.2.2 Hidrometre Deneyi

Hidrometre deneyi içinde civa bulunan bir hidrometre yardımıyla zamana bağlı okumaların alındığı ve birçok kabulün yapıldığı bir deneydir. Okumaların alındığı zamanlar; 15'', 30'', 1', 2', 4', 8', 15', 30', 1<sup>h</sup>, 2<sup>h</sup>, 4<sup>h</sup>, 8<sup>h</sup>, 24<sup>h</sup>'dir. Bu zamanlarda alınan okumalar hidrometre okuması olarak kayıt altına alınmaktadır. Herhangi bir sebepten dolayı bu zaman dilimleri dışında okuma alınacak ise okuma alınan süre kayıt edilmelidir.

Kullanılacak olan hidrometre üzerinde iki farklı tür okuma sistemine sahiptir. Bunlar 151H tipi hidrometre ve 152H tipi hidrometredir. Bu hidrometre üzerinde okunan değerler bize deney sırasında fikir edinme olanağı verir. Hidrometre üzerinde okunan değerler zamana bağlı olarak hızlı bir düşüş gösteriyorsa silt oranının fazla olduğu, zamana bağlı yavaş düşüş gösteriyor ise kil oranının fazla olduğu gibi yorumlar yapmamıza olanak vermektedir.

Hidrometre deneyinde prensip olarak Stokes yasasına dayanan bir deney yöntemi mevcuttur. Bu deneyde birden çok varsayım vardır. Başlıca varsayımlar;

- Zemin daneleri küresel bir yapıya sahiptir.
- Danelerin aşağı yönlü olan hareketi doğrusal bir harekettir.

Bu varsayımlar tam anlamıyla doğru varsayımlar değildir. Zemin daneleri yalnızca küresel yapıya sahip olmamakta, örneğin kil mineralleri yassı ve plaksı bir yapıda bulunmaktadır. Aynı zamanda daneler yerçekimi yönünde hareketleri esnasında doğrusal bir yol izlememektedir. Hidrometrenin en alt kısmında yer alan civalı bölüm eğrisel bir yüzeye sahip olup kil ve silt mineralleri bu yüzey boyunca eğrisel bir yol izlemektedir. Varsayımların yanı sıra hidrometre deneyinde çeşitli düzeltmeler mevcuttur. Bu düzeltmeler, menisküs düzeltmesi ( $C_m$ ), sıcaklık düzeltmesi ( $C_t$ ), ayrıştırıcı düzeltmesi ( $C_a$ ) olarak 3 adet düzeltmeden meydana gelir.

Bu tez çalışması kapsamında organik zeminlerin granülometri eğrisinin oluşturulmasında hidrometre deneyinden elde edilen ince dane oranı dağılımının önemli bir yere sahip olduğu belirtilmiş idi. Hidrometre deneyi yapılacağı için No.200 eleğinde yapılan yıkama işlemi esnasında elek altına yeterli derinliğe sahip bir tepsisi konularak elekten geçen ince daneli zeminler toplanmıştır. Bu tepsisi içerisindeki numune 24 saat boyunca sıcaklığı 105 °C olan etüvde kurutulmaya bırakılmıştır. Etüv kurusu haline gelen ince daneli zeminden 50 gramlık bir numune örneği hidrometre deneyi için ayrılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Hidrometre deneyi numunesi ve hidrometre mezürleri

Numune-A ve Numune-B için her biri 50 gram olan iki adet No.200 elek altına geçen etüv kuru su ince daneli zemin örneği alındıktan sonra her iki numune örneği de sodyum hegzametafosfat ((NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>) adıyla bilinen çözelti içerisinde 24 saat beklemeye bırakılmıştır. Bu çözelti 50 gramlık iki numune örneğinin tamamı çözelti içinde kalacak şekilde kaplara ilave edilmiştir. Bu çözelti içerisinde numuneleri bekletmenin nedeni, çözeltinin içinde birbirine yapışık vaziyette bulunan kil ve silt danelerinin ayrışmasını kolaylaştırmasıdır. Bu çözelti 1 litre saf suyun içerisine 40 gram (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> katılıp karıştırılarak hazırlanmaktadır.

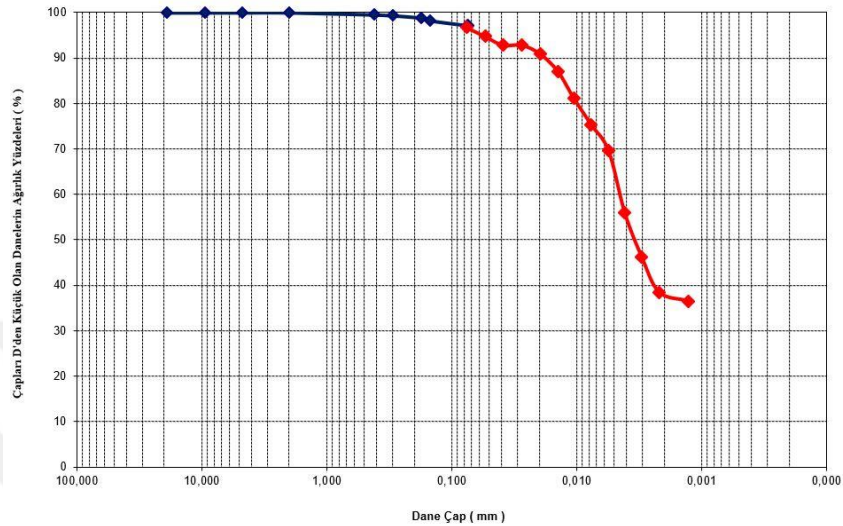
24 saat boyunca çözelti içinde bekleyen numuneler bir mikser yardımıyla karıştırılarak, içerisinde yaklaşık 100 mL. lik saf su bulunan ve üzeri derecelenmiş mezür içerisine dökülür. Daha sonra bu mezür üzerine 1000 mL. oluncaya kadar saf su ilave edilir. Saf su ilavesi yapılan mezür iki avuç arasına alınıp ağzı sıkı bir şekilde kapatılarak çalkalanır. Deney sırasında içerisinde 1000 mL. kadar dolu olan ince daneli süspansiyon ve saf su bulunan iki adet mezür bulunur. Çalkalama işlemi bittikten sonra elimizdeki süspansiyon içeren mezür düz ve pürüzsüz bir yüzeye konulduğu anda kronometre çalıştırılır. Hidrometre üzerinde zamana bağlı okumalar alınır ve kaydedilir. İlk 2 dakika içinde hidrometre okuması alınan sürelerin birbirine yakınlığı nedeniyle hidrometre içerisinde süspansiyon bulunan mezürün içerisinden çıkarılmaz. 2 dakika sonrasında hidrometre okumasının (Rh<sub>1</sub>) alınmasının ardından çıkarılarak saf suyun bulunduğu mezürün içine batırılır. Bu mezürün içerisinde hidrometre düşey eksenini etrafında döndürülerek üzerine yapışmış olan kil ve silt minerallerinden arındırılır. Devamında gelecek olan okuma zamanından yaklaşık olarak 30 saniye önce saf suyun olduğu mezürden çıkarılarak diğer mezüre bırakılır. Burada önemli olan husus hidrometrenin bir önceki okuma değerine getirilerek mezür içerisinde serbest bırakılmasıdır. Hidrometre deneyi sonucunda her iki numune içinde kil ve silt yüzdeleri Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4. Hidrometre deney sonuçlarına göre ince danelerin dağılım yüzdeleri

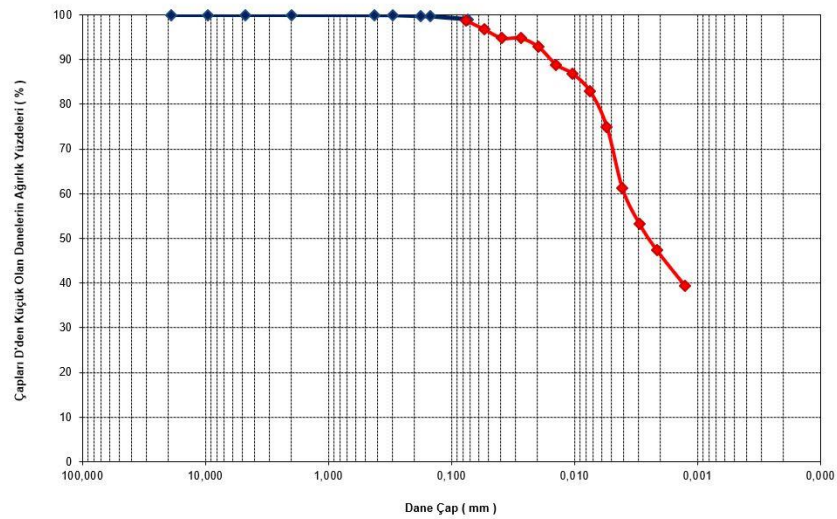
Numune No.	Kil Oranı	Silt Oranı	Toplam İnce Dane Oranı
	%	%	%
Numune-A	38,50	58,19	96,69
Numune-B	47,80	50,77	98,57



24 saatlik okumanın ardından her iki numune içinde oluşan granülometri eğrisi Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.13. Numune-A için granülometri eğrisi



Şekil 3.14. Numune-B için granülometri eğrisi

### 3.3.1.3 Kıvam Limitlerinin Belirlenmesi

Organik zeminler için kıvam limitleri ASTM 2487-17 standardı dikkate alınarak belirlenmiştir [70]. Kıvam limitlerinin saptanması organik zemin numunesinin



sınıflandırılması açısından önem arz etmektedir. Aynı elek analizi ve su muhtevası deneylerinde olduğu gibi bu deneyde de Numune-A ve Numune-B olmak üzere iki farklı tipte organik zemin numunesi deneye tabi tutulmuştur.

K.O.S.B arazisinden alınmış olan iki farklı organik zemin numunesi laboratuvarında etüvde 105°C'de 24 saat kurutulmuştur. Daha sonra bu numuneler No.40 eleğinden (0,425 mm elek genişliği) elenerek her biri 200 gram olan numuneler hazırlanmıştır.

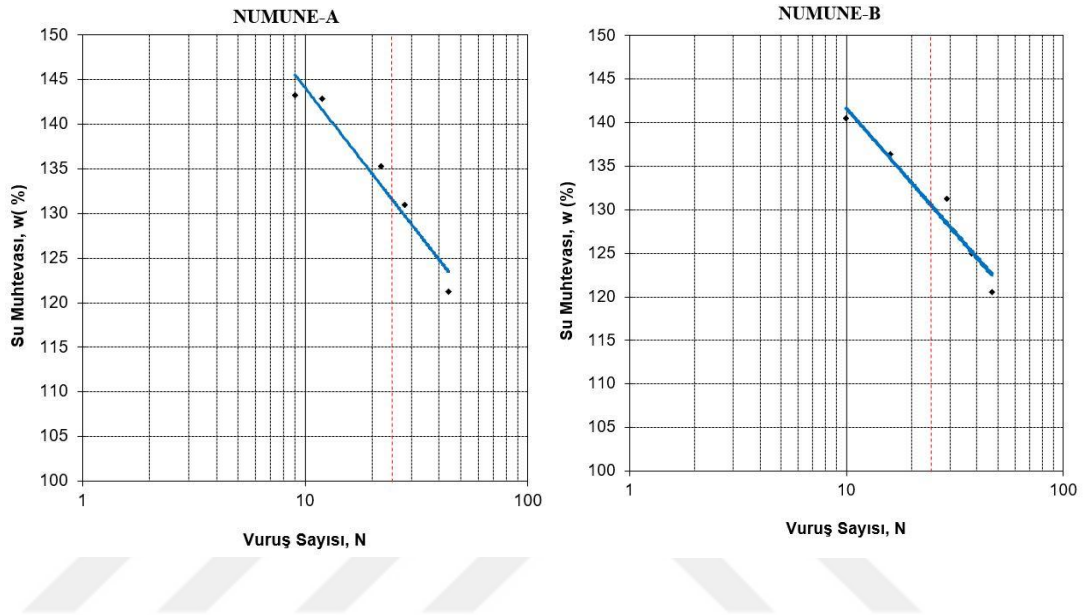
Kıvam limitlerinden biri olan likit limit deneyi, Casagrande adı verilen bir deney aleti vasıtasıyla gerçekleştirilir. Bu deney aleti pirinç bir deney kabına, kauçuk bir tabana ve Casagrande kaşığına sahiptir. Bu kaşığın aynı zamanda arka kısmında kalibrasyona yardımcı olan 1 cm. kalınlığında bir topuzu mevcuttur.

Bu deney için öncelikle etüv kurusu halinde bulunan deney numunesine bir miktar su eklenir. Porselen kabın içine konulan deney numunesi eklenen su ile karıştırılmış ve bir harç elde edilmiştir. Bu harç organik zemin-su karışımından oluşmaktadır. Oluşturulan harç, spatula yardımıyla Casagrande deney aletinin pirinç kabına yerleştirilir. Casagrande kaşığı ile pirinç kabın tam orta ekseninde bulunan menteşenin bulunduğu hat boyunca aşağıya doğru çekilerek numune şev benzeri yanal yüzeylere sahip olan iki parçaya bölünmüş olur.

Casagrande deney aletinin kolu saniyede 2 devir çevrilmiş, pirinç kap 1 cm yükseklikten serbest düşmeye bırakılmış ve iki yanda kalan numunenin 13 mm bir hat boyunca birbirine değinceye kadar çevirme işlemi devam ettirilmiştir. 13 mm hattın kapandığı vuruş sayısı kaydedilerek pirinç kaptaki numuneden yaklaşık 20 gram alınmış ve etüvde 105°C de kurutulmaya bırakılmıştır. 24 saat sonunda su muhtevası hesaplanarak bu deneydeki vuruş sayısına karşılık gelen bir su muhtevası değeri saptanmıştır. Aynı deney sıralama adımları su miktarı arttırılarak tekrarlanmış ve her bir vuruş sayısına bağlı olarak su muhtevası hesaplanarak verilere işlenmiştir.

Likit limit deneyi Numune-A ve Numune-B için su miktarı arttırılarak beşer defa yapılmıştır. Her iki organik zemin numunesi için de vuruş sayılarına karşılık gelen su muhtevaları hesaplanmış, x-ekseninde logaritmik ölçekli olarak vuruş sayısı, y-ekseninde ise % su muhtevası değerleri olan grafik üzerine işlenerek bu noktalara en

çok uyan bir doğru çizilmiştir. Bu doğru üzerinde 25 vuruşa tekabül eden nokta tespit edilmiş ve o noktanın y-eksenini kestiği noktadaki su muhtevası değeri likit limit (LL) değeri olarak tespit edilmiştir. Likit limit değeri; Numune-A için %132, Numune-B için ise %131 olarak tespit edilmiştir. (Şekil 3.15)



Şekil 3.15. Numune-A ve Numune-B için likit limit grafikleri

Plastik limitin saptanması ASTM 2487-17 dikkate alınarak No.40 eleğinden 20 gramlık etüv kurusu organik zemin numunesi alınmıştır. Alınan zemin numunesi porselen bir kaba yerleştirilmiş ve üzerine bir miktar su eklenerek homojen hale gelinceye kadar karıştırılmıştır. Harç haline getirilen numunedan alınan ufak parçalar filtre kağıdının üstünde el ayası yardımıyla gezdirilerek su kaybetmesi sağlanmıştır. Yuvarlanan numune parçaları üzerinde kılcal çatlaklar oluşana ve vurulduğunda gevrek bir şekilde kırılana kadar bu işlem devam etmiştir. Kırılan parçalar, darası önceden tespit edilmiş numune kaplarda önce tartılıp sonra da etüvde kurutularak su muhtevası hesaplanmıştır. Bu hesaplanan su muhtevası değeri ile plastik limit değeri (PL) belirlenmiştir. Bu deney sonucunda plastik likit limit değeri; Numune-A için %94, Numune-B için ise %96 olarak tespit edilmiştir.

Gerçekleştirilmiş olan kıvam limitleri deneyi sonuçları her iki numune için Tablo 3.5 de belirtilmiştir.

Tablo 3.5. Kıvam limitleri deney sonuçları

Numune Adı	Kıvam Limitleri Parametreleri			Zemin Sınıfı
	Likit Limit	Plastik Limit	Plastisite İndisi	
	<i>LL</i>	<i>PL</i>	<i>PI</i>	
	%	%	%	
<b>Numune-A</b>	132,0	94,0	38,0	OH
<b>Numune-B</b>	131,0	96,0	35,0	OH

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde organik zeminler üzerinde likit limit ve plastik limit değerinin Casagrande deneyi ile bulunmasının hatalara yol açabileceği ifade edilmektedir [71].

### 3.3.1.4 Özgül Ağırlığın Belirlenmesi

Organik zeminin özgül ağırlığının belirlenmesi amacıyla bu tez çalışması kapsamında piknometre deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deney yapılırken ASTM D854 standardı dikkate alınarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Buna göre ilk olarak 500 mL lik piknometre haznesi için önerilmiş olan 50 gram No.4 eleğinden elenmiş olan etüv kurusu numune ( $W_1$ ) deney için hazırlanmıştır. Piknometre haznesi saf su ile doldurulur ve ağırlığı tartılır. Bu ağırlık  $W_2$  ağırlığını vermektedir.  $W_2$  ağırlığı tartıldıktan sonra içinde bulunan suyun bir kısmı pipet yardımıyla boşaltılarak zemin numunesi piknometre kabına eklenmiştir. Piknometre kabının içerisinde bulunan zemin numunesinden piknometre kabının ağız kısmından kompresör ile hava çekilmiştir. Bu işlem organik zemin daneleri arasında hapsolmuş konumda bulunan havanın dışarıya tahliye edilmesidir. Yaklaşık olarak 15 dakika boyunca süren bu işlem sonunda, havası alınmış içi organik zemin-su ile dolu olan piknometre kabının ağırlığı ( $W_3$ ) tartılmıştır. (3.2) de verilen eşitlik yardımıyla özgül ağırlık belirlenmiştir.

$$\gamma_s = \frac{W_1}{W_1 + W_2 + W_3} \quad (3.2)$$

Numune-A ve Numune-B için yapılmış olan piknometre deney sonuçları Tablo 3.6 da gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Piknometre deneyi sonuçları

Numune Adı	Kuru Zemin Ağırlığı	Su+Piknometre Ağırlığı	Su+Piknometre-Zemin Ağırlığı	$\gamma_s$
	$W_1$	$W_2$	$W_3$	
	<i>gram</i>	<i>gram</i>	<i>gram</i>	<i>gr/cm<sup>3</sup></i>
Numune-A	50,00	625,00	646,50	<b>1,75</b>
Numune-B	50,00	625,00	645,00	<b>1,67</b>

### 3.3.1.5 Organik Madde Tayini

K.O.S.B' den temin edilip laboratuvara getirilen zemin numunelerinin organik madde miktarı ASTM D2974 standardına göre belirlenmiştir. Isıya dayanıklı çelik kap içerisine yerleştirilen numuneler fırında 440°C'de 24 saat bekletilmiştir (Şekil 3.15). Numunede oluşan kayıp organik madde miktarı olarak alınmış ve organik madde içeriği hesaplanmıştır. Bu yöntem uygulandıktan sonra tespit edilen **organik madde miktarı %26,60' dır.**



Şekil 3.16. Organik madde Tayini için Kullanılan Kül Fırını

### 3.3.1.6 Serbest Basınç Deneyi

Serbest basınç deneyinde silindirik bir numune çevresel bir gerilme ( $\sigma_3$ ) söz konusu olmaksızın sadece düşey doğrultuda aksenal bir gerilmeye ( $\sigma_1$ ) maruz bırakılmaktadır. Aksenal yük artışı altında silindirik zemin numunesinin aksenal şekil değişimi gözlemlenmektedir. Aksenal gerilmenin maksimum değeri serbest basınç mukavemeti değerini vermektedir.

Eksenal yükleme sırasında kayma düzleminin alt ve üst yüzeyler ile kesişmemesi için  $h/d$  (yüksekliğin çapa oranı) 2 ve 2'den büyük bir değer almalıdır. Bu deneyi uygulayabilmek için zemin öncelikle herhangi bir yanal kuvvetin desteği olmaksızın kendini ayakta tutabilmelidir. Bu yüzden kohezyona sahip olmayan zeminlerde bu deneyi yapmak mümkün değildir. Deney esnasında drenaj koşullarının kontrolü sağlanmadığı için hızlı yükleme yapılarak zeminin drenajsız kayma mukavemetinin elde edildiği kabul edilmektedir. Drenajsız kayma mukavemetini veren eşitlik (3.3) de belirtilmiştir.

$$\sigma = \frac{P_f}{A_f} \quad (3.3)$$

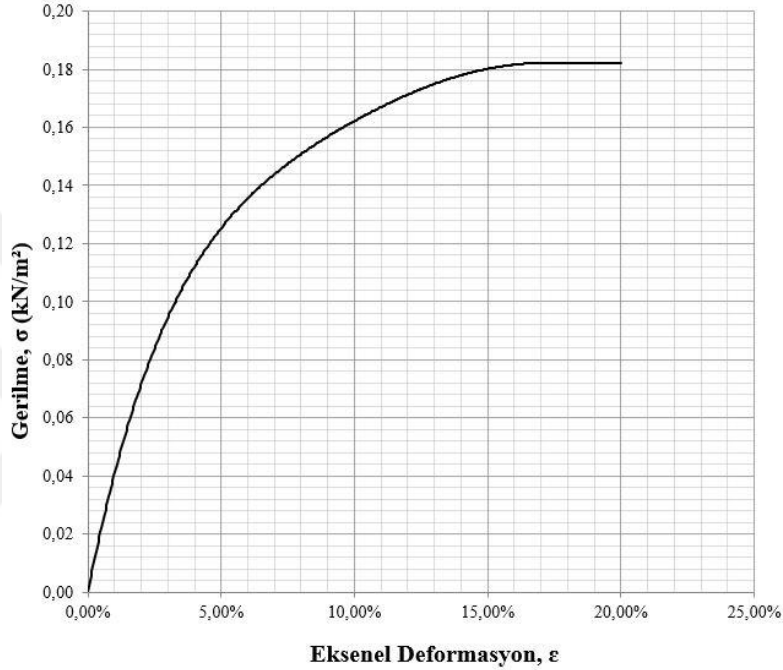
(3.3) deki eşitlikte  $A_f$  ifadesi düzeltilmiş alanı,  $P_f$  ise kırılma anındaki yük değerini ifade etmektedir.  $A_f$  bulabilmek için ilk olarak numunenin yaptığı toplam düşey deformasyonun ilk boyuna oranı olan  $\varepsilon$  değerinin tespit edilmesi gerekir (3.4).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.4)$$

Bulunan  $\varepsilon$  ifadesine bağlı olarak düzeltilmiş alan değeri tespit edilir (3.5).

$$A_f = \frac{A_0}{1 - \varepsilon} = \frac{\frac{\pi}{4} \times D^2}{1 - \varepsilon} \quad (3.5)$$

Uygulanan yükün neticesinde oluşan gerilme-deformasyon eğrisi çizilir. Çizilen grafikte gerilme değerinin pik noktası belirlenir. Bu pik nokta zemin numunesinin serbest basınç değerini vermektedir. Bazı numunelerde grafik monoton artan veya doğrusallaşma eğilimi halinde devam edebilmektedir. Bu durumlarda %15 deformasyona karşılık gelen gerilme değeri serbest basınç mukavemeti olarak kabul edilmektedir. Numuneye ait olan serbest basınç deneyi grafiği Şekil 3.17’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Serbest basınç deney grafiği

Eksenel yüklemeden önce zemini konsolide etmek ve eksenel yükleme sırasında oluşan boşluk suyu basınçlarını ölçmek mümkün olmamaktadır. Bu kısıtlayıcı yönlerine karşın, serbest basınç deneyi killerin drenajsız kayma mukavemetini belirlemede yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemi olmaktadır. Serbest basınç deneyi grafiği incelediğinde zeminin serbest basınç mukavemeti değeri  $q_u = 0,1808 \text{ kg/cm}^2 = 17,73 \text{ kN/m}^2$  olarak tespit edilmektedir.

$\sigma_3$  etkisi altında olmayan bu deneyde kohezyon değeri, drenajsız serbest basınç mukavemeti olan  $q_u$  değerinin yarısına eşit olmaktadır [72] (3.6).

$$\tau_f = c_u = \frac{q_u}{2} \quad (3.6)$$

Bu veriler ışığında kohezyon değeri  $c_u = 8,87 \text{ kN/m}^2$  olmaktadır.

### 3.3.1.7 Konsolidasyon Deneyi

Turbaların ve organik zeminlerin yük altında konsolidasyonu son derece karmaşık bir süreç olarak kabul edilmiştir. Bu zemin türlerinin bulunduğu arazilerde yapı inşa edecek mühendisin karşı karşıya kalacağı esas sorun konsolidasyonların miktarının belirlenmesi ve buna bağlı oluşacak etkilerin azaltılması veya yok edilmesi olacaktır [73].

Turbalık zeminlerde oturmalar, sürsarj yüklerinin etkisiyle veya yeraltı su seviyesinin alçaldığı durumlarda meydana gelmektedir. Kum zeminler ile kıyaslandığında turbalar daha yüksek oturmalar yapmaktadırlar. Bu durum dikkate alındığında turbaların geoteknik karakterleri, turba tabakasının kalınlığı, zemine etkiyen efektif gerilme ve turbanın tarih boyunca maruz kaldığı en yüksek gerilme değerine bağlıdır. Oturmalar doğrusal oranla olmasa da yük artışı ile birlikte büyük oranda artar [74].

Turba ve organik zeminlerin konsolidasyon miktarı diğer zeminlere kıyasla çok daha yüksek mertebededir [75].

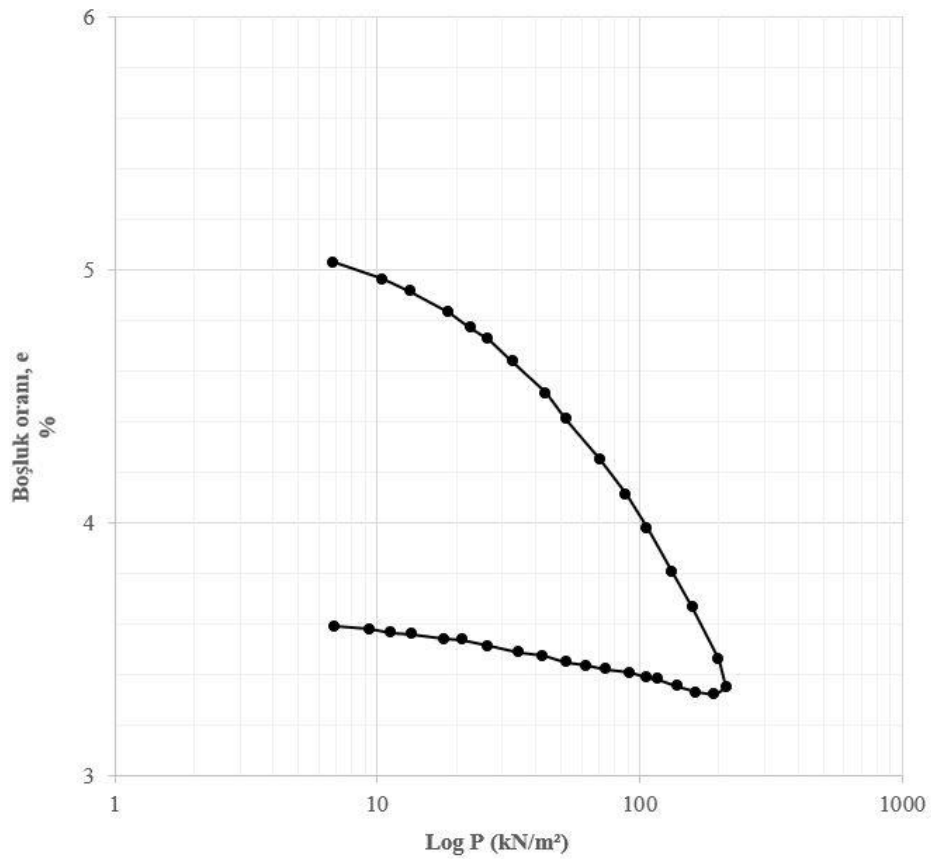
Kayseri Organize Sanayi Bölgesi (K.O.S.B) organik zemin numuneleri üzerinde gerilme artışının etkisiyle zamana bağlı olarak oluşan oturmaların tespiti için konsolidasyon deneyi gerçekleştirilmiştir.

Araziden örselenmemiş halde Numune-A ve Numune-B numuneleri için örnekler alınmıştır. Bu deney esnasında çapı 5 cm, yüksekliği 2 cm olan paslanmaz çelik ringler kullanılmıştır. Bu ringlerin bir ucu keskin yüzeye sahip olmakla birlikte bu yüzey zemine itilerek örselenmemiş numune alınmasını kolaylaştırmaktadır. Zemin içerisine itilen ringler etrafı kazılarak gömüldüğü yerden çıkarılmış ve bir bıçak veya spatula yardımıyla alt ve üst yüzeyi tıraşlanıp düzlenerek deneye hazır hale getirilmiştir. Arazide sahip olduğu koşulları saklamak amacıyla alınan ring numuneler sıkı bir biçimde streç film ile sarılmış ve ağzı kapalı paketler oluşturularak laboratuvara getirilmiştir.

Deneye hazır hale getirilen ringler konsolidasyon (ödometre) hücresine yerleştirilmiştir. Konsolidasyon hücresine, deney esnasında ringde bulunan numunenin iki yönlü drenajına imkân verecek şekilde alt ve üst poroz taşları yerleştirilmektedir.

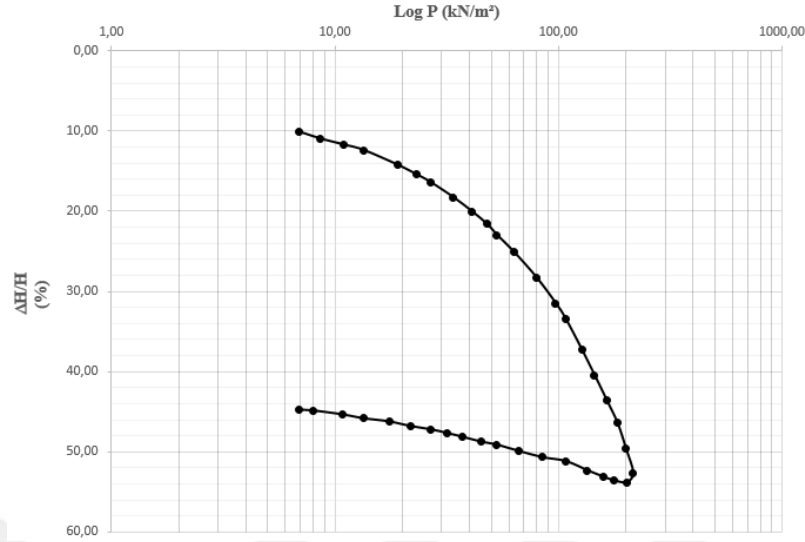
Konsolidasyon aletinin farklı 3 farklı yükleme noktası bulunan dengelenmiş bir yükleme kolu mevcuttur. Bu noktalardan birine asılacak olan yük, yükleme noktasının konsolidasyon hücresine uzaklığıyla orantılı olarak 9, 10 ve 11 katı olarak yük hücresine aktarılmaktadır [76].

Bu deney yükleme ve boşaltma evreleri olarak genel anlamda 2 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada ring içerisinde bulunan organik zemin numunesi üzerine yükleme yapılmaktadır. Bu yükleme farklı kademeler halinde artırılarak devam etmekte ve oluşan deformasyon değerleri çeşitli hassasiyet değerlerine sahip okuma saatleri ile kayıt altına alınmaktadır. İkinci deney aşamasında ise yükleme işlemi bittikten sonra zemin numunesi üzerine yapılan yüklemeler aynı kademeler ile boşaltılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilmiş olan konsolidasyon deneyi sonucunda elde edilmiş olan e-Log P (boşluk oranı-Yük) ve  $\Delta H/H$ -Log P (Hacimsel şekil değişimi-Yük) grafikleri Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de belirtilmiştir.



Şekil 3.18. e-Log P grafiği



Şekil 3.19.  $\Delta H/H$ -Log P grafiği

Organik zeminlere ilişkin endeks deneylerinin tamamı Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Geoteknik laboratuvarında yapılmıştır. 3.bölümde anlatılmış olan endeks deneylerinin sonuçları ve organik zeminin sınıfına ilişkin bilgiler ve değerler Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Organik Zemin Numunesinin Özellikleri

Geoteknik Parametreler			Deney Sonuçları	
Parametre Adı	Simge	Birim	Değerler	Değer Aralıkları
Kaba Dane Oranı	<i>C.C</i>	%	-	1,43-3,31
İnce Dane Oranı	<i>F.C</i>	%	-	96,69-98,57
Kil Oranı	<i>CL</i>	%	-	38,50-47,80
Silt Oranı	<i>M</i>	%	-	50,77-58,19
Su Muhtevası	$\omega$	%	-	121,0-191,4
Likit Limit	<i>LL</i>	%	-	131,0-132,0
Plastik limit	<i>PL</i>	%	-	94,0-96,0
Plastisite İndeksi	<i>PI</i>	%	-	35,0-38,0
Özgül Ağırlık	$\gamma_s$	<i>ton/m<sup>3</sup></i>	-	1,67-1,75
Kuru Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_k$	<i>ton/m<sup>3</sup></i>	0,42	-
Islak Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_d$	<i>ton/m<sup>3</sup></i>	1,17	-
Doğal Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_n$	<i>ton/m<sup>3</sup></i>	1,09	-
Boşluk Oranı	<i>e</i>	-	3,07	-
Porozite	<i>n</i>	-	0,75	-
Organik Madde Miktarı	<i>OC</i>	%	26,60	-
Kül Miktarı	<i>AC</i>	%	73,40	-
Van Post Sınıflandırma Sistemine Göre Sınıfı			H3-H4	
			Hemik	
USCS Sınıflandırma Sistemine Göre Sınıfı			OH	

## 4.BÖLÜM

### MODEL YÜKLEME DENEYLERİ VE TAŞIMA GÜCÜNÜN BELİRLENMESİ

#### 4.1 Giriş

Tez çalışması kapsamında araziden örselenmemiş olarak alınmış olan organik zemin numuneleri üzerinde yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarda bulunan yükleme çerçevesi Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Yükleme çerçevesi

Her bir deney kasanın boyutları 50cm\*50cm\*30cm'dir. Bununla birlikte kasaların sahip olduğu 8 mm' lik et kalınlıkları dikkate alındığında her bir kasanın boş ağırlığı 80-100 kg aralığında gelmektedir. Bu değerler, deneyi gerçekleştirebilmek amacıyla kasaların yerleştirilmesi ve yer değiştirilmesinin insan gücü ile çok mümkün kılmamaktadır. Bu nedenle 2000 kilograma kadar taşıma kapasitesine sahip olan mobil vinç kullanılmıştır. Vinç sisteminin sonunda yer alan kancaya metal bir klips elemanı ile kilitlenebilen zincir monte edilmiştir. Kasa üst yüzeyinde bulunan kapağın üzerine hem temeli zemine gömme esnasında koruyabilmesi hem de bu zincir ile kasanın taşınmasını sağlayabilmesi amacıyla 2 adet özel halka sistemi kaynakla imal ettirilmiştir. Bu halka ikilisi taşınma işlemi bittikten sonra kolayca yerinden çıkarılarak ihtiyaç olduğunda kullanılacak şekilde rijit bir biçimde üretimi yapılmıştır. Deney kasalarının yükleme çerçevesi içerisinde iki adet kutu profil üzerine yerleştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu kutu profillerin yükleme esnasında hem dolu kasanın ağırlığını taşıyabilecek kapasitede olması hem de yeterli rijitliğe sahip olarak seçilmesine özen gösterilmiştir. Deney kasalarının deney yapılacak olan yükleme çerçevesine yerleştirilmesi ve deney kasanın kutu profiller üzerinde yerinin ayarlanması Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Deney kasalarının kutu profiller ile yerlerinin tespiti



Şekil 4.3. Deney kasalarının yükleme çerçevesine yerleştirilmesi

#### 4.2 Yükleme Deneyleri

Modellemeler genellikle bir projenin tasarım aşamasında saha koşullarının tanımlanmasında önemli bir rol oynar [77]. Deney modellemesi, yapısal bir tasarımın davranışını veya yapı altındaki zeminlerin davranışını tespit edebilmek amacıyla iyi bir alternatif uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır. Arazi koşullarındaki gerçek boyutlar küçültülebildiğinden yararlı bir yöntemdir [78].

Fiziksel modelleme deneyleri, organik zeminin yapısal etkileşimini incelemek için ilgi çekici bir alternatif olarak kabul edilir. Bu fiziksel model deneylerinin amacı, üzerine yük uygulandığında deformasyonu hakkında temel bir yaklaşım edinebilmektir. Fiziksel model deneyleri, temel yapısının modelleme sürecini ve model deney sistemi üzerinde uygulanan yükleme vb. gibi deneysel analiz tekniklerini içerir [79].

Yumuşak zeminler üzerine inşa edilen yüzeysel temellerin yük taşıma kapasiteleri üzerinde laboratuvar deneyleri sonucunda yük-oturma eğrileri çizilerek, yüzeysel

temellerin taşıma gücü ve oturma davranışları incelenmiştir. Bu modellemeler sonucunda karşılaştırma yapıldığında, ölçek etkisinin bulunmadığı görülmüştür [80].

Deney kasalarının yerleştirilmesinin ardından kasaların dışında sarılmış olan koruyucu örtüler kaldırılmış, kasa üst kapağı ile kasa gövdesi arasındaki birleşim vidaları sökülerek deney kasası yükleme deneyine hazır hale getirilmiştir.

Açılan üst kapağın ardından organik zemin numunesinin yüzeyi numune üzerine ek bir kuvvet ve yük uygulanmadan yüzeyi tıraşlanarak düz bir zemin yüzeyi elde edilmiştir. Bu işlemin amacı; temel olarak kullanılacak olan çelik levhanın (her bir kenarı 6 cm olan kare şekilli çelik levhalar) yükleme esnasında yükü dik olarak zemine aktarmasını sağlamaktır.

Yükleme deneylerinde kullanılacak olan kare temeller; 36 cm<sup>2</sup> (her bir kenarı 6cm uzunlukta) yüzey alanına sahiptir. Kasa boyutları (50 cm-50 cm-30 cm) dikkate alındığında kare temel için belirlenen kenar uzunluğu (6 cm), kare temelin organik zemin içerisinde oluşturduğu gerilme bölgelerinin kasanın yan yüzeyleri ile kesişmediği için uygun görülmüştür.

Yük aktaracak olan bağlantı elemanı kare temel levhanın simetri merkezini ortalayacak bir şekilde yüklemelerden önce yerleştirilmektedir. Yüklemeler; yük çerçevesinin 3 mm/dakika hızla aşağı yönde hareketi ile gerçekleştirilmiştir.

Deney kasasına aktarılacak olan yükün okunabilmesi amacıyla bir yük halkası ve deplasman saati sisteme monte edilmiştir. Deformasyon saatinin hassaslığı **0,01'dir**. Deformasyon saatinde yapılacak olan okuma değerinin 0,01 ile çarpılması sonucu milimetre cinsinden bir deplasman değeri ifade edecektir.

Yük okumalarını alabilmek amacıyla yük halkası kullanılmış olup bu yük halkasının sahip olduğu bir kalibrasyon değeri (diverjans) mevcuttur. Bu kalibrasyon değeri yeniden saptanarak, halkanın sahip olduğu saat üzerindeki okumalar ile çarpılarak yük değerine çevrilmektedir. Deney sisteminde kullanılan yük halkasının diverjans değeri **0,34 kg/div** olarak tespit edilmiştir.

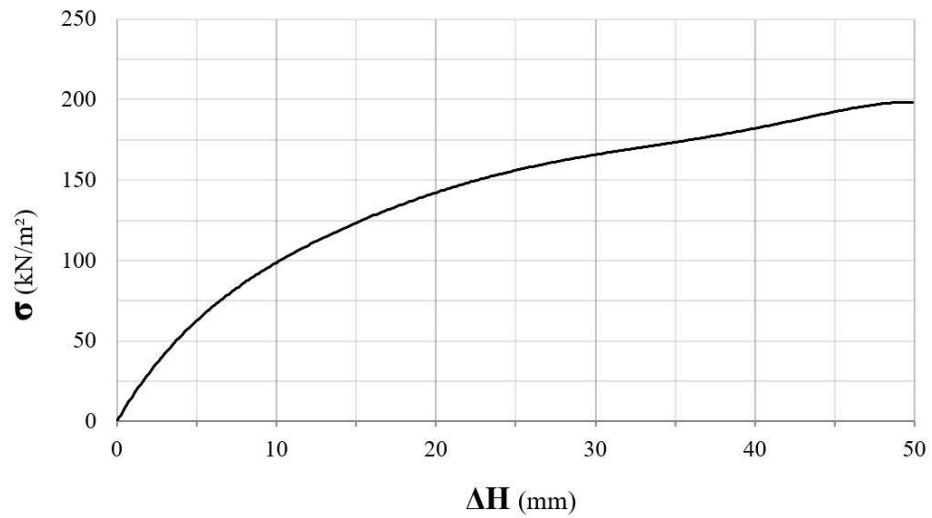


Deney kasaları üzerinde anlatılan yükleme çerçevesi kullanılarak 21 adet yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Yükleme sonrası zeminde oluşan göçme yüzeyleri Şekil 4.4' de gösterilmektedir.

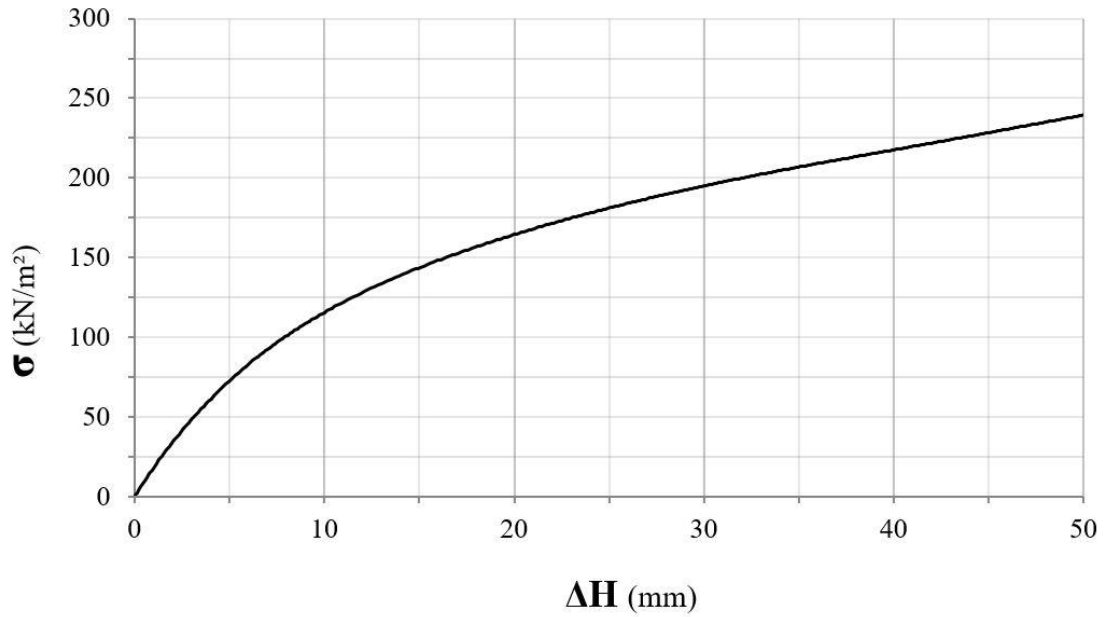


Şekil 4.4. Yükleme sonrası göçme yüzeylerinin gözlemlenmesi

İki yükleme deneyine ait gerilme-deformasyon eğrileri Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 arasında gösterilmiştir. Diğer 19 yükleme deneyine ait olan gerilme-deformasyon grafikleri Ek-1' de verilmiştir.

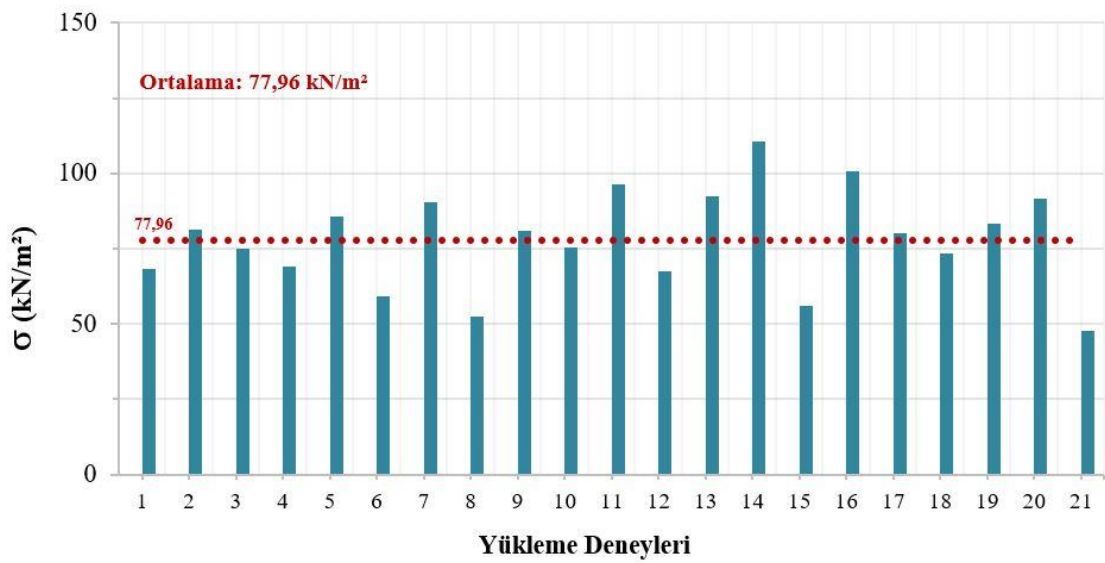


Şekil 4.5. Yükleme-1 (YD-1) deney grafiği

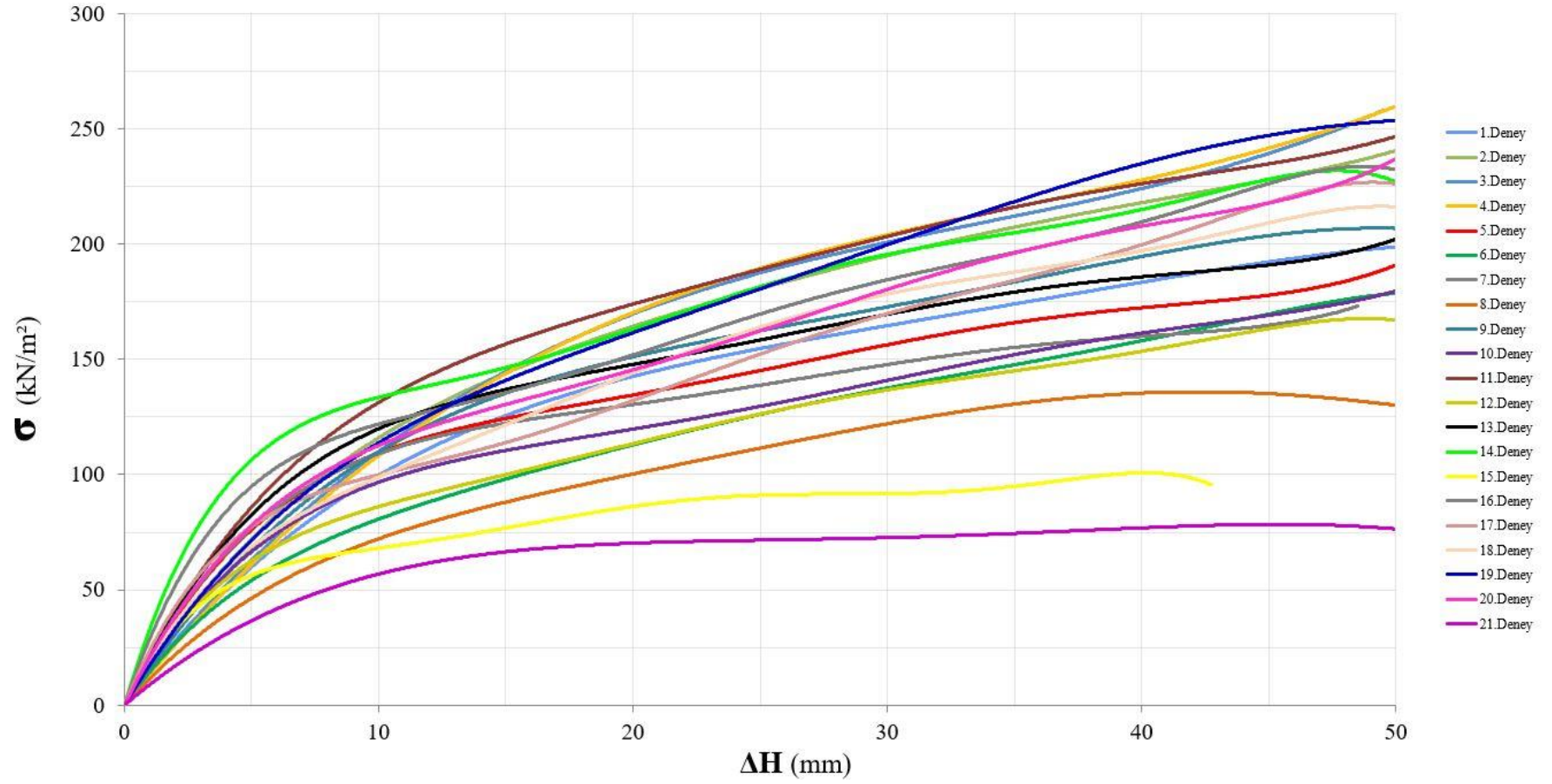


Şekil 4.6. Yükleme-2 (YD-2) deney grafiği

Gerçekleştirilen 21 adet yükleme deneyinin 6,00 mm'ye (0,10\*B) karşılık gelen **ortalama gerilme değeri 77,96 kN/m²** olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen tüm deneylerin kıyaslandığı grafik Şekil 4.7' de, 21 adet yüklenme deneyinin gerilme-deformasyon grafiği ise Şekil 4.8'de belirtilmektedir.



Şekil 4.7. Yükleme deneylerinin ortak gösterimi



Şekil 4.8. Yükleme deneylerine ait grafikler



### 4.3 Taşıma Gücünün Literatür Yardımıyla Belirlenmesi

Yükleme deneylerinden elde edilen sonuçların kıyaslanabilmesi için taşıma gücü eşitliklerinden yararlanılacaktır. Bu çalışma kapsamında Terzaghi, Meyerhof, Hansen ve Skempton tarafından önerilmiş olan taşıma gücü formülleri kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Organik zemin numunesi üzerinde yapılan endeks deneylerinden elde edilen geoteknik parametreler yardımıyla taşıma gücü değerleri tespit edilmiş; Sonuç ve Öneriler bölümünde karşılaştırmalı olarak aralarındaki bağıntı ve korelasyondan bahsedilmiştir.

Meyerhof, Hansen gibi araştırmacılar, gevşek ve yumuşak zeminlerin varlığında kritik taşıma kapasitesini kontrol eden taşıma gücü eşitliklerini temel tasarımı için önermişlerdir [81]. Araştırmacılar tarafından farklı zemin türleri için yapılmış olan analitik ve deneysel çalışmalar sonucunda taşıma gücü değerleri belirlenmiştir. Bu çalışmalar dikkate alındığında, değişken koşullara sahip olması bakımından organik zeminlerin deformasyon davranışının Terzaghi eşitliği ile tahmin edilmesi diğer taşıma gücü eşitlikleri ile karşılaştırıldığında oldukça zordur [82]. Yüklemeye deneyleri ile bulunmuş taşıma gücü değerleri ile karşılaştırılması amacıyla bu tez çalışması kapsamında Terzaghi taşıma gücü eşitliği yardımıyla da taşıma gücü belirlenmiştir.

İkinci bölümde yer alan “Yüzeysel Temeller” kısmında taşıma gücü eşitlikleri verilmiştir. Bu eşitliklere dayanarak hesaplanan taşıma gücü değerleri Tablo 4.1’de belirtilmiştir.

Tablo 4.1 Organik zemin için hesaplanan taşıma gücü değerleri

<b>Taşıma Gücü Eşitliği</b>	<b>Birim</b>	<b>Taşıma Gücü Değeri</b>
Terzaghi	$kN/m^2$	65,73
Meyerhof	$kN/m^2$	59,27
Hansen	$kN/m^2$	54,71
Skempton	$kN/m^2$	79,83

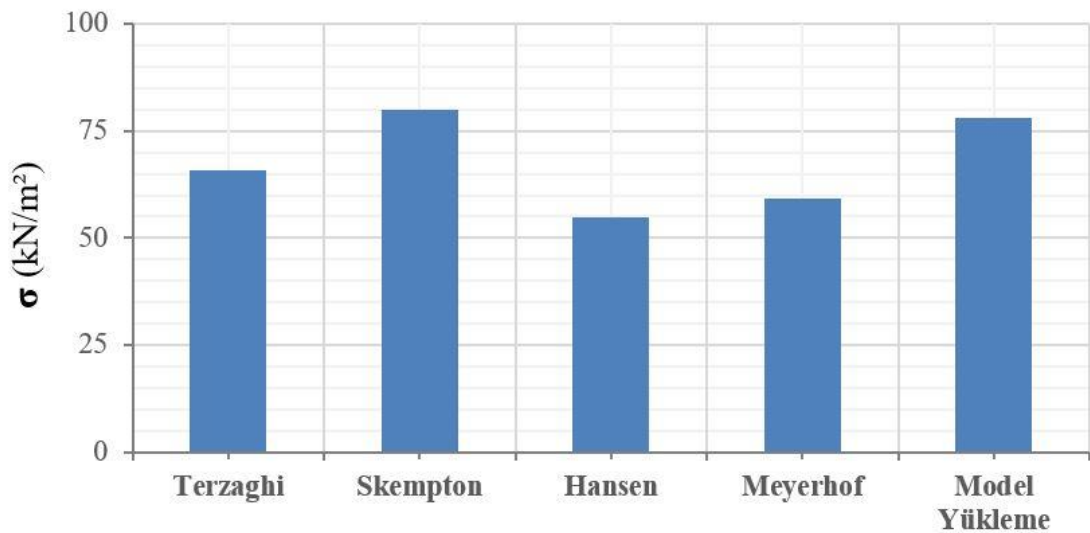
Taşıma gücü eşitlikleri kullanılarak hesaplanan taşıma gücü değerleri göz önüne alındığında, değerlerin 50-80  $kN/m^2$  aralığında ve birbirine yakın değerler olduğu

görülmektedir. Bu 4 taşıma gücü eşitliği yardımıyla bulunan **ortalama taşıma gücü değeri 64,89 kN/m<sup>2</sup> dir.**

#### 4.4 Taşıma Gücü Belirleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Cerato-Lutenegger ve Dewaiker-Mohapatro' nun çalışmalarında farklı zemin türleri üzerinde gerçekleştirdikleri küçük ölçekli model deney testleri sonucunda elde edilen taşıma gücü değerlerinin, teorik taşıma gücü denklemleri ile elde edilen taşıma gücü değerlerine kıyasla daha yüksek çıkmaktadır [83] [84].

Literatür çalışmalarından ortaya çıkan taşıma gücü değeri ve analizler ile yükleme deneyinden elde edilen analiz değerleri Şekil 4.9' da verilmiştir.



Şekil 4.9. Farklı yöntemler ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin karşılaştırması

Yükleme deneyi sonuçlarına göre elde edilmiş olan taşıma gücü değerleri, bilinen taşıma gücü formülleri ile hesaplanan taşıma gücü değerleri ile kıyaslandığında daha yüksek olarak elde edilmiştir. Karşılaştırmalar sonucunda sadece Skempton taşıma gücü eşitliği ile elde edilen değerler yaklaşık olarak %2,4 oranında düşük çıkmıştır. Bununla birlikte model yükleme sonucunda elde edilen taşıma gücüne en yakın değer Skempton eşitliği ile elde edilmiştir. Bununla birlikte elde edilen değerler arasında bir uyum olduğu Şekil 4.9' da görülmektedir.

## 5.BÖLÜM

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Sahip oldukları düşük taşıma gücü kapasiteleri ve yüksek deformasyon özellikleri ile organik zeminler, üst yapı uygulamalarında tanınan zemin grupları içerisinde en problemli zemin gruplarından birisidir. Bu tez çalışması kapsamında organik zeminlere oturan yüzeysel temellerin zemin üzerinde oluşturduğu etkiler ve deformasyonlar incelenmiştir. Araziden örselenmemiş olarak alınan organik zemin deney numuneleri üzerinde laboratuvar koşullarında yük çerçevesi kullanılarak yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Organik zeminler üzerinde yapılan endeks deneyleri kapsamında K.O.S.B' den örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Bu numuneler üzerinde elek analizi, hidrometre, piknometre, kıvam limitleri vb. gibi deneyler gerçekleştirilmiştir.

Elek analizi deneyi incelendiğinde organik zemin numunesinin neredeyse tamamının No.200 elek altına geçen malzemedan meydana geldiği görülmüştür.

Organik zeminin su muhtevası değeri incelendiğinde %120-%190 aralığında görülmüştür. Bu değer, dünyanın çeşitli noktalarında bulunan organik zeminler ile kıyaslandığında oldukça düşük bir değerdir. Dünya genelinde organik zeminlerin su muhtevası değeri bulunduğu konuma bağlı olarak %1200-1300 mertebelerine kadar ulaştığı bilinmektedir.

Örselenmemiş olarak alınan organik zemin numuneleri üzerinde 21 adet yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde 6,00 mm'lik deformasyona karşılık gelen taşıma gücü değerleri esas alınmıştır. Yükleme deneylerinde belirlenen en yüksek taşıma gücü değeri 110,77 kN/m<sup>2</sup> ve en düşük taşıma gücü değeri ise 47,79 kN/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Deneyler sonucunda 6,00 mm'lik deformasyona karşılık gelen ortalama gerilme değeri **77,96 kN/m<sup>2</sup>** olarak bulunmuştur.

Terzaghi, Meyerhof, Hansen ve Skempton tarafından önerilen taşıma gücü eşitlikleri model deney sisteminde uygulanan kare yüzeysel temel dikkate alınarak ve endeks deneylerinden elde edilen değerler ile hesaplamalar gerçekleştirildiğinde taşıma gücü değerlerinin yaklaşık olarak **50 ile 80 kN/m<sup>2</sup>** arasında değişen değerlere (ortalama: 64,89 kN/m<sup>2</sup>) sahip olduğu gözlenmektedir.

Model yükleme deneyleri sonucunda elde edilen taşıma gücü değeri; Terzaghi taşıma gücü eşitliği ile bulunan değerden %18,6, Meyerhof taşıma gücü ile bulunan değerden %31,5, Hansen taşıma gücü ile bulunan değerden %42,5 yüksek olduğu belirlenmiştir. Skempton taşıma gücü ile kıyaslandığında ise bulunan değerden %2,4 daha düşük çıkmaktadır.

Cerato-Lutenegger ve Dewaiker-Mohapatro' nun çalışmalarında farklı zemin türleri için küçük ölçekli model deneyler ile elde edilen taşıma gücünün, taşıma gücü eşitlikleri yardımıyla elde edilen taşıma gücü değerlerinden yüksek olduğu göz önüne alınacak olursa, bu tez çalışması kapsamında elde edilen değerler arasındaki bağıntının literatür çalışması ile uyum içinde olduğu görülmektedir. Özellikle yumuşak zeminler için en çok kullanılan eşitliklerden birisi olan Skempton taşıma gücü eşitliğinin, model yükleme deneyleri sonucu elde edilen ortalama taşıma gücünden sapma değerinin düşük olduğu ve literatür çalışmaları ile model deney sisteminin kuvvetli bir ilişki içinde olduğu bu tez çalışması kapsamında saptanmıştır.

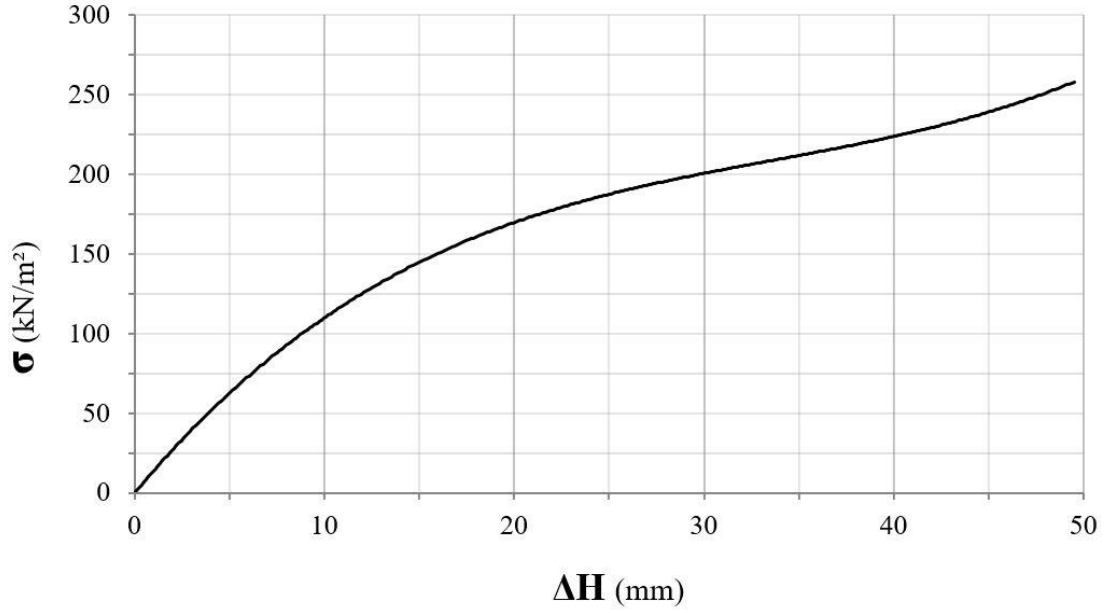
Küçük ölçekli model deney sistemleri ile deney yapmak suretiyle daha büyük boyutlarda temeller kullanarak deneyler yapmaya ihtiyaç duyulmadan taşıma güçleri hesaplanabilmektedir. Ancak bu tür çalışmaların sonuçlarını doğrudan kullanmak yerine, daha büyük boyutlardaki temellerde yapılacak deneylerle sonuçların geçerliliği doğrulanarak kullanılması gerektiği unutulmamalıdır.

Gerçekleştirilen model yükleme deneyleri, arazide daha büyük ölçekli olarak yapılarak sayısal yöntemlerle karşılaştırılabilir.

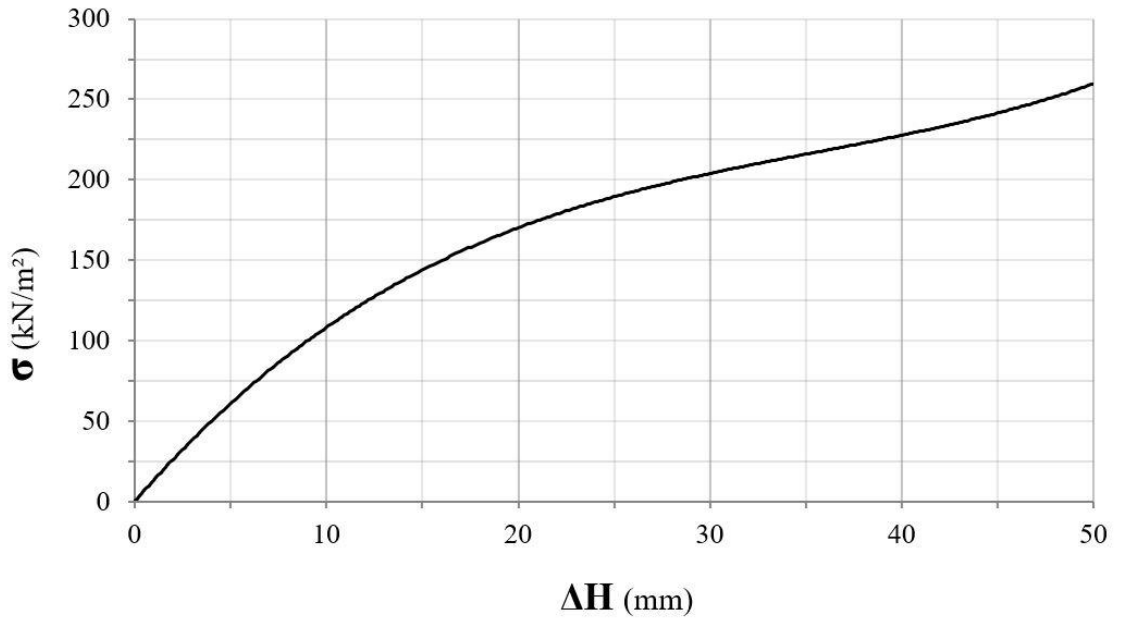
Benzer çalışmalar farklı tabakalı zemin durumları için taşıma gücü ve oturmalar açısından incelenebilir. Organik zeminlerde tabakalaşma durumlarının taşıma gücü etkisi tespit edilebilir.

Zemine güçlendirilme elemanları yerleştirilerek, organik zeminlerde güçlendirmenin taşıma gücüne etkisi araştırılabilir. Güçlendirme sonucu elde edilen taşıma gücü değerlerinin bu tez çalışması kapsamında bulunan taşıma gücü değerleri ile arasındaki ilişki irdelenebilir.

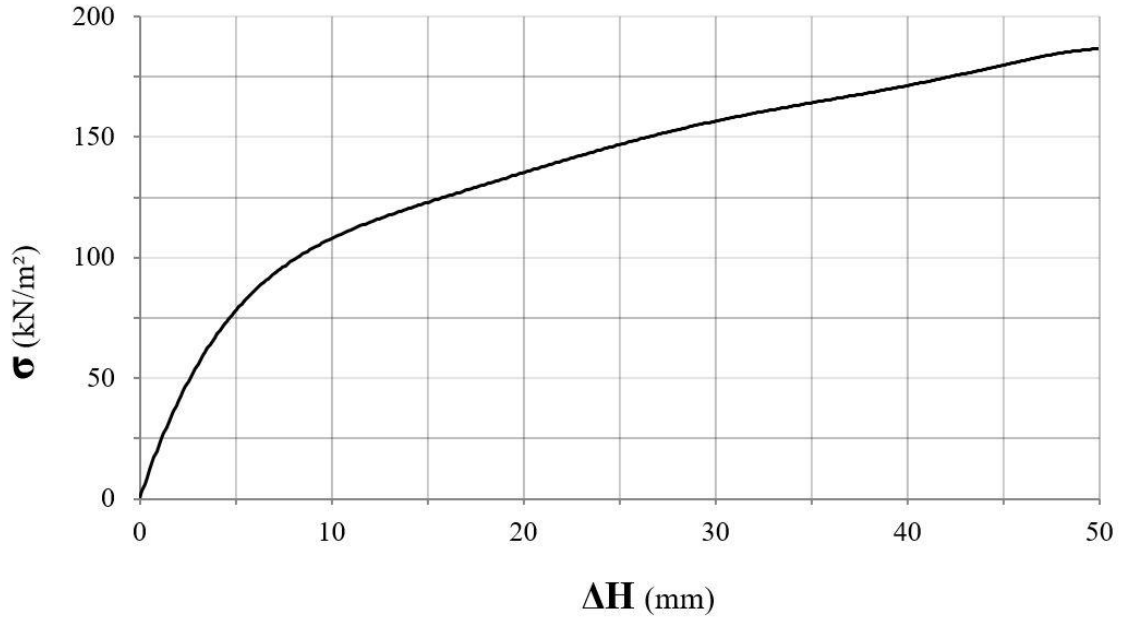
Taşıma gücü hesabı için gerçekleştirilen sayısal analizlerde 3 boyutlu geoteknik paket programları kullanılarak daha kapsamlı hesaplamalar ve kıyaslamalar yapılabilir.

**EK-1**

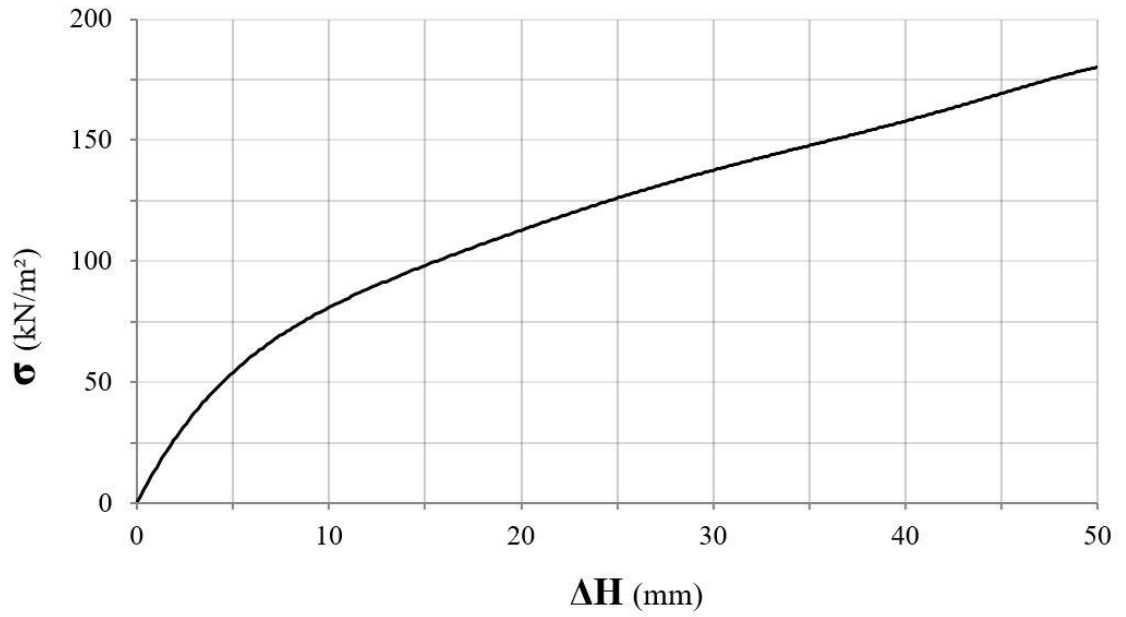
Yükleme-3 (YD-3) deney grafiği



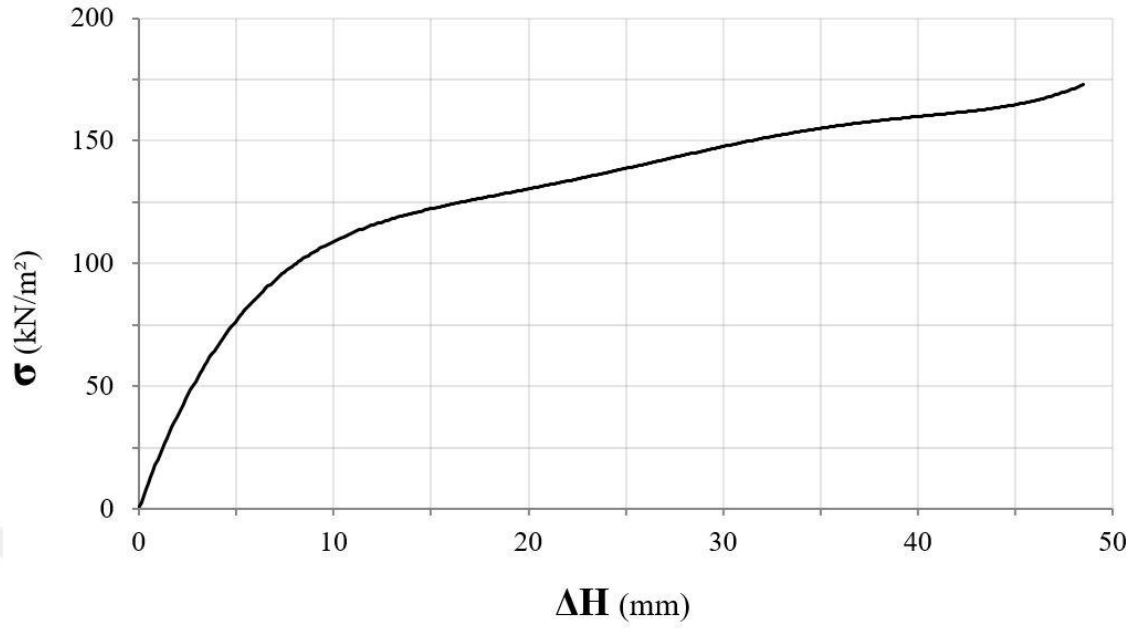
Yükleme-4 (YD-4) deney grafiği



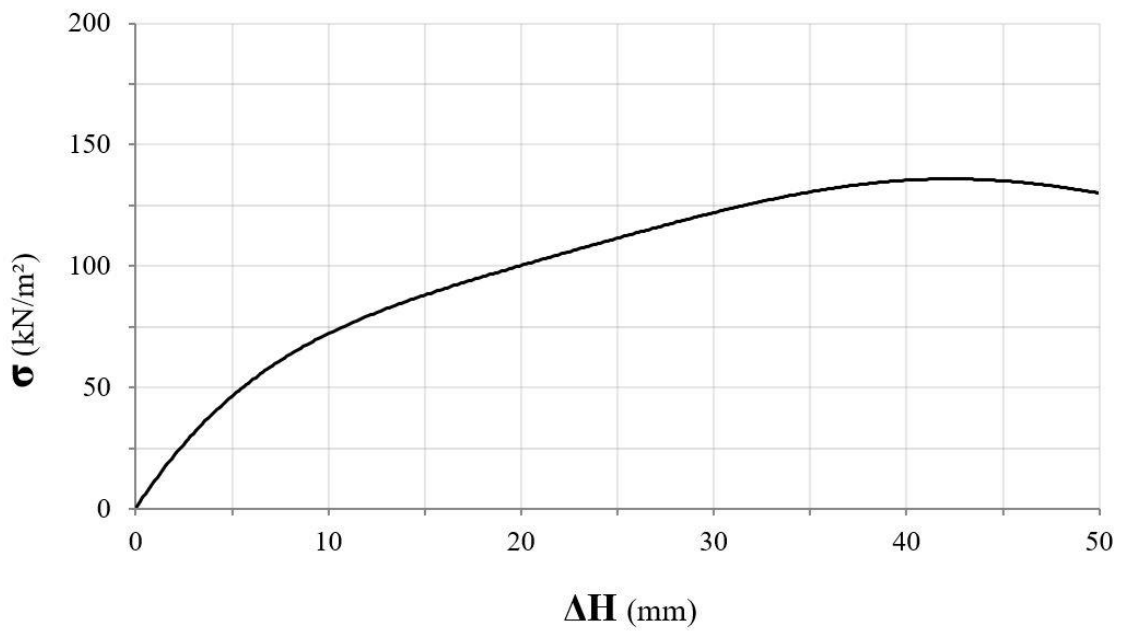
Yükleme-5 (YD-5) deney grafiği



Yükleme-6 (YD-6) deney grafiği

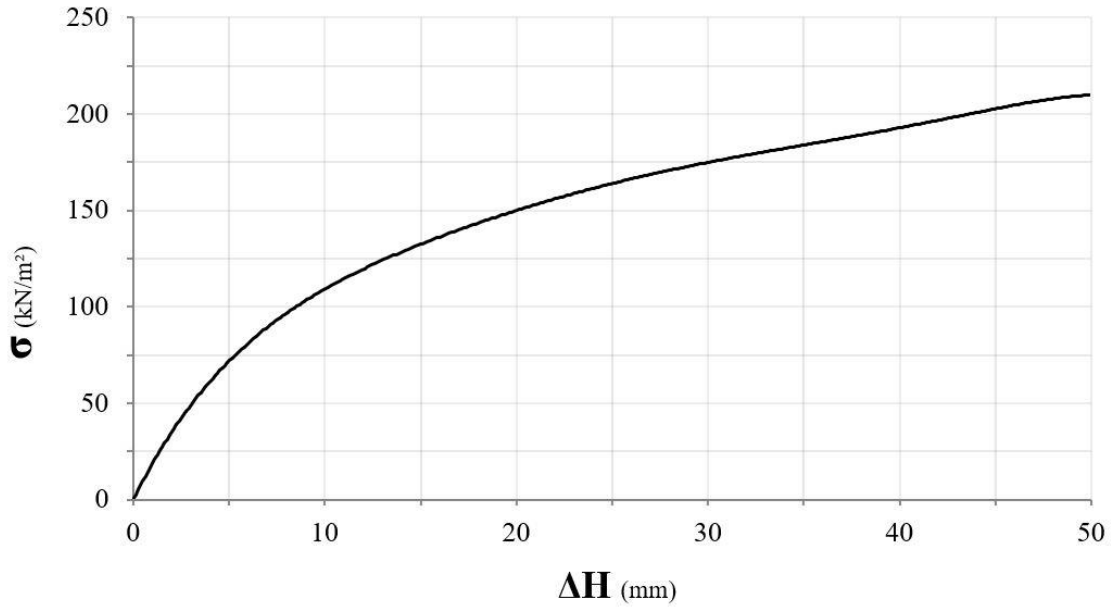


Yükleme-7 (YD-7) deney grafiği

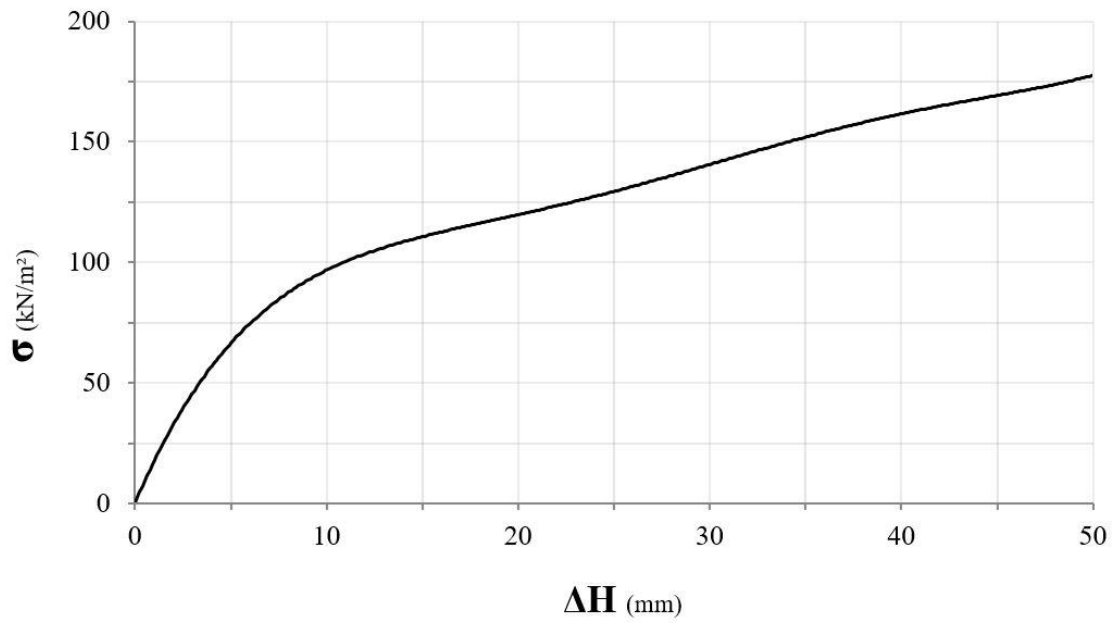


Yükleme-8 (YD-8) deney grafiği

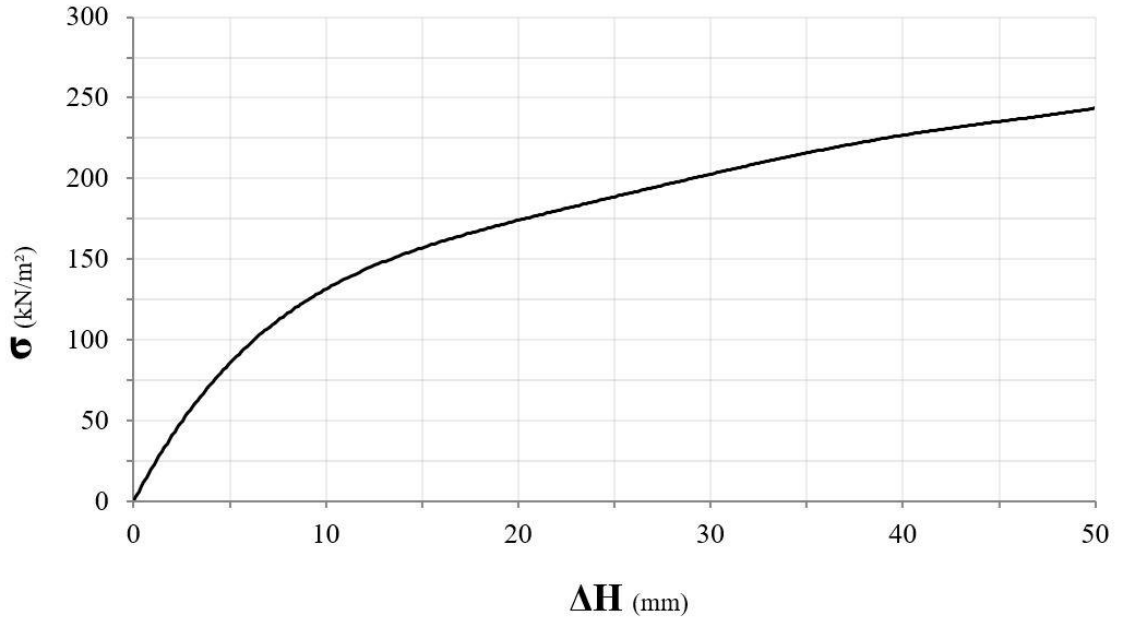




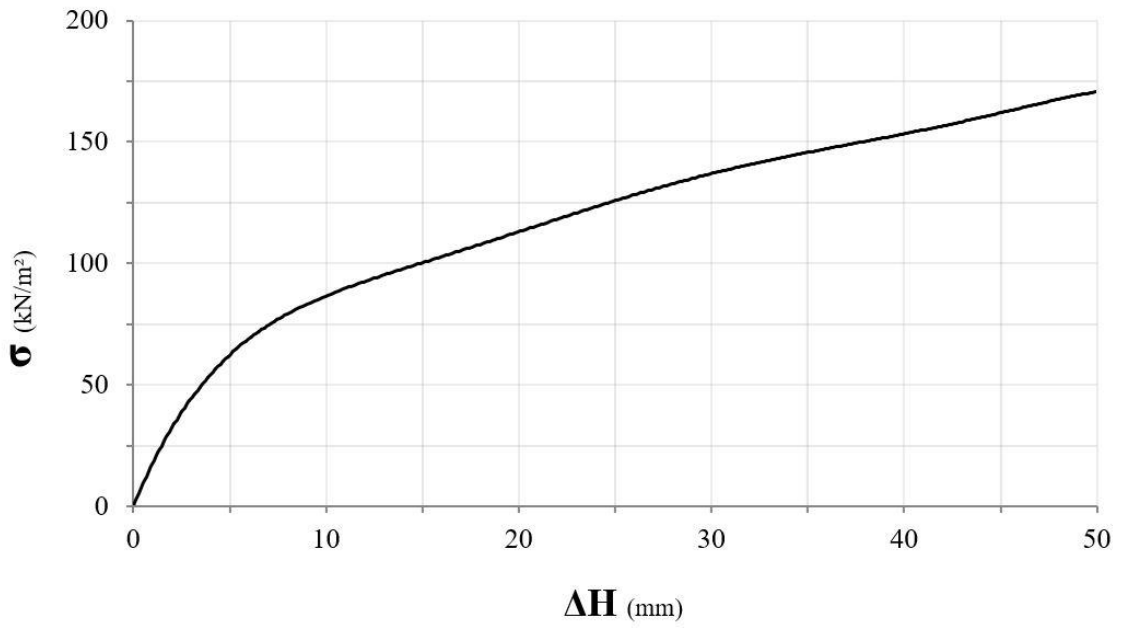
Yükleme-9 (YD-9) deney grafiği



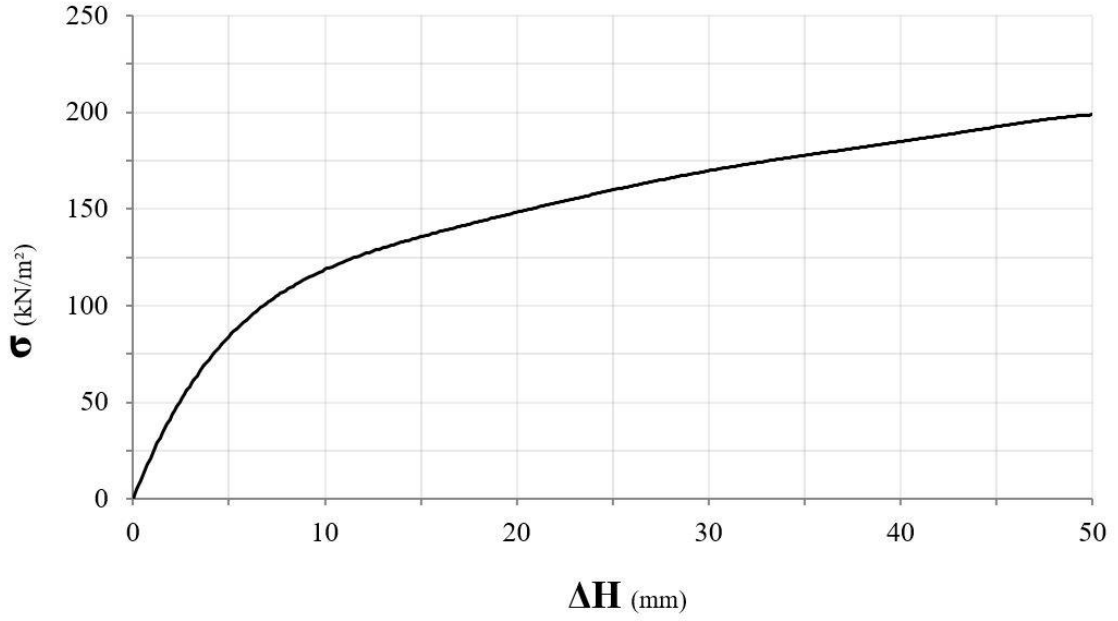
Yükleme-10 (YD-10) deney grafiği



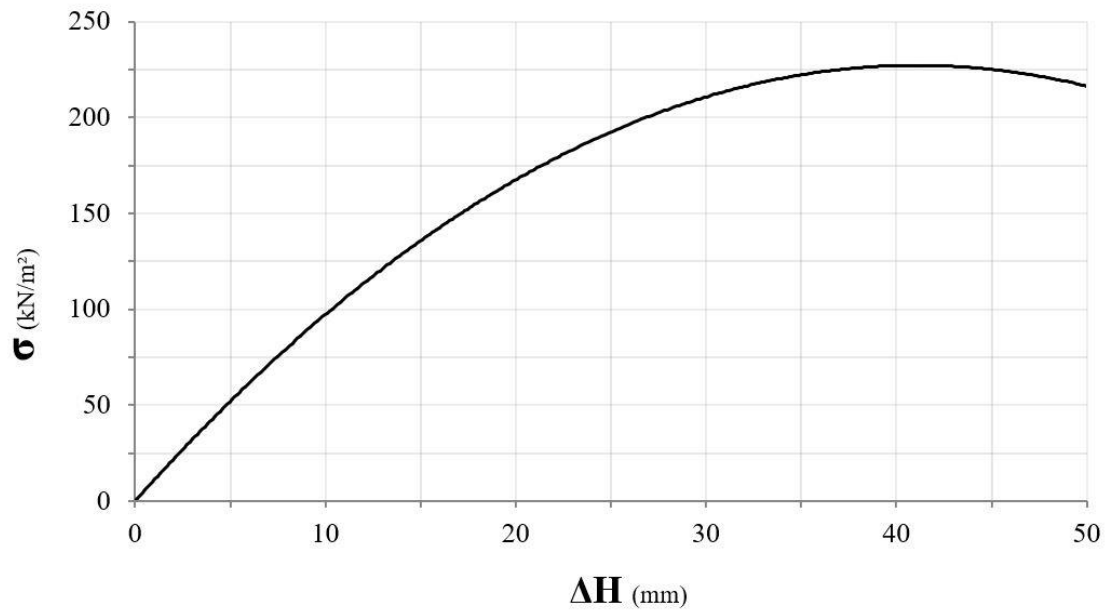
Yükleme-11 (YD-11) deney grafiği



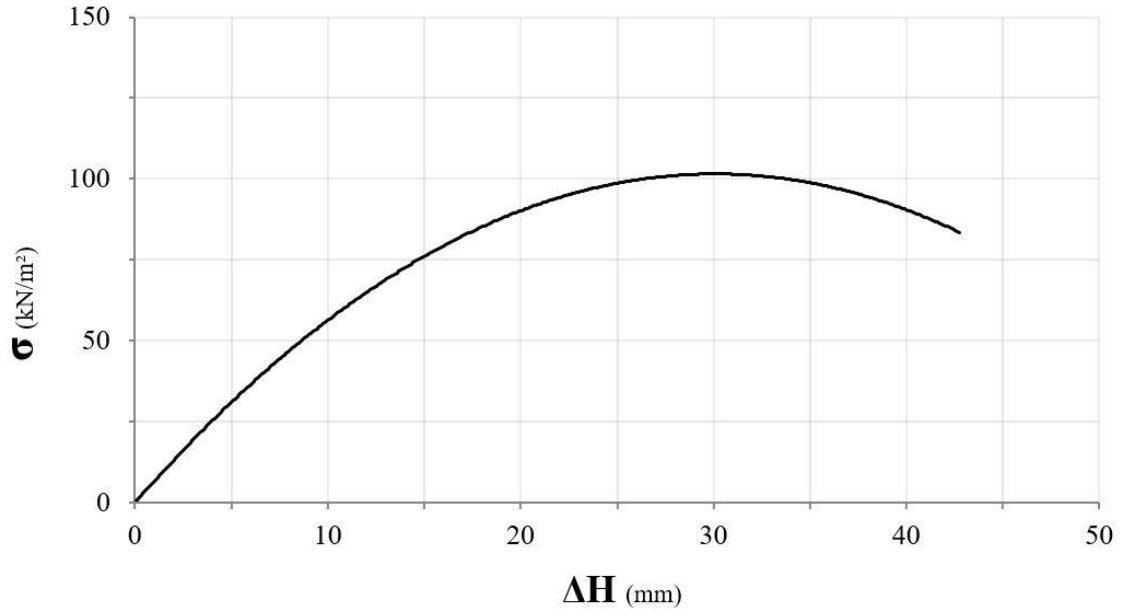
Yükleme-12 (YD-12) deney grafiği



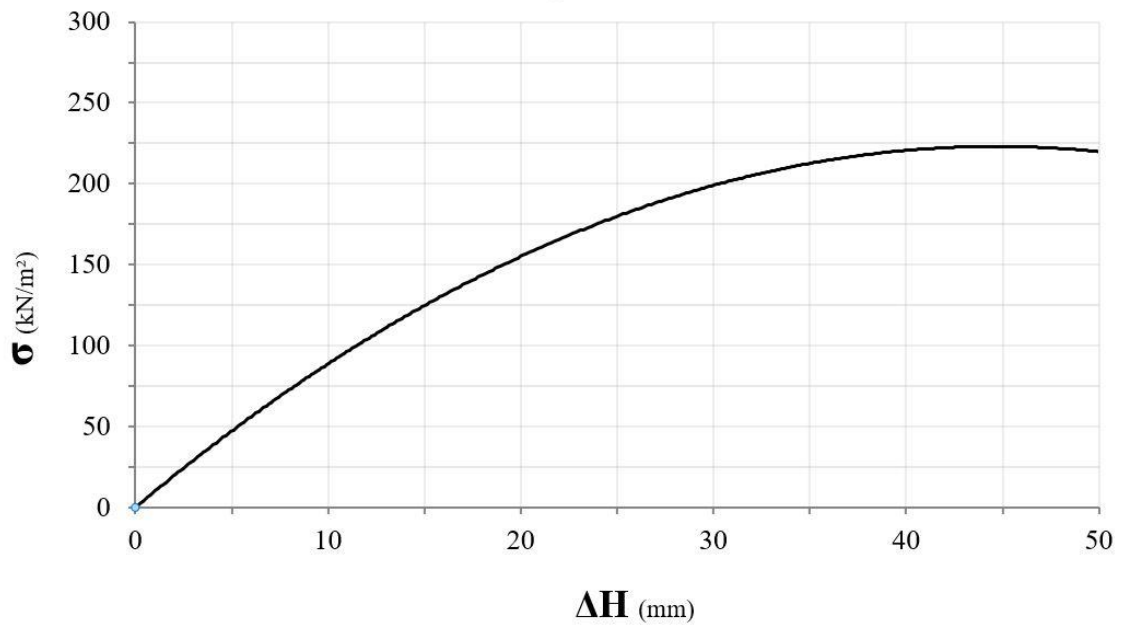
Yükleme-13 (YD-13) deney grafiği



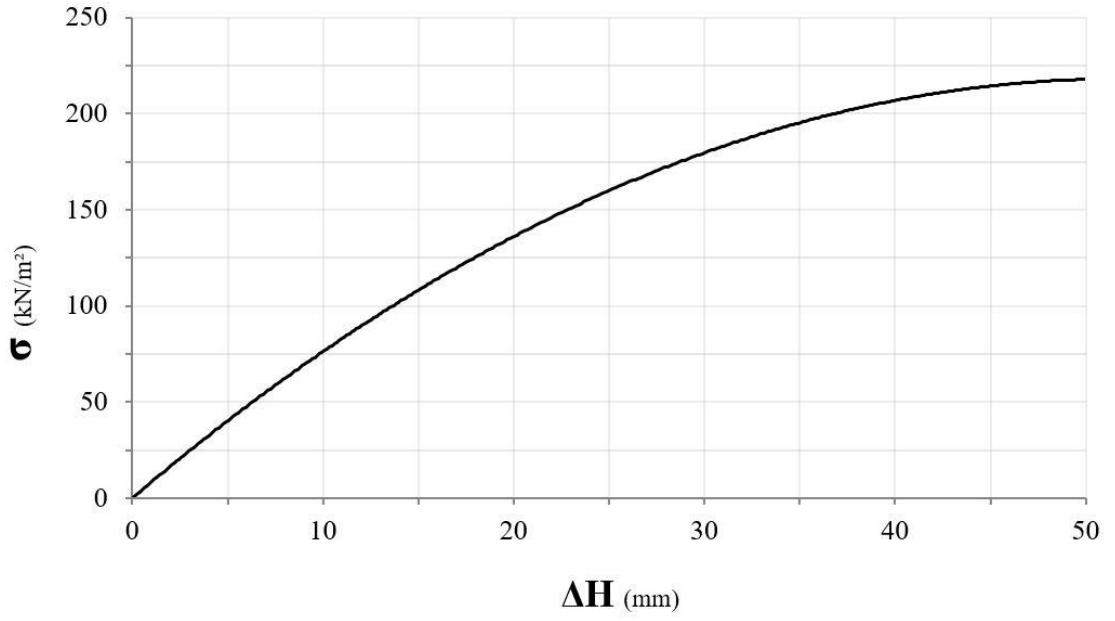
Yükleme-14 (YD-14) deney grafiği



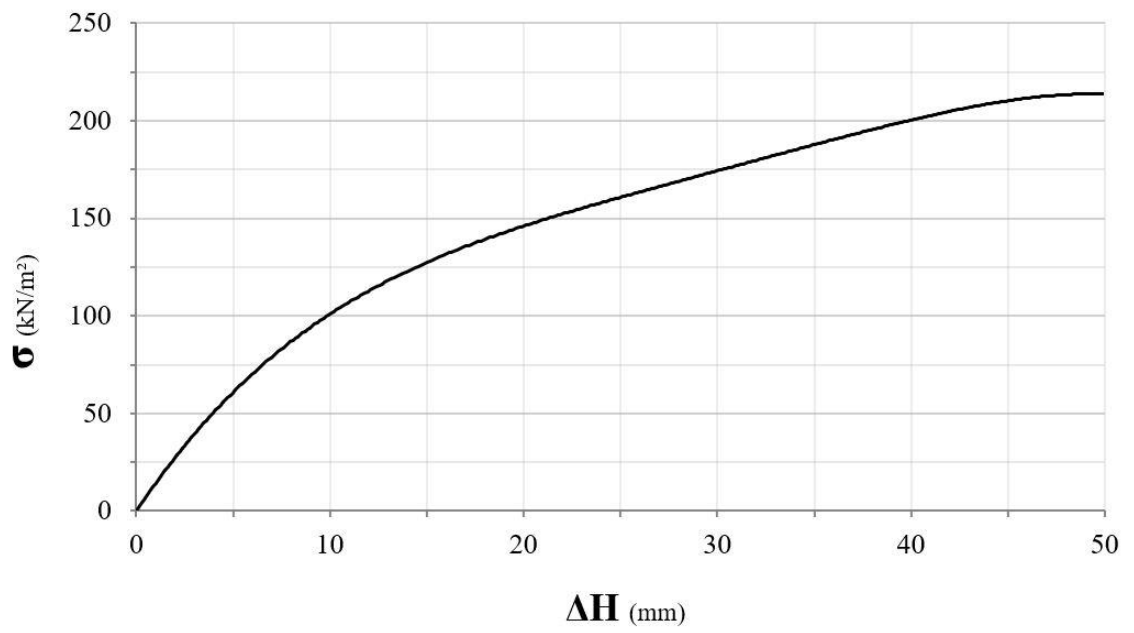
Yükleme-15 (YD-15) deney grafiği



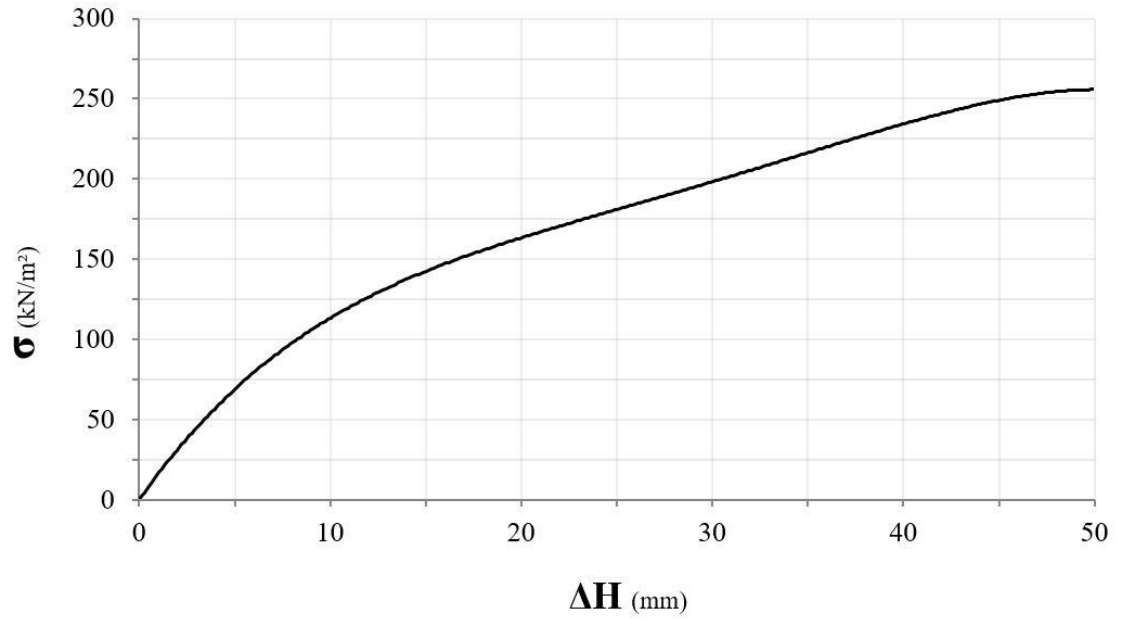
Yükleme-16 (YD-16) deney grafiği



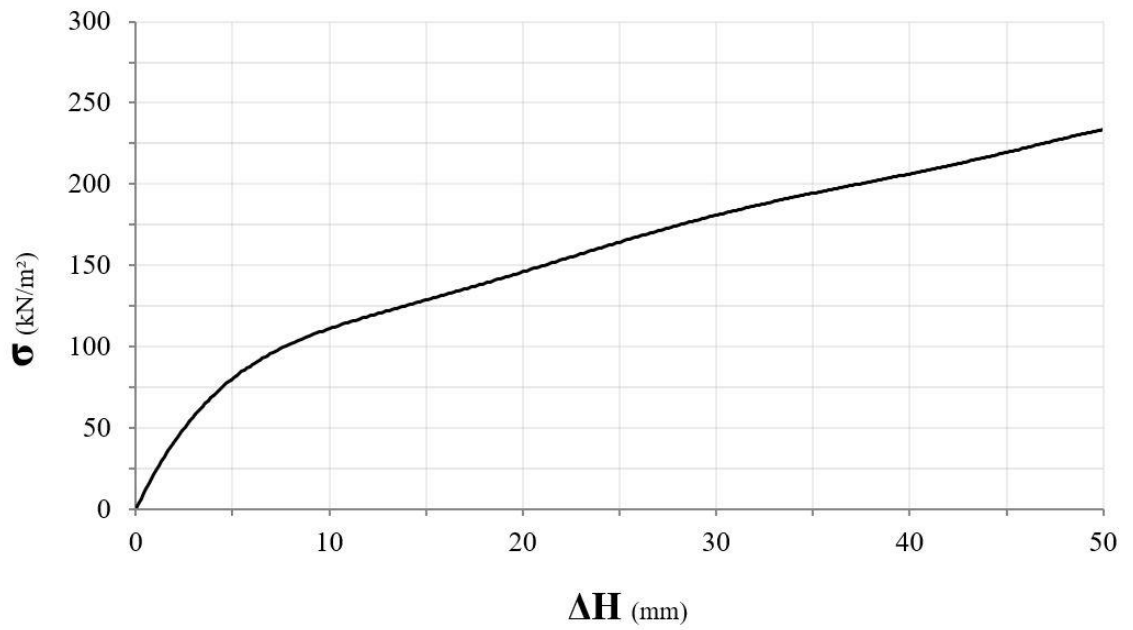
Yükleme-17 (YD-17) deney grafiği



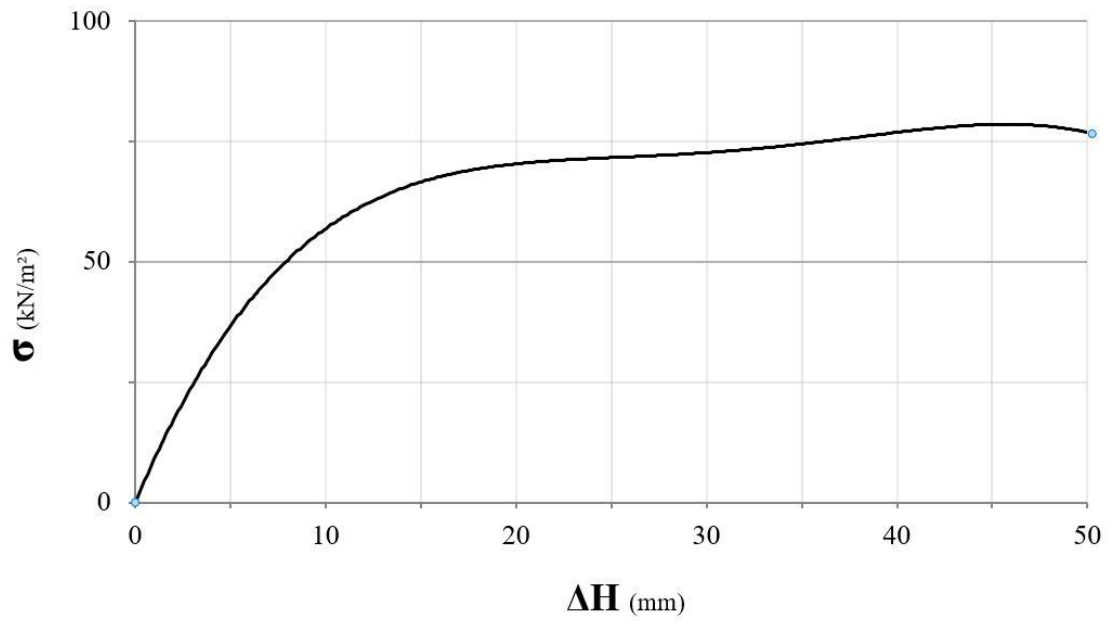
Yükleme-18 (YD-18) deney grafiği



Yükleme-19 (YD-19) deney grafiği



Yükleme-20 (YD-20) deney grafiği



Yükleme-21 (YD-21) deney grafiği

## KAYNAKÇA

1. Elcüman, H., (2004). Yumuşak Killerin Geoteknik Özellikleri ve Kayseri Serbest Bölgesi Yumuşak Killeri Üzerine Bir Araştırma. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 175 s.
2. Mesri, G., Stark, T. D., Ajlouni, M. A., Chen, C. S., (1997). Secondary compression of peat with or without surcharging. **Journal Geotechnical Geoenvironmental Engineering**, **123** (5), 411–421.
3. Hartlen, J., Wolski J., (1996). Embankments On Organic Soils. Elsevier Science B.V., Amsterdam, 417 pp.
4. Mesri, G., Ajlouni, M., (2007). Engineering properties of fibrous peats. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **ASCE**. **133**(7): 850866.
5. Mutalib, A.A., Lim, J.S., Wong, M.H., Koonvai, L., (1991). Characterization distribution and utilization of peat in Malaysia, tropical peat. In proceeding of the International symposium on Tropical Peatland, Kuching, Malaysia, 7-16.
6. Mesri, G. and Ajlouni, M. (2007). Engineering properties of fibrous peats. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, **133**(7), 850–66.
7. na Móna, B. (1997). The peatlands of Ireland.
8. ASTM D4427 (1992). Standard classification of peat samples by laboratory testing. American Society for Testing and Materials, ASTM International, West Conshohocken
9. Strack, M. (Ed.). (2008). Peatlands and climate change. IPS, International Peat Society.
10. von Post L (1922). Sveriges geologiska undersöknings torvinventering och nagre av dess hittills vunna resultat, **Sr. Mosskulturfor**, **1**: 1–27.
11. Radforth, N. W. (1969). Classification of muskeg.
12. Lemaire, F. , Dortigues, A., Riviere, L.M., (1980). Properties of substrates with ground pine bark. **Acta Horticulture**. **99**: 67-80.
13. ASTM Standard (1990) Annual Book of ASTM Standards. ASTM International, West- Conshohocken, PA, 2004 **www.astm.org**.
14. Jarrett, P. M. (1995). Geoguide 6. Site Investigation for Organic Soils and Peat. JKR Document 20709-0341-95. Institut Kerja Raya, Malaysia.



15. Andrejko, M. J., Fiene, F., & Cohen, A. D. (1983). Comparison of ashing techniques for determination of the inorganic content of peats. In *Testing of peats and organic soils*. ASTM International.
16. Stanek, W., & Silc, T. (1977). Comparisons of four methods for determination of degree of peat humification (decomposition) with emphasis on the von Post method. **Canadian Journal of Soil Science**, **57**(2), 109-117.
17. Boelter, D. H. (1968). Important physical properties of peat materials. In *Proceedings, third international peat congress; 1968 August 18-23; Quebec, Canada*. Department of Energy, **Minds and Resources and National Research Council of Canada**: 150-154.
18. ASTM Standard (1990) Annual Book of ASTM Standards. ASTM International, West- Conshohocken, PA, 2004 [www.astm.org](http://www.astm.org).
19. Edil, T. B. (2003). Recent advances in geotechnical characterization and construction over peat and organic soils. Proc. 2nd International Conference on Advances in Soft Soil Engineering and Technology (eds. B. Huat et al.), Malaysia, pp. 3–25.
20. Çayabatmaz, Ş., (2012). Organik Zeminlerin İyileştirilmesi ve Kayseri Bölgesi Organik Zeminlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri
21. McBrierty, V.J., Wardell G.E., Keely C.M., O'Neill E.P., (1996). The characterization of water in peat. **Soil Science Society of America Journal**, **60** (4): 991-1000.
22. Huat, B.B.K., (2004). Organic and peat soils engineering. 1st Edn., University Putra Malaysia Press, Serdang, Malaysia, pp: 31-66.
23. Magnan, J. P. (1980). Classification geotechnique des sols: 1 – A propos de la classification LPC. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussees, Paris, pp. 19–24.
24. Huat, B. B., Prasad, A., Asadi, A., & Kazemian, S. (2014). Geotechnics of organic soils and peat. CRC Press.
25. Vonk, B. F. (1993). Some aspects of the engineering practice regarding peat in small polder dikes. Advances in Understanding and Modeling the Mechanical Behaviour of Peat (eds. E. J. denHaan et al.), pp. 389–402.

26. Edil, T. B. (2003). Recent advances in geotechnical characterization and construction over peat and organic soils. Proc. 2nd International Conference on Advances in Soft Soil Engineering and Technology (eds. B. Huat et al.), Malaysia, pp. 3–25.
27. <http://www.utest.com.tr/tr/20302/Motorlu-ve-Manuel-Likit-Limit-Aleti-Casagrande> (Erişim tarihi: 25.02.2018)
28. Inopaave Group Limited Company (web sayfası: [http://www.innopave.com/en/Products/SoilRock/lab\\_soil\\_details.asp?ProductID=50](http://www.innopave.com/en/Products/SoilRock/lab_soil_details.asp?ProductID=50)) (Erişim tarihi: 08.03.2018)
29. <http://slideplayer.biz.tr/slide/11120947/40> (Erişim tarihi: 23.02.2018)
30. <http://www.utest.com.tr/upload/Node> (Erişim tarihi: 01.05.2018)
31. Huat, B. B., Prasad, A., Asadi, A., & Kazemian, S. (2014). Geotechnics of organic soils and peat. CRC Press
32. Dhowian AW, Edil TB (1980). Consolidation behavior of peats. *Geotech. Testing J.*, **3**(3): 105-114.
33. Mesri, G. and Ajlouni, M. (2007). Engineering properties of fibrous peats. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **133**(7), 850–66.
34. Kazemian, S. and Huat, B. B. K. (2009). Compressibility characteristics of fibrous tropical peat reinforced with cement column. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, **14C**.
35. Leonards, G. A. and Girault, P. (1961). A study of the one-dimensional consolidation test. Proc., 9th CSMFE, Paris, 1, pp. 116–30.
36. Hobbs, N. B. (1986). Mire morphology and the properties and behaviour of some British and Foreign Peats Quarterly, *Journal of Engineering Geology*, **19**, 7–80.
37. Azzouz, A. S., Krizek, R. J. and Corotis, R. B. (1976). Regression analysis of soil compressibility *Soils and Foundation*, **16**(2), 19–29.
38. <http://slideplayer.biz.tr/slide/9278744> (Erişim tarihi: 15.07.2018)
39. den Haan, E. J. (1997). An overview of the mechanical behaviour of peats and organic soils and some appropriate construction techniques. In: Proc. Conference on Recent Advances in Soft Soil Engineering (eds. B. B. K. Huat and H. M. Bahia), Kuching, Sarawak. pp. 17–45.

40. Love, J. P., Burd, H. J., Milligan, G. W. E., & Houlsby, G. T. (1987). Analytical and model studies of reinforcement of a layer of granular fill on a soft clay subgrade. **Canadian Geotechnical Journal**, **24**(4), 611-622.
41. Dash, S. K., Sireesh, S., & Sitharam, T. G. (2003). Model studies on circular footing supported on geocell reinforced sand underlain by soft clay. **Geotextiles and Geomembranes**, **21**(4), 197-219.
42. Rahman, A., Yahya, A., Zoidaidie, M., Ahmad, D., Ishak, W., & Kheiralla, A. F. (2004). Mechanical properties in relation to vehicle mobility of Sepang peat terrain in Malaysia. **Journal of Terramechanics**, **41**(1), 25-40.
43. Black, J. A., Sivakumar, V., Madhav, M. R., & Hamill, G. A. (2007). Reinforced stone columns in weak deposits: laboratory model study. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, **133**(9), 1154-1161.
44. Ornek, M., Laman, M., Demir, A., & Yildiz, A. (2012). Prediction of bearing capacity of circular footings on soft clay stabilized with granular soil. **Soils and Foundations**, **52**(1), 69-80.
45. Razali, S. N. M., Bakar, I., & Zainorabidin, A. (2013). Behaviour of peat soil in instrumented physical model studies. **Procedia Engineering**, **53**, 145-155.
46. Ulusay, R., Tuncay, E., & Hasancebi, N. (2010). Geo-engineering properties and settlement of peaty soils at an industrial site (Turkey). **Bulletin of engineering geology and the environment**, **69**(3), 397-410.
47. Özcan, N.T, (2015). Kayseri Civarındaki Turba Zeminlerin Jeomekanik Karakteristiklerinin Ve Dinamik Davranışlarının Arazi, Laboratuvar Ve Sayısal Modelleme Teknikleriyle Araştırılması, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
48. Özcan, N. T., Ulusay, R., & Işık, N. S. (2018). Assessment of dynamic site response of the peat deposits at an industrial site (Turkey) and comparison with some seismic design codes. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 1-21.
49. Demir, A. (2011). Yumuşak Kil Zemin Üzerinde Güçlendirilmiş Stabilize Dolguya Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 98-108.
50. Yıldız, A. (2002). Donatılı zeminler üzerine oturan yüzeysel temellerin analizi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

51. Yetimoglu, T., Wu, J. T., & Saglamer, A. (1994). Bearing capacity of rectangular footings on geogrid-reinforced sand. **Journal of Geotechnical Engineering**, **120**(12), 2083-2099.
52. Vesic, A. S. (1973). Analysis of ultimate loads of shallow foundations. *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div*, 99(sm1).
53. Özüdođru, K., Tan, O., Aksoy, İ.H., (1996). Çözümlü Problemlerle Zemin Mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul, 160s.
54. Uzuner, B.A., (1975). Centrally and Eccentrically Loaded Strip Foundations on Sand. Doktora Tezi, University of Strathclyde, Glasgow, UK.
55. Kanit, R., (2003). Temel İnşaatı. Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti., Ankara, 102-105.
56. Coduto, D. P., Yeung, M. C. R., & Kitch, W. A. (2011). Geotechnical engineering: principles and practices.
57. Uzuner, B.A., (1980). Geleneksel Yöntem Üzerine Zemin. *Zemin Mekaniği Ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi Bülteni*, 2 (3), 94-104.
58. Türedi, Y., & Örnek, M. (2015). Dikdörtgen Temel Altında Gerilme ve Taşıma Gücü Analizi. **Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, **30**(2), 1-11.
59. Türedi, Y., (2015). Farklı Yükleme ve Geometri Koşullarında Gerilme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay
60. Uzuner, B. A. (1990). Çözümlü problemlerle temel zemin mekaniği. İnşaat Mühendisleri Odası Trabzon Şubesi.
61. Das, B. M. (2017). Shallow foundations: bearing capacity and settlement. CRC press.
62. Okumuşođlu, B. (2006). Stress Distribution And Elasto Plastic Settlements Under Shallow Foundations (Doctoral dissertation, Master Thesis, Istanbul Technical University).
63. Terzaghi, K. (1943). Theory of consolidation. **Theoretical Soil Mechanics**, 265-296.
64. Terzaghi, K. (1951). Theoretical soil mechanics. Chapman And Hall, Limited.; London.
65. Meyerhof, G. G. (1963). Some recent research on the bearing capacity of foundations. **Canadian Geotechnical Journal**, **1**(1), 16-26.

66. Milovic, D. M. (1965, September). Comparison between the calculated and experimental values of the ultimate bearing capacity. In Soil Mech & Fdn Eng Conf Proc/Canada
67. Hansen, J. B. (1970). A revised and extended formula for bearing capacity.
68. Google. (n.d.). [Google Map of Kayseri, Turkey]. (<https://www.google.com/maps/place/Kayseri/@38.7233174,35.3301004,36098m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x152b0e1d3fa4a74f:0x84bd8c4d5a4c2da7!8m2!3d38.720489!4d35.482597>). (Erişim tarihi: 16.06.2018)
69. ASTM, D. 421-85 (Reapproved 1998). Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants.
70. ASTM, D. (2006). 2487. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
71. O'Kelly, B. C. (2015). Atterberg limits are not appropriate for peat soils. **Geotechnical Research**, 2(3), 123-134.
72. ASTM, D. (2006). Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil. ASTM standard D2166.
73. Munro, R. (2004). Dealing with bearing capacity problems on low volume roads constructed on peat. Including case histories from roads projects within the ROADDEX partner districts. The Highland Council, Transport, Environmental & Community Service.
74. Cernica. J., N. (1995). Geotechnical engineering soil mechanics. John Wiley & sons, Inc.
75. S. Kazemian, B. B. (2011). A state of art review of peat: Geotechnical engineering. **International Journal of the Physical Sciences**, pp. 1974-1981.
76. Standard, A. S. T. M. D2435, 1996. Standard test methods for one-dimensional consolidation properties of soils using incremental loading. American Society for Testing and Materials International, West Conshohocken, PA. doi, 10.
77. Dunnycliff, J. (1988). A Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. @ John Wiley and Sons. New York.
78. Mohd, H. M. I. B. H., & Zain, R. B. M. (2013). Overview and Preliminary Study of Approach-Slab Design Concept for Bridges. **Procedia Engineering**, 54, 774-784.

79. Bogdan, R., (2008). "Physical Model Method for Seismic Study of Concrete Dams". Bul. Inst.Police. IAS. i. t LIV (LVIII) , f3, 200, Technical University George Asachi, IAS.
80. MISIR, G., & LAMAN, M. Tabakalı Zeminlere Oturan Dairesel Temellerin Deney ve Analitik Yöntemle İrdelenmesi. **Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, **30**(1), 249-256.
81. Ibrahim, K. M. H. I. (2016). Bearing capacity of circular footing resting on granular soil overlying soft clay. **HBRC Journal**, **12**(1), 71-77.
82. Kogure, K. (1998). Consolidation and settlement of peat under loading. Keynote Lecture. Proc. Int. Sym. on Problematic Soils, 817-832.
83. Cerato, A. B., & Lutenegeger, A. J. (2007). Scale effects of shallow foundation bearing capacity on granular material. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, **133** (10), 1192-1202.
84. Dewaikar, D. M., & Mohapatro, B. G. (2003). Computation of bearing capacity factor  $N_{\gamma}$ —Terzaghi's mechanism. **International Journal of Geomechanics**, **3**(1), 123-128.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı:** Aykut EROL  
**Uyruğu:** Türkiye Cumhuriyeti  
**Doğum Tarihi ve Yeri:** 10.11.1991 - İzmir  
**Medeni Durum:** Evli  
**e-mail:** aykuterol@erciyes.edu.tr

**Yazışma Adresi:** Yeni Mahalle Aşıyan Sokak Aşıyan Evleri Almıla Apt.  
 No.40/28 Melikgazi/KAYSERİ

### EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	-
Lisans	Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Böl.	2014
Lise	Cem Bakioglu Anadolu Lisesi, İzmir	2009

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
11.12.2014-Halen	ERÜ / Mühendislik Fakültesi	Araştırma Görevlisi

### YABANCI DİL

İngilizce

### YAYINLAR

#### **Diğer Dergilerde Yayımlanan Makaleler**

1. Erol A., Kaya Z., Uncuoğlu E., Kara H.B., "A Case Study of An Anaerobic Digester Structure", The Online Journal of Science and Technology, vol.8, no.2, pp.1-4, 2018
2. Erol A., Kaya Z., Uncuoğlu E., Kara H.B., "A Case Study of A Gravity Wall Located In The Fishing Port Area", The Online Journal of Science and Technology, vol.9, no.1, pp.7-11, 2019

## **HAKEMLİ KONGRE / SEMPOZYUMLARIN BİLDİRİ KİTAPLARINDA YER ALAN YAYINLAR**

1. Çadir C.C., Yalçın H., Uncuoğlu E., Kaya Z., Erol A., "Dolgu Altında Geosentetiklerle Güçlendirilmiş Taş Kolonlar ile İyileştirilen Yumuşak Kil Zeminlerin Sayısal Analizi", 2.Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Kongresi, ADANA, TÜRKİYE, 4-5 Mayıs 2018, pp.1-1
2. Yalçın H., Çadir C.C., Kaya Z., Uncuoğlu E., Erol A., "Malzeme Yumuşaması Tekniği Kullanılarak 3 Boyutlu Tünel Analizi", 2.Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Kongresi, ADANA, TÜRKİYE, 4-5 Mayıs 2018, pp.1-1
3. Erol A., Kaya Z., Uncuoğlu E., Kara H.B., "A Case Study of A Gravity Wall Located In The Fishing Port Area", International Science and Technology Conference, Paris, FRANSA, 18-20 Temmuz 2018, pp.1-1
4. Kaya Z., Erol A., "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Sıvılaşmayla İlgili Vaka Analizi", 3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress, ADANA, TÜRKİYE, 24-26 Ekim 2018, pp.958-961 (Link)
5. Kaya Z., Uncuoğlu E., Erol A., Kara H.B., "Stability Analysis Along The High-Speed Train Route ", 3. International Conference on Civil and Environmental Engineering, İZMİR, TÜRKİYE, 24-27 Nisan 2018, vol.II, pp.205-210
6. Erol A., Kaya Z., Uncuoğlu E., Akpınar Erol G., "Analysis Of Vertical Surfaces Supported By Mini Piles Using Plaxis 2D", 3. International Conference on Civil and Environmental Engineering, İZMİR, TÜRKİYE, 24-27 Nisan 2018, vol.II, pp.197-204
7. Uncuoğlu E., Kaya Z., Kara H.B., Erol A., "Fore Kazıklı Ankrajlı Dayanma Yapılarına Dair Bir Vaka Analizi", 2. International Mediterranean Science and Engineering Congress, ADANA, TÜRKİYE, 25-27 Ekim 2017, pp.1569-1569
8. Çadir C.C., Yalçın H., Erol A., Kaya Z., "The FEM Based Analyses of Soft Soils Improved Using Geogrid Encased Stone Columns", International Conference on Civil and Environmental Engineering, NEVŞEHİR, TÜRKİYE, 8-10 Mayıs 2017, pp.1505-1506
9. Kaya Z., Çadir C.C., Uncuoğlu E., Erol A., Kara H.B., "Analysis of Soft Soils With ProShake and Plaxis 2D Program", International Conference on Civil and Environmental Engineering, NEVŞEHİR, TÜRKİYE, 8-10 Mayıs 2017, pp.1296-1296



10. Erol A., Kaya Z., Uncuoğlu E., Kara H.B., "A Case Study of An Anaerobic Digester Structure", International Science and Technology Conference, Berlin, ALMANYA, 17-19 Temmuz 2017, pp.2-8
11. Kaya Z., Uncuoğlu E., Erol A., Kara H.B., "Dairesel Kule Silonun Temel Tasarımı ve Oturma Analizi", 2. International Mediterranean Science and Engineering Congress, ADANA, TÜRKİYE, 25-27 Ekim 2017, pp.840-840
12. Kaya Z., Uncuoğlu E., Kara H.B., Erol A., "Geogrid Donatılı Şev Dolgusunun Stabilite Analizi", International Science and Technology Conference, Viyana, AVUSTURYA, 13-15 Temmuz 2016, pp.526-532
13. Uncuoğlu E., Kaya Z., Erol A., Kara H.B., "Liquefaction Potential and Post-Liquefaction Settlement of Soma Wastewater Treatment Plant", International Science and Technology Conference, Viyana, AVUSTURYA, 13-15 Temmuz 2016, pp.762-770
14. Kaya Z., Erol A., Yaltır Ş., Uncuoğlu E., Kara H.B., "Döküm Kumu ve Cürufun Yol Dolgularındaki Kullanılabilirliğinin Araştırılması", 6. Geoteknik Sempozyumu, ADANA, TÜRKİYE, 26-27 Kasım 2015, ss.258-265