

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

**KAYSERİ BÖLGESİ TURBA ZEMİNLERİNİN OTURMA
DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Leylanur DOĞANSOY**

**Danışman
Doç. Dr. Erdal UNCUOĞLU**

Yüksek Lisans Tezi

**Ağustos 2023
KAYSERİ**

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

**KAYSERİ BÖLGESİ TURBA ZEMİNLERİNİN OTURMA
DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Leylanur DOĞANSOY**

**Danışman
Doç. Dr. Erdal UNCUOĞLU**

**Ağustos 2023
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.

Leylanur Doğansoy

“Kayseri Bölgesi Turba Zeminlerinin Oturma Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Leylanur DOĞANSOY

Danışman

Doç. Dr. Erdal UNCÜOĞLU

İmza

İnşaat Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Ahmet Alper ÖNER

ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, her sıkıntım ve sorunumda beni kapısından çevirmeyen çok değerli danışmanım Doç. Dr. Erdal UNCUOĞLU' na teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmam öncesinde, süresince ve sonrasında daima yanımda olan ve olacak olan can dostum, en yakın arkadaşım Kübra GÜL' e çok teşekkür ederim.

Her zaman bana güç veren, karşılaştığım her zorlukta desteğini benden esirgemeyen, maddi ve manevi yanımda olan annem ve babama, uzakta da olsa desteğini daima hissettiğim kardeşim Serkan' a çok teşekkür ederim.

Leylanur DOĞANSOY

Ağustos 2023, KAYSERİ

KAYSERİ BÖLGESİ TURBA ZEMİNLERİNİN OTURMA DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Leylanur DOĞANSOY

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2023
Danışman: Doç. Dr. Erdal UNCULOĞLU

ÖZET

Yumuşak bir zemin türü olan turba, yüksek oranda lifli organik madde içeriğine sahip olup doku, sıcaklık, lif içeriği ve ayrışma derecesi nedeniyle bir yerden diğerine farklılık göstermektedir. Ülkemizdeki turba oluşumlarından bazıları Kayseri ilimizde bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında; Kayseri Serbest Bölgesinden blok şeklinde alınmış turba zemin örneklerinin endeks ve mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Yüksek deformasyon özelliğine sahip turba zeminlerin oturma davranışları, klasik ödometre deneyleri yapılarak incelenmiştir. Turba zeminlerinin farklı yükleme aşamalarında birincil konsolidasyon özellikleri ve özellikle ikincil sıkıştırma davranışları analiz edilmiştir.

Birincil konsolidasyon sonunun bulunması (t_p) için Casagrande Logaritma Zaman veya Taylor Karekök Zaman yöntemleri kullanılabilir. Turba zemin numuneleri üzerinde gerçekleştirilen standart konsolidasyon deneylerinde t_p süresinin Casagrande Logaritma Zaman yöntemi ile hesaplanabileceği deney eğrileri elde edilememiştir. Bu nedenle t_p süresi Taylor Karekök Zaman yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Turba zemin numuneleri üzerinde yapılan uzun süreli konsolidasyon deneyleri, doğrudan yükleme ve aşamalı yükleme olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada klasik ödometre deneylerinden elde edilen birincil konsolidasyon süreleri ve ikincil sıkışma indisi değerleri paylaşılmıştır. Uzun süreli yükleme deneylerinden elde edilen birincil sıkışma indisi ve ikincil sıkışma indisi değerleri karşılaştırılmıştır. Kayseri Bölgesi turba zemininin oturma davranışı hakkında elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kayseri Serbest Bölge, Turba Zemin, Konsolidasyon, Birincil Konsolidasyon Sonu, Uzun Süreli Yükleme Deneyleri

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE SETTLEMENT BEHAVIOR OF PEAT SOILS IN KAYSERİ REGION

Leylanur DOĞANSOY

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, August 2023

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Erdal UNCÜOĞLU

ABSTRACT

Peat which is a soft soil type has a high content of fibrous organic matter and differs from place to place due to texture, temperature, fiber content, and degree of decomposition. Some of the peat formations in our country are located in Kayseri. In this thesis study, the index and engineering properties of block peat soil samples taken from the Kayseri Free Zone were determined.

The settlement behavior of peat soils having high deformation capability was investigated performing classical oedometer tests. Primary consolidation properties and especially secondary compression behaviors of peat soils at different loading stages were analyzed.

Casagrande Logarithm Time or Taylor Square Root Time methods can be used to find the end of the primary consolidation (t_p). In the standard consolidation tests performed on peat soil samples, test curves could not be obtained to use the Casagrande Logarithm Time method obtaining t_p time. For this reason, the t_p time was calculated using the Taylor Root Square Time method. Long-term consolidation tests on peat soil samples were carried out in two different ways: direct and gradual loading. In this study, primary consolidation time and secondary compression index values obtained from classical oedometer tests are shared. The primary compression index and secondary compression index values obtained from long-term loading tests were compared. The results obtained related to the settlement behavior of peat soil in the Kayseri Region are presented.

Keywords: Kayseri Free Zone, Peat Soil, Consolidation, End of the Primary Consolidation, Long-Term Loading Tests

İÇİNDEKİLER

KAYSERİ BÖLGESİ TURBA ZEMİNLERİNİN OTURMA DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
GİRİŞ	1

1.BÖLÜM

TURBA ZEMİNLER

1.1. Giriş	4
1.2. Turba Zeminlerin Oluşumu ve Genel Özellikleri	4
1.3. Turba Zeminlerin Sınıflandırılması	5
1.4. Kayseri Turba Zeminleri ve Genel Özellikleri	7

2.BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Turba Zeminler Üzerine Literatür Taraması	10
--	----

3. BÖLÜM

TURBA ZEMİNLERİN SIKIŞMA DAVRANIŞI

3.1. Giriş	26
3.2. Turba Zeminlerin Sıkışma Davranışı	26
3.2.1. Birincil (Primer) Konsolidasyon	27
3.2.2. İkincil (Sekonder) Sıkışma	31

4. BÖLÜM

MATERYAL VE METOD

4.1. Giriş	34
4.2. Araziden Numune Alınması	34
4.3. Deneysel Çalışmalar	35
4.3.1. Su Muhtevasının Belirlenmesi	35
4.3.2. Dane Çapı Dağılımının Belirlenmesi	36
4.3.2.1. Elek Analizi Deneyi	37
4.3.2.2. Hidrometre Deneyi	37
4.3.3. Piknometre Deneyi	40
4.3.4. Kıvam Limitlerinin Belirlenmesi	41
4.3.4.1. Likit Limit- Koni Penetrasyon Deneyi	41
4.3.4.2. Plastik Limit Deneyi	43
4.3.5. Organik Madde Miktarı ve Kül İçeriğinin Belirlenmesi	44
4.3.6. Turba Zemini Konsolidasyon Deneyleri	45
4.3.6.1. Standart Konsolidasyon Deneyi	45
4.3.6.2. Uzun Süreli Konsolidasyon Deneyleri	46

5. BÖLÜM

KONSOLİDASYON DENEYLERİ ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Giriş	47
------------------	----

5.2. Konsolidasyon Deneyleri İçin Numunelerin Hazırlanması.....	47
5.3. Standart Konsolidasyon Deneyi.....	52
5.3.1. Standart Konsolidasyon Deneyine Ait t_p ve c_a Değerleri.....	58
5.3.2. c_a Değerlerine Göre Oturma Miktarları	59
5.4. Uzun Süreli Yükleme Deneyleri.....	60
5.4.1. Elde Edilen c_c ve c_a Değerlerinin Karşılaştırılması.....	60
5.5. Yükleme Süresinin c_a Davranışına Etkisi	62
5.6. c_a/c_c Grafiği	63
5.7. Literatüre Göre İkincil Sıkışma İndisi Tahminleri	64
5.8. Kayser Bölgesi Turba Zeminin Uzun Süreli Oturma Davranışı	67

6. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKÇA	72
EKLER.....	77
EK 1.	77
EK 2.	79
ÖZGEÇMİŞ.....	81

KISALTMALAR

KAYSER: Kayseri Serbest Bölge

Eop: Birincil Konsolidasyon Sonu

c_a : İkincil Sıkışma İndisi

c_c : Birincil Sıkışma İndisi

H: Hümifikasyon Derecesi

MTA: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

DSİ: Devlet Su İşleri

Pt: Turba

OR: Organik zemin

SPT: Standart Penetrasyon

N_{30} : SPT Deneyinde 30 Cm Derinliğe Karşılık Gelen Vuruş Sayısı

e-log p: Boşluk Oranı – Logaritmik Eksende Yük Eğrisi

e-log-t: Boşluk Oranı – Logaritmik Eksende Zaman Eğrisi

w_0 : Numunenin Başlangıç Su İçeriği

c_v : Konsolidasyon Katsayısı

$\Delta e / \Delta \log t$: Boşluk Oranı – Logaritma Zaman Eğrisinin Eğimi

$\Delta e / \Delta \log p$: Boşluk Oranı – Logaritma Basınç Eğrisinin Eğimi

t_p : Birincil Konsolidasyon Sonu

z: Zeminin Yer Yüzeyinden Tabakaya Kadar Olan Derinliği

$\Delta \sigma$: Toplam Gerilme Artışı

d: Zemin Tabakasının Kalınlığı

t_{100} : Birincil Konsolidasyon Sonu

U: Konsolidasyon Yüzdesi

t_{90} : Birincil Konsolidasyonun %90'nının Gerçekleştiği Süre

H: Tabaka Kalınlığı

e_0 : Başlangıç Boşluk Oranı

t: İkincil Konsolidasyon Aşamasında Geçen Süre

σ'_p : Ön Konsolidasyon Basıncı

$\sqrt{t}$: Karekök Zaman



TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. 1. Von Post Sınıflama Sistemine göre turba zeminlerin sınıflandırılması.....	6
Tablo 1. 2. Turba zeminlerin kül içeriği ve organik madde içeriğine göre sınıflandırılması	7
Tablo 2. 1. Literatür çalışmaları ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar	17
Tablo 2. 2. Literatür çalışmaları ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar	22
Tablo 3. 1. Zemin türlerine göre boşluk oranı değerleri	27
Tablo 3. 2. Zemin tiplerine göre c_a/c_c değerleri.....	33
Tablo 4. 1. Kayser Bölgesi turba zemin numuneleri su muhtevası tayini.....	36
Tablo 4. 2. Piknometre deneyi sonuçları.....	40
Tablo 4. 3. Koni penetrasyon deney sonuçları	42
Tablo 4. 4. Kayser bölgesi turba zemini fiziksel özellikleri	45
Tablo 5. 1. Basınç kademesi ve t_p değerleri	58
Tablo 5. 2. Standart konsolidasyon deneyine ait c_a değerleri	59
Tablo 5. 3. c_a değerlerine göre oturma miktarları	60
Tablo 5. 4. 25 kPa basınç kademesi için c_a değerlerinin karşılaştırılması	65
Tablo 5. 5. 50 kPa basınç kademesi için c_a değerlerinin karşılaştırılması	65
Tablo 5. 6. 100 kPa basınç kademesi için c_a değerlerinin karşılaştırılması	65
Tablo 5. 7. 150 kPa basınç kademesi için c_a değerlerinin karşılaştırılması	66
Tablo 5. 8. 200 kPa basınç kademesi için c_a değerlerinin karşılaştırılması	66

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1. Organik zeminin şematik gösterimi	5
Şekil 3. 1. Zemine toplam düşey gerilme artışının uygulanması	28
Şekil 3. 2. Casagrande (1936)'nin önermiş olduğu boy kısalması-log zaman eğrisi	29
Şekil 3. 3. Taylor Karekök Zaman yöntemi ile t_{90} süresinin elde edilmesi	30
Şekil 3. 4. Sıkışma zaman eğrileri.....	31
Şekil 4. 1. Kayser Bölgesi turba zemini.....	35
Şekil 4. 2. Turba zemin numunelerinin etüvde kurutulması	36
Şekil 4. 3. Elek analizi deneyinde kullanılan elekler ve sarsma cihazı.....	37
Şekil 4. 4. Hidrometre deneyinde kullanılacak numunenin etüvde kurutulması ve tartılması.....	38
Şekil 4. 5. Hidrometre deneyi mezürleri	39
Şekil 4. 6. Numune A granülometri eğrisi	39
Şekil 4. 7. Numune B granülometri eğrisi.....	40
Şekil 4. 8. Koni penetrasyon deney aleti.....	41
Şekil 4. 9. Koni penetrasyon deneyine ait su muhtevası – batma miktarı eğrisi.....	43
Şekil 4. 10. Plastik limit deneyinde kullanılan turba zemin numunesi	44
Şekil 4. 11. Organik madde tayini deneyi için kullanılan özel fırın	45
Şekil 5. 1. Streç film ile sarılmış deneyde kullanılacak numuneler	48
Şekil 5. 2. Konsolidasyon deney hücresi ve aparatları ve deneye hazır numune resmi..	49
Şekil 5. 3. Konsolidasyon deneylerinde kullanılan veri toplama cihazı	50
Şekil 5. 4. DS7 programı açılış sayfası-data girişi	50
Şekil 5. 5. DS7 programına deney başı numune bilgilerinin girilmesi	51
Şekil 5. 6. Deney süresi boyunca izlenen boy kısalması- log zaman ve boy kısalması-karekök zaman eğrileri.....	51
Şekil 5. 7. Deneylerde kullanılan konsolidasyon cihazları ve transduserleri.....	52
Şekil 5. 8. Standart konsolidasyon deneyi numune 1 e-logp eğrisi	53
Şekil 5. 9. Standart konsolidasyon deneyi numune 2 e-logp eğrisi	53
Şekil 5. 10. Cassagrande yöntemi ile N_1 için ön konsolidasyon basıncının bulunması ..	55
Şekil 5. 11. Cassagrande yöntemi ile N_2 için ön konsolidasyon basıncının bulunması ..	55

Şekil 5. 12. N2-25 Kpa yükleme için Taylor karekök zaman yöntemi ile t_p süresinin bulunması	56
Şekil 5. 13. N2-25 kPa basınç kademesi için e-logt eğrisi üzerinden c_a 'nın elde edilişi	57
Şekil 5. 14. N2-25 kpa basınç kademesi için karekök zaman eğrisi üzerinden c_a 'nın elde edilişi	57
Şekil 5. 15. N2-25 kpa yükleme için boy kısalması – logt ve e-logt eğrileri	58
Şekil 5. 16. Uzun süreli yükleme deneylerinde elde edilen c_c değerlerinin karşılaştırılması	61
Şekil 5. 17. Uzun süreli yükleme deneylerinden elde edilen c_a değerlerinin karşılaştırılması	62
Şekil 5. 18. 1 gün ve 7 gün bekleme süreli c_a değerlerinin karşılaştırılması	63
Şekil 5. 19. c_a/c_c grafiği	64
Şekil 5. 20. Uzun süreli deneyler için oturma miktarları	68

GİRİŞ

Yumuşak bir zemin türü olan turba, yüksek oranda lifli organik madde içeriğine sahip olup doku, sıcaklık, lif içeriği ve ayrışma derecesi nedeniyle bir yerden diğerine farklılık göstermektedir. [1]. Bu sebeple turba zemine sahip bölgelerde ayrı ayrı inceleme ve araştırmalar yapılmalıdır.

Kentleşme ve sanayileşme sürecinde yaşanan hızlı gelişme beraberinde yol, konut, endüstri binaları, baraj vb. yapılara olan ihtiyacı da artırmaktadır. Artan yapı ihtiyacı, bu yapıların turba zeminler üzerinde de inşa edilmesini kaçınılmaz hale getirmektedir. Bu yüzden, turba zeminlerin mühendislik özelliklerinin araştırılması ve daha iyi anlaşılması gereği doğmuştur [2].

Bununla birlikte; silt, kil gibi inorganik zeminlerin davranışları ve özellikleri ile turba zeminlerin davranışları ve özellikleri arasındaki farklılıklar sebebiyle, inorganik zeminlerle ilgili geliştirilmiş yöntemlerin ve deneyimlerin turba zeminler üzerinde uygulanması çoğu kez yeterli doğrulukta sonuçlar üretmeyebilir. Özellikle, inorganik zeminlerin oturma davranışlarını tanımlamaya yönelik yaklaşımlar her durumda turba zeminler için uyumlu sonuçlar doğurmamaktadır [2].

Ülkemizde, diğer ülkeler ile karşılaştırıldığında, turba oluşumlarının daha az yaygın olduğu görülmektedir. Ülkemizdeki turba oluşumlarından bazıları Kayseri ilimizde bulunmakta olup, Kayseri Serbest Bölgesi'nin (KAYSER) tamamında ve Kayseri 1. Organize Sanayi Bölgesi'nin Serbest Bölge'ye komşu olan bölgelerinde turba zeminler mevcuttur. Bu alanlarda konutlar ve sanayi tesisleri turba zemin üzerinde inşa edilmeye başlanmıştır.

Bu tez çalışmasında; Kayseri İli Melikgazi İlçesi Anbar Mevkii sınırları içerisinde yer alan ve yukarıda adı geçen Turba zemin oluşumlarının bulunduğu bölgelerden alınmış turba zemin örnekleri üzerinde, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat

Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında yapılan deneysel çalışmalar ile turba zeminlerin endeks ve mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Yüksek deformasyon özelliğine sahip turba zeminlerin oturma davranışları, klasik ödometre deney aletinde yapılan laboratuvar deneyleri aracılığıyla izlenip farklı yükleme kademelerindeki birincil konsolidasyon özellikleri ile özellikle ikincil sıkışma davranışları araştırılmıştır.

Ayrıca; bu çalışmada belirlenen Kayseri İli turba zeminine ait özellikler, diğer ülkelerdeki bazı turba zeminlerin belirlenmiş özellikleri ile karşılaştırılmıştır.

Tez çalışması aşağıda açıklandığı gibi altı bölümden oluşmaktadır:

Birinci bölümde turba zeminlerin oluşumu, genel özellikleri ve sınıflandırılması açıklanmıştır. Kayseri’de bulunan turba zeminler hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde turba zeminlere ait geniş bir literatür taraması sunulmuştur.

Üçüncü bölümde Turba zeminlerin oturma davranışı hakkında bilgi verilmiştir. Konsolidasyon sürecinin turba zeminlerde nasıl geliştiği anlatılmış, birincil ve ikincil konsolidasyon oturumaları hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışma kapsamında yapılacak olan klasik ödometre ve uzun süreli yükleme deneylerinde nasıl bir yol izlendiği açıklanmıştır. Birincil konsolidasyonun tamamlanması ve ikincil sıkışma indisi hesabının nasıl yapılacağı literatürdeki mevcut yaklaşımlar ile ilişkilendirilerek açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde araziden numune alınması, numunelerin laboratuvara getirilmesi ve laboratuvar ortamında saklanmasına dair bilgiler verilmiştir. Numuneler üzerinde zemin mekaniği laboratuvarında gerçekleştirilen endeks/sınıflama deneyleri anlatılmış olup bu deneyler sonucunda elde edilmiş olan verilere göre turba zeminin fiziksel özellikleri tanımlanmıştır.

Beşinci bölümde konsolidasyon deneyleri için numunelerin nasıl hazırlandığı, deneyin yapılışı ve deney sırasında yapılan ölçümler ile ilgili bilgiler verilmiştir. Turba zemin üzerinde yapılan konsolidasyon deneylerinin sonuçları paylaşılmıştır. Klasik ödometre deneylerinden elde edilen birincil konsolidasyon süreleri (e_{op}) ve ikincil sıkışma indisi (c_a) değerleri paylaşılmıştır. Uzun süreli yüklemeler sonucu elde edilen birincil sıkışma indisi (c_c) ve ikincil sıkışma indisi (c_a) değerlerinin karşılaştırılması yapılmış olup Kayseri Bölgesi turba zemininin oturma davranışı hakkında elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Tezin son bölümünde ise, elde edilen sonuçlar yorumlanmış, çalışma konusu ile ilgili gelecekte yapılacak çalışmalara dair öneriler sunulmuştur.



1.BÖLÜM

TURBA ZEMİNLER

1.1. Giriş

Bu bölümde turba zeminlerin oluşumu ve genel özellikleri, sınıflandırılması ve Kayseri Bölgesi turba zeminlerinin genel özellikleri anlatılacaktır.

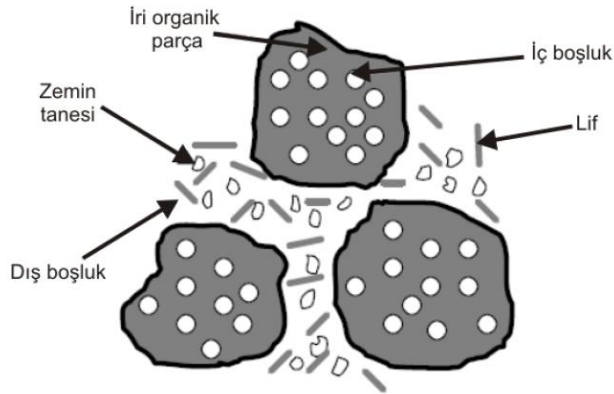
1.2. Turba Zeminlerin Oluşumu ve Genel Özellikleri

Turba zeminler, sulu alanlarda kısmen ayrılmış bitki kalıntılarının birikmesiyle oluşmuş organik madde içeriği yüksek, siyah veya koyu kahverengi renkli zeminlerdir [1]. Turba zeminler, geoteknik açıdan yüksek oturma potansiyeline ve düşük taşıma kapasitesine sahip olduklarından yapı temel zemini olmak için uygun bir zemin türü değildir [3].

Çoğu ülkede karşılaşılan turba zeminler dünya kara yüzeyinin %5 ila %8'ini oluşturmaktadır. Turba zeminler, uygun iklim ve topografik koşullar altında sulak alanlarda oluşan parçalanmış organik maddelerin bir karışımıdır. Ölü bitkilerin oksijen eksikliği sebebiyle parçalanamadığı ve su içeriğinin fazla olduğu yerlerde yavaş yavaş oluşurlar. Kimyasal olarak değişime uğramış ve fosilleşmiş bitki örtüsünden oluşan bu zeminlerde organik madde içeriği %75'ten fazladır. Turba zeminler; düşük kayma mukavemeti, yüksek sıkışabilirlik ve yüksek su içeriği nedeniyle genellikle sorunlu zemin olarak adlandırılır [1,8].

Şekil 1.1.'de gösterildiği gibi turba zeminler, genellikle, organik parçalar, lifler ve hacminin büyük bir kısmını kaplayan iç boşluklardan oluşmaktadır [2, 4]. Yüksek su içeriği malzemenin yumuşak ve çok hassas olmasına neden olur. Birçok araştırmacının turba zemini zorlu bir zemin olarak tanımlamasının sebebi de budur [5]. Yüksek sıkışabilirlik ve düşük taşıma gücü özelliklerinden dolayı bu tür zeminlerin oturma

miktarlarını azaltmak ve taşıma kapasitelerini artırmak için çoğu kez zemin iyileştirme yöntemleri uygulanmaktadır [4].



Şekil 1. 1. Organik zeminin şematik gösterimi [2]

Turba zeminden numune alınması ve numunenin oksijen ile temas etmesi, bulunduğu yerden pH değeri daha yüksek su ile temas etmesi ve numunenin bulunduğu yerden daha yüksek sıcaklığa maruz kalması durumlarında ayrışma hızı büyük ölçüde artmaktadır. Amorf turba, lifli turbaların ve bitki kalıntılarının biyokimyasal ayrışması ve parçalanması sonucu oluşur. Amorf turbalar önemli miktarda inorganik madde içerirler ve lifli turbalara göre daha düşük boşluk oranına, geçirgenliğe, sıkışabilirliğe ve sürtünme açısına sahiptir.

Ülkemizde 19 ilimiz içerisinde çeşitli büyüklüklerde turba oluşumları belirlenmiştir. Bu oluşumlardan en önemlileri Hakkari (Yüksekova), Kayseri (Ambarköy ve civarı), Bolu (Abant gölü, Yeniçağa), Trabzon (Ağaçbaşı Yaylası) ve Yeşilırmak deltasındadır [2].

1.3. Turba Zeminlerin Sınıflandırılması

Turba zeminlerin sınıflandırılması, genellikle, organik içerik, lif içeriği ve kül içeriğine göre yapılır [1]. ASTM D4427 standardı; turba zemini, kül içeriği kuru ağırlıkça %25'ten az, organik madde içeriği %75' ten fazla olan zemin olarak adlandırmaktadır. Bununla birlikte; lif içeriğine göre sınıflandırmada %67'den fazla lif içeriğine sahip turba zeminler fibrik, %33 ile %67 arasında lif içeriğine sahip turba zeminler hemik ve %33'ten az lif içeriğine sahip turba zeminler de saprik olarak adlandırılır. [6].

Von Post sınıflandırma sisteminde turbanın fiziksel özellikleri dikkate alınarak el ile sıkıldığında gösterdiği davranışlara göre hümifikasyon derecelerinin (H) H1 ile H10 aralığında değiştiği bir sınıflandırma yapılır. H1 sınıfında, turba tam olarak turbaya dönüşmemiş ve el ile sıkıldığında berrak bir su çıkışı gözlenirken, H10 sınıfında turba tamamen ayrılmıştır ve el ile sıkıldığında turbanın tamamı parmaklar arasından geçer. Tablo 1.1.'de Von Post sınıflama sistemine ait hümifikasyon derecelerine göre tanımlamalar verilmiştir.

Tablo 1. 1. Von Post Sınıflama Sistemine göre turba zeminlerin sınıflandırılması [2]

Von Post Sınıflandırma Sistemi	Tanımlaması
H1	Tam olarak turbaya dönüşmemiş zemin sınıfını içerir. El içerisinde sıkıldığında berrak bir su açığa çıkar. İçerisindeki bitkiler kolayca tanımlanabilmektedir.
H2	Tam olarak turbaya dönüşmemiştir. El içerisinde sıkıldığında berrak renge benzeyen su açığa çıkar. İçerisindeki bitkiler kolayca tanımlanabilmektedir.
H3	Çok az miktarda çürümüş (ayrışmış) turbadır. El içerisinde sıkıldığında çamur renginde su çıkar.
H4	Az miktarda çürümüş (ayrışmış) turbadır. El içerisinde sıkıldığında çamurlu su ortaya çıkar ve bitki kalıntılarına çok az rastlanır.
H5	Orta derecede çürümüş (ayrışmış) turbadır. El içerisinde sıkıldığında bir miktar amorf malzeme parmaklar arasından geçer.
H6	Orta derecede çürümüş (ayrışmış) veya çamurlu turbadır. El içerisinde sıkıldığında turbanın üçte biri parmaklar arasından geçer.
H7	Neredeyse iyi derecede çürümüş (ayrışmış) turbadır. El içerisinde sıkıldığında turbanın yaklaşık olarak yarısı parmaklar arasından geçmektedir. Turba ile beraber içindeki su da parmaklar arasından geçerse bu su koyu renklidir.
H8	Çok iyi derecede çürümüş (ayrışmış) turbadır. El içerisinde sıkıldığında turbanın yaklaşık üçte ikisi parmaklar arasından geçmektedir. Geçmeyen malzeme ise lifler ve köklerdir.
H9	Neredeyse tamamen çürümüş (ayrışmış) turbadır. El içerisinde sıkıldığında malzeme üniform kıvamlıdır.
H10	Tamamen çürümüş (ayrışmış) turbadır. El içerisinde sıkıldığında tüm malzeme parmaklar arasından geçmektedir.

ASTM D4427 standardına göre, lif içeriğine göre yapılan sınıflandırma Von Post sınıflandırması ile ilişkilendirilebilmektedir. Buna göre fibrik özelliğe sahip turba

yaklaşık olarak H1- H3 aralığına, hemik özelliğe sahip turba H4 - H6 aralığına ve saprik özelliğe sahip turba da H7 - H10 aralığına karşılık gelmektedir [6].

Turba zeminler, kül içeriklerine göre ASTM D2974' de [7] aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır. %5'ten az kül içeriğine sahip turba zeminler düşük, %5 ila %15 aralığında kül içeriği olanlar orta ve %15'ten fazla kül içeren turba zeminler de yüksek kül içeriğine sahip turba zeminler olarak adlandırılmıştır. Wüst vd. Tablo 1.2.'de açıklandığı gibi turba zemin için organik madde içeriği ve kül içeriği yüzdelerine göre daha detaylı bir sınıflama sistemi oluşturmuştur.

Tablo 1. 2. Turba zeminlerin kül içeriği ve organik madde içeriğine göre sınıflandırılması [8]

Zemin Türü	Organik Madde İçeriği (%)	Kül İçeriği (%)
Organik madde içeren mineralli zemin	0-20	80-100
Organik madde bakımından zengin zemin	20-35	65-80
Çamur	35-45	55-65
Kül içeriği çok yüksek turba	45-60	40-55
Kül içeriği yüksek turba	60-75	25-40
Orta derecede kül içeriğine sahip turba	75-85	15-25
Düşük kül içeriğine sahip turba	85-95	5-15
Çok düşük kül içeriğine sahip turba	95-100	0-5

1.4. Kayseri Turba Zeminleri ve Genel Özellikleri

Ülkemizdeki turba zemin oluşumlarının bir bölümü Kayseri ilimizde bulunmaktadır. Kayseri ilinde; Kayseri İli Melikgazi İlçesi Anbar Mevkii sınırları içerisinde yer alan Kayseri Serbest Bölgesi'nin (KAYSER) tamamında ve Kayseri 1. Organize Sanayi Bölgesi'nin Serbest Bölge' ye komşu olan bölgelerinde turba zeminler mevcuttur. Bu alanlarda özellikle sanayi tesisleri turba zemin üzerinde inşa edilmektedir.

Kayseri İlinin batısında bulunan turba sahasında 1969 senesinde MTA Genel Müdürlüğü ile Otto-Gold firması tarafından yapılan çalışmalarda turba sahasının genişliği yaklaşık olarak 25 km² olarak ölçülmüştür. Ülkemizdeki en büyük turba oluşumu bu alandadır. Sondajlarda, 0–10 metre derinlikleri arasında karşılaşılan turba zeminler üst seri, 20–160 metre derinlikleri arasında yer alan turba zeminler de alt seri olarak adlandırılmıştır [3].

Kayseri Serbest Bölgesi'nde (KAYSER) ana kayanın 120 m derinlikte olduğu ve bunun üzerinde kalın turba tabakalarının bulunduğu bilinmektedir. Yeraltı su seviyesi zemin yüzeyine oldukça yakındır [9].

Yakın zamana kadar sazlık olan bölge, Devlet Su İşleri (DSİ)'nin açmış olduğu kanallar ile kurutulmuştur. Bölgedeki genel zemin profili üstte yer alan ve kalınlığı 6.0 m – 8.0 m'ye kadar ulaşan Turba (Pt) ya da Organik Zemin (OR) tabakası devamında Silt ve Kil serileri içeren Alüvyon tabakalardan oluşmaktadır. Derinlik boyunca Alüvyon tabakaları arasında Turba tabakalar ile bant şeklinde de karşılaşılmaktadır [10].

Ulusay vd. [8], Kayseri Serbest Bölgesi ve 1. Organize Sanayi Bölgesi'ndeki Turba zeminlerin endeks ve mühendislik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmaları kapsamında 2 adet sondaj kuyusu ve 2 adet de araştırma çukuru açmışlardır. Araştırma çukurlarını 2.3 metre derinliğinde kazmışlar ve açmış oldukları ilk araştırma çukurunda turbayı 0.7 m derinlikte, ikinci araştırma çukurunda ise yüzeyde gözlemişlerdir. Araştırma çukurlarının üst bölgelerinde lif-kil-silt içeren turba zeminin yanı sıra yer yer yaprak kalıntıları ve lif içeren, el ile sıkılması kolay turba zemin ile karşılaşmışlardır. Bu nedenle zemini, lifli turba olarak sınıflandırmışlardır. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi'nde açmış oldukları sondajda zemin yüzeyinden 3.5 m derinliğe kadar kil, silt ve turba karışımı ve 6 ile 6.5 m arasında turba-kil tabakasının olduğunu belirtmişlerdir. Kayseri Serbest Bölgesi'nde açmış oldukları sondajda ise turbanın 1 ile 7 m arasında olduğunu, altında siltli bir kil tabakasının bulunduğunu belirtmişlerdir. Bu alanlarda sırası ile yer altı su seviyelerine 1.5 ve 1.9 m derinliklerde rastlamışlardır. Turba zemin tabakalarında yapılan Standart

Penetrasyon Deneylerinde (SPT), SPT darbe sayısı değerleri $N_{30} = 1-4$ arasında elde edilmiştir.

Kayseri ili turba zeminleri sığ derinliklerde lifli olup derinlik arttıkça amorf hale gelmektedir. [8]. Araştırmacılar genellikle Kayseri Bölgesi turba zemininin Von Post sınıflama sistemine göre H3-H4 ve ASTM D4427 standardına göre ise hemik sınıfında olduğunu belirtmişlerdir [3].



2.BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Turba Zeminler Üzerine Literatür Taraması

Literatürde; turba zeminlerin yaygın olarak bulunduğu ülkelerde, bu zeminlerin fiziksel özelliklerinin tanımlanması ve sınıflandırılması, mukavemet ve sıkışabilirlik davranışlarının incelenmesi ve turba zeminlerin iyileştirilmesi konularında yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır [2]. Bu tez çalışması kapsamında, çoğunlukla, turba zeminlerin birincil konsolidasyon ve ikincil sıkışma davranışına ait çalışmalar incelenmiştir.

Samson ve La Rochelle [11], Fox ve Edil [12], Mesri vd. [13], Ajlouni [14] ve Gofar [15] yaptıkları çalışmaların sonucunda; turba zeminlerde, birincil konsolidasyon süresinin kısa olduğunu ve turba zeminlerin oturma davranışını ortaya koyabilmek için ikincil sıkışma davranışlarının daha ayrıntılı ele alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Gofar [15] ve Robinson [16], turba zeminlerde, diğer zemin türlerinden farklı olarak, birincil ve ikincil konsolidasyon süreçlerinin e -log p (boşluk oranı – logaritmik eksende yük) grafiklerinde birbirlerinden net bir şekilde ayrılamadığını söylemişlerdir. Robinson [16], yapmış olduğu konsolidasyon deneylerinde boşluk suyu basınçlarını ölçmüş ve boşluk suyu basıncı değerlerinin okuma – log zaman eğrisinin kırılma noktasında okunan zamandan daha önce sönümlendiğini bulmuştur [2].

Fox ve Edil [12], sıcaklığın ve düşey efektif gerilmenin Middleton (Wisconsin, ABD) turbalarının ikincil sıkışma davranışına etkilerini arazi ve laboratuvar deneyleri ile araştırmıştır. Middleton turbalarının başlangıç su içeriği, kül içeriği ve boşluk oranı belirlenmiş ve Von Post sistemine göre H4 olarak sınıflandırılmıştır. Alınan numuneye klasik ödometrede 44 kpa değerinde bir normal gerilmeyi 1,5 yıl boyunca uygulayarak;

numunenin sıkışma davranışını ölçmüşlerdir. Araştırmacılar, boşluk suyu basıncı ölçümlerinden aldıkları sonuçlara göre birincil konsolidasyonun 1 dk'dan daha az sürede tamamlandığını ve ikincil sıkışma indisinin zamanla arttığını belirtmişlerdir. 24 saatlik konsolidasyon deneyinden elde edilen ikincil sıkışma değerinin kullanılmasıyla hesaplanan oturma miktarlarının gerçekte meydana gelebilecek oturmadan daha düşük olarak elde edileceğini söylemişlerdir [2].

Mesri ve Godlewski [17], zeminlerin farklı basınç yükleri altında belirlenen birincil konsolidasyon ve ikincil sıkışma katsayıları (c_a/c_c) arasındaki ilişkinin doğrusal olduğunu belirtip turba zeminlerin ikincil sıkışma değerinin belirlenmesinde bu ilişkiden yararlanmışlardır. Araştırmacılar, sıkışma katsayısı (c_c)'yi e -log- p eğrisi üzerinde her gerilme aralığı için bu eğrinin eğiminden hesaplamışlardır. İkincil sıkışma katsayısını ise e -log- t (boşluk oranı – logaritmik ekseninde zaman) eğrilerinden, birincil sıkışma katsayısını belirledikleri yük aralığında birincil oturmanın tamamlanma zamanından sonraki kısımda, kalan eğrinin eğimini kullanarak belirlemişlerdir.

Middleton turbalarının ikincil oturma davranışını değerlendirmek için konsolidasyon deneyleri yapan Mesri vd. [13], turbanın birincil konsolidasyon süresinin kısa olduğunu ve bu sebeple yapının inşasının bitiminden hemen sonra ikincil konsolidasyonun varlığına dikkat çekmişlerdir. Bu araştırmacılar, turba zeminlerde yapılacak inşaatların güvenliği açısından, turbaların ikincil konsolidasyon değer ve parametrelerinin doğru bulunmasının önemini vurgulamışlardır [2].

Ajlouni [14], Casagrande'nin önermiş olduğu ampirik yaklaşım ile turba zeminlerde belirlediği birincil konsolidasyonun tamamlanma süresinin aşırı boşluk suyu basıncı ölçümlerinden bulduğu zaman ile hemen hemen aynı olduğunu belirtmiştir. İkincil sıkışma davranışının zamana göre değişiminin c_a/c_c ve boşluk oranı – logaritmik ekseninde basınç (e -log p) grafiği ilişkisinin ortalamasından belirlenebileceğini saptamıştır. Araştırmacı ayrıca, turba zeminlerin başlangıç su içeriğinin (w_0) 100'e bölünmesi ile birincil sıkışma indisi (c_c) değerinin tahmin edilebileceğini de belirtmiştir [2].

Mohamad vd. [5], Kuzey Borneo bölgesinde bulunan ve saprik özellik gösteren Klias yarım adasındaki turba zeminin mühendislik özelliklerini ve sıkışabilirlik davranışını araştırmışlardır. Araştırmacılar örnekleme sürecini iki bölüme ayırarak örselenmiş ve örselenmemiş numuneler almışlardır. Zemin yüzeyinin 1 m altında bulunan turba

profilinin genel olarak lifsiz ve çok yumuşak olduğunu belirtmişlerdir. Sıkışabilirlik davranışını gözlemlemek amacıyla tek boyutlu ödometre deneyi yapmışlardır. Deneyde kullanılmış olan numune boyutu yaklaşık 20 mm kalınlığında ve 50 mm çapındadır. Konsolidasyon deneyinde 2, 6.25, 12.5, 25, 50, 100 ve 200 kPa şeklinde değişen yük kademeleri uygulamışlardır. Her yük artışı için numune, genel olarak 24 saat içinde birincil konsolidasyona ulaşmıştır. Deney sonucunda konsolidasyon katsayısını (c_v) belirlemek için Casagrande yöntemini kullanmışlardır. En yüksek c_v değerinin, en düşük yükleme olan 2 kPa değerine karşılık geldiğini bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalar ile zeminin ön konsolide olduğunu söylemişlerdir.

Ali vd. [18], iyileştirilmiş turba zeminin mühendislik özelliklerini ve sıkışma davranışını incelemek için araştırmalar yapmıştır. Örselenmemiş turba zemin örneklerinin elde edilebilmesi için 300 mm yükseklikte ve 300 mm çapta blok örnekleyiciler kullanmışlardır. Ödometre deneylerinde her bir zemin numunesinin yükleme, 1'lik bir yük artış oranı ve 7 günlük bir yük artış süresi ile gerçekleştirilmiştir. Örselenmemiş ve stabilize turba numuneler için konsolidasyon katsayısının karekök zaman yöntemi ile logaritma zaman yöntemine göre daha doğru şekilde tahmin edebileceğini söylemişlerdir. Stabilize turba numunesinde, örselenmemiş turba numunesine kıyasla ikincil ve üçüncül sıkışma oranlarının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür.

Reddy vd. [19], tek boyutlu artımlı yükleme deneyleri yaparak, Jadavpur ve Howrah organik kilinin birincil ve ikincil konsolidasyon davranışını araştırmıştır. Çalışmada kullanılacak olan organik zemin örneklerinden biri Jadavpur' dan diğeri de Howrah' tan alınmıştır. Jadavpur'dan Howrah'a doğru organik içeriğin artmasıyla birlikte Atterberg limitlerinin yanı sıra plastisite indisinin arttığı ve özgül ağırlığın azaldığı görülmüştür. Howrah organik kilinin daha fazla organik içeriğe sahip olması nedeni ile, Jadavpur organik kiline göre daha fazla sıkışabilir olduğu gözlenmiştir.

Reddy vd. [19], fazla boşluk suyu basıncının tamamen sönümlenmesi ile, birincil konsolidasyonun sona erdiğini ve bu noktanın birincil ve ikincil konsolidasyon aşamalarını ayırdığını belirtmişlerdir. Çalışmada boşluk suyu basıncını ölçmedikleri için, birincil konsolidasyon süresini (eop) belirlemek adına Casagrande' nin logaritma zaman yöntemini kullanmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, Howrah organik kili için toplam oturma miktarının Jadavpur organik kilinden daha yüksek olduğunu gözlemişlerdir.

Araştırmacılar, genellikle, yüksek c_c değerlerinin, yüksek ikincil sıkışma indisini gösterdiğini belirtmişlerdir. Jadavpur ve Howrah organik kil zeminleri için c_a/c_c değerleri, sırasıyla, 0.038 ve 0.051 olarak elde edilmiştir. Yükleme süresinin artmasının birincil ve ikincil konsolidasyon davranışı üzerindeki etkisinin ihmal edilebilir olduğunu belirtmişlerdir.

Ulusay vd. [8], Kayseri ili turba zeminleri ile ilgili çalışmalar yapmış, turba zeminin sığ derinliklerde lifli olduğunu ve yaklaşık 8 m derinliğe doğru amorf hale geldiğini belirtmişlerdir. Sanayileşmenin hızla devam ettiği bu bölgelerde, yapıların duvarlarında bazı çatlaklar ve ağır metal çerçeveli yapıların altındaki zeminde de konsolidasyona bağlı deformasyonlar gözlemlenmiştir.

Konsolidasyon deneylerini, 10 ile 1600 kPa arasında değişen farklı basınç kademelerinde gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında logaritma-zaman eğrisine nazaran karekök-zaman eğrisinin en uygunu olduğunu düşünerek bu yöntemi kullanmışlardır. Farklı yükleme seviyelerine ve c_a/c_c değerlerine göre çizilen grafiklerden, c_a/c_c değerlerinin yaklaşık 10 kPa'lık bir basınç seviyesi için 0,09'a kadar arttığını, tüm numunelerde 50 kPa'dan daha büyük basınçlar için ise 0,03 ile 0,01 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar çalışmada elde edilen c_a/c_c değerlerinin Malezya'nın tropikal turba zeminlerine ait değerlere yakın olduğunu bildirmişlerdir.

Mesri ve Ajlouni [20], Middleton ve James Bay bölgelerinden aldıkları örselenmemiş blok numuneleri kullanarak, lifli turbaların geçirgenliği, sıkışabilirliği ve kayma mukavemetini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, lifli turbaların sıkışma indisinin (c_c), yumuşak kil ve silt numunelere göre 5 ila 20 kat kadar daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Örselenmemiş numune alamama ve laboratuvar deney sonuçlarının olmadığı durumlarda, lifli turba zeminlerin doğal su içeriğinden yararlanılarak sıkışma indisinin $c_c = w_o/100$ bağıntısı ile tahmin edilebileceğini bildirmişlerdir.

Araştırmacılar, turba zeminlerin ikincil sıkışma davranışının tamamen c_a/c_c sıkışabilirlik yasası tarafından idare edildiğini söylemişlerdir. Herhangi bir zemin için, ikincil sıkışma indisinin ve sıkışma katsayısının, sırası ile $c_a = \Delta e / \Delta \log t$ (boşluk oranı – logaritma zaman eğrisinin eğimi) ve $c_c = \Delta e / \Delta \log p$ (boşluk oranı – logaritmik ekseninde basınç eğrisinin eğimi) denklemleri kullanılarak elde edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, lifli turba zeminlerin en yüksek c_a/c_c değerlerine sahip olduğunu, granüler malzemelerde

ise c_a/c_c değerlerinin en düşük olduğunu bildirmişlerdir. Turba zeminlerde birincil konsolidasyon süresi (t_p) çok kısa olduğundan ikincil sıkışmanın turba zeminler için çok daha önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Gofar ve Sutejo [21], lifli turba zeminlerde sıkışmasının birincil konsolidasyon, ikincil sıkışma ve üçüncül sıkışma olmak üzere üç aşamada gerçekleştiğini belirtmiştir. 151.4 mm iç çapa ve 50 mm yüksekliğe sahip Rowe konsolidasyon hücresinde 25, 50, 100 ve 200 kPa'lık basınç kademelerinde konsolidasyon deneyleri yapmışlardır. Robinson (2003) [22] tarafından önerilen yöntem ile Rowe konsolidasyon deneylerinden elde edilen, sıkışma-zaman ve aşırı boşluk suyu basıncı eğrilerini kullanarak ikincil konsolidasyonun başlangıç zamanını (t_p)' yi belirlemek istemişlerdir. Sıkışma-zaman eğrisinde birincil konsolidasyonun bittiği ve ikincil sıkışmanın başladığı varsayılan bir bükülme noktası net bir şekilde görülemediğinden geleneksel yöntemle değerlendirme yapamamışlardır. Deneyler sonucunda, konsolidasyon basıncı ne kadar yüksek olursa, fazla boşluk suyu basıncının o kadar hızlı sönmüldüğü ve birincil konsolidasyon için gereken sürenin de o kadar kısaldığı ortaya konmuştur.

Long ve Boylan [23], turba zeminlerde yapılan deneylerde numune kalınlığı, numune kalitesi, numune yükleme hızı gibi konuların deney sonuçlarına etkisini incelemek için İrlanda'da on, Hollanda'da iki ve Norveç'te de iki farklı bölgede yer alan turba zeminlerden numune almışlardır. Beş turba sahasında da tam ölçekli yükleme deneyleri yaparak yerinde oturma kayıtları elde etmişlerdir. Konsolidasyon deneyinde üç farklı deney türü kullanmışlardır. Deneylerin çoğu, 24 saatlik artımlı yükleme deneyleri olup uygulanan yükün önceki yüke oranını genellikle iki olarak seçmişlerdir. Deney sonuçlarının, özellikle blok numuneler için, Mesri ve Ajlouni (2007) [20] tarafından önerilen $c_c = w_0/100$ ilişkisi ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. c_a/c_c değerini ortalama 0.072 olarak elde etmişlerdir. Konsolidasyon katsayısı (c_v)' yi belirlemek için Taylor'un karekök zaman yöntemini kullanmışlardır.

Waruwu vd. [24], konsolidasyon deney aleti ile bir dizi yükleme deneyi yapmıştır. Ayrıca; laboratuvarında küçük ölçekli bir model dolgu zemin ile turba zeminlerin sıkışabilirliğini belirlemeyi amaçlamışlardır. Birincil ve ikincil konsolidasyon ile üçüncül sıkışmanın sınır değerlerini elde etmek için numune 34 gün boyunca sürekli olarak 25 kPa basınca maruz bırakılmıştır.

Uzun süreli yaptıkları deneyin sonuçlarında, turba numunesinin birincil konsolidasyonunu yaklaşık 5 dakika içinde tamamladığını ve yaklaşık 253 saat boyunca ikincil konsolidasyonun gerçekleştiğini, hemen ardından üçüncül sıkıştırmanın oluştuğunu bildirmişlerdir. Bir haftalık yük artış süresi kullanarak turba zeminin sıkışabilirliğine baktıklarında, 24 saatlik deneylere göre daha fazla sıkışma oluştuğunu görmüşlerdir. Turbanın uzun vadeli sıkışabilirliğinin de ikincil konsolidasyonunun baskın olduğunu söyleyen Waruwu vd. [24], zeminin sıkışma indisi (c_c) değerini, haftalık yük artış süresi kullanarak yapılan deney sonucunda 24 saatlik deneylere göre daha yüksek elde etmişlerdir.

Özcan vd. [25], Kayseri ili Ambarköy Mevki'nde, iki büyük sanayi yerleşiminin (Kayseri 1. Organize Sanayi Bölgesi ve Kayseri Serbest Bölgesi) bulunduğu bölgelerde çalışma yapmışlardır. Çalışmada turba zeminlerin özelliklerinin yerinde araştırılması için sondajlar ve muayene çukurları açılmış, sismik etütler yapılmış ve turba zemin üzerine inşa edilmiş beton platformdan uzun süreli arazi okumaları alınarak platformun oturması izlenmiştir. Araştırmanın ikinci aşamasında, sahadan toplanan turba örneklerinin endeks ve sıkışma özellikleri laboratuvarında belirlenmiştir. Turba zeminlerin doğal su içeriğinin derinlikle birlikte artma eğiliminde olduğunu ve %72 ile %376 arasında değiştiğini ayrıca likit limit değerlerinin genel olarak doğal su içeriğinden daha düşük olduğunu ve %104 ile %205 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Sıkışabilirlik özelliklerini belirlemek için 14 adet örselenmemiş turba ve 2 adet örselenmemiş siltli kil numunesi üzerinde 3-1900 kPa arasında değişen farklı basınç kademelerinde tek boyutlu konsolidasyon deneyleri yapmışlardır. Turba zeminin ikincil sıkışmasını tahmin etmek ve uzun süreli oturma davranışını izlemek için, sondaj çalışmaları sırasında alınmış örselenmemiş numunelerden biri, 24 kPa konsolidasyon basıncı altında 8 gün boyunca konsolide edilmiştir. Diğer tüm numuneler ise yukarıda belirtilen basınç kademeleri altında deneye tabi tutulmuş olup deney süresi de 48 saattir.

Li X, Fu Y vd. [26], birincil ve ikincil konsolidasyon özelliklerini belirlemek için Çin'in Kunming şehriden örselenmemiş turba zemin numuneleri almış ve numuneler üzerinde bir dizi geleneksel konsolidasyon deneyi ile 60 günlük uzun süreli konsolidasyon deneyi gerçekleştirmişlerdir. Birincil konsolidasyon süresi (e_{op}) ve ikincil konsolidasyon katsayısını (c_a) Casagrande yöntemi ile elde etmişlerdir. Konsolidasyon basıncı 25 kPa olduğunda, birincil konsolidasyonun tamamlanma süresinin en kısa olduğunu ve 25-200

kPa aralığında, konsolidasyon basıncının artmasıyla birlikte birincil konsolidasyonun tamamlanma süresinin de kademeli olarak arttığını belirtmişlerdir. 200 kPa' dan büyük yüklemelerde, birincil konsolidasyonun tamamlanma süresinin artmadığı veya çok az azaldığı gözlemlenmiş ve nedeninin de zeminin yapısal yenilmesi olduğu bildirilmiştir.



Tablo 2. 1. Literatür çalışmaları ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar

Kaynak	Zemin Türü	Lokasyon	Zemin Özellikleri	Turba Zemin Yapıları		Numunelerin Alındığı Derinlikler (m)	Numune Örselenmesi	Konsolidasyon Parametreleri				
								m _v (m ² /MN)	C _c	c _v (m ² /yıl)	C _a	C _a /C _c
Dhowian ve Edil, 1980	Turba	Fond du Lac County, ABD	OMİ=%60,2 Gs=1,94 Lİ=%20 yb=10,2 w=%240	saprik	Numuneler amorf granüler turbadan, lifli turbaya değişmekte	-	Örselenmemiş Numune	-	1,68-4,10	-	0,04-0,13	-
Dhowian ve Edil, 1980	Turba	Portage, ABD	OMİ=%80,5 Gs=1,72 Lİ=%31 yb=9,6 w=%600	hemik				-	4,70-2,90	-	0,17-0,18	0,028-0,062
Dhowian ve Edil, 1980	Turba	Waupaca County, ABD	OMİ=%85 Gs=1,68 Lİ=%50 yb=9,6 w=%460	fibrik				-	1,68-4,10	-	0,04-0,13	-
Dhowian ve Edil, 1980	Turba	Middleton, ABD	OMİ=%88 Gs=1,41 Lİ=%64 yb=9,1 w=%510	fibrik				-	1,68-4,10	-	0,04-0,13	-
Mesri ve Ajlouni, 2007	Turba	Middleton, ABD	OMİ=%90–95 GS=1,53–1,65 w=%510–850 e0=8,3–14,2	lifli turba		2,50	Örselenmemiş Numune	-	-	1,8-8,1	-	0,053
Mesri ve Ajlouni, 2007	Turba	James Bay, Kanada	OMİ=%96 GS=1,50–1,64 w=%1000–1340 e0=18,0–23,5					-	-	0,8-2,1	-	0,06

Tablo 2. 1. Literatür çalışmaları ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar (devamı)

Kaynak	Zemin Türü	Lokasyon	Zemin Özellikleri	Turba Zemin Yapıları	Numunelerin Alındığı Derinlikler (m)	Numune Örselenmesi	Konsolidasyon Parametreleri				
							m_v (m ² /MN)	C_c	c_v (m ² /yıl)	C_a	C_a/C_c
Gofar ve Sutejo,2007	Turba	Malezya	HD=H4 OMİ=%97 Lİ=%90 GS=1,47 yb=10.02 w=%608 e0=9	çok yüksek organik ve lif içeriğine sahip lifli turba	-	Örselenmemiş Numune	-	3,15	3,259-5,689	0,0102-0,0304	-
Suneel vd., 2008	KİL - Cc→boşluk oranına karşı etkin dikey gerilme eğrisi, Ca→ e-log t eğrisinin doğrusal eğimi	Güney Kore	w=%32-74 e0=0,53-2,10 LL=%22-79 Ip=%20-47	orta ila yüksek plastisiteli kil	2,0-60	Örselenmemiş Numune	-	0,3-1,23		0,04-0,15	0,025-0,10
Ulusay vd.,2010	Turba	Kayseri	HD=H3-H7 OMİ=%22,3-58 yb=9,0-13,8 yd=3,38-6,26 w=%105-559 e0=2,19-4,68 LL=147,5-320 PL=NP	Turbalar sığ derinlikte liflidir ve yaklaşık 8 m derinliğe kadar uzadıkça amorf hale gelir.	0,50-6,95	Örselenmemiş Numune	0,1601-3,067	0,49695-2,42128	0,5233-7,0957	0,00025-0,02558	0,03-0,01
Ali vd., 2010	Turba	Klang, Malezya	HD=H4 OMİ=%88,61 – 99,06 Lİ=90,25 – 90,49 Gs=1,226 – 1,481 yb=10,35 – 10,4 w=%572,97 – 690,97 e0=7,999 – 9,646	lifli turba	1	Örselenmiş ve Örselenmemiş Numune	0,079-7,807	3,928- 0,309	50,953-12,176	0,003-0,021	

Tablo 2. 1. Literatür çalışmaları ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar (devamı)

Kaynak	Zemin Türü	Lokasyon	Zemin Özellikleri	Turba Zemin Yapıları	Numunelerin Alındığı Derinlikler (m)	Numune Örselenmesi	Konsolidasyon Parametreleri				
							m_v (m ² /MN)	C_c	c_v (m ² /yıl)	C_a	C_a/C_c
Long ve Boylan, 2013	Turba	İrlanda	HD=H4-H7 OMI=%94,4-98,3 Gs= 1,2-1,5 w=%320,7-1721 e0=4,78-26,28	lifli turba	0,24-6,2	Örselenmemiş Numune		1,85-18,19	0,15-8	0,127-0,893	0,049-0,088
Long ve Boylan, 2013	Turba	Hollanda	HD=H5,5-H6,5 OMI=%39-85 Gs=1,5-2 w=%293-835 e0=5,59-12,7		1,27-4,78			2,63-6,85	2,5-13		
Long ve Boylan, 2013	Turba	Norveç	HD=H3 Gs=1,5 w=%722-1100 e0=10,74-11,4		2,2-4,75			6,11-6,60	3-165		
Reddy vd., 2014	İnorganik Kil	Jadavpur, Hindistan	OMI=%10-14 Gs=2,35-2,5 yd=10,1- 10,3 w=%60-67 e0=1,42-1,44 LL=%55-58 PI=%32-35	yüksek plastisiteli (CH) inorganik kil	3,50	Örselenmiş ve Örselenmemiş Numune		0,62-0,65		0,03-0,035	0,038
Reddy vd., 2014	Organik Kil	Howrah Meydanı, Hindistan	OMI=%23-28 Gs=2,1-2,24 yd=6,8-7,5 w=%85-90 e0=2,02-2,04 LL=%60-65 PI=%39-42	yüksek plastisiteli (OC) organik kil	5,00			0,85-0,91		0,04-0,05	0,051

Tablo 2. 1. Literatür çalışmaları ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar (devamı)

Kaynak	Zemin Türü	Lokasyon	Zemin Özellikleri	Turba Zemin Yapıları	Numunelerin Alındığı Derinlikler (m)	Numune Örselenmesi	Konsolidasyon Parametreleri				
							m_v (m ² /MN)	C_c	c_v (m ² /yıl)	C_a	C_a/C_c
Johari vd., 2016	Turba	Malezya	HD=H5 OMİ=%83,01 Lİ=61,42 Gs=1,36 γ _b =10,75 w=%640,09 e ₀ =8,36 LL=%322	hemik, lifli turba	0,3-1,2	Örselenmemiş Numune	16,594 –0,887	2,68	10,305 –0,482		
Johari vd., 2016	Turba	Malezya	HD=H5 OMİ=%51,43-53,2 Lİ=11,51-37,82 Gs=1,28-1,33 γ _b =10,10 – 10,41 w=%389,48-401,2 e ₀ =5,39-5,74 LL=%305-325		0,3-1,2	Örselenmiş Numune	5,589 –0,361	1,88-2,40	17,379 –0,696		
Waruvu vd.,2016	Turba	Endonezya	OMİ=%99 Lİ=%35 Gs=1,34 γ _b =10,75 w=%971 e ₀ =11	düşük kül içeriğine sahip lifli turba		Örselenmemiş Numune		5,611-6,299	0,5256-13,14		
Basheer Garaushi, 2017	Hafif Kumlu, Siltli Kil	KKTC	Gs=2,65 w=%33 e ₀ =1,59 LL=%59-61 PL=%29-31 PI=%30	hafif kumlu, siltli kil	2	Örselenmiş Yumuşak Numune				0,0031-0,0056	
Basheer Garaushi, 2017			Gs=2,65 w=%33 e ₀ =0,56-0,66 LL=%59-61 PL=%29-31 PI=%30			Örselenmiş ve Sıkıştırılmış Numune		0,11-0,12		0,0010-0,0034	

Tablo 2. 1. Literatür çalışmaları ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar (devamı)

Kaynak	Zemin Türü	Lokasyon	Zemin Özellikleri	Turba Zemin Yapıları	Numunelerin Alındığı Derinlikler (m)	Numune Örselenmesi	Konsolidasyon Parametreleri				
							m_v (m ² /MN)	C_c	c_v (m ² /yıl)	C_a	C_a/C_c
Özcan vd.,2020	Turba ve Siltli Kil	Kayseri	HD=H3-H4,H7 OMİ=%23-59 Gs=1,48-2,11 yb=9-12,6 w=%72-376 e0=4-7 LL=%104-205	turba üstte lifli bir yapıya sahip, ancak derinlik arttıkça dağılmış ince liflerle daha amorf halde	1,5-7	Örselenmemiş Numune	0,0039-9,9498	0-7,3034		0-0,14	0,0494
Li X, Fu Y vd.,2021	Turba	Kunming, Çin	OMİ=%49,4 Gs=2,18w=%158,2 e0=3,68 LL=77,6 PL=48 PI= 29,6	turba	7,0-9,0	Örselenmemiş Numune		0,7-2		0,04-0,12	0,052
Doğansoy, 2023	Turba	Kayseri, Türkiye	HD=H4 OMİ=%30,26 LL=%174 PL=%143,53 PI=%30,47 Gs=1,79 yb=10,43 w=%337,87 e0=6.513-4.018	turba	1,20-2,00	Örselenmemiş Numune		0,37019-8,46278		0,0157-0,26908	0,044

HD=Hümfikasyon Derecesi OMİ=Organik Madde İçeriği Lİ=Lif İçeriği Gs=Özgül Ağırlık yb=Toplam Birim Hacim Ağırlık (kN/m³) yd=Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³) w=Su İçeriği e0=Başlangıç Boşluk

Oranı LL=Likit Limit PL=Plastik Limit (NP=NanPlastik) Ip= Plastisite indisi OCR=Aşırı Konsolidasyon Oranı

Tablo 2. 2. Literatür çalışmaları ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar

Kaynak	Konsolidasyon Deney Sayısı		Konsolidasyon Deney Süreleri	Konsolidasyon Deneyi Basınç Kademeleri (kpa)	Basınç Kademelerinin Belirlenmesinde Göz Önüne Alınan Kriterler	Ön konsolidasyon Basıncı	Boşluk Suyu Basıncı	Boşluk Suyu Basıncı Ölçümünün Önemi
	Normal Süreli	Uzun Süreli						
Dhowian ve Edil, 1980	bir dizi basit sabit halkalı (fixed-ring) konsolidasyon testi		numunelerin her basınç artışında 20 gün boyunca sıkışmasına izin verildi	25-400 kpa	-	-	+	-
Dhowian ve Edil, 1980	11		numunelerin her basınç artışında 20 gün boyunca sıkışmasına izin verildi. İki numune için, son basınç artışı (200 ila 400 kPa) 300 gün bırakıldı					
Dhowian ve Edil, 1980	bir dizi basit sabit halkalı (fixed-ring) konsolidasyon testi		numunelerin her basınç artışında 20 gün boyunca sıkışmasına izin verildi					
Dhowian ve Edil, 1980								
Mesri ve Ajlouni, 2007	-	-	-	$\sigma'v=\sigma'p$ yakınında ve $\sigma'v=3,2 \sigma'p$ sıkıştırma aralığında	-	30–43 kpa	+	-
Mesri ve Ajlouni, 2007				-		5–9 kpa		

Tablo 2.2. Literatür çalışmaları ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar (devamı)

Kaynak	Konsolidasyon Deney Sayısı		Konsolidasyon Deney Süreleri	Konsolidasyon Deneyi Basınç Kademeleri (kpa)	Basınç Kademelerinin Belirlenmesinde Göz Önüne Alınan Kriterler	Ön konsolidasyon Basıncı	Boşluk Suyu Basıncı	Boşluk Suyu Basıncı Ölçümünün Önemi
	Normal Süreli	Uzun Süreli						
Gofar ve Sutejo,2007	-	-	Uzun süreli	Her numune, 25, 50, 100 ve 200 kPa'lık konsolidasyon basınçlarına veya birlik yük artış oranına (LIR) tabi tutuldu.	-	+	+	Rowe hücresi ile boşluk suyu basıncı ölçümlü test, lifli turbanın uzun vadeli sıkıştırma davranışının büyük deformasyonunun ve daha iyi değerlendirilmesinin gözlemlenmesine olanak sağladığı için avantajlıdır.
Suneel vd., 2008	bir dizi artımlı yükleme ödometre testi	3	Uzun süreli deneyler sabit bir yük altında 70 gün tutuldu	Normal süreli $\approx$ 2-1500 kpa Uzun süreli $\rightarrow$ 78 kpa (OC, yerinde durumu için), Uzun süreli $\rightarrow$ 380 kpa, 680 kpa (NC, 2 σ'_p ve 3.8 σ'_p katı)	Uzun sürelide, hem (OC) hem de (NC) durumlarda farklı sabit efektif gerilmelerde ikincil sıkıştırma davranışını karakterize etmek	$\gg$ 180-190 kpa	-	-
Ulusay vd.,2010	-	-	24 saat	10-1600 kpa	-	-	-	-
Ali vd., 2010	-	-	Her yükleme ve boşaltma aşamaları yaklaşık 7 gün	12,5-1600 kpa	-	25,5	-	-
Long ve Boylan, 2013	Çoğu test, 24 saatlik artımlı yükleme (IL) ödometre testleriydi.	-	Her bir yükleme 24 saat	5-80 kpa	Eop değeri, akma gerilmesi yakınlarında çok hızlı bir şekilde gerçekleşir ve daha büyük gerilmeler için önemli olabilir (Ajlouni). Bu iki koşul ayrı ele alınmalıdır. Yaklaşık 20 kPa (pvy' civarında) ve 80 kPa (pvy' çok ötesinde)	5-55 kpa	-	-
Long ve Boylan, 2013				-	-	10,5-48 kpa		
Long ve Boylan, 2013				-	-	8-20 kpa		

Tablo 2.2. Literatür çalışmaları ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar (devamı)

Kaynak	Konsolidasyon Deney Sayısı		Konsolidasyon Deney Süreleri	Konsolidasyon Deneyi Basınç Kademeleri (kpa)	Basınç Kademelerinin Belirlenmesinde Göz Önüne Alınan Kriterler	Ön konsolidasyon Basıncı	Boşluk Suyu Basıncı	Boşluk Suyu Basıncı Ölçümünün Önemi
	Normal Süreli	Uzun Süreli						
Reddy vd., 2014	18	2	→Her bir yükleme 24 saat ve 72 saat →Uzun süreli Yükleme 15 gün	→25-1600 kpa →50,100,400 kpa 72 saat →15 günlük testte 800 kpa	Yeniden hazırlanan numunelerde, alan efektif aşırı yük basıncını simüle etmek amaçlanmıştır. Yükleme süresinin konsolidasyon parametreleri üzerindeki etkisini incelemek ve aynı zamanda bu incelemede kullanılan zeminlerin sünme(creep) davranışını anlamak için iki tip uzun süreli deney yapılmıştır.	95-103 kpa	-	Fazla boşluk basıncının tamamen dağılması, birincil konsolidasyonun (eop) sona erdiğini gösterir ve bu nokta birincil ve ikincil konsolidasyon aşamalarını ayırır.
Reddy vd., 2014						110-120 kpa		
Johari vd., 2016 (örselenmemiş numune)	-	-	-	-	-	13 kpa	-	-
Johari vd., 2016 (örselenmiş numune)				Ön yükleme için 50 kpa yükleme		23-26 kpa		
Waruvu vd.,2016	2	2	→34 gün boyunca 25 kpa →her bir yükleme aşamasını 24 saat ve 1 hafta bekleterek →yükleme-boşaltma yöntemi	→25 kpa, 6-100 kpa	Birincil, ikincil ve üçüncül sıkıştırma sınırı için tek yük 25 kpa uyguladı.	-	-	-
Basheer Garaushi, 2017	1	16	→Standart Ödometre testi her bir yükleme 24 saat →Uzun süreli testler 1 hafta	→Standart ödometre testi 25-400 kpa →Uzun süreli testler OCR=1, OCR= 1.3, OCR= 2 ve OCR= 4	Çeşitli aşırı konsolidasyon oranlarında ikincil sıkıştırma davranışını değerlendirmek için bu oranlar seçildi ve OCR etkisine göre Ca davranış değişimine bakıldı	-	-	-
Basheer Garaushi, 2017	2	8	→Standart Ödometre testi her bir yükleme 24 saat →Uzun süreli testler 1 hafta	→Standart ödometre testi 25-800 kpa →Uzun süreli testler OCR=1, OCR= 1.3, OCR= 2 ve OCR= 4		60-80 kpa		

Tablo 2.2. Literatür çalışmaları ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar (devamı)

Kaynak	Konsolidasyon Deney Sayısı		Konsolidasyon Deney Süreleri	Konsolidasyon Deneyi Basınç Kademeleri (kpa)	Basınç Kademelerinin Belirlenmesinde Göz Önüne Alınan Kriterler	Ön konsolidasyon Basıncı	Boşluk Suyu Basıncı	Boşluk Suyu Basıncı Ölçümünün Önemi
	Normal Süreli	Uzun Süreli						
Özcan vd.,2020	16	1	→3-1900 kpa arası her bir yükleme 48 sa →24 kpa 8 gün	3-1900 kpa	İncelenen turbanın yüksek oranda sıkıştırılabilir olduğu düşünülerek, konsolidasyon basınç kademelerinin uygulanmasına düşük basınçlarda başlandı	13-200 kpa	+	Eğrilerinin tamamı III. tip eğriye benzediğinden, aşırı boşluk suyu basınçlarının hızlı dağıldığı ve ikincil sıkışmanın hakim olduğu sonucuna varıldı.Bu nedenle boşluk suyu basıncı ölçümlerinin yapılmasına karar verildi.
Li X, Fu Y vd.,2021	4	2	→Normal süreli deneyler 24 saat →Uzun süreli deneyler her bir yükleme 10 gün	6,25-800 kpa		67 kpa	-	-
Doğansoy, 2023	2	10	→Normal süreli deneyler 24 saat →Uzun süreli deneyler 7 gün	→6-12-25-50-100-200 kpa →25-50-100-150-200 kpa	Çeşitli yüklemelerde turbanın davranışını gözlemek, ön konsolidasyon basıncı değerinin katları	50 kpa	-	-

3. BÖLÜM

TURBA ZEMİNLERİN SIKIŞMA DAVRANIŞI

3.1. Giriş

Bu bölümde turba zeminlerin sıkışma davranışı, tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen standart konsolidasyon deneyleri ile uzun süreli yükleme deneyleri, birincil konsolidasyon sonu ve ikincil sıkışma değerlerinin elde edilmesi ve turba zeminlerin oturma davranışı hakkında bilgi verilmiştir.

3.2. Turba Zeminlerin Sıkışma Davranışı

Turba zeminlerin oturma davranışı ilk sıkışma, birincil konsolidasyon ve ikincil sıkışma olarak adlandırılan üç aşamadan oluşmaktadır. İlk sıkışma, zemin danelerinin elastik sıkışması ve boşluklarda bulunan havanın sıkışması ile gerçekleşir. Birincil konsolidasyon oturması, ilave boşluk suyu basıncının sönmelenmesi sonucu efektif gerilmenin artışı ile oluşurken ikincil sıkışma, birincil konsolidasyonun tamamlanması sonrası, sabit efektif gerilme altında zemin danelerinin hareket ederek yerleşmesi ile boşluk oranındaki azalma şeklinde meydana gelmektedir. [1]. İkincil sıkışma aşamasında ilave boşluk suyu basınçlarının sıfır olduğu kabul edilmektedir. Sıkışabilirliği fazla olan turba zeminlerde oturmaların büyük çoğunluğu, özellikle, ikincil sıkışma aşamasında meydana gelmektedir [3]. Turba zeminlerin sıkışma davranışını etkileyen faktörler; doğal su içeriği, lif içeriği, ilk geçirgenlik, boşluk oranı, zemin danelerinin düzeni ve daneler arası kimyasal bağlar şeklinde sıralanabilir [1].

Munro [27], turba zeminlerde konsolidasyonun birincil konsolidasyon ve ikincil sıkışma olarak adlandırılan iki aşamadan oluştuğunu belirtmiştir. Yüksek boşluk oranına sahip turba zeminlerde birincil konsolidasyon süreci kısa sürede tamamlandığından (birkaç gün ya da hafta gibi) dolayı ikincil sıkışma süreci, birincil sıkışma sürecine göre daha fazla

önem taşımaktadır. Turbalar, zemin cinsleri içerisinde en yüksek birincil (c_c) ve ikincil sıkışma indisine (c_a) sahip zeminlerdir. Turba zeminlerin sıkışma miktarı diğer zemin cinslerine göre daha fazladır. Bununla birlikte; ikincil sıkışma, turba zeminlerdeki toplam oturmanın önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.

Kil gibi inorganik zeminlerde birincil sıkışmanın tamamlanması birkaç yıl gibi uzun bir sürede gerçekleşirken ikincil sıkışma davranışı, zeminin aşırı yüklenmesine göre davranış sergilemektedir [28, 29]. Temel zemininin killi bir zemin olması ve bu zeminin aşırı yüklenmesi durumunda ortaya çıkan yanal hareketlerin ikincil sıkışmaya katkı sağladığı varsayılmaktadır. Killi zeminlerin aşırı yüklenmediği hallerde ise ikincil konsolidasyon oturması ihmal edilebilir [29].

Tablo 3.1.'de zemin türlerine göre boşluk oranı değerleri verilmiştir. Tablodan en yüksek boşluk oranına sahip zemin türünün turba olduğu görülmektedir.

Tablo 3. 1. Zemin türlerine göre boşluk oranı değerleri [28, 30, 31]

Zemin Türü	Boşluk oranı, e
Homojen ve gevşek kum	0.85
Homojen ve sıkı kum	0.51
Yumuşak kil	1.2
Sert kil	0.6
Kısmen yumuşak organik kil	1.9
Çok yumuşak organik kil	3.0
Yumuşak bentonit	5.2
Turba	7-25

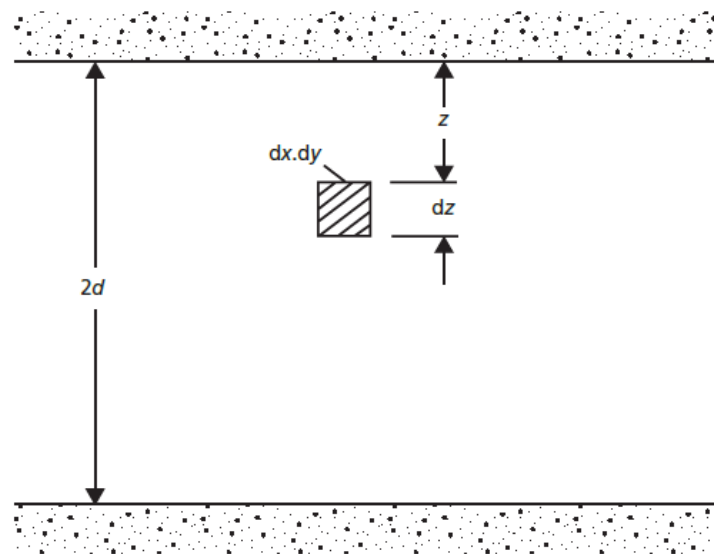
3.2.1. Birincil (Primer) Konsolidasyon

Suya doymun haldeki zemin numunesinde sabit bir basınç yüklemesi etkisinde boşluklardaki su ve havanın dışarı sızması ile hacimsel şekil değıştirmenin zamana bağı olarak gerçekteşmesi olayına konsolidasyon denilmektedir.

Terzaghi (1943), zeminin konsolidasyon sürecindeki davranış ve konsolidasyondan kaynaklanan oturmaların büyüklük ve zamanlaması hakkında bilgi veren bir teorem geliştirmiştir [32]. Teoreme göre yapılan kabuller aşağıda verilmiştir:

- 1) Zeminin yapısı homojendir.
- 2) Zemin tamamen suya doygundur.
- 3) Katı parçacıklar ve su sıkıştırılmaz.
- 4) Sıkışma ve zemin hareketi sadece düşey yönlüdür.
- 5) Darcy yasası geçerlidir.
- 6) Permeabilite katsayısı ve hacimsel sıkışabilirlik katsayısı süreç boyunca sabit kalmaktadır.
- 7) Boşluk oranı ile efektif gerilme arasında zamandan bağımsız bir ilişki vardır.

Teori, aşırı boşluk suyu basıncı, zemin yüzeyinden sıkışabilir tabakaya kadar olan derinlik (z) ve toplam gerilme artışının ($\Delta\sigma$) uygulanmasından itibaren geçen süre ile bağlantılıdır. Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi, kalınlığı $2d$ olan bir zemin tabakasında dx , dy ve dz boyutlarına sahip bir elemana toplam düşey gerilme artışı, ($\Delta\sigma$), uygulanır [32].

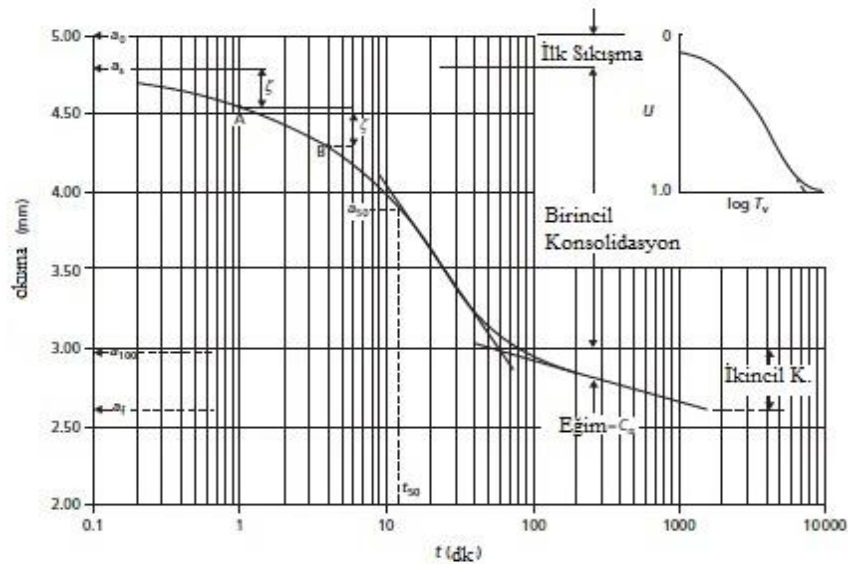


Şekil 3. 1. Zemine toplam düşey gerilme artışının uygulanması

Teoriye göre zemin içerisindeki suyun, zeminin üst ve alt sınırlarından serbest şekilde drene olduğu varsayılır, zeminin üst ve alt sınırlarının geçirgenliği zeminin orta kısmına kıyasla çok yüksektir. Bu nedenle su, zemin elemanının merkezinden üst ve alt sınırlara aynı anda drene olur ve birincil konsolidasyon zeminin orta kısmında devam ederken tabaka sınırlarında tamamlanır [32].

Birincil konsolidasyon aşaması, zemin numunesi içerisindeki ilave boşluk suyu basınçlarının tamamen sönümlenmesine kadar geçen süreyi içermektedir. Zemin numunesindeki ilave boşluk suyu basınçlarının tamamen sönümlendiği sürenin bulunması için Casagrande Logaritma Zaman veya Taylor Karekök Zaman yöntemleri kullanılabilir. Bu yöntemler "Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading" başlıklı ASTM D2435 [33] standardında aşağıdaki şekilde açıklanmıştır.

Şekil 3.2.' de Casagrande (1936) tarafından önerilmiş olan ve boy kısalması ile zamanın logaritması kullanılarak oluşturulmuş grafik gösterilmiştir. Bu grafik kullanılarak birincil konsolidasyon sürecinin sonunu gösteren t_p veya t_{100} zamanı bulunmaktadır.

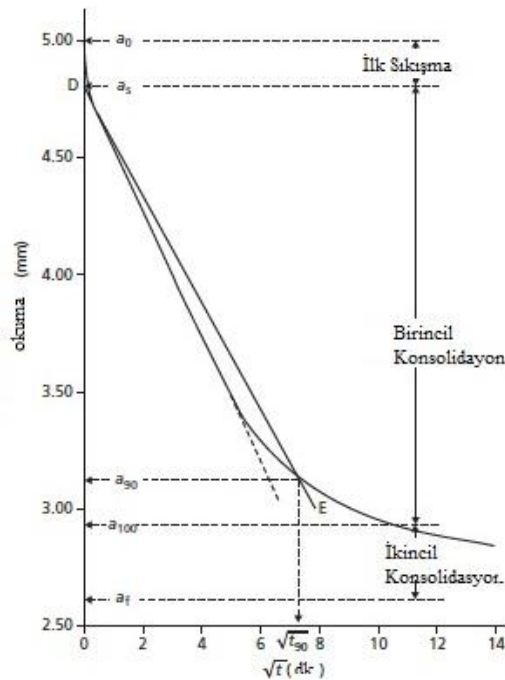


Şekil 3. 2. Casagrande (1936)'nin önermiş olduğu boy kısalması-log zaman eğrisi

Yöntemde ilk olarak, belirli bir basınç kademesi için, zamanın logaritması ve zamana karşı okunan sıkışma değerleri kullanılarak laboratuvar eğrisi elde edilir. İlgili basınç kademesindeki başlangıç okuması a_0 ' ı belirlemek için biri diğerinin dört katı olan iki zaman değeri seçilir. Çoğu defa, zaman, $t_1=1'$ ve $t_1/4=15''$ olarak alınır. Daha sonra bu

zamanlara karşılık gelen okuma değerleri arasındaki fark belirlenip grafikte bu fark kadar düşey yönde çıkılarak elde edilen noktaya karşılık gelen okuma değeri a_0 olarak tanımlanır. Birincil konsolidasyon sürecinin tamamlanma zamanını tanımlamak için logaritma zaman eğrisinin en dik kısmı olan orta bölgesinden ve eğrinin son kısmından çizilen teğetlerin kesişim noktası belirlenir. Kesişim noktası birincil oturmanın %100 olduğu $U=100\%$ e karşılık gelen boy kısalmasını vermektedir. Bu boy kısalmasına karşılık gelen zaman da t_p veya t_{100} olarak adlandırılır.

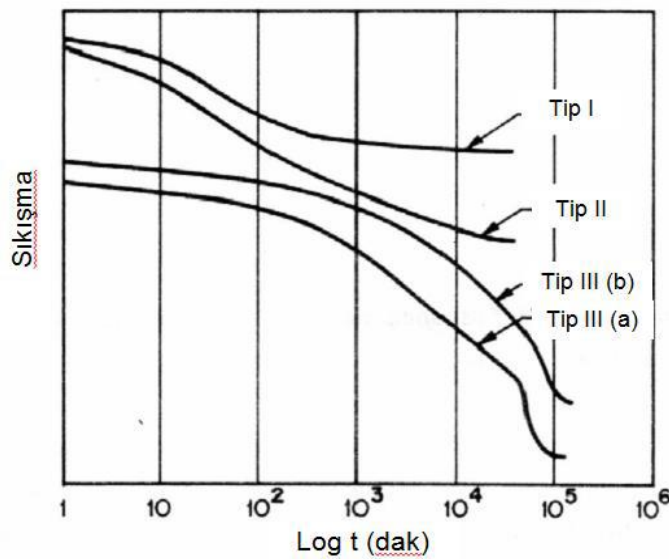
Birincil konsolidasyon aşamasının sonunu belirlemek için kullanılan diğer bir yöntem ise Taylor Karekök Zaman yöntemidir (Şekil 3.3.). Bu yöntemde herhangi bir basınç kademesi için birincil konsolidasyonun %90'ının tamamlandığı sıkışma miktarı $U=90\%$ ve buna karşılık gelen t_{90} zamanı elde edilmektedir. Yöntemde ilk olarak laboratuvar eğrisi elde edilir. Elde edilen eğrinin başlangıç kısmının doğru olduğu kabul edilerek doğru kısım uzatılıp ordinat ekseni kestirilir. Ordinat ekseni üzerindeki kesim noktası düzeltilmiş başlangıç noktası olarak adlandırılır. Düzeltilmiş orjin noktasından geçen ve laboratuvar eğrisinin doğru olarak ortaya çıkan kısmına karşılık gelen apsis değerlerinin 1.15 katı alınarak ikinci bir doğru çizilir. Çizilen bu ikinci doğrunun laboratuvar eğrisini kestiği nokta $U=90\%$ a karşılık gelir. $U=90\%$ a karşılık gelen sıkışma miktarının apsisi de t_{90} olarak tanımlanır.



Şekil 3. 3. Taylor Karekök Zaman yöntemi ile t_{90} süresinin elde edilmesi

3.2.2. İkincil (Sekonder) Sıkışma

Şekil 3.4.'de, Leonards ve Girault [34] tarafından çizilmiş olan, konsolidasyon deneylerinden elde edilmiş sıkışma log zaman eğri tipleri gösterilmiştir. Tip 1 eğrisi, Terzaghi (1943)'nin geliştirmiş olduğu tek boyutlu konsolidasyon teorisini temsil eder ve bu eğri üzerinde birincil konsolidasyon sonunu tahmin etmek kolaydır. Tip 2 eğrisi ile Tip 3 eğrileri, birincil konsolidasyonun çok hızlı tamamlanması ve ikincil konsolidasyon aşamasında eğrinin zamanın logaritmasıyla doğrusal değişmemesi nedeni ile birincil konsolidasyon sonunun net olarak belirlenemediği Turba zeminlerdeki davranışı temsil etmektedirler. Casagrande' nin (1936), ikincil sıkışma için önermiş olduğu sıkışma- log zaman üzerinden hesaplanan yöntem, zeminlerin ikincil sıkışma miktarını daha az tahmin edebilmektedir. Robinson [35] ilave boşluk suyu basınçlarının ölçülmesi gerektiğini ve bu basıncın tamamen sönümlendiği zamanın birincil konsolidasyon sonu olarak alınması gerektiğini söylemiştir. Robinson, sıkışma-zaman eğrisinin bükülme noktasına göre hesaplanan birincil konsolidasyon sonunun, aşırı boşluk suyu basıncı ölçümü ile belirlenen zamandan daha fazla olduğunu gözlemlemiştir. Gofar ve Sutejo [21], lifli turba zeminlerde boşluk suyu basıncı ölçümü ile yapmış oldukları konsolidasyon deneyleri sonucunda, konsolidasyon basıncı arttıkça ilave boşluk suyu basınçlarının daha kısa sürede sönümlendiğini ve birincil konsolidasyon sonuna denk gelen sürenin daha da kısaldığını gözlemlemiştir.



Şekil 3. 4. Sıkışma zaman eğrileri

İkincil sıkışma, birincil konsolidasyon tamamlanmadan başlıyor olmasına rağmen birincil konsolidasyon aşamasında ihmal edilmekte ve birincil konsolidasyonun bitiminden sonra başladığı kabul edilmektedir [36]. Turba zeminlerde birincil konsolidasyon miktarı turba zeminin bulunduğu bölgeye bağlı olarak farklılık sergilemektedir. Bu nedenle turba zeminlerde birincil konsolidasyon miktarı için bir genelleme yapmak yerine her bir turba zemin için oturma davranışının deneysel olarak incelenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte; turba zeminlerde birincil konsolidasyon miktarının toplam oturmanın yüzde 50'si civarında olduğu ve ikincil sıkışmanın da 30 yıllık bir süreye kadar gerçekleşebildiği yönünde tahminler bulunmaktadır. [28].

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; turba zeminlerin ikincil sıkışmasının tahmini zor bir problem olduğu ve bu problemin çözümü üzerinde fikir birliğine varılmış bir yöntem olmadığı görülmektedir [28]. Pratikte ikincil sıkışma indisi, c_a , genellikle, Mesri ve Godlewski [17], Mesri ve Ajlouni [20] Raymond ve Wahls [37] tarafından önerildiği gibi boşluk oranı (e) - logaritmik zaman ($\log t$) eğrisinin son kısmının eğiminden yararlanılarak $c_a = \Delta e / \Delta \log t$ eşitliği ile hesaplanmaktadır. Birincil sıkışma indisi, c_c , ise boşluk oranı (e) – logaritmik ekseninde basınç ($\log p$) eğrisinin eğiminden yararlanılarak $c_c = \Delta e / \Delta \log p$ eşitliği ile elde edilir. Huat vd. [28] turba zeminlerde birincil sıkışma indisi aralığının 2 ile 15 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Tez çalışması kapsamında birincil sıkışma indisi değerleri, c_c , 0.37019-8.46278 aralığında değişmektedir. Elde edilen birincil sıkışma indisi değerleri, yaklaşık olarak Huat vd. [28]' nin söylemiş oldukları aralıkta bulunmaktadır.

Mesri ve Ajlouni [20], lifli turbaların c_c değerlerinin tahmin edilmesinde $c_c = w_0/100$ bağıntısının kullanılmasını önermişlerdir. Bu eşitlikte yer alan w_0 , turba zemine ait su içeriğidir. Mesri ve Ajlouni [20] başta olmak üzere literatürdeki birçok çalışmada turba zeminlerin ikincil sıkışma davranışının tamamen c_a/c_c yasasına bağlı olduğu belirtilmektedir [17, 20, 38, 39, 40].

Zemin cinslerinin c_a/c_c değerleri 0.01 ile 0.07 aralığında değer almaktadır. Tablo 3.2.' de zemin cinsleri için Mesri ve ark. (1996) [30] tarafından önerilen c_a/c_c değerleri verilmiştir. En yüksek c_a/c_c değeri turba zemine aittir.

Tablo 3. 2. Zemin tiplerine göre c_a/c_c değerleri

Zemin Tipi	c_a/c_c
Granüler Zeminler	0.02 ± 0.01
Şist ve Kiltası	0.03 ± 0.01
İnorganik Siltler ve Killer	0.04 ± 0.01
Yüksek Oranda Organik İçeriğe Sahip Killer	0.05 ± 0.01
Lifli Turbalar	0.06 ± 0.01

Mesri ve Ajlouni (2007) [20], Terzaghi vd. (1996) [30], Murthy (2002) [31], Das (2011) [41], ikincil oturma miktarının aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmasını önermişlerdir;

$$S = \frac{C_a}{1 + e_0} H * \log \frac{t}{t_p} \quad (1)$$

c_a = ikincil sıkışma indisi

H = tabaka kalınlığı

e_0 = başlangıç boşluk oranı

t_p = birincil konsolidasyon sonuna karşılık gelen süre. t_p sıklıkla %95 birincil konsolidasyon, t_{95} 'teki zaman olarak tahmin edilir.

t = ikincil konsolidasyon aşamasında geçen süre

4. BÖLÜM

MATERYAL VE METOD

4.1.Giriş

Bu bölümde; araziden zemin numunelerinin alınması, alınan numuneler üzerinde endeks/sınıflama deneyleri kapsamında yapılan su muhtevası tayini, elek analizi, hidrometre deneyi, piknometre deneyi, kıvam limit deneyleri organik madde içeriğinin elde edilmesi ile örselenmemiş turba zemin numuneleri üzerinde gerçekleştirilen konsolidasyon deneyleri hakkında bilgiler verilmiştir.

4.2.Araziden Numune Alınması

KAYSER bölgesi turba zeminlerinin normal süreli ve uzun süreli oturma davranışını incelemek için 28 Aralık 2021 tarihinde arazide bir kepçe yardımı ile açılan araştırma çukurundan -1.60 m ile -2.00 m derinlikleri arasından blok numuneler alınmıştır. Açılan araştırma çukurunda yer altı su seviyesine (y.a.s.s.) -2.10 m. kotunda rastlanılmıştır. Araştırma çukurunda karşılaşılan turba zemin, Şekil 4.1.' den de görüldüğü gibi, koyu kahve ve siyah renkte olup içerisinde kamış ve bitki artıkları içermektedir. Zemin, içerisindeki ayrışma nedeni ile oluşmuş kötü kokuya sahiptir. Ele alınıp sıkıldığında numuneden su çıkışı olduğu görülmüştür. Numunelerin su içeriklerinin korunabilmesi için alınan numuneler, iç içe 2 torba içerisine konulmuş ve ağzı sıkıca bağlanarak Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarına getirilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda ilave numunelere ihtiyaç duyulduğundan 25 Ekim 2022 tarihinde numune alınması için tekrar araziye gidilmiştir. Açılan araştırma çukurunda y.a.s.s. seviyesine yaklaşık olarak -1.65 m derinlikte rastlanılmış ve numuneler y.a.s.s.' nin hemen üzerinden -1.20 m ile -1.65 m derinlikleri arasından alınmıştır.



Şekil 4. 1. Kayser Bölgesi turba zemini

4.3. Deneysel Çalışmalar

4.3.1. Su Muhtevasının Belirlenmesi

Turba zeminin su içeriği ASTM D2216 [42] standardına göre belirlenmiştir. Deneyde ilk olarak tepsiler daraları ölçülmüştür. Örselenmiş haldeki zemin numuneleri tepsilere konulup tartılarak yaş numune + tara ağırlıkları bulunmuştur. Su içeriğini belirlemek için numuneler 105 °C sıcaklıkta 24 saat boyunca kurutulur. Turba zeminlerde bu sıcaklık zemin içindeki organik maddenin yanmasına neden olabilmektedir. Bu sebeple standart, turba ve organik zeminlerin su içeriği belirlenirken numunelerin 60-80 °C sıcaklıkta kurutulmasını önermektedir. Tez çalışması kapsamında da numuneler, 80 °C sıcaklıkta 24 saat boyunca etüvde bekletilerek kurumaları sağlanmıştır.



Şekil 4. 2. Turba zemin numunelerinin etüvde kurutulması

24 saat sonrasında etüvden çıkarılan numuneler tartılarak kuru numune + dara ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra, numunedeki su ağırlığı ve numune kuru ağırlıkları elde edilip su ağırlığı kuru numune ağırlığına bölünerek turba zeminin su muhtevası hesaplanmıştır. 3 farklı numune üzerinde yapılan deneyler sonucunda turba zeminin ortalama su muhtevası değeri %337.87 olarak elde edilmiştir. Deneylerde elde edilmiş sonuçlar Tablo 4.1.' de verilmiştir.

Tablo 4. 1. Kayser Bölgesi turba zemin numuneleri su muhtevası tayini

Kap No	1	2	3	Ortalama su muhtevası
Islak Numune+Dara	898,40	895,60	906,90	
Kuru Numune+Dara	555,70	578,20	586,70	
Su Miktarı	342,70	317,40	320,20	
Dara	440,10	492,30	494,60	
Kuru Zemin	115,60	85,90	92,10	337,87
Su Muhtevası (%)	296,45	369,50	347,67	

4.3.2. Dane Çapı Dağılımının Belirlenmesi

4.3.2.1. Elek Analizi Deneyi

İki farklı numune üzerinde elek analizi ve hidrometre deneyleri yapılarak elde edilen sonuçlara göre numunelere ait dane çapı dağılım eğrileri çizilmiştir. Elek analizi deneyi ASTM D6913 [43] standardına göre yapılmıştır. Deney için bir miktar zemin numunesi alınıp tartılarak 24 saat süre ile etüvde kurumaya bırakılmıştır. 24 saat sonunda etüvden çıkarılan kurutulmuş numune tartılmış ve No.200 (0.075 mm çaplı) eleği kullanılarak ıslak eleme yöntemi ile elenmiştir. Elemeye başlamadan önce elek altına, elekten geçen numune + su karışımını toplamak için bir tepsi konulmuştur. Bu tepside biriken numune + su karışımı sonrasında kurutularak hidrometre deneyinde kullanılmıştır. Deney, No.200 eleği altında sadece temiz su akana devam ettirilmiştir. Temiz su akışı görüldüğünde elek üzerinde kalan numune alınmış ve boş bir kaba konularak 80 °C sıcaklıkta 24 saat boyunca etüvde kurumaya bırakılmıştır. Kuru numune ağırlığı belirlenip bu numune ile elek analizi deneyi yapılmıştır. Elek analizi deneyinde, çapı 4.75 ile 0.075 mm arasında değişen bir dizi elek kullanılmıştır.



Şekil 4. 3. Elek analizi deneyinde kullanılan elekler ve sarsma cihazı

4.3.2.2. Hidrometre Deneyi

Hidrometre deneyinde, ıslak eleme yönteminde elek altına konulan tepside biriken numune kullanılmıştır. Deney ASTM D7928 [44] standardına göre yapılmıştır. Numune ve su karışımının biriktiği tepsi bir süre bekletilerek numunenin tepsi tabanına çökmesi sağlanmıştır. Numune çöktükten sonra tepside numune kaybı olmamasına özen gösterilerek fazla su süzölmüş ve kalan karışım 80 °C sıcaklıkta 24 saat boyunca etüvde kurumaya bırakılmıştır. Kurutma işleminden sonra numuneden 50 gram alınmıştır. Numune 24 saat boyunca sodyum hegzametafosfat çözeltisi içerisinde bekletilerek danelerin ayrışması sağlanmıştır.



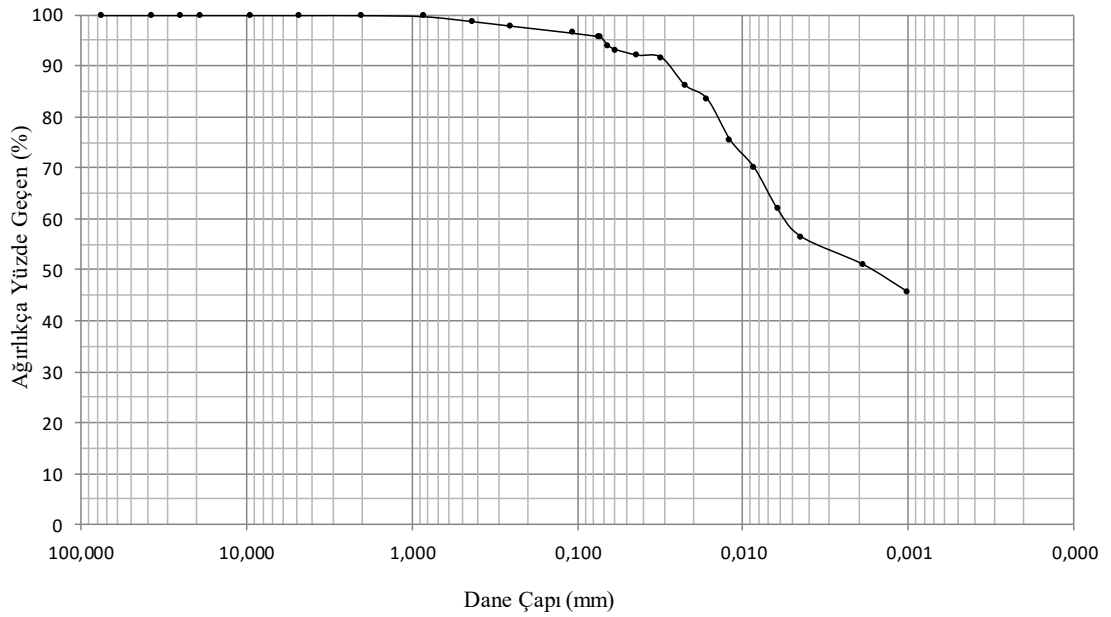
Şekil 4. 4. Hidrometre deneyinde kullanılacak numunenin etüvde kurutulması ve tartılması

Bu süre sonunda numuneler su içerisinde bir mikser yardımı ile karıştırılarak mezür içerisine dökölmüş ve üzeri 1000 ml olana kadar saf su ilave edilmiştir. Mezür 2 avuç içerisine alınarak çalkalanmış ve 15'', 30'', 1', 2', 4', 8', 15', 30', 1h, 2h, 4h, 8h, 24h sürelerinde hidrometre ile okumalar alınmıştır.

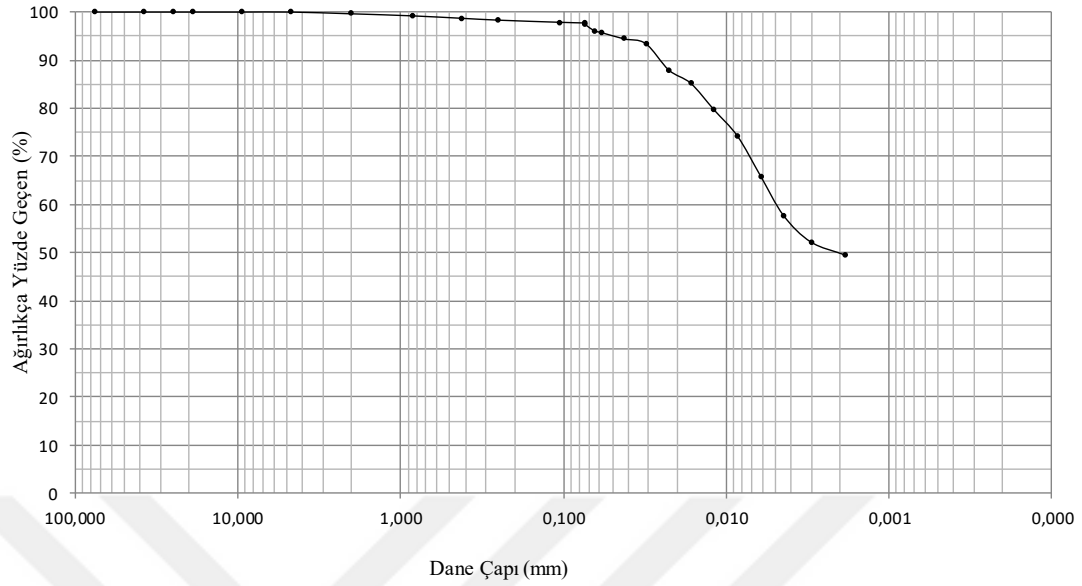


Şekil 4. 5. Hidrometre deneyi mezürleri

Deneyde bu süreler dışında alınan okumalar da not edilmiştir. Elek analizi ve hidrometre deney verileri birleştirilerek dane çapı dağılım eğrileri çizilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.6. ve 4.7.' de gösterilmiştir.



Şekil 4. 6. Numune A granülometri eğrisi



Şekil 4. 7. Numune B granülometri eğrisi

4.3.3. Piknometre Deneyi

Piknometre deneyi, ASTM D854 [45] standardına göre yapılmıştır. 500 ml lik hacme sahip piknometre haznesi kullanılmıştır. Tablo 4.2.'de deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 4. 2. Piknometre deneyi sonuçları

Piknometre Deneyi			
Numune No	1	2	3
Piknometre No	1	2	3
Kuru Zemin Ağırlığı (W1)	50	50	50
Su+Piknometre Ağırlığı (W2)	613	613	613
W1+W2	663	663	663
Su+Piknometre+Zemin Ağırlığı (W3)	635,3	635,2	634,9
W1+W2-W3	27,7	27,8	28,1
$\gamma_s = W1/(W1+W2-W3)$	1,805054	1,798561	1,779359
Ortalama γ_s (gr/cm ³)	1,79		

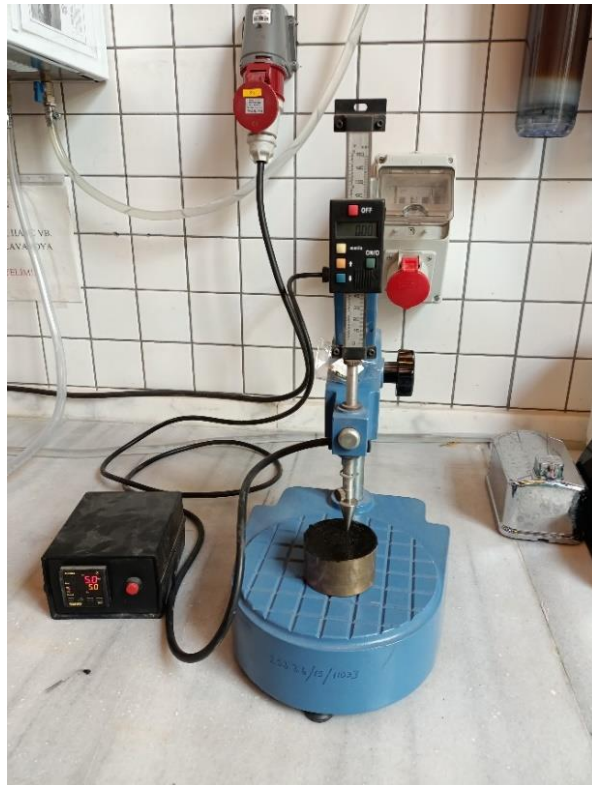
Deneye No.4 eleğinden elenmiş olan numuneden 50 gram alınarak başlanmıştır. Daha sonra piknometre haznesinin boş ağırlığı tartılmıştır. Piknometre haznesi saf su ile doldurulmuş ve ağırlığı belirlenmiştir. Hazneden bir miktar su boşaltılmış ve huni

yardımıyla numune hazneye eklenmiştir. Kompresör yardımı ile hazne içindeki hava çekilmiş ve bu sırada hava çıkışını kolaylaştırmak için hazne sürekli sallanmıştır. Hazne içerisinde sadece su ve numunenin kalması, havanın boşalması sağlanmıştır. İşlem sonrasında hazne tartılmıştır. Deney üç kez tekrarlanmış olup ortalama zemin birim hacim ağırlığı, $\gamma_s=1.79 \text{ gr/cm}^3$ olarak elde edilmiştir.

4.3.4. Kıvam Limitlerinin Belirlenmesi

4.3.4.1. Likit Limit- Koni Penetrasyon Deneyi

Turba zeminlerin kıvam limitlerini belirlemek için likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri ASTM D4318 [46] standardına göre belirlenmektedir. Likit limit deneyi için turba zemin numunesi 24 saat boyunca 80 °C’de etüvde kurutulmuştur. Kurutulmuş numuneler No.40 eleğinden elenerek 200 gram ağırlığında numune hazırlanmıştır. Likit limit deneyi ilk olarak Casagrande deney aleti kullanılarak yapılmış ancak yeterli okuma sayıları elde edilemediği için laboratuvar koni penetrasyon deneyi ile likit limit değerinin belirlenmesine karar verilmiştir.



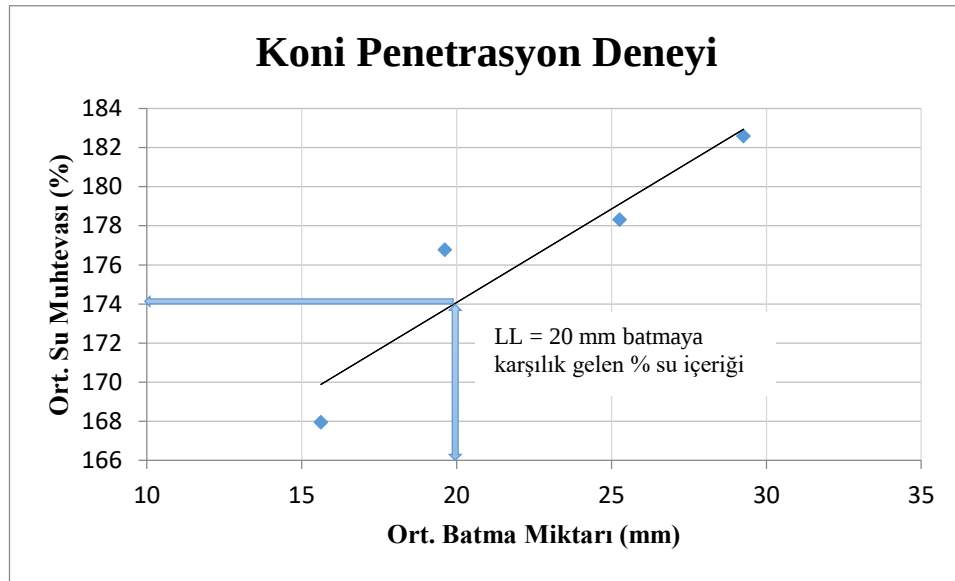
Şekil 4. 8. Koni penetrasyon deney aleti

Laboratuvar Koni Penetrasyon Deneyi BS 1377 [47] standardına göre yapılmıştır. Deneye No.40 eleğinden elenen numuneye bir miktar su katılarak başlanmıştır. Numune içerisinde hava kalmaması için su numuneye iyi bir şekilde yedirilmiş ve karışım deney kabına hava kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir.

Kap deney aletine konulduktan sonra koni, numunenin üst kısmına en yakın konumda sabitlenmiştir. Penetrasyon okuma göstergesi ayarlanarak koninin numune üzerine düşmesi sağlanmıştır. Koninin düşmesinden beş saniye sonra okuma alınarak o su muhtevasına karşılık penetrasyon değeri elde edilmiştir. İlk okuma alındıktan sonra numuneye bir miktar daha su katılmış ve tekrar deneye tabi tutulmuştur. Bu şekilde bir örnek numune için üç okuma alınmış ve ortalama bir penetrasyon değeri bulunmuştur. Bu değere karşılık su içeriğinde ise ortalama değer belirlenmiş ve kullanılmıştır. Bu şekilde deney dört kez tekrarlanarak penetrasyon – su içeriği grafiği çizilmiş, 20 mm batmaya karşılık gelen su içeriği likit limit değeri olarak tanımlanmıştır. Tez çalışması kapsamında KAYSER Bölgesi turba zeminlerinin likit limit değeri %174 olarak elde edilmiştir.

Tablo 4. 3. Koni penetrasyon deney sonuçları

Deney Sayısı	1		2		3		4	
Batma Miktarı (mm)	15,89-14,98-15,99		19,40-19,85-19,62		24,92-25,03-25,85		29,86-28,94-28,99	
Ortalama Batma Miktarı (mm)	15,62		19,62		25,27		29,26	
Kap No	12	40	14	22	6	13	10	15
Kap Ağırlığı (gr)	7,9	9	8,8	9,9	8,1	8,5	9,1	8,3
Kap + Yaş Numune (gr)	20,7	26,5	30,1	24,3	35,6	36,1	36,8	37,4
Kap + Kuru Numune (gr)	12,7	15,5	16,5	15,1	18,1	18,3	18,9	18,6
Kuru Numune (gr)	4,8	6,5	7,7	5,2	10	9,8	9,8	10,3
Su Miktarı (gr)	8	11	13,6	9,2	17,5	17,8	17,9	18,8
Su Muhtevası (%)	166,67	169,23	176,62	176,92	175,00	181,63	182,65	182,52
Ortalama Su Muhtevası (%)	167,95		176,77		178,32		182,59	



Şekil 4. 9. Koni penetrasyon deneyine ait su muhtevası – batma miktarı eğrisi

4.3.4.2. Plastik Limit Deneyi

Plastik limit deneyi de ASTM D4318 [46] standardına göre belirlenmiştir. Likit limit deneyinde olduğu gibi No.40 elek altı numune kullanılmıştır. Porselen kâseye numuneden 20 gram alınmış ve bir miktar su eklenmiştir. Karışım numuneden bir miktar el içine alınmış ve el ayası içerisinde döndürülerek numunenin su kaybetmesi sağlanmıştır. Numune üzerinde çatlaklar oluşana dek bu işleme devam edilmiştir. Çatlaklar gözlemlendiğinde, darası belirlenmiş kaba numune konularak tartılmış ve kuruması için 80 °C’de 24 saat etüvde bekletilmiştir. Kuru ve yaş numuneler üzerinden numunenin su muhtevası hesaplanmıştır. Deney iki kez tekrarlanmış ve ortalama su muhtevası değeri plastik limit olarak kabul edilmiştir. Turba zeminin ortalama plastik limit değeri %143.5 olarak elde edilmiştir.

Numunelerin plastisite indisi değerleri, likit limit değerlerinden plastik limit değerleri çıkarılarak elde edilmiştir. Turba zemin numuneleri için elde edilen ortalama plastisite indisi değeri %30.5’dir.



Şekil 4. 10. Plastik limit deneyinde kullanılan turba zemin numunesi

4.3.5. Organik Madde Miktarı ve Kül İçeriğinin Belirlenmesi

Organik madde içeriği ASTM D2974 [7] standardına göre belirlenmiştir. Organik madde içeriğinin belirlenmesi için numune 440 °C ısıda yakılmakta ve deney sonunda yanmadan kalan miktar kül içeriği, yanarak yok olan miktar da organik madde içeriği olarak tanımlanmaktadır. Deneyde, laboratuvarında bulunan ve yüksek ısılara çıkabilen Şekil 4.11.'de gösterilmiş özel fırın kullanılmıştır. Bir miktar kuru numune, darası belirlenmiş yüksek ısıya dayanıklı fırın kabına konulmuş ve tartılmıştır. Numune, fırın içerisine yerleştirilmiş ve 440 °C'de 24 saat bekletilmiştir. Süre sonunda fırın kapatılmış ve soğuması için kapağı açılmıştır. Kalan numune tartılmış ve yüzde olarak kül içeriği hesaplanmıştır. Başlangıçtaki ağırlıktan kül içeriği çıkarılarak organik madde içeriği belirlenmiştir. Yapılan deney sonucunda kül içeriği %69.7 ve organik madde içeriği ise %30.3 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. 11. Organik madde tayini deneyi için kullanılan özel fırın

Tablo 4. 4. Kayser bölgesi turba zemini fiziksel özellikleri

Tane Boyu Dağılımı	Numune	Kum %	Silt %	Kil %
	Numune A	4,15	95,85	
	Numune B	2,30	97,70	
Birim Hacim Ağırlık	(kN/m ³)	10,43		
Özgül Ağırlık	(gr/cm ³)	1,79		
Su Muhtevası (Ort.)	(%)	337,87		
Likit Limit	LL(%)	174,00		
Plastik Limit	PL(%)	143,50		
Plastisite İndisi	PI (%)	30,50		
Organik Madde İçeriği	(%)	30,26		
Kül İçeriği	(%)	69,74		

4.3.6. Turba Zemini Konsolidasyon Deneyleri

4.3.6.1. Standart Konsolidasyon Deneyi

Standart konsolidasyon deneyleri ASTM D2435 [33] standardına göre yapılmıştır. Deneyde, ilk olarak ring ile blok numuneden örselenmemiş numune alınmış daha sonra numunenin üstüne ve altına filtre kâğıdı ve poroz taşlar yerleştirilerek ring konsolidasyon hücresi içerisine konulmuştur. Konsolidasyon hücresi, belirli yük kademelerinde boy kısaltmalarının ölçüleceği konsolidasyon deney aletine yerleştirilmiştir. Sonrasında ilk

yük kademesi uygulanıp kronometre çalıştırılmıştır. Deney başlatıldıktan sonra ikinci dakikada konsolidasyon hücresi suya doyurulmuştur. Standart konsolidasyon deneyinde genel olarak 24 saate kadar okuma alınmıştır. Belirtilen yük kademesinde boy kısalmasının tamamlandığına kanaat getirilmesinin ardından bir sonraki yük kademesine geçilerek tekrar okumalar alınmıştır. Tez çalışması kapsamında turba zemin numuneleri üzerinde yapılan konsolidasyon deneylerinde 6, 12, 25, 50, 100, 150 ve 200 kpa basınç kademeleri seçilmiştir. Turba zemin numunesi konsolidasyon deneyleri 6 kpa basınç kademesi ile başlatılmış ve 24 saat okuma değerleri alınmıştır. Okumalar bilgisayar programı üzerinden alınmış olup ilk okuma süreleri birbirine çok yakinken son okumalar arasında 2-3 saatlik zaman farkları vardır. 24 saatlik deneylerde her bir yükleme için 45 adet okuma alınmıştır. Ardından, sırası ile, diğer basınç kademelerine ait yükler uygulanmıştır. 200 kpa basınç yüklemesine ait 24 saatlik okumalar alındıktan sonra boşaltma aşamasına geçilmiştir. Numuneler yükleme yapılan kademeler ile boşaltılmış ve her bir boşaltma aşaması için 24 saat beklenmiştir.

4.3.6.2. Uzun Süreli Konsolidasyon Deneyleri

Turba zemin numuneleri üzerinde yapılan uzun süreli konsolidasyon deneyleri, doğrudan yükleme ve aşamalı yükleme olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Uzun süreli konsolidasyon deneylerinde basınç kademelerinin uygulama süresi literatür ile uyumlu olarak yedi gün seçilmiştir.

Doğrudan yükleme deneylerinde konsolidasyon deneyi için hazırlanan örselenmemiş numuneye, belirlenen yük değerinden önce herhangi bir yükleme yapılmamış ve direk olarak seçilen basınç kademesine karşılık gelen yük değeri uygulanarak 7 gün süre ile bu yükleme etkisindeki boy kısaltmaları takip edilmiştir. 7 gün sonunda uygulanan yük boşaltılmıştır.

Aşamalı yükleme deneylerinde ise örselenmemiş turba zemin numunesi belirlenen yük değerine kadar normal konsolidasyon deneyinde uygulanan basınç kademelerine karşılık gelen yüklemelere maruz bırakılmış ve her bir yükleme kademesinde 24 saat boy kısaltmaları takip edilmiştir. Belirlenen basınç kademesine karşılık gelen yükleme ise uygulandıktan sonra numunenin bu basınç kademesi etkisinde 7 gün süre ile boy kısaltmaları takip edilmiştir. 7 gün sonunda kademeli olarak boşaltma işlemi gerçekleştirilmiştir.

5. BÖLÜM

KONSOLIDASYON DENEYLERİ ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Giriş

Bu bölümde konsolidasyon deneyleri için numunelerin hazırlanması, standart konsolidasyon deneyleri ve bu deneylere ait oturma miktarları, uzun süreli yükleme deneyleri ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması, c_a/c_c grafiği, literatüre göre ikincil sıkışma indisi tahminleri, Kayser Bölgesi turba zemininin uzun süreli oturma davranışı hakkında bilgiler verilmiştir.

5.2. Konsolidasyon Deneyleri İçin Numunelerin Hazırlanması

Konsolidasyon deneyleri araziden alınmış blok numunelerden elde edilen örselenmemiş numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin, arazi özelliklerini korumak adına, numune alımı, numunelerin muhafaza edilmesi, laboratuvara getirilmesi ve deney aşamasına kadar laboratuvarında bekleme süreleri boyunca azami özen gösterilmiştir. Araziden alınan numuneler, su içeriğinde değişiklik olmaması adına iç içe iki poşet içerisine konularak laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvara getirilen numuneler poşetten çıkarılır çıkarılmaz streç film ile tamamen sarılmış ve konsolidasyon deney aşamasına geçilene kadar desikatör içerisinde saklanmıştır (Şekil 5.1.).



Şekil 5. 1. Streç film ile sarılmış deneyde kullanılacak numuneler

Konsolidasyon deneyleri şekil 5.2.'de gösterilen konsolidasyon hücresi ve aparatları kullanılarak yapılmıştır. Deney numuneleri, blok numunelerden, 20 mm yüksekliğe ve 50 mm çapa sahip ringler kullanılarak alınmıştır. Numuneler alınırken ringin üst ve alt yüzünde taşan numune parçaları tıraşlanarak yüzey düzlüğü sağlanmıştır. Ring içerisinde numunenin üzerinde, altında veya çevresinde oluşan küçük boşluklar dikkatli bir şekilde eklenen turba zemin parçaları ile doldurulmuştur. Deneyler öncesi ring ağırlığı tartılarak belirlenmiştir. Numunenin ring içerisine yerleştirilmesi sonrasında ring + yaş numune ağırlığı elde edilmiştir. Kalan numune parçaları da tartılarak su içeriğinin belirlenmesi için hemen etüve konulmuştur. Konsolidasyon hesaplarında gerekli olan başlangıç boşluk oranının belirlenmesi ve sıkışma indisinin doğru hesaplanabilmesi için başlangıç su muhtevasının bilinmesi önemlidir [48]. Poroz taşlar ring içerisindeki numunenin altına ve üstüne gelecek şekilde yerleştirilmiştir ve sonra numune, konsolidasyon hücresine konulmuştur. Deney sırasında poroz taşların tıkanmasını ve numune kaybını engellemek için poroz taşlar ile numune arasına filtre kağıdı konmuştur. Poroz taş üzerine yükleme başlığı yerleştirildikten sonra numune konsolidasyon hücresi içerisinde sabitlenmiştir. Konsolidasyon hücresi daha sonra konsolidasyon deney aletine yerleştirilmiştir. Konsolidasyon deneyinde uygulanacak basınç kademelerine karşılık gelen yük değerleri konsolidasyon deney aletindeki yükleme koluna asılarak numuneye üniform yayılı basınç

uygulanmıştır. Konsolidasyon cihazlarında 3 farklı yükleme kolu vardır. Numuneye uygulanacak yük, konsolidasyon hücresi ile seçilen kolun uzaklığına göre belirlenir. Bu 3 kol asılan yükü sırasıyla 9, 10 ve 11 katı olacak şekilde numuneye iletmektedir. Tez çalışması kapsamında 1/10 (10 kat) yükleme kolu kullanılmıştır. Yükleme koluna kg cinsinden asılacak ağırlık miktarı, konsolidasyon ringi yüzey alanı ile basınç yükünün çarpılması sonrasında bulunan değerin seçilen yükleme kolu oranına bölünmesi ile hesaplanmıştır.



Şekil 5. 2. Konsolidasyon deney hücresi ve aparatları ve deneye hazır numune resmi

Konsolidasyon deneyleri sırasında uygulanan basınç yükü etkisinde numunede meydana gelen boy kısaltmaları, ELE firması tarafından üretilen deplasman transduserleri kullanılarak alınmıştır. Şekil 5.7.'de görülen deplasman transduserleri 0.0-14.999999 mm arasında deplasman değerleri ölçebilmektedir.

Deneyler sırasında numunede oluşan boy kısaltmaları için deplasman transduserlerinde oluşan veriler 16 kanal girişli ADU (Autonomous Data Acquisition Unit) veri toplama (Data Logger) cihazına aktararak zamana bağlı olarak kaydedilmiştir. Elde edilen deplasman verileri daha sonra bilgisayar ortamında DS7 programı yardımı ile sayısal değerlere dönüştürülmüştür (Şekil 5.3.).



Şekil 5. 3. Konsolidasyon deneylerinde kullanılan veri toplama cihazı



Şekil 5. 4. DS7 programı açılış sayfası-data girişi

Deney numunesine ait deney başı bilgileri yükleme başlangıcı öncesinde programa girilmiştir (Şekil 5.4- şekil 5.5.). Deney süresi boyunca boy kısalması- log zaman ve boy kısalması- karekök zaman eğrileri izlenebilmektedir (Şekil 5.6.). Deney bitiminde programa numunenin deney sonu bilgileri girilerek boy kısalması- log zaman ve boy kısalması- karekök zaman eğrileri çizdirilmiştir. Tez çalışması kapsamında 2 tane standart konsolidasyon deneyi ve 15 adet uzun süreli yükleme deneyi olmak üzere toplam 17 adet konsolidasyon deneyi yapılmıştır.

Test Monitoring

ELLE
International

Current Machine & Test Type
CONS-2 ASTM - One Dimensional Consolidation Test-A5

Job Number: 2 Sample Number: 2 Specimen: 3

Current Test Stage: Loading Stage

Start Test Stage Current Test Details Full Screen OK

Test Initialisation

ASTM-D2405-96 / AASHTO-T216-94

Sample Details		Machine Details	
Sample Weight Inc Ring	112.60 g	Ring Number	2
Ring Weight	69.90 g	Ring Diameter	50.00 mm
Sample Weight	42.70 g	Ring Height	20.00 mm
Sample Condition	Natural Moisture	Lever Ratio	10.00 :1
		Drainage	Double-Sided

Note: Frame correction (if required) may be set in Machine Defaults before test

Place sample in frame and zero transducer prior to application of water

Swelling Pressure Correction

Weight Added to Lever to Keep Transducer Reading Zero: 0.00 g

Calculate Swelling Pressure

Swelling Pressure: 0.00 kPa

Select Test Method: A

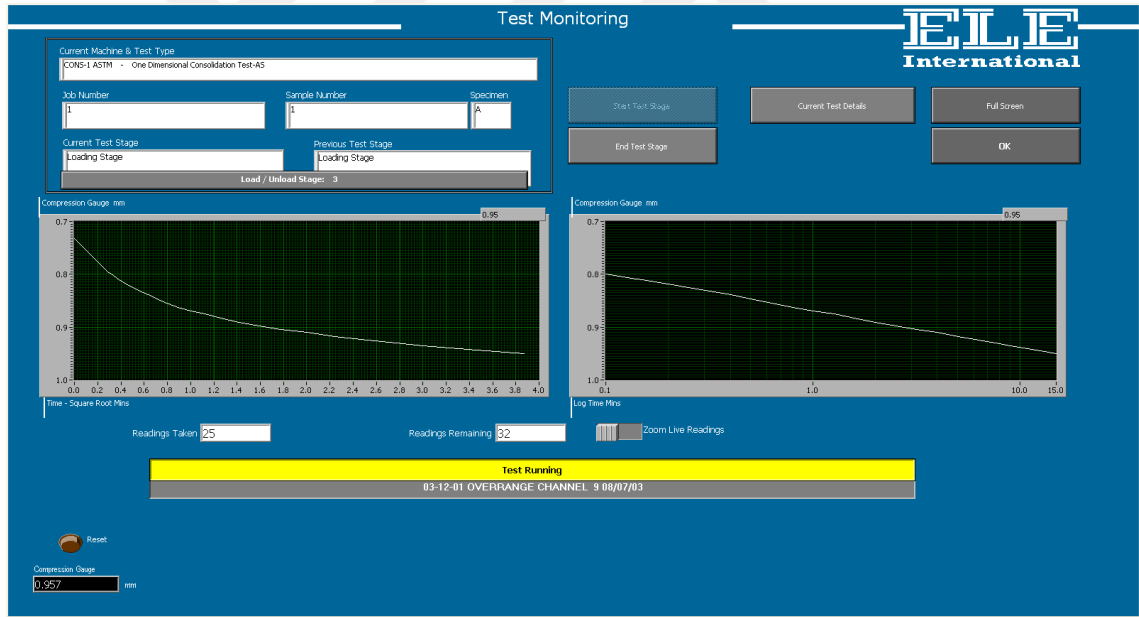
OK CANCEL

02-37-30 OVERRANGE CHANNEL 9 06/07/03

Reset

Compression Gauge: 2.528 mm

Şekil 5. 5. DS7 programına deney başı numune bilgilerinin girilmesi



Şekil 5. 6. Deney süresi boyunca izlenen boy kısalması- log zaman ve boy kısalması- karekök zaman eğrileri

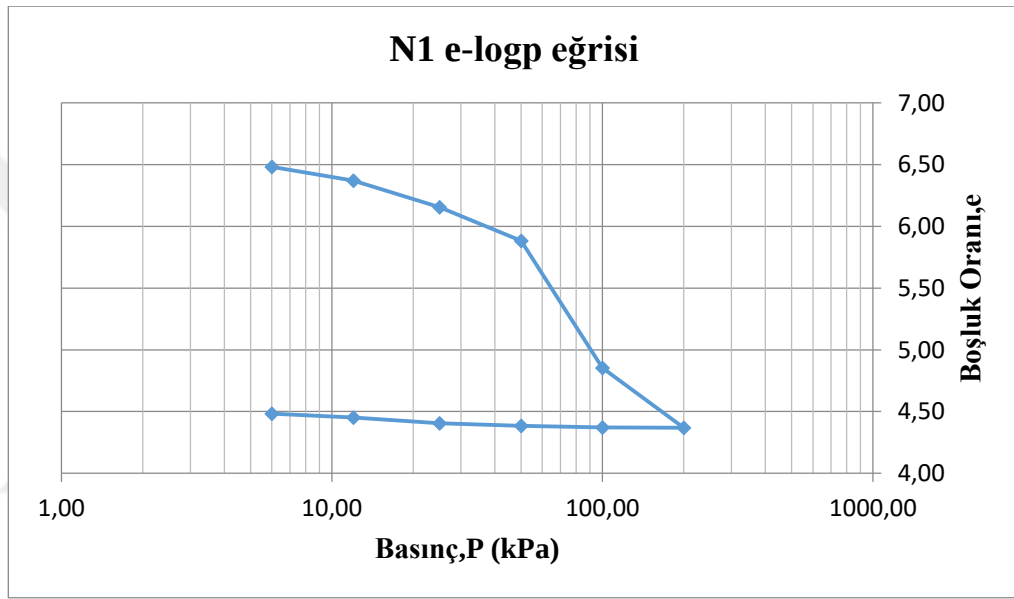


Şekil 5. 7. Deneylerde kullanılan konsolidasyon cihazları ve transduserleri

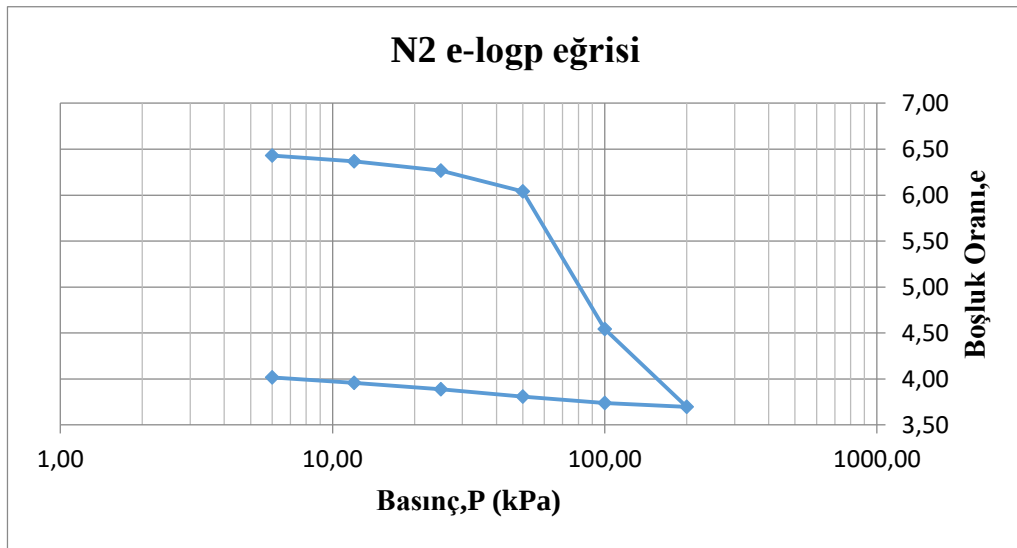
5.3. Standart Konsolidasyon Deneyi

Turba zeminler taşıma gücü düşük ve yüksek derecede sıkışabilir zeminlerdir. Bu nedenle deneylere düşük bir basınç kademesi değeri seçilerek başlanmıştır. Standart konsolidasyon deneylerinde turba zemin numunelerine 6, 12, 25 50, 100 ve 200 kpa basınç kademelerinde yüklemeler yapılmıştır. Seçilen basınç kademelerindeki bekleme süresi, test numunesi üzerinde farklı basınç kademelerinde gerçekleştirilen yüklemeler ve bu basınç kademelerinde okumaların takip edilmesi yolu ile belirlenmiştir. Örneğin; test numunesi 6 kpa basınç kademesine karşılık gelen yük ile yüklenmiş ve program üzerinden boy kısalması- log zaman eğrisi takip edilmiştir. Bu yüklemede, 24 saat tamamlanmadan ilgili basınç kademesindeki boy kısaltmaları durmuştur. Diğer basınç kademelerinde de aynı yöntem izlenmiş ve genel olarak 24 saatten önce okumaların sabitlendiği görülmüştür. Okumalar 6 kpa yüklemede 1080 dk, 12 kpa yüklemede 960 dk, 50 kpa yüklemede 762 dk, 100 kpa yüklemede 605 dk, 200 kpa yüklemede ise 1080

dk zamanında sabitleşmiştir. 25 kpa yüklemde okumalar sabit bir oranda azalma göstermiştir. Bu yüzden standart konsolidasyon deneylerinde yükleme ve boşaltma aşamalarında bekleme süresi 24 saat olarak seçilmiştir. Konsolidasyon deneylerinde her bir basınç kademesi için boy kısalması- $\log t$ ve boy kısalması- $\sqrt{t}$ eğrileri elde edilmiş olup bu eğriler EK-1 ve EK-2’de sunulmuştur. Standart konsolidasyon deneyi sonucunda elde edilen boşluk oranı- basınç ilişkileri kullanılarak şekil 5.8. ve 5.9.’da gösterilen e-logp eğrileri çizilmiştir.



Şekil 5. 8. Standart konsolidasyon deneyi numune 1 e-logp eğrisi



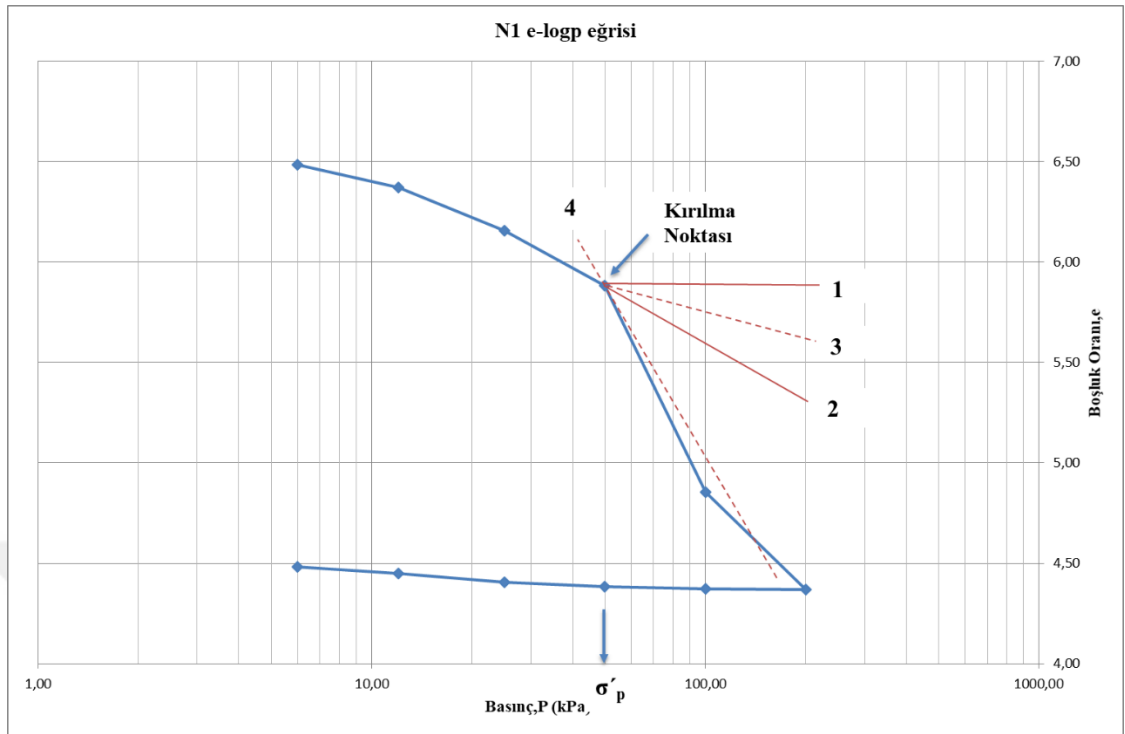
Şekil 5. 9. Standart konsolidasyon deneyi numune 2 e-logp eğrisi

Konsolidasyon deneyi sonucunda numune 1 ve 2' nin başlangıç boşluk oranları sırasıyla 6.6 ile 6.513 ve deney sonu boşluk oranları da sırasıyla 4,484 ile 4.018 olarak hesaplanmıştır. 6, 12, 25 ve 50 kpa basınç kademelerinde boşluk oranı değerleri birbiri ile uyumlu şekilde azalırken 100 kpa basınç kademesinde boşluk oranında ani bir azalma gözlenmiş ve bu azalma diğer basınç kademelerindeki azalmanın neredeyse 6 ila 7 katı kadar gerçekleşmiştir. 200 kpa basınç kademesinde ise 100 kPa basınç kademesinde gerçekleşen boşluk oranı azalmasının yaklaşık yarısı kadar boşluk oranı azalmıştır.

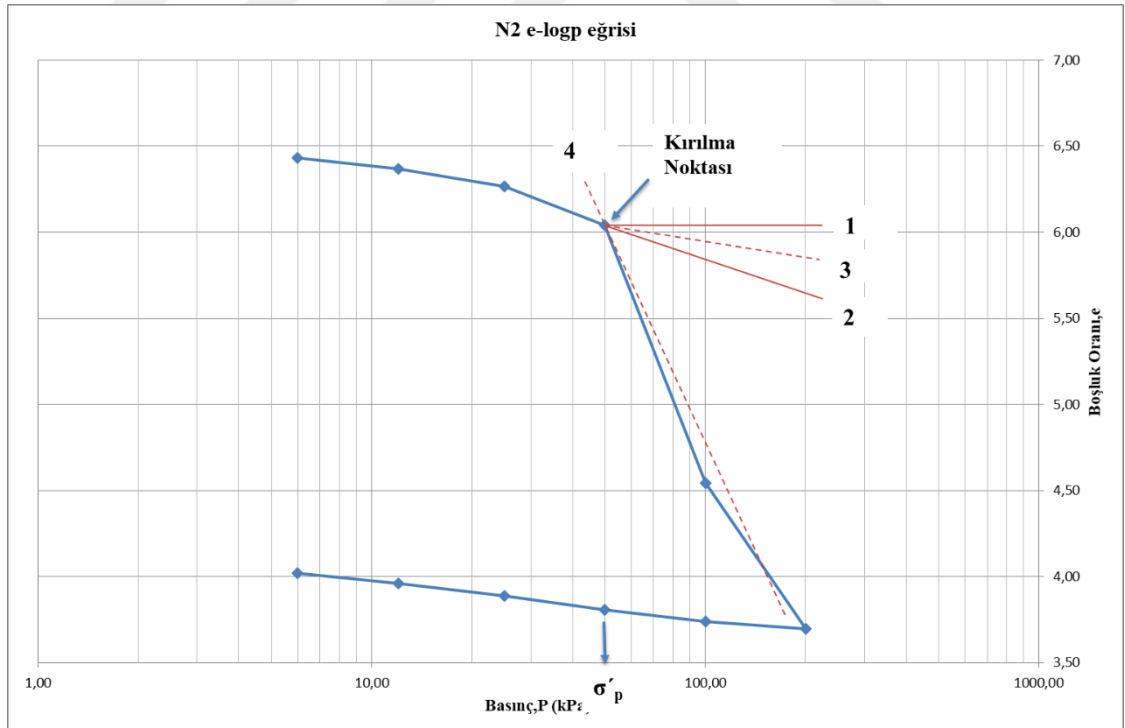
Elde edilen e- logp eğrilerinden Casagrande (1936) yöntemi [33] ile ön konsolidasyon basıncı, σ'_p değerleri elde edilmiştir. Ön konsolidasyon basıncı, zeminin geçmişinde maruz kaldığı en büyük gerilme değeridir. Cassagrande (1936) yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi adım adım aşağıdaki gibi özetlenmiş olup Şekil 5.10. ve Şekil 5.11. üzerinde de aşamalar gösterilmiştir:

- E-logp eğrisinde eğrinin kırılma noktası (maksimum eğriselliğin olduğu yerdir) belirlenir.
- Bu kırılma noktasından x eksenine paralel olacak şekilde yatay bir doğru çizilir (Şekil 5.10. ve Şekil 5.11.'de 1 numaralı doğru).
- Kırılma noktasından eğriyi takip eden teğet bir doğru çizilir (Şekil 5.10. ve Şekil 5.11.'de 2 numaralı doğru).
- 1 ve 2 numaralı doğruların açığortayı olan yeni bir doğru çizilir (Şekil 5.10. ve Şekil 5.11.'de 3 numaralı doğru).
- Son okumaları temsil eden bir doğru çizilir (Şekil 5.10. ve Şekil 5.11.'de 4 numaralı doğru).
- 3 ve 4 numaralı doğruların kesiştiği nokta ön konsolidasyon basıncının aşıldığı noktadır. Bu noktanın x ekseninde gösterdiği değer zeminin ön konsolidasyon basıncıdır.

Standart konsolidasyon deneyleri sonucunda ön konsolidasyon basıncı her iki numune için de 50 kPa olarak elde edilmiştir.



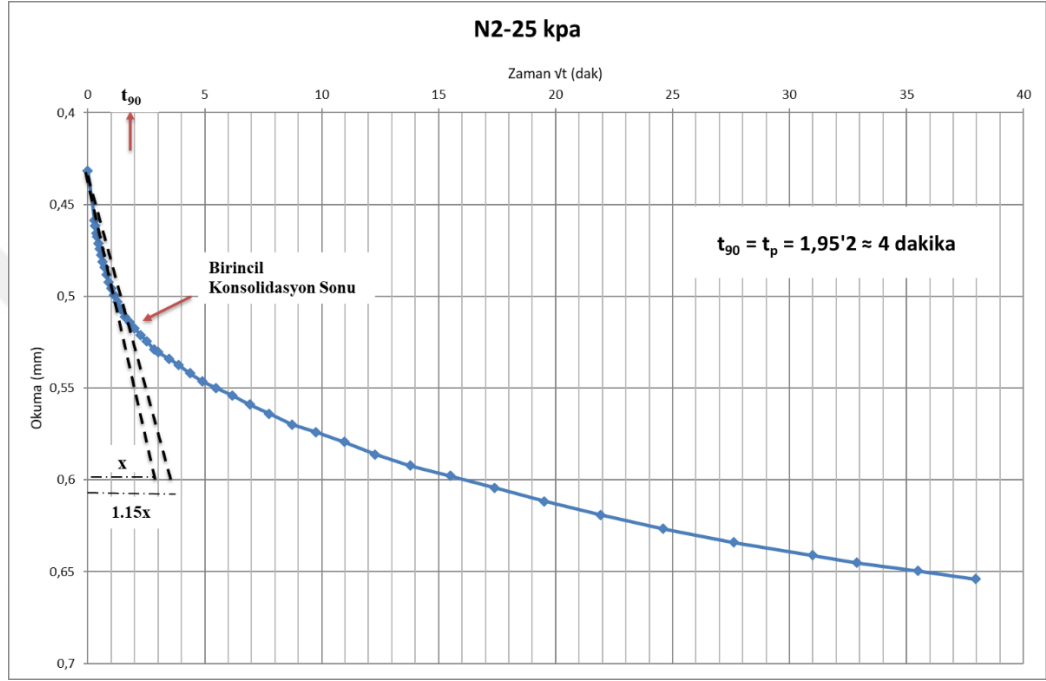
Şekil 5. 10. Cassagrende yöntemi ile N1 için ön konsolidasyon basıncının bulunması



Şekil 5. 11. Cassagrende yöntemi ile N2 için ön konsolidasyon basıncının bulunması

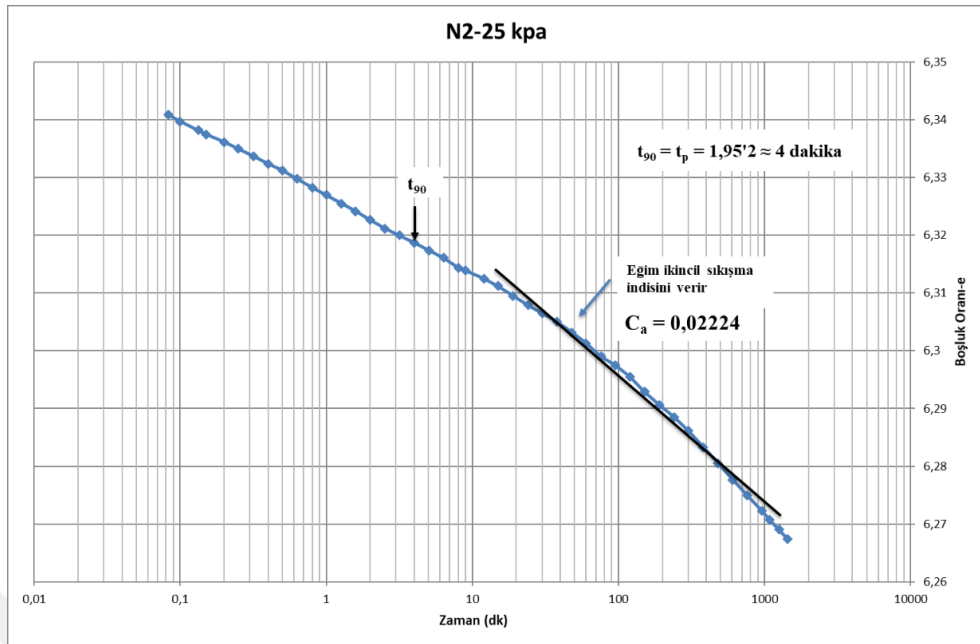
Birincil konsolidasyonun tamamlanma süresini ifade eden (t_p) zamanı, Casagrande Logaritma Zaman ya da Taylor Karekök Zaman yöntemi kullanılarak

hesaplanabilmektedir. Ancak; tez çalışması kapsamında örselenmemiş turba zemin numuneleri üzerinde gerçekleştirilen standart konsolidasyon deneylerine ait boy kısalması- logaritma zaman eğrilerinde t_p süresinin hesaplanabileceği Tip 1 eğrisi benzeri bir laboratuvar deney eğrisi elde edilememiştir. Bu nedenle t_p süresi Taylor Karekök Zaman yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 5.12.).



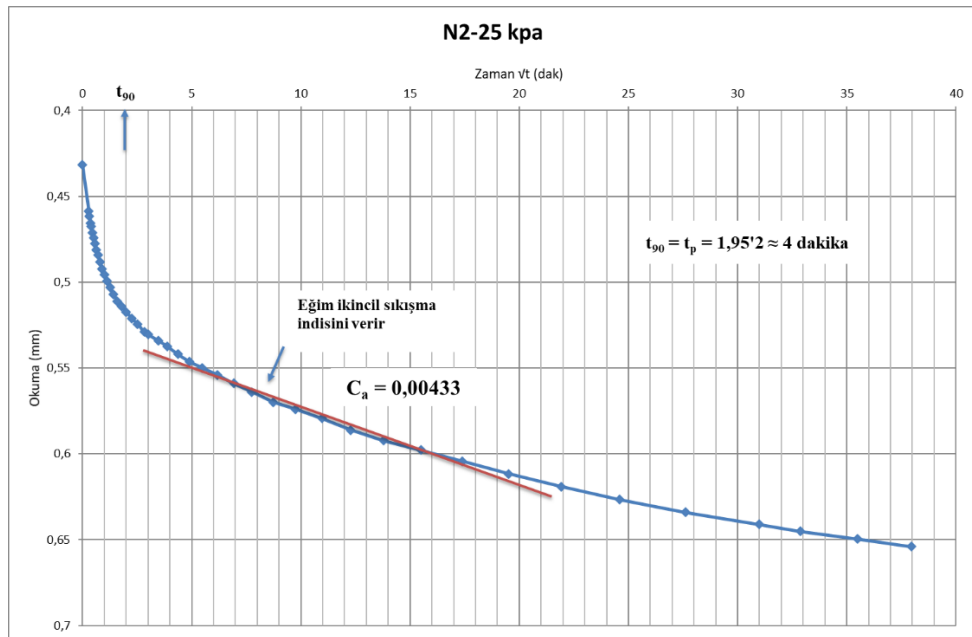
Şekil 5. 12. N2-25 Kpa yüklemesi için Taylor karekök zaman yöntemi ile t_p süresinin bulunması

İkincil sıkışma indisi c_a , boşluk oranı- logaritma zaman ve boy kısalması- karekök zaman eğrileri üzerinden elde edilebilmektedir. Literatürde, ikincil sıkışma indisi c_a yaygın olarak boşluk oranı- logaritma zaman (e-logt) eğrisi üzerinden hesaplanmaktadır. E-logt eğrisi üzerinden c_a değeri hesaplanırken ilgili basınç kademesine karşılık gelen boy kısalması- karekök zaman eğrisi üzerinden hesaplanan t_p zamanı kullanılmaktadır. t_p zamanı, e-logt eğrisi üzerinde işaretlenerek, eğrinin t_p zamanından sonraki kısmının eğimi c_a değeri olarak tanımlanmaktadır. Şekil 5.13.'de standart konsolidasyon deneyinde 25 kPa basınç kademesi için c_a değerinin elde edildiği e-logt eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 5. 13. N2-25 kPa basınç kademesi için e-logt eğrisi üzerinden c_a 'nın elde edilişi

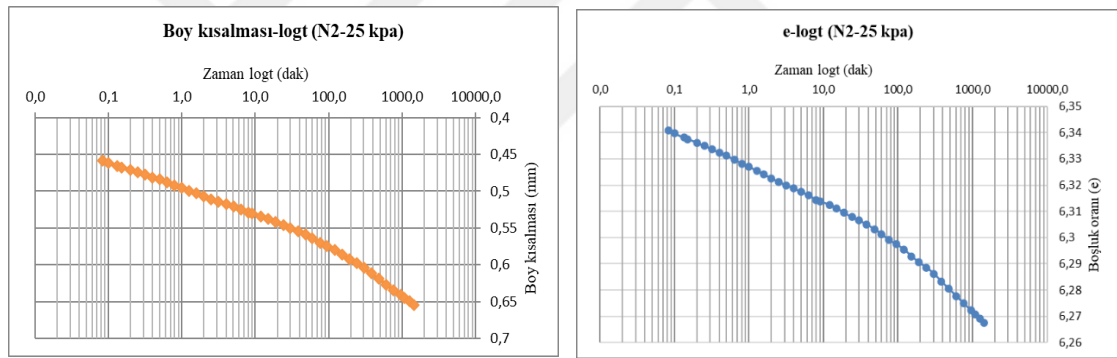
Okuma değerleri alınan her bir basınç kademesi için boy kısalması- karekök zaman eğrileri çizilerek t_{90} süreleri ve dolayısı ile t_p zamanı tanımlanmıştır. Daha sonra eğrinin t_p zamanı sonrasında yer alan kısmına ait eğim belirlenip ilgili basınç kademesine ait c_a değeri elde edilmiştir. Şekil 5.14.'te standart konsolidasyon deneyinde 25 kPa basınç kademesi için c_a değerinin elde edildiği boy kısalması- karekök zaman eğrisi verilmiştir.



Şekil 5. 14. N2-25 kPa basınç kademesi için karekök zaman eğrisi üzerinden c_a 'nın elde edilişi

Standart konsolidasyon deneyinde göz önüne alınan basınç kademelerinin her birinde ikincil sıkışma indisi değerlerinin hesaplanabilmesi için her bir basınç kademesine ait boşluk oranı- zaman ve karekök- zaman eğrileri çizilmiştir. e-logt eğrilerinde c_a birincil konsolidasyon sonundan sonraki kısmın eğimi alınarak bulunmuştur. Karekök-zaman eğrilerinde de e-logt eğrilerinde olduğu gibi birincil konsolidasyon sonundan sonraki kısmın eğimi alınmıştır.

Literatürde ikincil sıkışma indisi değerleri hesaplanırken e-logt eğrilerinin yanı sıra boy kısalması- logt eğrilerinin de kullanıldığı görülmektedir. Tez çalışması kapsamında göz önüne alınan her bir basınç kademesi için boy kısalması- logt eğrileri ve e-logt eğrileri çizilmiştir. Elde edilen e-logt eğrileri ile boy kısalması- logt eğrilerinin benzer olduğu görülmüştür. E-logt eğrileri üzerinden ikincil sıkışma indisinin hesaplanması literatürde daha yaygın bir yaklaşım olduğundan tez çalışmasında da bu yöntem ile ilerlenmiştir.



Şekil 5. 15. N2-25 kpa yükleme için boy kısalması – logt ve e-logt eğrileri

5.3.1. Standart Konsolidasyon Deneyine Ait t_p ve c_a Değerleri

Standart konsolidasyon deneyinde göz önüne alınan her bir basınç kademesi için Taylor Karekök Zaman eğrileri üzerinden hesaplanan birincil konsolidasyon sonu (t_p) süreleri Tablo 5.1.'de verilmiştir. Tabloda verilen süreler incelendiğinde turba zeminlerde birincil konsolidasyonun oldukça kısa bir sürede tamamlandığı görülmektedir.

Tablo 5.1. incelendiğinde uygulanan basınç kademeleri ile t_p süreleri arasında kurallı bir uyumun olmadığı görülmektedir. En yüksek t_p süresi 200 kPa yüklemede 8 dakika iken, en düşük t_p süresi 3 dakika ile 50 kPa yüklemede elde edilmiştir.

Tablo 5. 1. Basınç kademesi ve t_p değerleri

Basınç Kademesi (kpa)	t_p (dk)
6	6.25
12	5
25	4
50	3
100	5
200	8

Tablo 5.2.'de ise standart konsolidasyon deneyinde uygulanan basınç kademeleri için e-logt ve boy kısalması- $\sqrt{t}$ eğrilerinden elde edilmiş ikincil sıkışma katsayıları verilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen c_a değerleri incelendiğinde basınç kademesindeki artış ile birlikte c_a değerlerinin de arttığı görülmektedir. e-logt eğrileri üzerinden hesaplanan ikincil sıkışma katsayıları boy kısalması- $\sqrt{t}$ eğrileri üzerinden hesaplanan değerlerin yaklaşık altı katı olarak elde edilmiştir. e-logt eğrileri üzerinden hesaplanan c_a değerleri boy kısalması- $\sqrt{t}$ eğrileri üzerinden elde edilen c_a değerlerine göre literatür ile daha uyumludur.

Tablo 5. 2. Standart konsolidasyon deneyine ait c_a değerleri

Basınç kademesi (kPa)	C_a	
	e-logt	Boy kısalması- $\sqrt{t}$
6	0,0157	0,00285
12	0,01624	0,00293
25	0,02224	0,00433
50	0,03526	0,00508
100	0,18120	0,03251
200	0,19911	0,04463

5.3.2. c_a Değerlerine Göre Oturma Miktarları

Kayser Bölgesi turba zemininin yüzeyden itibaren yaklaşık 6.0 m kalınlıkta olduğu kabul edilerek Bölüm 3.2.2' de verilen (1) nolu eşitlik ile turba tabakası için oturma hesabı yapılmıştır. Her bir basınç kademesi için başlangıç boşluk oranı (e_0) ve ikincil konsolidasyon aşamasında geçen süre (t) yüklemelere ait e-logt eğrileri üzerinden elde

edilirken birincil konsolidasyon süreleri (t_p) yüklemelerin karekök zaman – boy kısalması eğrileri üzerinden elde edilmiştir. e-logt ve boy kısalması – karekök zaman yöntemlerinden elde edilen ikincil sıkışma katsayıları kullanılarak standart konsolidasyon deneyinde göz önüne alınan basınç kademeleri için oturma miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen oturma miktarları Tablo 5.3.'te verilmiştir.

Tablo 5.3.'te e-logt eğrileri üzerinden elde edilen ikincil sıkışma katsayıları kullanılarak hesaplanan oturma miktarları S1, karekök zaman-oturma eğrileri üzerinden elde edilen ikincil sıkışma katsayıları kullanılarak hesaplanan oturma miktarları da S2 olarak adlandırılmıştır. e-logt ve karekök zaman-boy kısalması eğrileri üzerinden elde edilen ikincil sıkışma katsayıları arasındaki fark oturma miktarlarını da etkilemiştir. Tüm basınç kademeleri için S1 oturma miktarları S2 oturma miktarlarına göre daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 5. 3. c_a değerlerine göre oturma miktarları

OTURMA HESABI		
Yüklemeler	S1 (cm)	S2 (cm)
6 kpa	2,82	0,51
12 kpa	3,01	0,54
25 kpa	4,66	0,91
50 kpa	7,14	1,00
100 kpa	43,41	6,76
200 kpa	49,57	11,11

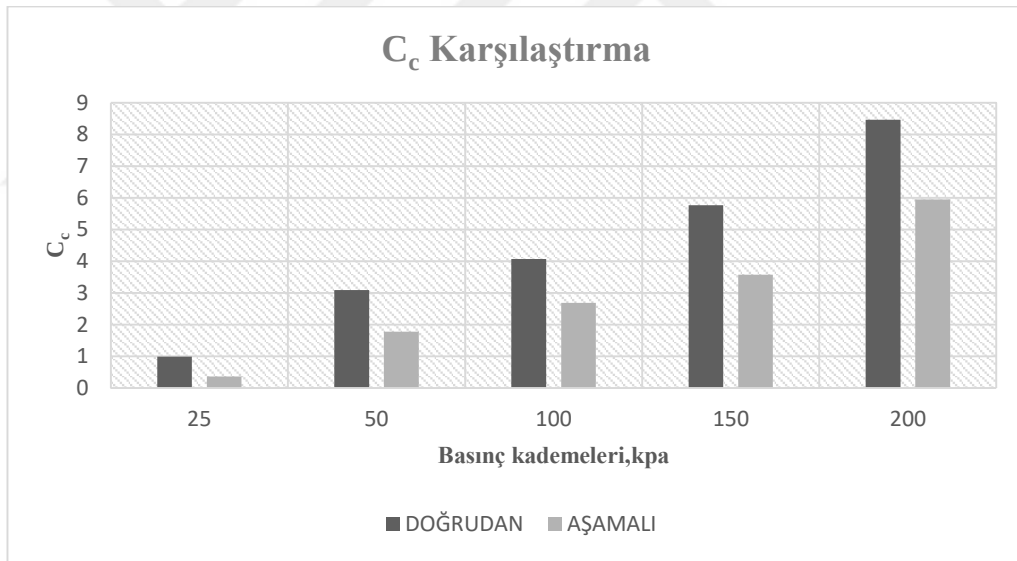
5.4. Uzun Süreli Yükleme Deneyleri

5.4.1. Elde Edilen c_c ve c_a Değerlerinin Karşılaştırılması

Uzun süreli konsolidasyon deneylerinde yükleme süreleri 7 gün olarak seçilmiştir. Şekil 5.16.' da farklı yollarla yapılmış uzun süreli yükleme deneyleri sonucu elde edilen c_c değerlerinin karşılaştırması gösterilmiştir. Numuneye, seçilen basınç kademesine karşılık gelen yükün direk uygulandığı deneyler sonucu elde edilen c_c değerleri DOĞRUDAN olarak adlandırılmıştır. Seçilen basınç kademesine karşılık gelen yüklemeye kadar, standart konsolidasyon deneyinde belirlenmiş basınç kademelerinin 24 saat süre ile

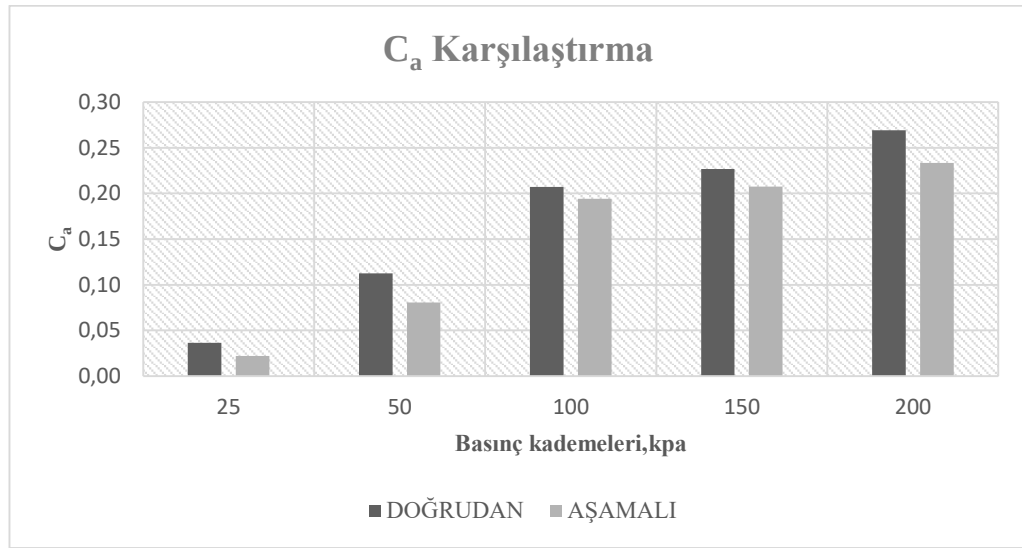
uygulandığı sonrasında da seçilen basınç kademesinde 7 gün süreyle yüklemenin yapıldığı deneyler sonucu elde edilen c_c verileri de AŞAMALI olarak adlandırılmıştır.

Şekil 5.16. incelendiğinde her bir basınç kademesi için doğrudan yükleme sonucu elde edilen birincil sıkışma indislerinin aşamalı yükleme sonucu elde edilen birincil sıkışma indislerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Hem aşamalı hem de doğrudan yükleme deneyleri sonucunda basınç kademesindeki artış ile birlikte c_c değerlerinin de arttığı görülmüştür. En düşük birincil sıkışma indisi 0.37019 değeri ile aşamalı 25 kpa yüklemesine aitken, en yüksek birincil sıkışma indisi 8.46278 değeri ile doğrudan 200 kpa yüklemesinde elde edilmiştir. Doğrudan ve aşamalı uzun süreli yüklemeler sonucu elde edilen c_c değerleri arasındaki katsayı farkı, basınç kademesindeki artış ile birlikte artmıştır. Bu fark 25 kPa basınç kademesinde 0.62 iken 50, 100, 150 ve 200 kPa basınç kademelerinde, sırası ile 1.31, 1.38, 2.18 ve 2.52 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5. 16. Uzun süreli yükleme deneylerinde elde edilen c_c değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 5.17.'de doğrudan ve aşamalı uzun süreli yükleme deneyleri sonucu elde edilmiş c_a değerlerinin karşılaştırması gösterilmiştir.



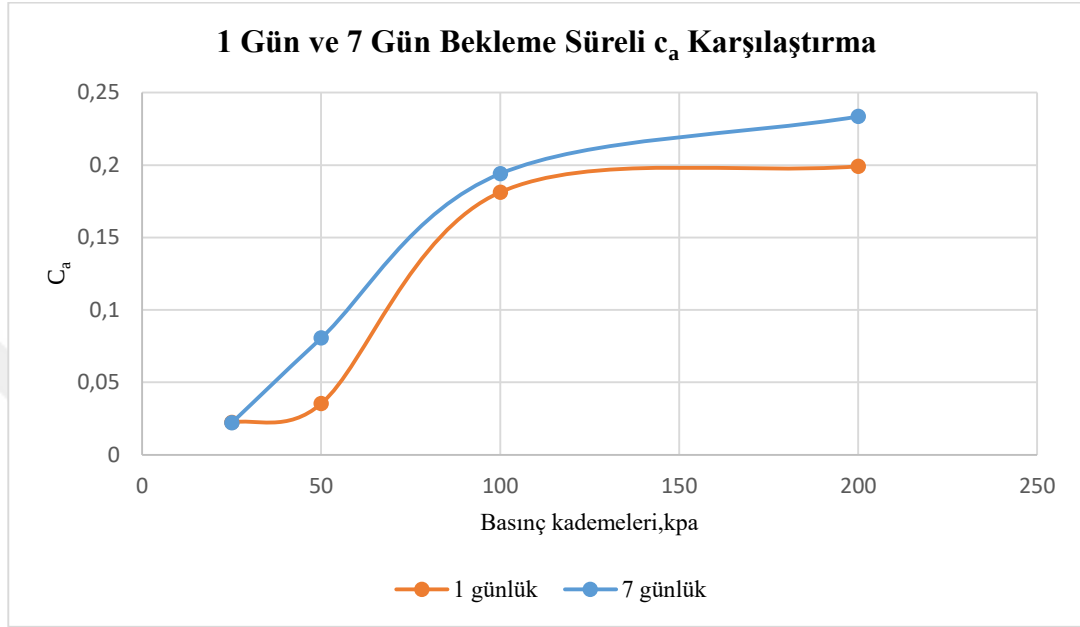
Şekil 5. 17. Uzun süreli yükleme deneylerinden elde edilen c_a değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 5.17. incelendiğinde ikincil sıkışma indisi değerlerinin birincil sıkışma indisi değerleri ile benzer davranış sergilediği görülmektedir. Tüm deneylerde doğrudan yükleme sonucu elde edilen ikincil sıkışma indisi değerleri, aşamalı yüklemeler sonucu elde edilen ikincil sıkışma indisi değerlerinden daha büyüktür. Uzun süreli yükleme deneylerinde doğrudan ve aşamalı yüklemeler sonucunda birbirine en yakın ikincil sıkışma indisleri 100 kpa basınç kademesinde elde edilmiştir.

5.5. Yükleme Süresinin c_a Davranışına Etkisi

Fox ve Edil [12], turba zemin numuneleri üzerinde gerçekleştirdikleri deneylerde, elde ettikleri boşluk suyu basıncı ölçümlerine göre, birincil konsolidasyon süresinin bir dakikadan daha kısa sürede tamamlandığını gözlemlemişlerdir. Middleton turba zemininden almış oldukları numuneye 44 kpa basıncı 1.5 yıl boyunca uygulamış ve numunenin sıkışma davranışını gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar uzun süreli deneyler sonucu hesaplanan ikincil sıkışma indisi değerlerinin 24 saatlik yüklemeler sonucu hesaplanan değerlere göre daha büyük olduğunu, yükleme süresinin artması ile ikincil sıkışma indisi değerlerinin de arttığını belirtmişlerdir. İkincil sıkışma indisinin 24 saatlik yüklemeler ile elde edilmesi ve buna göre hesaplanan oturma miktarının gerçekte meydana gelecek oturmadan daha düşük olacağını söylemişlerdir.

Tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde, basınç kademesinin 1 gün ve 7 gün bekletilmesi durumunda ikincil sıkışma indisi değerlerinin nasıl değiştiği araştırılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.18’ de gösterilmiştir.



Şekil 5. 18. 1 gün ve 7 gün bekleme süreli c_a değerlerinin karşılaştırılması

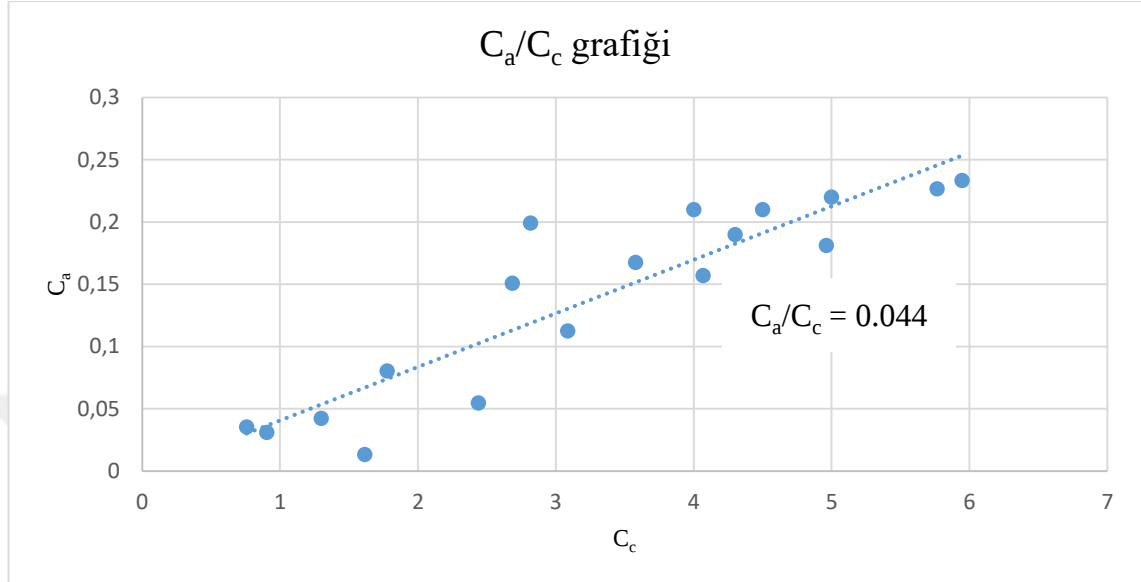
Standart konsolidasyon deneyi sonucunda çizilen eğrilerden elde edilen ikincil sıkışma indisi değerleri 1 günlük, aşamalı yüklemeler sonucunda çizilen eğrilerden elde edilen ikincil sıkışma indisi değerleri de 7 günlük olarak adlandırılmıştır. Şekil 5.18. incelendiğinde, 25 kPa basınç kademesinde 1 gün ve 7 gün bekleme süreli deneylerde elde edilmiş c_a değerlerinin hemen hemen birbirine eşit olduğu görülmektedir. 50, 100 ve 200 kPa yüklemelerde, yükleme süresinin 7 gün olması durumunda daha yüksek ikincil sıkışma indisi değerleri elde edilmiştir.

5.6. c_a/c_c Grafiği

Şekil 5.19.’da tez çalışması kapsamında yapılmış olan konsolidasyon deneylerinden elde edilmiş c_a ve c_c değerlerinin c_a/c_c düzlemindeki gösterimi verilmiştir. Her bir yükleme için c_a ve c_c noktaları eğri üzerinde gösterilmiş ve c_a/c_c değeri 0.044 olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.2.’de zemin türlerine göre Mesri ve ark. (1996) [30] tarafından önerilen c_a/c_c değerleri verilmiştir. Bu tabloya göre turba zeminlerin c_a/c_c davranışı 0.06 ± 0.01

aralığında değişmektedir. Tez çalışması kapsamında elde edilmiş olan c_a/c_c değeri bu aralık içerisinde olmasa da aralığın alt sınırına yakın olarak elde edilmiştir.



Şekil 5. 19. c_a/c_c grafiği

5.7. Literatüre Göre İkincil Sıkışma İndisi Tahminleri

Literatürde turba zeminlerin ikincil sıkışma indisi değerlerinin tahminine yönelik önerilmiş ampirik bağıntılar yer almaktadır. Deneysel çalışmalarda uygulanan basınç kademelerinin her biri için bu ampirik yaklaşımlar kullanılarak tahmin edilen c_a değerleri deneysel olarak elde edilmiş c_a değerleri ile karşılaştırılmıştır. 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 150 kPa ve 200 kPa basınç kademeleri için doğrudan ve aşamalı yüklemeler sonucunda elde edilmiş c_a değerleri karşılaştırmalı olarak, sırası ile, Tablo 5.4., 5.5., 5.6., 5.7. ve 5.8.' de verilmiştir.

Nakase vd. (1998), ikincil sıkışma indisi hesabı için $c_a = 0,00168 + 0,00033I_p$ formülünü önermiştir. Formüldeki I_p , numunenin plastisite indisi değeridir.

Navfac DM7.1, ikincil sıkışma indisi hesabı için $c_a = 0,0001w_n$ formülünü önermiştir. Formüldeki w_n , numunenin deney sonundaki su muhtevasıdır.

Mesri ve Godlewski (1977), uygulama aralığının $0,025 < c_a < 0,1$ olduğu durumlar için $c_a = 0,032c_c$ formülünü önermiştir. Formüldeki c_c , numunenin birincil sıkışma indisi değeridir.

Mesri (1986), organik ve turba zeminlerin ikincil sıkışma indisinin tahmini için $c_a = 0,06c_c$, $c_a=0,07c_c$ formüllerini önermiştir.

Mesri vd. (1990), kumlu kil zeminler için $c_a = 0,015c_c$, $c_a = 0,03c_c$ formüllerini önermişlerdir.

Tablo 5. 4. 25 kPa basınç kademesi için c_a değerlerinin karşılaştırılması

25 KPA				
Kaynak	C _a değerleri		Deneylerden elde edilen C _a	
	D	A	D	A
Nakase ve diğerleri (1998)	0,011735		0,03659	0,02198
NAVFAC DM7.1	0,03713	0,03216		
Mesri ve Godlewski (1977)	0,03183	0,01185		
Mesri (1986)	0,05969, 0,06964	0,02221, 0,02591		
Mesri ve diğerleri (1990)	0,01492, 0,02984	0,00555, 0,01111		

Tablo 5. 5. 50 kPa basınç kademesi için c_a değerlerinin karşılaştırılması

50 KPA				
Kaynak	C _a değerleri		Deneylerden elde edilen C _a	
	D	A	D	A
Nakase ve diğerleri (1998)	0,011735		0,11265	0,0805
NAVFAC DM7.1	0,02843	0,02704		
Mesri ve Godlewski (1977)	0,0988	0,05687		
Mesri (1986)	0,18524, 0,21612	0,10663, 0,12441		
Mesri ve diğerleri (1990)	0,04631, 0,09262	0,02666, 0,05332		

Tablo 5. 6. 100 kPa basınç kademesi için c_a değerlerinin karşılaştırılması

100 KPA				
Kaynak	C_a değerleri		Deneylerden elde edilen C_a	
	D	A	D	A
Nakase ve diğerleri (1998)	0,011735		0,20709	0,19399
NAVFAC DM7.1	0,026	0,03136		
Mesri ve Godlewski (1977)	0,13016	0,08589		
Mesri (1986)	0,24404, 0,28472	0,16105, 0,18789		
Mesri ve diğerleri (1990)	0,06101, 0,12202	0,04026, 0,08052		

Tablo 5. 7. 150 kPa basınç kademesi için c_a değerlerinin karşılaştırılması

150 KPA				
Kaynak	C_a değerleri		Deneylerden elde edilen C_a	
	D	A	D	A
Nakase ve diğerleri (1998)	0,011735		0,2266	0,20749
NAVFAC DM7.1	0,03271	0,02309		
Mesri ve Godlewski (1977)	0,18449	0,11449		
Mesri (1986)	0,34591, 0,40356	0,21466, 0,25044		
Mesri ve diğerleri (1990)	0,08648, 0,17296	0,05367, 0,10733		

Tablo 5. 8. 200 kPa basınç kademesi için c_a değerlerinin karşılaştırılması

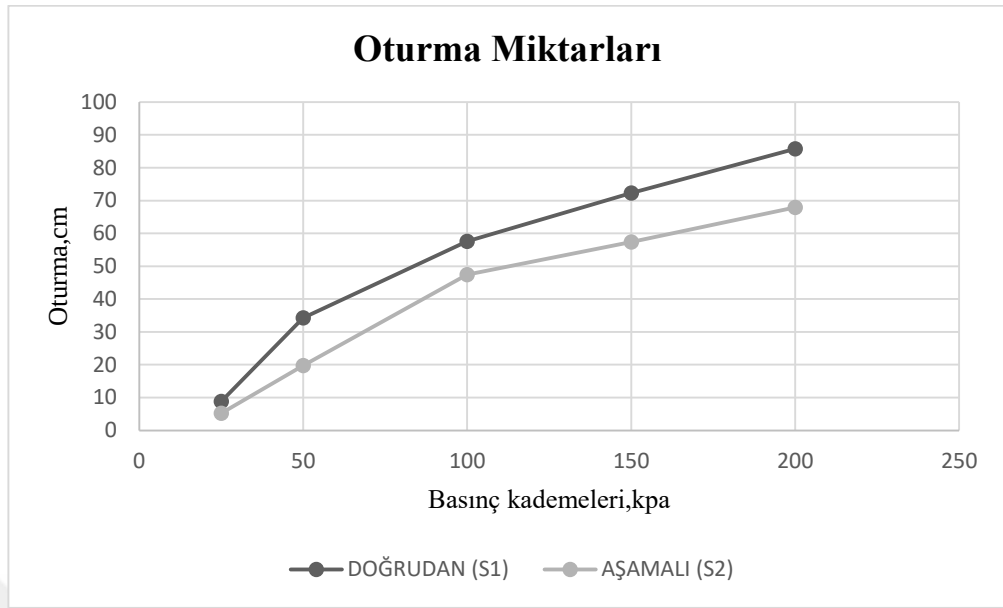
200 KPA				
Kaynak	C_a değerleri		Deneylerden elde edilen C_a	
	D	A	D	A
Nakase ve diğerleri (1998)	0,011735		0,26908	0,23344
NAVFAC DM7.1	0,03033	0,02838		
Mesri ve Godlewski (1977)	0,27081	0,19028		
Mesri (1986)	0,50777, 0,59239	0,35678, 0,41623		
Mesri ve diğerleri (1990)	0,12694, 0,25388	0,08919, 0,17839		

Tablo 5.4., 5.5., 5.6., 5.7. ve 5.8.’ de araştırmacıların önermiş oldukları formüller kullanılarak hesaplanan ikincil sıkışma indisleri ‘ C_a değerleri’ başlığı altında verilmişken tez çalışmasında yapılan doğrudan ve aşamalı yükleme deneyleri sonucunda elde edilen ikincil sıkışma indisleri ‘Deneylerden elde edilen C_a ’ başlığı altında verilmiştir. (D) başlığı altında doğrudan yükleme deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan ikincil sıkışma indisleri verilmişken, (A) başlığı altında aşamalı yükleme deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan ikincil sıkışma indisleri verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen ikincil sıkışma indislerine en yakın değerler kalın yazı tipinde yazılmıştır.

Deneysel ikincil sıkışma indisi değerlerinin genel olarak Mesri (1986)’nın önerdiği eşitlikten hesaplanan değerler ile daha iyi bir uyum sergilediği görülmüştür. Sadece doğrudan 25 kpa yükleme, Navfac DM7.1 tarafından önerilen eşitlik ile uyumlu sonuç göstermiştir. Tez çalışmasında doğrudan 150 kpa ve doğrudan ve aşamalı 200 kpa yüklemelerde elde edilen ikincil sıkışma indisleri, Mesri ve Godlewski’ nin (1977) önermiş oldukları uygulama aralığına girmemesine rağmen önerilen bağlantı ile uyumlu sonuçlar göstermiştir.

5.8. Kayser Bölgesi Turba Zeminin Uzun Süreli Oturma Davranışı

Kayser Bölgesi turba zemininin uzun süreli oturma davranışı da Bölüm 3.2.2’ de verilen (1) nolu eşitlik kullanılarak yapılmıştır. Standart konsolidasyon deneyi sonucu elde edilen c_a değerlerine göre oturma miktarları hesaplarında kabul edildiği gibi Kayser Bölgesi turba zemininin yüzeyden itibaren yaklaşık 6.0 m kalınlıkta olduğu varsayılmıştır. (t) süresi e-logt eğrisinde ikincil konsolidasyonun bittiği süredir. c_a ise doğrudan ve aşamalı yüklemeler sonucunda çizilen e-logt eğrileri üzerinden hesaplanmıştır. Her bir basınç kademesi için oturma miktarları yaklaşık olarak hesaplanmış ve bu değerlerden oluşturulan eğriler Şekil 5.20.’de gösterilmiştir.



Şekil 5. 20. Uzun süreli deneyler için oturma miktarları

Şekil 5.20' den de görüldüğü gibi doğrudan yüklemeler sonucu hesaplanan oturma miktarları, aşamalı yüklemeler sonucu hesaplanan oturma miktarlarından fazladır. Sadece, 25 kpa basınç kademesinde, iki farklı durum için hemen hemen aynı değerde oturma miktarları elde edilmiştir. 100 kpa yüklemesinde oturma miktarları arasındaki fark azalıp eğriler birbirine yaklaşıırken 150 ve 200 kpa yüklemelerde oturma miktarları arasındaki fark artıp eğriler birbirinden uzaklaşmıştır.

6. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; KAYSER Bölgesinden blok şeklinde alınmış turba zemin örnekleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ile turba zeminlerin endeks ve mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Yüksek deformasyon özelliğine sahip turba zeminlerin oturma davranışları, klasik ödometre deney aletinde yapılan laboratuvar deneyleri aracılığıyla izlenip farklı yükleme kademelerindeki birincil konsolidasyon özellikleri ile özellikle ikincil sıkışma davranışları araştırılmıştır. KAYSER Bölgesi turba zemininin c_a/c_c değeri belirlenmiş ve 0.044 olarak elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucu elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda sunulmuştur;

- KAYSER Bölgesi turba zemini Von Post Sınıflandırma sistemine göre, ele alınıp sıkıldığında numuneden su çıkışı olması ve az miktarda bitki kalıntılarının görülmesi sebebiyle H4 ve ASTM D4427 standardına göre hemik olarak sınıflandırılmıştır.
- Standart konsolidasyon deneylerinde birincil konsolidasyon sonu (t_p) süreleri karekök- zaman eğrileri üzerinden hesaplanmış ve elde edilen t_p sürelerinin çok kısa olduğu görülmüştür. Aynı zamanda uygulanan basınç kademeleri ile t_p süreleri arasında kurallı bir uyumun olmadığı da gözlenmiştir. En yüksek t_p süresi 200 kPa yüklemede 8 dakika iken, en düşük t_p süresi 3 dakika ile 50 kPa yüklemede elde edilmiştir.
- Standart konsolidasyon deneylerinde uygulanan basınç kademeleri için e-logt ve boy kısalması- $\sqrt{t}$ eğrilerinden elde edilmiş ikincil sıkışma katsayıları verilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen c_a değerleri incelendiğinde basınç kademesindeki artış ile birlikte c_a değerlerinin de arttığı görülmüştür. e-logt eğrileri üzerinden hesaplanan ikincil sıkışma katsayıları boy kısalması- $\sqrt{t}$ eğrileri üzerinden hesaplanan değerlerin yaklaşık altı katı olarak elde edilmiştir. e-logt eğrileri

üzerinden hesaplanan c_a değerlerinin boy kısalması- $\sqrt{t}$ eğrileri üzerinden elde edilen c_a değerlerine göre literatür ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.

- Standart konsolidasyon deneylerinde e-logt ve karekök zaman-boy kısalması eğrileri üzerinden elde edilen ikincil sıkışma katsayıları arasındaki fark oturma miktarlarını da etkilemiştir. Tüm yüklemelerde e-logt eğrileri üzerinden elde edilen ikincil sıkışma katsayıları kullanılarak hesaplanan oturma miktarları, karekök zaman- boy kısalması eğrileri üzerinden elde edilen ikincil sıkışma katsayıları kullanılarak hesaplanan oturma miktarlarına göre daha yüksek bulunmuştur.
- Uzun süreli yükleme deneylerinde her bir basınç kademesi için doğrudan yükleme sonucu elde edilen birincil sıkışma indislerinin, aşamalı yükleme sonucu elde edilen birincil sıkışma indislerinden daha büyük olduğu görülmüştür. Hem aşamalı hem de doğrudan yükleme deneyleri sonucunda basınç kademesindeki artış ile birlikte c_c değerlerinin de arttığı görülmüştür. En düşük birincil sıkışma indisi 0.37019 değeri ile aşamalı 25 kpa yüklemesine aitken, en yüksek birincil sıkışma indisi 8.46278 değeri ile doğrudan 200 kpa yüklemesinde elde edilmiştir. Doğrudan ve aşamalı uzun süreli yüklemeler sonucu elde edilen c_c değerleri arasındaki fark, basınç kademesindeki artış ile birlikte artmıştır.
- Uzun süreli yükleme deneylerinde ikincil sıkışma indisi değerlerinin birincil sıkışma indisi değerleri ile benzer davranış sergilediği görülmektedir. Tüm deneylerde doğrudan yükleme sonucu elde edilen ikincil sıkışma indisi değerleri, aşamalı yüklemeler sonucu elde edilen ikincil sıkışma indisi değerlerinden daha büyüktür. Doğrudan ve aşamalı yüklemeler sonucunda birbirine en yakın ikincil sıkışma indisi değerleri 100 kpa basınç kademesinde elde edilmiştir.
- Konsolidasyon deneylerinde bekleme sürelerinin ikincil sıkışma indisi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. 25 kPa basınç kademesinde 1 gün ve 7 gün bekleme süreli deneylerde elde edilmiş c_a değerlerinin hemen hemen birbirine eşit olduğu görülmektedir. 50, 100 ve 200 kpa yüklemelerde, yükleme süresinin 7 gün olması durumunda daha yüksek ikincil sıkışma indisi değerleri elde edilmiştir.
- KAYSER Bölgesi turba zemininin c_a/c_c değeri 0.044 olarak elde edilmiştir.
- Deneysel ikincil sıkışma indisi değerlerinin genel olarak Mesri vd.'nin önermiş oldukları eşitlikler kullanılarak hesaplanan değerler ile daha iyi bir uyum

sergilediği görülmektedir. Sadece, doğrudan 25 kpa yükleme, Navfac DM7.1'nin önermiş olduğu eşitlik ile uyumlu sonuç göstermiştir.

- Uzun süreli yükleme deneylerinde ikincil sıkışma indisi grafiğinde gözlemlendiği gibi doğrudan yüklemeler sonucu hesaplanan oturma miktarları, aşamalı yüklemeler sonucu hesaplanan oturma miktarlarından fazladır. Sadece 25 kpa yüklemede hemen hemen aynı değerlerde oturma miktarları hesaplanmıştır. 100 kpa yüklemede oturma miktarları arasındaki fark azalıp eğriler birbirine yaklaşıırken 150 ve 200 kpa yüklemelerde oturma miktarları arasındaki fark artıp eğriler birbirinden uzaklaşmıştır.

Elde edilen sonuçların incelenen turba zeminler ve bu zeminlere çok benzer özelliklere sahip olan turbalar için geçerli olacağı dikkate alınmalıdır. Turba zeminlerde yapılacak çalışmalar için faydalı olabileceği düşünülen öneriler aşağıda sunulmuştur;

- KAYSER Bölgesi konsolidasyon davranışının daha doğru analizi için yerinde arazi yükleme deneyleri ile ölçümler alınabilir.
- Birincil konsolidasyon sonu hesabı yapılırken boşluk suyu basıncı ölçümü yapılması ve bu ölçüme göre t_p süresinin belirlenmesi, ikincil sıkışma indisi hesaplarında daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir. Boşluk suyu basıncı ölçümü ve boy kısalması-karekök zaman eğrileri üzerinden elde edilen birincil konsolidasyon sonu süreleri karşılaştırılabilir ve elde edilen sonuçların benzerliği değerlendirilebilir.
- Uzun süreli yükleme deneylerinde yükleme süreleri daha uzun tutulabilir, bu sayede turba zeminin daha uzun sürelerde nasıl davranış sergilediği gözlemlenebilir.

KAYNAKÇA

1. Kazemian, S., Prasad, A., Huat, B. B., Barghchi, M., 2011. A state of art review of peat: Geotechnical engineering perspective. **International Journal of Physical Sciences**, 6 (8): 1974-1981.
2. Özcan, N. T., 2015. Kayseri Civarındaki Turba Zeminlerin Jeomekanik Karakteristiklerinin Ve Dinamik Davranışlarının Arazi, Laboratuvar Ve Sayısal Modelleme Teknikleriyle Araştırılması. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 260 s.
3. Çayabatmaz, Ş., 2012. Organik Zeminlerin İyileştirilmesi Ve Kayseri Bölgesi Organik Zeminlerinin İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 104 s.
4. Çanakçı, H., Çelik, F., 2011, Organik zemin içerisindeki kum oranının kompaksiyon parametreleri üzerine etkisinin incelenmesi. 4. *Geoteknik Sempozyumu*, Çukurova Üniversitesi, Adana.
5. Mohamad, H. M., Zainorabidin, A., Musta, B., Mulstafa, M. N., Amaludin, A. E., Abdurahman, M. N., 2021. Compressibility behaviour and engineering properties of North Borneo Peat Soil. **Eurasian Journal of Soil Science**, 10 (3): 259-268.
6. ASTM D4427 - 92 (2002). Standard classification of peat samples by laboratory testing. American Society for Testing and Materials, ASTM International, West Conshohocken
7. ASTM D 2974 - 00 (2000). Standard test methods for moisture, ash and organic matter of peat and other organic soils. In American Society for Testing and Materials, ASTM International, West Conshohocken
8. 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.

9. Sert, S., Önalp, A., 2007. Turba üzerinde yapılmış rijit platformun oturmaları ve kontrolü, *Teori ve Uygulamada Yapı-Zemin Etkileşimi Sempozyumu*, İstanbul, 181-185.
10. Kara H.B., Kaya Z., Elcüman H., 2008. Kayseri yumuşak killerin geoteknik özellikleri üzerine bir araştırma. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30.Yıl Sempozyumu*, Adana.
11. Samson, L., Rochelle, P. L., 1972. Design and performance of an expressway constructed over peat by preloading. **Canadian Geotechnical Journal**, **9** (4): 447-466.
12. Fox, J.P., Edil, T.B., 1996. Effects of stress and temperature on secondary compression of peat, **Canadian Geotechnical Journal**, **33** (3): 405-415.
13. Mesri, G., Stark, T. D., Ajlouni, M. A., Chen, C. S., 1997. Secondary compression of peat with or without surcharging. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, **123** (5): 411-421.
14. Ajlouni, M.A., 2000. Geotechnical properties of peat and related engineering problems, Department of Civil Engineering, University of Illinois, PhD Thesis, Urbana-Champaign, USA. 385 s.
15. Gofar, N., 2006. Determination of coefficient of rate of horizontal consolidation of peat soil, Universiti Teknologi Malaysia, Master Dissertation, Malaysia.
16. Robinson, R. G., 1997. Determination of radial coefficient of consolidation by the inflection point method, **Geotechnique**, **47** (5): 1079-1081
17. Mesri, G., Godlewski, P.M., 1977. Time and stress-compressibility interrelationship, **Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE**, **103** (5): 417-430.
18. Ali, F. H., Sing, W. L., Hashim, R. 2010. Engineering properties of improved fibrous peat. **Scientific Research and Essays**, **5** (2): 154-169.
19. Reddy, B. K., Sahu, R. B., & Ghosh, S. 2014. Consolidation behavior of organic soil in normal Kolkata deposit. **Indian Geotechnical Journal**, **44** (3): 341-350.

20. Mesri, G., Ajlouni, M. 2007. Engineering properties of fibrous peats. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, **133** (7): 850-866.
21. Gofar, N., Sutejo, Y. 2007. Long term compression behavior of fibrous peat. **Malaysian Journal of Civil Engineering**, **19** (2): 14-26.
22. Robinson, R. G. 2003. A study on the beginning of secondary compression of soils. **Journal of Testing and Evaluation**, **31** (5): 1-10.
23. Long, M., Boylan, N. 2013. Predictions of settlement in peat soils. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, **46** (3): 303-322.
24. Waruwu, A., Hardiyatmo, H. C., Rifa'i, A. 2016. Compressive behavior of Bagansiapiapi-Riau peat in Indonesia. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, **21** (16): 5217-5227.
25. Özcan, N. T., Ulusay, R., Işık, N. S. 2020. Geo-engineering characterization and an approach to estimate the in-situ long-term settlement of a peat deposit at an industrial district. **Engineering Geology**, **265** (2020): 105329.
26. Li, X. M., Fu, Y. J., Chen, C., Yin, S. 2021. Experimental study on secondary consolidation characteristics of Kunming peat soil. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 787, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.
27. Munro, R., 2004. Dealing with bearing capacity problems on low volume roads constructed on peat, EU Project, Roadex II Northern Periphery Manual, Scotland
28. Huat, B. B., Prasad, A., Asadi, A., Kazemian, S. 2014. Geotechnics of organic soils and peat. CRC press. 263 s.
29. Kumbasar, V., Kip, F. 1999. Zemin mekaniği problemleri. Çağlayan Kitabevi.
30. Terzaghi, K., Peck, R. B., Mesri, G. 1996. Soil mechanics in engineering practice. John wiley and sons.
31. Murthy, V. N. S. 2002. Principles and practices of soil mechanics and foundation engineering. New York: Marcek Decker INC.

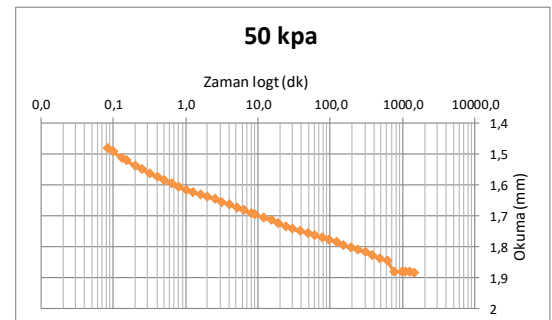
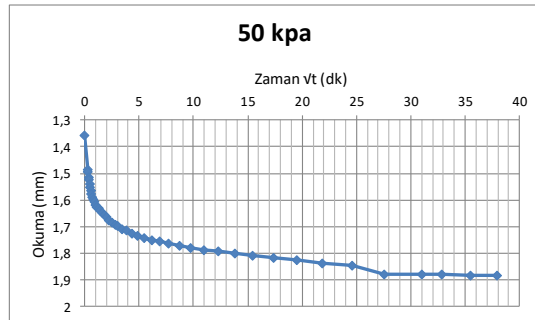
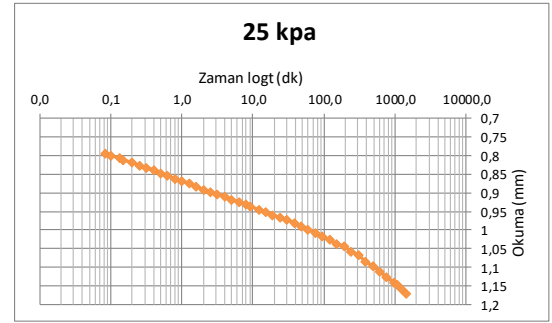
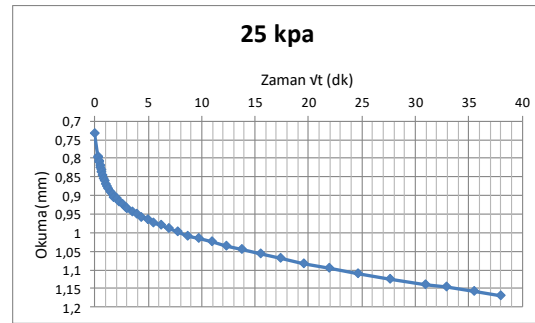
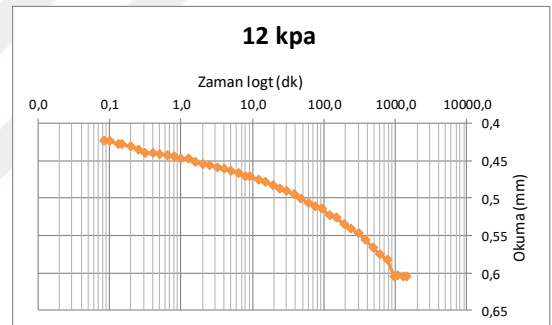
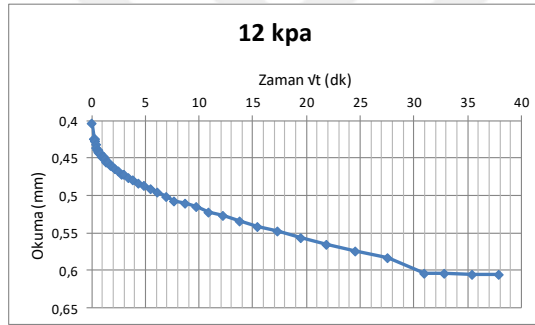
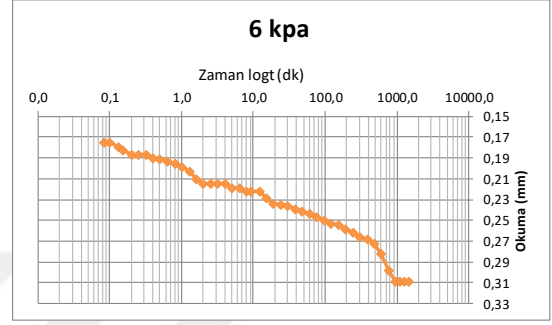
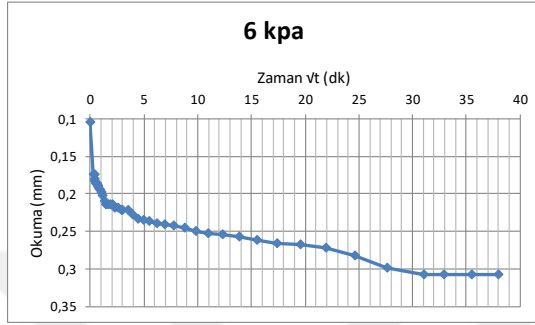
32. Knappett, J., Craig, R. F. 2012. *Craig's soil mechanics*. CRC press.
33. Standard, ASTM D2435 - 04, (2004). *Standard test methods for one-dimensional consolidation properties of soils using incremental loading*. American Society for Testing and Materials International, West Conshohocken.
34. Leonards, G. A., Girault, P. 1961. A study of the one-dimensional consolidation test. *Proceedings 9th ICSMFE*, Paris, 1: 116-130.
35. Robinson, R. G. 1999. Consolidation analysis with pore pressure measurements. **Geotechnique**, **49** (1): 127-132.
36. Gofar, N., 2006. Determination of coefficient of rate of horizontal consolidation of peat soil, Universiti Teknologi Malaysia, Master Dissertation, Malaysia.
37. Raymond, G. P., & Wahls, H. E. 1976. Estimating 1-dimensional consolidation, including secondary compression, of clay loaded from overconsolidated to normally consolidated state. Transportation Research Board Special Report, (163).
38. Mesri, G., Godlewski, P. M. 1979. Closure to Time and stress-compressibility interrelationship. **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, **105** (1): 106-113.
39. Mesri, G. 1987. Fourth law of soil mechanics: A law of compressibility. Proc., Int. Symp. on Geotechnical Engineering of Soft Soils, Vol. 2, M. J. Mendoza and L. Montañez, eds., Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Coyoacán, Mexico, 179–187.
40. Mesri, G., Feng, T. W., Ali, S., Hayat, T. M. 1994a. Permeability characteristics of soft clays. *Proc., 13th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 2, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 187–192.
41. Das, B. M. 2011. *Principles of foundation engineering*, SI. 7th edition, 794 s.

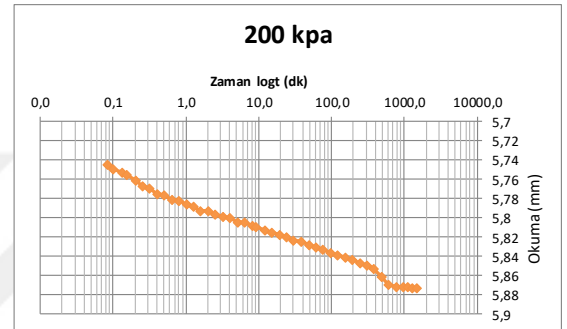
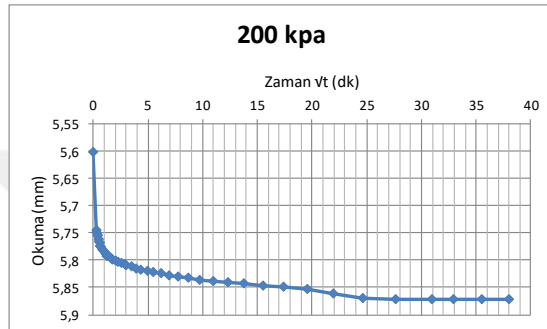
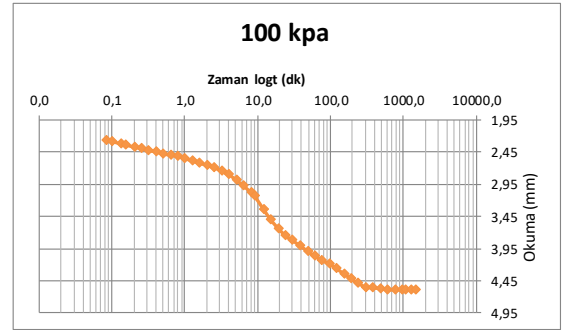
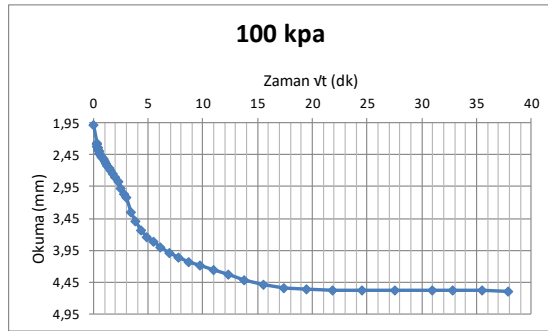
42. Standard, ASTM D2216 - 98, (1999). Standard test method for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass. American Society for Testing and Materials International, West Conshohocken.
43. Standard, ASTM D6913, (2009). Standard test methods for particle-size distribution (gradation) of soils using sieve analysis. American Society for Testing and Materials International, West Conshohocken.
44. Standard, ASTM D7928. Standard test method for particle-size distribution (gradation) of fine-grained soils using the sedimentation (hydrometer) analysis. American Society for Testing and Materials International, West Conshohocken.
45. Standard, ASTM D854 – 02, (2002). Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer. American Society for Testing and Materials International, West Conshohocken.
46. Standard, ASTM D4318 – 00, (2000). Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. American Society for Testing and Materials International, West Conshohocken.
47. Standard, BS, 1990. BS 1377: Part 2:4.3 (British standard institution), Liquid limit-cone penetrometer method, England.
48. Bartlett, S. F., Lawton, E. C., Gibbs, Z. M. 2020. Evaluation of secondary consolidation settlement associated with embankment construction for fast-paced transportation projects in Utah. *Mountain-Plains Consortium*, MPC 20-422, 472 s.

EKLER

EK 1.

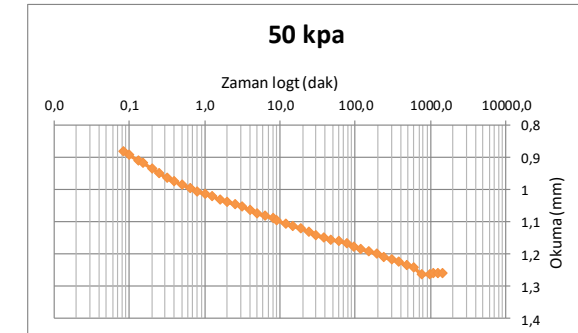
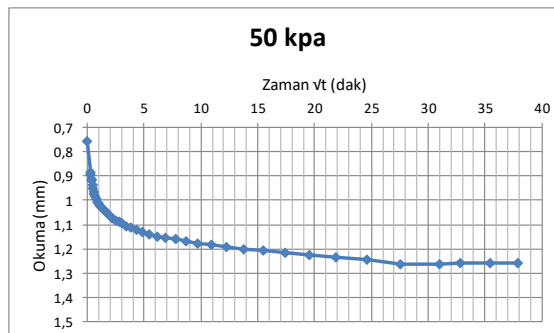
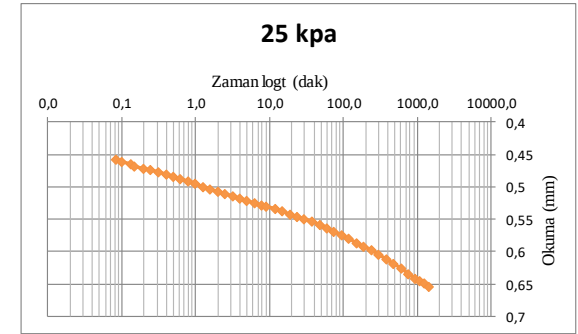
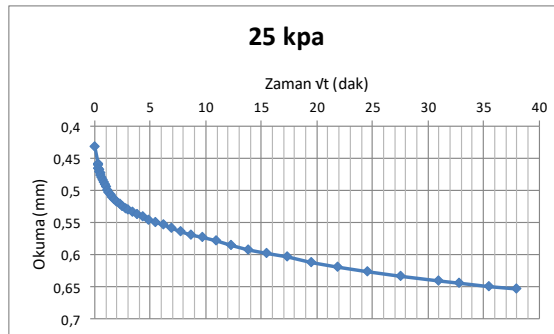
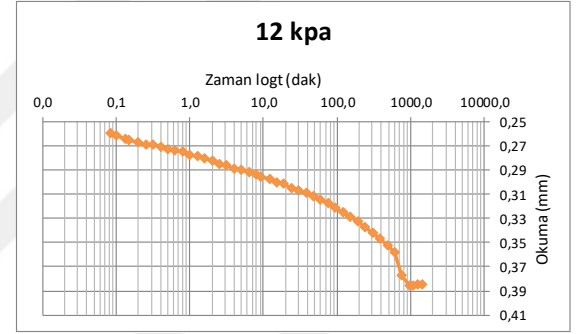
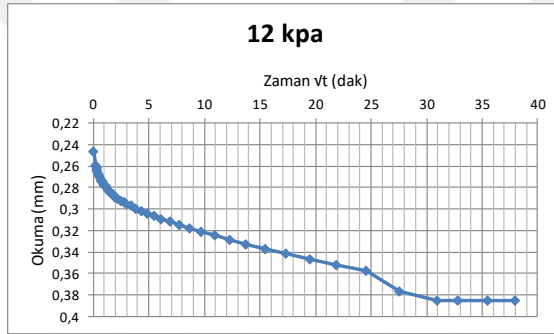
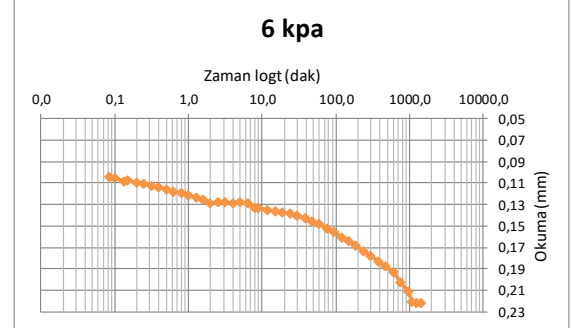
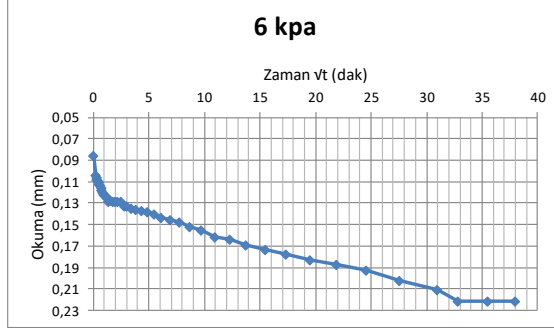
Numune 1 boy kısalması- log zaman ve boy kısalması- karekök zaman eğrileri

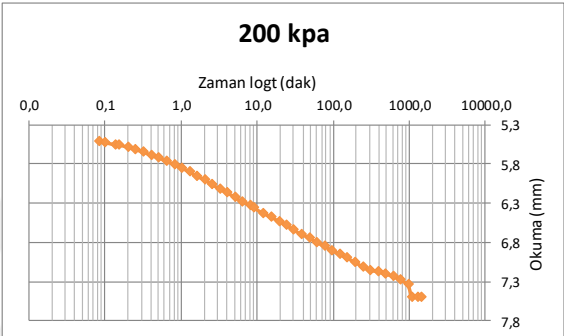
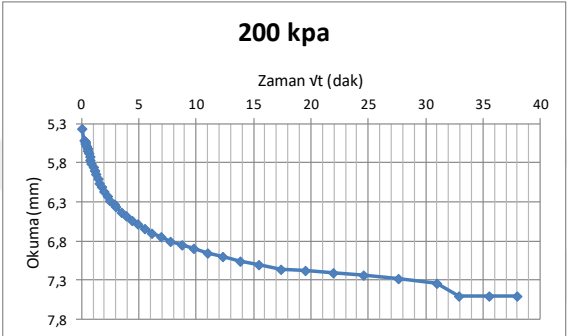
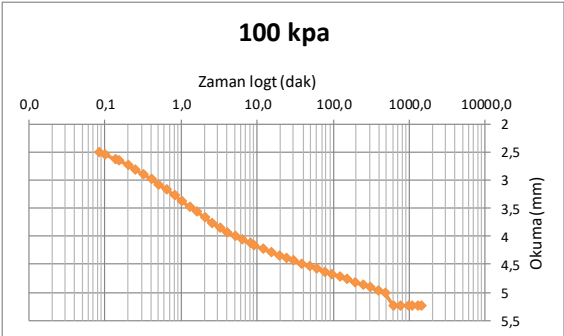
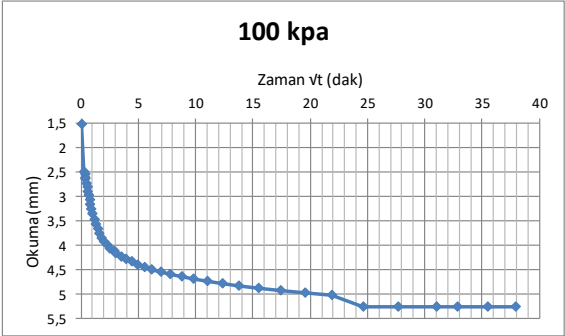




EK 2.

Numune 2 boy kısalması- log zaman ve boy kısalması- karekök zaman eğrileri





ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Leylanur DOĞANSOY

Uyruğu: Türkiye

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Böl.	2023
Lisans	Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Böl.	2020
Lise	Turhal Şeker Fen Lisesi, Tokat	2016

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
31.01.2023-Halen	Emine Can Yapı Denetim Limited Şirketi	İnşaat Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. Uncuoğlu E., Doğansoy L., 2023. Kayseri ili turba zeminlerinin ikincil sıkışma indislerinin tanımlanması, 572-573. 1. Bilsel Uluslararası Dünya Bilim Ve Araştırma Kongresi, 24-25 Haziran 2023, İstanbul, Bilgesina Yayınevi, 1234 s.