

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KİLLİ ZEMİN TABAKALARININ ÖNYÜKLEME VE DÜŞEY PREFABRİKE
DRENAJ İLE KONSOLİDASYON OTURMA ANALİZLERİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZGE VATANER

TEMMUZ 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KİLLİ ZEMİN TABAKALARININ ÖNYÜKLEME VE DÜŞEY PREFABRİKE
DRENAJ İLE KONSOLİDASYON OTURMA ANALİZLERİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özge VATANER

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk ÇAPAR

ZONGULDAK
Temmuz 2019

KABUL:

Özge VATANER tarafından hazırlanan “Killi Zemin Tabakalarının Önyükleme ve Düşey Prefabrike Drenaj ile Konsolidasyon Oturma Analizleri” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.
31/07/2019

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk ÇAPAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Üye : Doç. Dr. Sedat SERT

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./....../2019



Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Özge VATANER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KİLLİ ZEMİN TABAKALARININ ÖNYÜKLEME VE DÜŞEY PREFABRİKE DRENAJ İLE KONSOLİDASYON OTURMA ANALİZLERİ

Özge VATANER

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk ÇAPAR

Temmuz 2019, 89 sayfa

Bu çalışma da yumuşak killi tabakaların üzerine inşa edilen bir yapının konsolidasyon oturma hesapları sayısal yöntemler ile gerçekleştirilmiştir. Oturma değerlerini ve süresini kısaltmak için ön yükleme ve düşey drenler modellenerek hesaplar tekrarlanmıştır. Araştırma yapısının inşaat sahası, Çatalağzı Beldesi bölgesi seçilmiştir. Seçilen bölgede sondaj ve gözlem çukurlarından alınan örnekler yardımı ile zemin tabakalarının litolojisi ve geoteknik özellikleri tespit edilmiştir. Yapılan arazi deneyleri ve alınan zemin numunelerinden laboratuvarında konsolidasyon, ve indeks özellikleri tayin deneyleri yapılmıştır. Daha sonra zemin tabakalarına yapıdan gelen taban basınç dağılımları ve konsolidasyon oturmaları ve oturma süreleri SETTLE3D V3 yardımı ile hesaplanmıştır.

Yapı imalatından doğan yükler inşaa süresi düşünülerek zamana bağlı zemin tabakalarına 1 yıla yayılarak eklenmiş ve bu yüklemeden sonra oturma zaman ilişkileri program vasıtası ile incelenmiştir. Yaklaşık oturma değerleri 30 cm ve oturma süreside 50 yıl çıkmıştır. Bu işlem

ÖZET (devam ediyor)

temel taban basıncının üniform ve üniform olmayan şeklinde ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Oturma değerlerinde %15’lik bir fark oluşmuştur.

Oturma süresini ve temel sisteminin maruz kalacağı oturma miktarını azaltmak için inşaat bölgesine sanal dolgu yükü eklenmiş bu imalatı da zamana yayılarak oturma analizleri sayısal olarak yapılmıştır. Oturma süresini kısaltmak içinde bu dolgu altına farklı aralıklarda prefabrike düşey drenaj sistemi koyarak oturma zamanı kısaltılmaya çalışılmıştır. Daha sonra dolgu kaldırılarak bina yükü zamana göre zemin aktarılarak oturma zaman ilişkiler tekrar hesaplanmıştır. Bu saye de tahmin edilen oturmaların %50’den fazlası ön yükleme ile sağlanmış. Oturma süreleri de inşaat süresine yaklaştırılmıştır

Anahtar Kelimeler: Konsolidasyon, Önyükleme, Prefabrike Düşey Drenler, SETTLE3D.

Bilim Kodu: 624.01.00

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

CONSOLIDATION SETTLEMENT ANALYSIS OF CLAY SOIL LAYERS WITH PRELOADING AND PREFABRICATED VERTICAL DRAINS

Özge VATANER

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Ömer Faruk ÇAPAR

July 2019, 89 pages

In this study, consolidation settlement analysis of a building constructed on very soft fully saturated clay layers was numerically calculated. Preloading project with the installation of prefabricated vertical drains was used in the numerical model and re-calculated to reduce the magnitude of consolidation settlement and time. The construction site is at the district of Çatalağzı, Zonguldak. Lithology and geotechnical properties of the soil layers were determined with the help of samples taken from the drilling and observation pits in the study area. Consolidation parameters and index properties of the soils samples were obtained from field and laboratory tests. Then, all stress distributions created by the structure, the magnitude of consolidation settlement and consolidation time on soil layers were calculated with the aid of SETTLE3D V3.

ABSTRACT (continued)

The numerical details of the project and ground layers were entered into the SETTLE3D Program, taking into account the construction period, the construction production was added to the time-dependent ground layers by adding 1 year and the settlement time relationships were examined after this loading. Approximate sitting values were 30 cm and sitting time was 50 years. The non-uniform baseline pressure and these settling calculations were then calculated again by the program. There was a 15% difference between these values.

To reduce the consolidation time and the magnitude of the settlement, an embankment load as much as coming from the future structure was added to the land, and this production was extended over time and settlement analyzes were conducted. Prefabricated vertical drainage system were placed under the embankment at different intervals. It was made attempt to reduce the consolidation time. Then the embankment was removed and the building load was applied on the soil layers. The consolidation time were recalculated. by means of this, more than 50% of consolidation settlement occurred with preloading and consolidation time was reduced to the time of construction of building.

Key Words: Consolidation Settlement, Pre-loading, Prefabricated Vertical Drain, SETTLE3D.

Science Code: 624.01.00

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada ve hayatımda ki önemli kararlarda daima fikirlerine güvendiğim, desteğini her daim hissettiğim danışmanım ve sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk ÇAPAR 'a, hem lisans hem yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Hamit AYDIN'a, Doç. Dr. Ali KOÇAK'a, hayatımı borçlu olduğum sayın hocam Prof. Dr. Bektaş AÇIKGÖZ'e, kararlarımı yaşamam ve istediğim hayatı kurmam için hep saygı duyan ve beni bugünlere getiren başta annem olmak üzere VATANER ve AYDIN ailelerine, tüm işverenlerime, iş arkadaşlarıma ve çalışanlarıma teşekkürü borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
 BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	 1
1.1 TEZİN AMACI VE ADIMLARI	3
 BÖLÜM 2 KONSOLİDASYON TEORİSİ VE OTURMA	 5
2.1 KONSOLİDASYON TEORİSİ.....	5
2.1.1 Tek Boyutlu Konsolidasyon Deneyi	11
2.1.2 Konsolidasyon Parametrelerinin Belirlenmesi	17
2.2 ÖN ÖNKONSOLİDASYON GERİLMESİ, NORMAL KONSOLİDASYON, AŞIRI KONSOLİDASYON	19
2.2.1 Ön Konsolidasyon Basıncı(σ'_c) ve Casagrande Yöntemi İle Belirlenmesi	19
2.2.2 Aşırı Konsolidasyon Oranının Tayini	21
2.2.3 Konsolidasyon Hızı.....	24
2.2.3.1 Logaritma – Zaman (Casagrande) Yöntemi.....	25
2.2.3.2 Karekök – Zaman (Taylor) Yöntemi.....	26

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

BÖLÜM 3 ÖNYÜKLEME YÖNTEMİ – PREFABRİKE DÜŞEY DRENLERİ VE KONSOLİDASYON SÜRECİ	29
3.1 ÖN YÜKLEME YÖNTEMİ VE KONSOLİDASYON SÜRECİNE ETKİSİ.....	29
3.2 PREFABRİKE DÜŞEY DRENLERİN KONSOLİDASYON SÜRECİNE ETKİLERİ	32
BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOT	43
4.1 ARAŞTIRMADA KULLANILAN MALZEME	43
4.2 OTURMA HESABINDA SETTLE 3D’NİN KULLANIMI	57
4.2.1 Settle 3D Yazılımının Özellikleri	57
4.2.2 Settle 3D Yazılımında Oturma Hesabı	57
BÖLÜM 5 BULGULAR.....	63
5.1 ÜNİFORM TABAN BASINCI ALTINDAKİ ZEMİN MODELİ.....	63
5.2 UNİFORM OLMAYAN TABAN BASINCI ALTINDAKİ ZEMİN MODELİ	68
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	81
KAYNAKLAR.....	85
BİBLİYOGRAFYA	87
ÖZGEÇMİŞ	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

No	Sayfa
Şekil 2.1 Konsolide Olan Zemin Tabakasının dx,dy,dz Boyutlarındaki Partikülü	6
Şekil 2.2 Konsolidasyon derecesi ile zaman faktörü ve derinlik arasındaki ilişki.	11
Şekil 2.3 Konsolidasyon sürecinde toplam gerilme, boşluk suyu basıncı ve efektif gerilmenin değişimi	12
Şekil 2.4 Konsolidasyon Deney Seti	14
Şekil 2.5 Konsolidasyon Deneyinde Yükleme ve Zamana Bağlı Düşey Sıkışma.	15
Şekil 2.6 Konsolidasyon Deneylerinde Efektif Gerilme-Boşluk Oranı İlişkisi.	16
Şekil 2.7 Boşluk Oranı-Efektif Gerilme Grafiği - Logaritmik Eksende	17
Şekil 2.8 Boşluk Oranı Efektif Gerilme Grafiği-Logaritmik Olmayan Eksende	19
Şekil 2.9 Casagrande Yöntemi İle Ön Konsolidasyon Basıncının Bulunması	20
Şekil 2.10 Normal Konsolide Zeminlerin Efektif Gerilme- Boşluk Oranı İlişkisi.	22
Şekil 2.11 Aşırı Konsolide Zeminlerin Efektif Gerilme-Boşluk Oranı İlişkisi (Durum 1).....	23
Şekil 2.12 Aşırı Konsolide Zeminlerin Efektif Gerilme-Boşluk Oranı İlişkisi (Durum 2).....	24
Şekil 2.13 Casagrande Yöntemi İle Konsolidasyon Katsayısının Bulunması	26
Şekil 2.14 Karekök-Zaman Yöntemi İle Konsolidasyon Katsayısının Bulunması	27
Şekil 3.1 a) Yumuşak Zeminlerde Kazık Temeller, b) Ön Yükleme Uygulandıktan Sonra Temel Sistemini Yapmak	29
Şekil 3.2 Önyüklemeye Yapılan ve Yapılmayan Zeminlerin Oturma Zaman İlişkisi.	31
Şekil 3.3 Arazide Kullanılan PDD Örneği	32
Şekil 3.4 Arazide Yerleştirilen PDD'den Dolayı Deşarj Örneği	33
Şekil 3.5 İnşaat Sahasında PDD Uygulaması Örneği	34
Şekil 3.6 İnşaat Sahasında PDD Yatay Olarak Bağlanan Şerit Drenlerin Yerleştirilmesi.....	35
Şekil 3.7 Prefabriğe Düşey Drenli ve Drensiz Durumlarda Zeminde Meydana Gelen Oturma	36
Şekil 3.8 Prefabriğe Düşey Drenli Zemin ve Özellikleri	37
Şekil 3.9 Kum Drenlerinin Yerleştirme Planı	39
Şekil 3.10 Radyal Konsolidasyon Yüzdesi – Zaman Faktörü Grafiği	41
Şekil 4.1 Çalışma Alanı.....	43
Şekil 4.2 Çalışma Alanının Genel Jeoloji Haritası.....	44
Şekil 4.3 ZBEÜN İnşaat Mühendisliği Araştırma Laboratuvarındaki Konsolidasyon Deney Seti.	45
Şekil 4.4 Arazi Zemin Profili.	46
Şekil 4.5 CL1 Kiline Ait Gerilme- Boşluk Oranı İlişkisi.....	47
Şekil 4.6 CL1 Kiline Ait Basınç Konsolidasyon Katsayısı İlişkisi.....	48

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
Şekil 4.7 CL2 Kiline Ait Gerilme-Boşluk Oranı İlişkisi.....	50
Şekil 4.8 CL2 Kiline Basınç Konsolidasyon Katsayısı İlişkisi.....	51
Şekil 4.9 CL3 Kiline Ait Gerilme-Boşluk Oranı İlişkisi.....	52
Şekil 4.10 CL3 Kiline Basınç Konsolidasyon Katsayısı İlişkisi.....	53
Şekil 4.11 CH Kiline Ait Gerilme-Boşluk Oranı İlişkisi.....	54
Şekil 4.12 CH Kiline Basınç Konsolidasyon Katsayısı İlişkisi.....	55
Şekil 4.13 Bina Örnek Kat Planı.....	58
Şekil 4.14 Bina Temelinin Taban Basıncı Dağılımı.....	59
Şekil 4.15 Uniform ve Uniform Olmayan Taban Basıncı Dağılımı Altında Yükleme Yapılacak Zemin Modeli.....	61
Şekil 5.1 Üniorm Taban Basıncı Altındaki Model Deformasyonu.....	63
Şekil 5.2 Üniorm Taban Basıncı Altındaki Modelde Yükleme Sonucu Oluşan Maksimum Oturma Miktarı.....	64
Şekil 5.3 Üniorm Taban Basıncı Altındaki Modelde Zaman- Toplam Oturma İlişkisi.....	64
Şekil 5.4 Üniorm Taban Basıncı Altındaki Modelde, Artık Boşluk Suyu Basıncı Derinlik İlişkisi.....	65
Şekil 5.5 Üniorm Taban Basıncı Altında ve Düşey Prefabrike Drenli Model.....	66
Şekil 5.6 Üniorm Taban Basıncı Altında ve Düşey Prefabrike Drenli Modelde, Zaman- Toplam Oturma İlişkisini Gösteren Grafik.....	67
Şekil 5.7 Üniorm Taban Basıncı Altında ve Düşey Prefabrike Drenli Modelde, Artık Boşluk Suyu Basıncı-Derinlik İlişkisini Gösteren Grafik.....	68
Şekil 5.8 Üniorm Olmayan Taban Basıncı Altında ve Düşey Prefabrike Drenli Model.....	69
Şekil 5.9 Üniorm Olmayan Taban Basıncı Altındaki Model Çözümünden Elde Edilen Oturma Miktarı.....	69
Şekil 5.10 Üniorm Olmayan Taban Basıncı Altındaki Modelde, Zaman-Toplam Oturma İlişkisi.....	70
Şekil 5.11 Üniorm Olmayan Taban Basıncı Altındaki Modelde, Artık Boşluk Suyu Basıncı-Derinlik İlişkisi.....	70
Şekil 5.12 PDD'li Modelde, n=8 İçin Zaman-Oturma Değerleri.....	71
Şekil 5.13 PDD'li Modelde, n=8 İçin Artık Boşluk Suyu Basıncı- Derinlik Değerlerinin Zaman Bağlı Değişimi.....	72
Şekil 5.14 PDD'li Modelde, n=10 İçin Zaman-Oturma Değerleri.....	73
Şekil 5.15 PDD'li Modelde, n=10 İçin Artık Boşluk Suyu Basıncı- Derinlik Değerlerinin Zaman Bağlı Değişimi.....	74
Şekil 5.16 PDD'li Modelde, n=16 İçin Zaman-Oturma Değerleri.....	75
Şekil 5.17 PDD'li Modelde, n=16 İçin Artık Boşluk Suyu Basıncı- Derinlik Değerlerinin Zaman Bağlı Değişimi.....	76
Şekil 5.18 PDD'li Modelde, n=20 İçin Zaman-Oturma Değerleri.....	77

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.19 PDD'li Modelde, n=16 İçin Artık Boşluk Suyu Basıncı-Derinlik Değerlerinin Zaman Bağlı Değişimi	78
Şekil 5.20 PDD'li Modelde, n=50 İçin Zaman-Oturma Değerleri.....	79
Şekil 5.21 PDD'li Modelde, n=50 İçin Artık Boşluk Suyu Basıncı- Derinlik Değerlerinin Zaman Bağlı Değişimi.	80
Şekil 6.1 Üniorm ve Üniorm Olmayan Taban Basıncı Altındaki Modellerin Zamana Bağlı Toplam Oturma Miktarları.	81
Şekil 6.2 Üniorm Olmayan Taban Basıncı Altındaki, Çap Oranları 8,10,16,20,50 Olan Modellerin Zamana Bağlı Toplam Oturma Miktarları.....	82





ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Konsolidasyon Sürecinde Gerilme Durumları.....	13
Çizelge 2.2 Tipik Konsolidasyon Deney Yükleme Seti.....	13
Çizelge 2.3 Tipik Bir Yükleme Sonrası Okuma Aralıkları.....	14
Çizelge 2.4 Ön Konsolidasyon Basıncına Sebep Olan Mekanizmalar	21
Çizelge 4.1 CL1 Kiline Ait Bulunan Konsolidasyon Katsayıları.	47
Çizelge 4.2 CL1 Kiline Ait Bulunan Konsolidasyon Katsayıları.	48
Çizelge 4.3 CL2 Kiline Ait Bulunan Konsolidasyon Katsayıları.	49
Çizelge 4.4 CL2 Kiline Ait Bulunan Konsolidasyon Katsayıları.	50
Çizelge 4.5 CL3 Kiline Ait Bulunan Konsolidasyon Katsayıları.	51
Çizelge 4.6 CL3 Kiline Ait Bulunan Konsolidasyon Katsayıları.	52
Çizelge 4.7 CH Kiline Ait Bulunan Konsolidasyon Katsayıları	53
Çizelge 4.8 CH Kiline Ait Bulunan Konsolidasyon Katsayıları	54
Çizelge 4.9 Killerin Anizotropik Permeabilite Oranları	55
Çizelge 4.10 Arazi Deney Bulguları ve Hesaplanan Parametreler.	56
Çizelge 4.11 Statik Rapor Okumasından Elde Edilen Taban Basıncı ve Parça Numaraları....	60



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

S_t	: Toplam Oturma
S_i	: Ani Oturma
S_c	: Konsolidasyon Oturması
S_s	: İkincil Konsolidasyon Oturması
σ'_0	: Efektif Gerilme
$\Delta\sigma$	: Gerilme Dağılımı
u_i	: Başlangıç Boşluk Suyu Basıncı
U	: Boşluk Suyu Basıncı
H_t	: Zemin Tabakasının Kalınlığı
e	: Boşluk Oranı
e_0	: Başlangıç Boşluk Oranı
C_c	: Sıkışma İndisi
σ'_c	: Ön Konsolidasyon Basıncı
C_r	: Yeniden Sıkışma İndisi
e_L	: Likit Limitteki Boşluk Oranı
k	: Permeabilite
q_c	: CPT Koni Uç Direnci
q_t	: Düzeltilmiş CPT koni direnci
σ_0	: Toplam Gerilme
B_q	: Boşluk Basıncı Oranı
σ'_{vnc}	: Konsolidasyon Gerilmesi
t_{sec}	: İkincil Konsolidasyonun Tamamlandığı Zaman
t_p	: Birincil Konsolidasyonun Tamamlandığı Süre
C_α	: İkincil Sıkışma Katsayısı
U_v	: Herhangi Bir Zamandaki Konsolidasyon Derecesi
Δu	: Artık Boşluk Suyu Basıncı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

i_z	: Hidrolik Eğim
γ_w	: Suyun Birim Hacim Ağırlığı
m_v	: Hacimsel Sıkışma Katsayısı
z	: Derinlik
C_v	: Konsolidasyon Katsayısı
U_{av}	: Ortalama Konsolidasyon Derecesi
U_z	: Düşey akım için ortalama konsolidasyon yüzdesi
U_r	: Yatay akım için ortalama konsolidasyon yüzdesi
U_{vr}	: Bileşik akım için konsolidasyon yüzdesi
J_0, J_1	: Birinci türden sıfır ve birinci derece Bessel fonksiyonları
Y_0, Y_1	: İkinci türden sıfır ve birinci derece Bessel fonksiyonları
T_r	: Radyal zaman faktörü
$\bar{u}_w$	: Herhangi bir derinlikte ortalama fazla boşluk suyu basıncı
a_v	: Sıkışma Katsayısı
t	: Zaman
T_v	: Boyutsuz Zaman Faktörü
H_{dr}	: Maksimum Drenaj Boyu
I_L	: Likit Limit
I_P	: Plastik Limit
n	: Çap oranı
r_e	: Dren etki yarıçapı
r_w	: Dren yarıçapı

KISALTMALAR

CPT	: Konik Penetrasyon Testi
OCR	: Aşırı Konsolidasyon Oranı
PCPT	: Piezokonik Penetrasyon Testi
PPD	: Boşluk Basıncı Farkı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
Y.A.S.S.	: Yeraltı Su Seviyesi
PDD	:Prefabrike Düşey Dren





BÖLÜM 1

GİRİŞ

Suya doymun yumuşak killi zeminlerin üzerine inşa edilen yapılarda, yüksek miktarda, zamana bağlı oturmalar oluşmaktadır. Yapı temeli altındaki zeminin, temelden gelen gerilmeyi güvenle taşıyabilmesi için, oturmanın tamamlanma süresinin belirlenmesi ve zemin tabakalarının mukavemeti arttırılması gerekmektedir. Eğer bu yapılamıyorsa, yapının temeli, derin temel sistemi ile çözülebilir. Derin temel sistemi ile çözümler, yer altı su seviyesi yüksek olan zeminlerde hem uygulama açısından hem de maliyet açısından elverişli değildir. O halde suya doymun yumuşak killi zeminlerde, iyileştirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Oturma miktarını matematiksel olarak modellemek için arazi ve laboratuvar deneyleri kullanılarak çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Her bir zemin türüne göre ayrı ayrı birbirinden bağımsız oturma analiz yöntemleri literatür de mevcuttur. Kaba taneli zeminlerde ani oturma hesapları, ince taneli (siltli veya killi) zeminlerde ise konsolidasyon oturması ve oturma sürelerinin hesaplamaları yapılmaktadır. Kaba daneli zeminlerde oturma süreleri çok kısa olduğu için yapı imalatı bitirildiğinde oturmanın hemen hemen tümü tamamlanmış olur. İnce daneli (Killi) zeminlerde özellikle yeraltı seviyesi de yüzeye yakınsa oturma süreleri çok uzun ve miktarları da yapıya zarar verecek boyutlarda olabilir.

Oturma miktarı analizler sonucu toplam oturma olarak ele alınsa da, üç temel bileşene sahiptir. Temel dizaynında kullanılan toplam oturma miktarı, eşitlik 1.1'de belirtildiği gibi, Ani (Elastik) Oturma (S_i), Birincil konsolidasyon Oturması (S_c), İkincil Konsolidasyon Oturmasıdır (S_s).

$$S_t = S_i + S_c + S_s \quad (1.1)$$

Ani oturma; düşük geçirirnililiği olan zeminlere yük uygulandığı anda bir oturma meydana gelir. İvedilikle meydana gelen bu oturma zaman bağıntısı açısından ani oturma olarak anılır. Kohezyonsuz zeminlerde, kohezyonlu zeminlere göre ani oturma daha fazla olur. Ani oturma

dediğimiz bu oturma türünde hızlı bir hacim değişimi görülür. Aslında elastik bir oturma değildir fakat hesaplanmasında elastik teoriden faydalanılır. Özellikle sığ temellerin tasarımı yapılırken özel olarak göz önünde bulundurulması gereken bir durumdur. Suyu doymuş ve ince taneli zeminlerde işte neredeyse göz ardı edilecek miktardadır.

Birincil konsolidasyon oturması; Düşük permeabiliteye sahip ince taneli zeminlerde ise suyun dışarı çıkması ile bir oturma oluşur, bu zamana bağlı ve suyun zemini terk etmesiyle oluşan oturma birincil konsolidasyon oturmasıdır. Oluşan sıkışmanın anlamlı tek faktörü, zemindeki suyun dışarı kaçmasıdır. Gözeneklerdeki suyun dışarı çıkışıyla gerçekleşme ise zamana bağlıdır, uzun sürede gerçekleşir. Zemin bir yük aldığı anda kaçan su ve hava sıkışmada en önemli faktörlerdir, ani deformasyonda ise bu ikisi ihmal edilebilir düzeydedir.

İkincil konsolidasyon oturması; İnce taneli zeminlerde, tanelerin plastik yer değiştirmeleri sonucunda oluşan oturmadır. Aslen ek (artık) boşluk suyu basıncının bitişiyse, oturmanın sona ermesi beklenir fakat bazı durumlarda oturmanın az da olsa sürdüğü görülür.

Her ne kadar 1.1 eşitliği oturmanın toplam miktarına ulaşırsa da, ayrı ayrı hesaplama yöntemleri geliştirilen bu üç oturma çeşidinde zaman faktörü de çok önemli bir sonuçtur. Konsolidasyonun, zemin mekaniğinin en önemli konularından biri olmasının başlıca sebebi; yük veya gerilmeye maruz kalan zeminin tepkisinin birçok çeşidi olması ve bu sonucu tam olarak ön göremeden zemin üzerinde herhangi bir çalışma yapılma olasılığının olmamasıdır.

Bu tip killi zeminlerin yapı yüklerini taşıma da sorunlu olmasından dolayı sıkça zemin iyileştirme yöntemleri bu tip bölgelerde kullanılmaktadır. Zemin iyileştirme yöntemlerinde temel amaç konsolidasyonun zamanını azaltıp oturmanın daha hızlı tamamlanmasını sağlamaktır.

Açıkladığımız bu farklı oturma türlerine göre zemin doğru tanımlanması ve zemine uygun önlemler alınması gerekmektedir. Bunlar ise;

- a. Geleneksel temel takviye yöntemleri (sığ takviye)
- b. Temel yüklerini daha derindeki taşıyıcı tabakalara aktaran yöntemler
- c. Alt kazı yöntemi
- d. Temel altındaki zeminin iyileştirilmesine dayalı yöntemler olarak sıralanabilir.

Nitekim oturmanın büyük kısmının, ne kadar zamanda tamamlanacağını saptayabilmek ve yapıya hasar vermesi muhtemel zaman dilimlerini, zarar vermeyecek zamanlara çekmek için zemin iyileştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada da konsolidasyon oturmasının miktarını arttırıp süresini kısaltacak bir iyileştirme yöntemi olan prefabrike düşey dren(PDD) uygulaması çalışılacaktır.

1.1 TEZİN AMACI VE ADIMLARI

Bu çalışmada killi zemin tabakalarının önyüklemeye ve düşey prefabrike drenaj ile konsolidasyon oturma analizleri yapılmıştır. Zonguldak Çatalağzı bölgesinde oldukça yumuşak ve suya doygun zemin tabakaları mevcuttur. Bundan dolayı bu bölgede inşaa edilen yapılarda oturma sorunları gözlenmektedir. Kil tabakalarının oturma süreleri de oldukça uzun zaman aldıkları için genelde derin kazılar ve derin temel sistemleri ile sorunlar çözülmeye çalışılmaktadır.

Ön yüklemeye ve Prefabrike dren sistemleri ile zemin tabakalarının güçlendirilmesi, uzun yıllardır kullanılmakta ve yüksek konsolidasyon oturmaları hızlandırılmaktadır. Böylelikle yapı inşaa edilmeden önce olası ileride meydana gelecek oturmaların büyük kısmı gerçekleştirilmesi kısa sürede tamamlanır. Bundan sonra inşaa edilen yapıda artık yüksek miktarda oturma oluşmaz. Bundan yola çıkarak, tez çalışması 3 aşamada yapılmıştır. Birinci aşamada konuya uygun Çatalağzı Beldesi'nde çalışma bölgesi seçilmiştir. Çalışma bölgesinde araziden yapılan sondaj ve gözlem çukurlarından alınan örnekler yardımı ile zemin tabakalarının litolojisi ve geoteknik özellikleri tespit edilmiştir. Yapılan arazi deneyleri ve alınan zemin numunelerinden laboratuvar da konsolidasyon, ve indeks özellikleri tayin deneyleri yapılmıştır. Daha sonra 2. Aşama da zayıf zemin tabakalarının üstüne oturtulması düşünülen bir 6 katlı yurt projesi tez çalışması için seçilmiş ve Temelden zemin tabakalarına yapıdan gelen taban basınç dağılımları hesaplanmıştır. Taban basıncı binanın eksantrik yüklerinden dolayı temel zeminine üniform bir gerilme aktarmadığı dikkate alınarak taban basıncı hesaplamaları yapılmıştır. Üçüncü ve son aşamada ise proje ve zemin tabakalarına ait sayısal detayları SETTLE3D Programına girilmiş, inşaat süresi dikkate alınarak yapı imalatı zamana bağlı zemin tabakalarına 1 yıla yayılarak eklenmiş ve bu yüklemeye sonra oturma zaman ilişkileri incelenmiştir. Konsolidasyon oturma değeri 30 cm olarak hesap edilmiştir. Üniform olmayan taban basıncı ile bu oturma hesapları program vasıtası ile tekrar hesaplanmıştır. Elde edilen konsolidasyon süreleri ve oturma değerleri bölüm 4'de sunulmuş ve bölüm 5'te yorumlanmıştır. Son olarak araziye yapıdan gelen yük kadar bir dolgu yükü eklenmiş bu imalatı da zamana yayılarak oturma analizleri

yapılmıştır. Bu dolgu altına farklı aralıklarda aralıklar ile prefabrike düşey drenaj sistemi koyarak oturma konsolidasyon zamanı yaklaşık indirilmiş ve daha sonra dolgu kaldırılarak bina yükü zamana göre zemin aktarılarak oturma zaman ilişkiler tekrar hesaplanmış ve bu zemin iyileştirilmesi sayesinde kazanılan zaman ve oturma miktarları hesaplanmıştır.

Bu tez çalışmasında kesirli sayılar için nokta (.) kullanılmıştır.



BÖLÜM 2

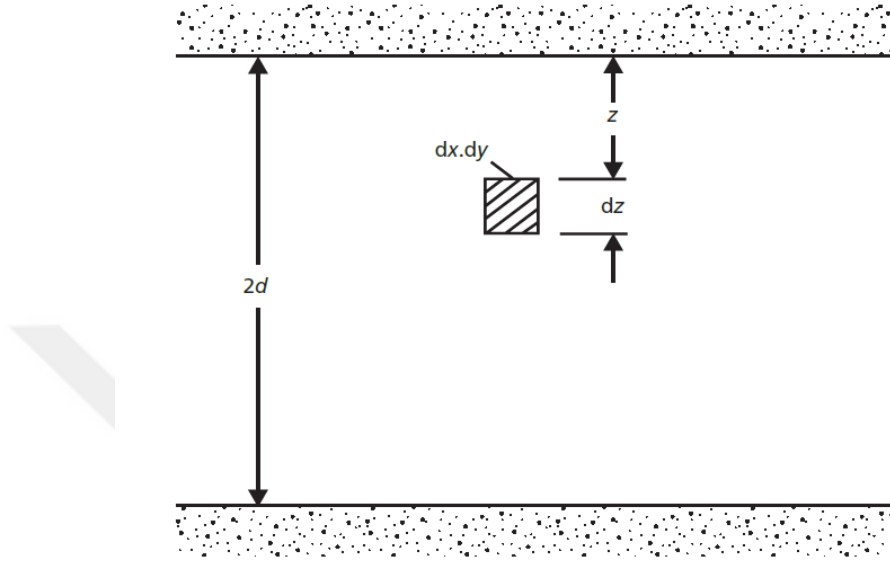
KONSOLIDASYON TEORİSİ VE OTURMA

2.1 KONSOLIDASYON TEORİSİ

Konsolidasyon düşük geçirirliiliği olan ve suya tam doygun zeminlerin efektif gerilmedeki değişime bağlı olarak hacminin zamanla azalmasıdır. Bu süreç, Zemin tabakaları ek gerilme($\Delta\sigma$) artımları ile karşılaştıklarında, gerilmenin tünü öncelikle boşluklarda bulunan su tarafından taşınırlar($t=0 \rightarrow \Delta u = \Delta\sigma$) ve efektif gerilmede bir artış olmamaktadır ($t=0 \rightarrow \Delta\sigma' = 0$). ($t=0 \rightarrow \Delta u = \Delta\sigma, \Delta\sigma' = 0$). Bundan sonraki süreçte, ek gerilme ile oluşan artık boşluk suyu basıncı (Δu) boşluklardaki suyun sistemden dışarı çıkmasına sebep olmakta ve böylelikle Δu , zamana bağlı azalmakta ve azalan gerilme değerleri zemin iskeleti tarafından taşınmaya başlanmaktadır ($t > 0 \rightarrow \Delta u \downarrow, \Delta\sigma' \uparrow$). Efektif gerilmenin artmasıyla artık boşluk suyu basıncının azalması şeklinde meydana gelen bu sürece konsolidasyon oturması ve geçen süreye de konsolidasyon süresi denir. Terzaghi (1943) herhangi bir t zamanında zeminlerin konsolidasyon derecesini belirlemek amacıyla analitik bir model geliştirmiştir (Das 1997). Bu teoriye göre:

- a. Zemin homojen ve izotropdur.
- b. Zemin suya %100 doygundur.
- c. Zemin partikülleri ve su sıkışmaz kabul edilir.
- d. Zeminin sıkışması ve suyun akışı bir boyutludur (düşey yönde).
- e. Şekil değiştirmeler küçüktür.
- f. Tüm hidrolik eğimlerde Darcy kanunu geçerlidir.
- g. Konsolidasyon süresi boyunca permeabilite katsayısı ve hacimsel sıkışma katsayısı sabit kalır.
- h. Zamandan bağımsız olarak efektif gerilme ve boşluk oranı arasında kendine özgü bir ilişki vardır (Knappett and Craig 2012).

Bu teori; artık boşluk suyu basıncı (Δu), zemin tabakasının en üst kotunun altındaki derinlik (z), toplam gerilme artışının ani uygulanmasından sonra geçen zaman (t) olarak üç niceliğe dayanır. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi $2d$ kalınlığında bir zemin tabakasının dx , dy ve dz boyutlarındaki bir parçasına $\Delta \sigma$ değerinde bir gerilme artışı uygulanır.



Şekil 2.1 Konsolide Olan Zemin Tabakasının dx, dy, dz Boyutlarındaki Partikülü (Knappett and Craig 2012).

Darcy kanunu kullanılarak; partikülün akış hacmi eşitlik 2.1’de verildiği gibidir.

$$v_z = ki_z = -k \frac{\partial h}{\partial z} \quad (2.1)$$

Sabit bir z derinliğinde toplam yükteki herhangi bir değişiklik yalnızca boşluk suyu basıncına bağlıdır (Eşitlik 2.2).

$$v_z = \frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial(\Delta u)}{\partial z} \quad (2.2)$$

Süreklilik koşuluna göre şekillendirilirse; eşitlik 2.3 elde edilecektir.

$$-\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2(\Delta u)}{\partial z^2} dx dy dz = \frac{dV}{dt} \quad (2.3)$$

m_v (hacim değişimi oranı) ifade edildiğinde, aşağıdaki eşitlik (Eşitlik 2.4) oluşacaktır.

$$\frac{dV}{dt} = m_v \frac{\partial \sigma'}{\partial t} dx dy dz \quad (2.4)$$

Efektif gerilme artarken boşluk suyu basıncı azalması, toplam gerilme artışının zeminin iskeletine aktarılmasına bağlıdır. Bu aktarımın sonucunda oluşacak hacim değişikliği eşitlik 2.5' deki gibi açıklanabilir.

$$\frac{dV}{dt} = -m_v \frac{\partial(\Delta u)}{\partial t} dx dy dz \quad (2.5)$$

2.3 ve 2.4 eşitlikleri birleştirilerek zamana bağlı hacim değişimi ve boşluk suyu basıncı parametreleri ile eşitlik 2.6a veya eşitlik 2.6b elde edilir.

$$m_v \frac{\partial(\Delta u)}{\partial t} = \frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2(\Delta u)}{\partial z^2} \quad (2.6a)$$

veya

$$\frac{\partial(\Delta u)}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2(\Delta u)}{\partial z^2} \quad (2.6b)$$

Bu diferansiyel eşitliğin çözümü konsolidasyon katsayısını (C_v) verir (Eşitlik 2.7).

$$C_v = \frac{k}{m_v \gamma_w} \quad (2.7)$$

C_v ' nin birimi $m^2/yıl$ ' dır. Terzaghi' nin teorisindeki 'g' maddesindeki kabule göre, k ve m_v sabit olduğundan konsolidasyon süresince C_v de sabit kalır. Eşitlik 2.6a ve eşitlik 2.6b diferansiyel eşitliklerini, Terzaghi 'nin konsolidasyon teorisi ve uygun sınır şartlarında çözmek gerekir.

Zemine ani uygulandığı kabul edilen toplam gerilme artışı nedeniyle, $t=0$ anında gerilme artışı tamamıyla boşluk suyu basıncı tarafından karşılanmaktadır. Böylece başlangıç artık boşluk suyu basıncı değeri (u_i) $\Delta \sigma$ değerine eşit ve başlangıç şartları; ($t=0$ anında) $0 \leq z \leq 2d$ için $\Delta u = u_i$ olmaktadır.

Zeminde çift yönlü drenaja izin veriliyorsa, zemin tabakasının kalınlığının yarısı drenaj boyu olarak – tek yönlü drenaja müsaade eden bir zemin yapısıysa drenaj boyu $2d$ (zemin kalınlığı

kabul edilmiştir) alınır. Böylece $\Delta\sigma'$ 'nın uygulanmasından sonraki herhangi bir zamanda sınır şartları; $z=0$ ve $z=2d$ için $\Delta u=0$ ($t>0$) olmaktadır. Geçen t kadar bir zamandan sonra z derinliğindeki artık boşluk suyu basıncının eşitlik 2.6a ve 2.6b'deki çözümü;

$$\Delta u = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left(\frac{1}{d} \int_0^{2d} u_i \sin \frac{n\pi z}{2d} dz \right) \left(\sin \frac{n\pi z}{2d} \right) \exp \left(-\frac{n^2 \pi^2 c_v t}{4d^2} \right) \quad (2.8)$$

u_i =başlangıç artık boşluk suyu basıncı, z 'nin genel bir fonksiyonudur. u_i 'nin kil tabakası boyunca sabit olduğu özel durumlar için:

$$\Delta u = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2u_i}{n\pi} (1 - \cos n\pi) \left(\sin \frac{n\pi z}{2d} \right) \exp \left(-\frac{n^2 \pi^2 c_v t}{4d^2} \right) \quad (2.9)$$

n çift olduğunda $(1 - \cos n\pi)=0$ ve n tek olduğunda ise $(1 - \cos n\pi)=2$ olur. Bu nedenle n 'in sadece tek olduğu değerler uygun olur. Ayrıca $(n=2m+1)$, $\left(M = \frac{\pi}{2} (2m + 1) \right)$, $\left(T_v = \frac{c_v t}{d^2} \right)$ değerleri yerine koyulduğunda;

$$\Delta u = \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2u_i}{M} \left(\sin \frac{Mz}{d} \right) \exp(-M^2 T_v) \quad (2.10)$$

Konsolidasyon süreci farklı t zamanlarında Δu - z eğrilerinin serileri çizilerek gösterilebilir. Bu eğrilerin şekilleri artık boşluk suyu basıncının başlangıçtaki dağılımına ve zemin tabakasının sınırlarındaki drenaj durumlarına bağlıdır. Zemin tabakasının her iki sınırlarında (alt ve üst sınırlar) drenaj varsa çift yönlü drenaj olarak adlandırılır. Zemin tabakasının sadece bir sınırında (alt veya üst sınır) drenaj varsa tek yönlü drenaj olarak adlandırılır. Herhangi bir z derinliği altında ve t zamanındaki konsolidasyon derecesi, eşitlik 2.10'daki Δu değerinin hesaplanabilmesi için;

Zemin tabakasındaki herhangi bir z derinliğindeki, toplam gerilme artışının (konsolidasyon süreci), boşluk oranıyla açıklanması gerekmektedir (Eşitlik 2.11).

$$U_v = \frac{e_0 - e}{e_0 - e_1} \quad (2.11)$$

U_v : z derinliğinde ve herhangi bir t zamanındaki konsolidasyon derecesi ($0 \leq U_v \leq 1$) ve

e_0 : Konsolidasyonun başlangıcındaki boşluk oranı,

e_1 : Konsolidasyonun sonundaki boşluk oranı,

e : Herhangi bir t zamanındaki boşluk oranı

U_v değerinin 0 ise konsolidasyonun daha başlamamıştır, U_v değeri 1 olduğunda ise konsolidasyon tamamlanmıştır.

$e-\sigma'$ grafiğinin incelenen t zaman aralığında lineer olduğu düşünülürse, konsolidasyon derecesi eşitlik 2.12'deki gibi tanımlanabilir:

$$U_v = \frac{\sigma' - \sigma'_0}{\sigma'_1 - \sigma'_0} \quad (2.12)$$

Drenajsız Durum: Zemindeki toplam gerilmenin z derinliğinde σ_0 'dan σ_1 'e kadar arttığı ve herhangi bir yatay gerilme olmadığı varsayılır. Toplam gerilmenin σ_1 'e artmasına rağmen efektif gerilme hala σ_0 ' değerindedir.

Drenajlı Durum: Konsolidasyon tamamlandığı zaman efektif gerilme σ_1 ' değerine ulaşır.

$$\sigma'_1 = \sigma'_0 + u_i = \sigma' + \Delta u \quad (2.13)$$

Eşitlik 2.13 ve eşitlik 2.14 birleştirilerek eşitlik 2.15 elde edilir.

$$U_v = \frac{u_i - \Delta u}{u_i} = 1 - \frac{\Delta u}{u_i} \quad (2.14)$$

Eşitlik 2.14, eşitlik 2.10'da yerine yerleştirildiğinde eşitlik 2.15'teki gibi hesaplanabilir.

$$U_z = 1 - \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2}{M} \left(\sin \frac{Mz}{d} \right) \exp(-M^2 T_v) \quad (2.15)$$

Pratik problemlerde tabakanın tamamında ortalama konsolidasyon derecesi kullanılır. Herhangi bir t zamanındaki konsolidasyon oturması U_{av} ile nihai konsolidasyon oturmasının

çarpılmasıyla hesaplanır. Sabit u_i için t zamanındaki ortalama konsolidasyon derecesi eşitlik 2.16'da verildiği gibidir.

$$U_{av} = 1 - \frac{\left(1/2d\right) \int_0^{2d} \Delta u \, dz}{u_i} = 1 - \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2}{M^2} \exp(M^2 T_v) \quad (2.16)$$

Eşitlik 2.16'da verilen U_{av} - T_v ve derinlik arasındaki ilişki Şekil 2.2'de verildiği gibidir. Eşitlik 2.17'de verilen ampirik eşitlikler de U_v - T_v arasındaki ilişkiyi belirtmektedir.

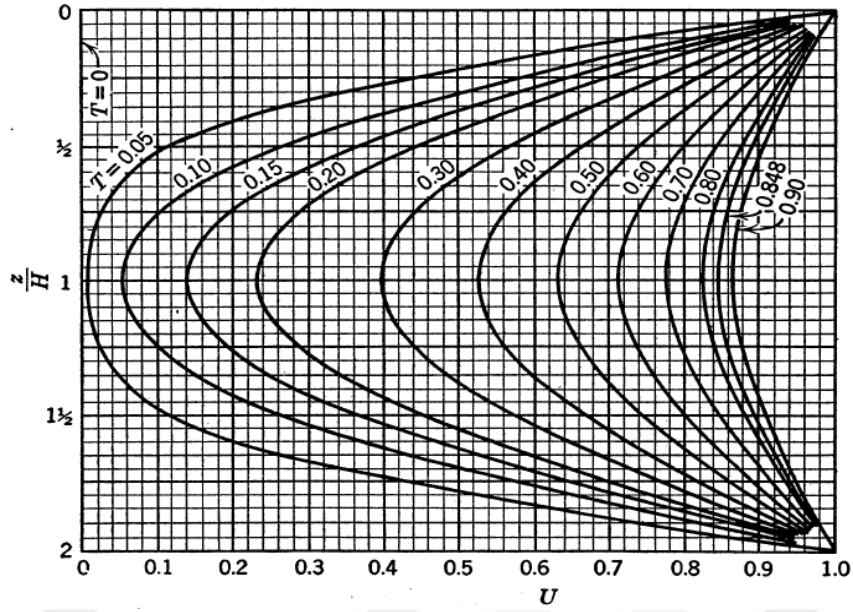
$$T_v = \begin{cases} \frac{\pi U_{av}^2}{4} & U_{av} < 0.60 \\ -0.933 \log(1 - U_{av}) - 0.085 & U_{av} > 0.60 \end{cases} \quad (2.17)$$

Sabit olmayan u_i için, ortalama konsolidasyon derecesi eşitlik 2.18'de verildiği gibi olur.

$$U_{av} = 1 - \frac{\int_0^{2d} \Delta u \, dz}{\int_0^{2d} u_i \, dz} \quad (2.18)$$

Drenaj tek yönlü ise integrasyon limitleri 0 ve d olarak değiştirilmelidir (Eşitlik 2.18).

Şekil 2.2'de elde edilen zaman faktörü ve derinliğe bağlı bir fonksiyon olan konsolidasyon derecesinin grafiği çift yönlü drenaj durumu için verilmiştir. Tek yönlü drenaj olması durumunda grafiğin yarısı kullanılmaktadır.



Şekil 2.2 Konsolidasyon Derecesi İle Zaman Faktörü Ve Derinlik Arasındaki İlişki (Taylor 1948).

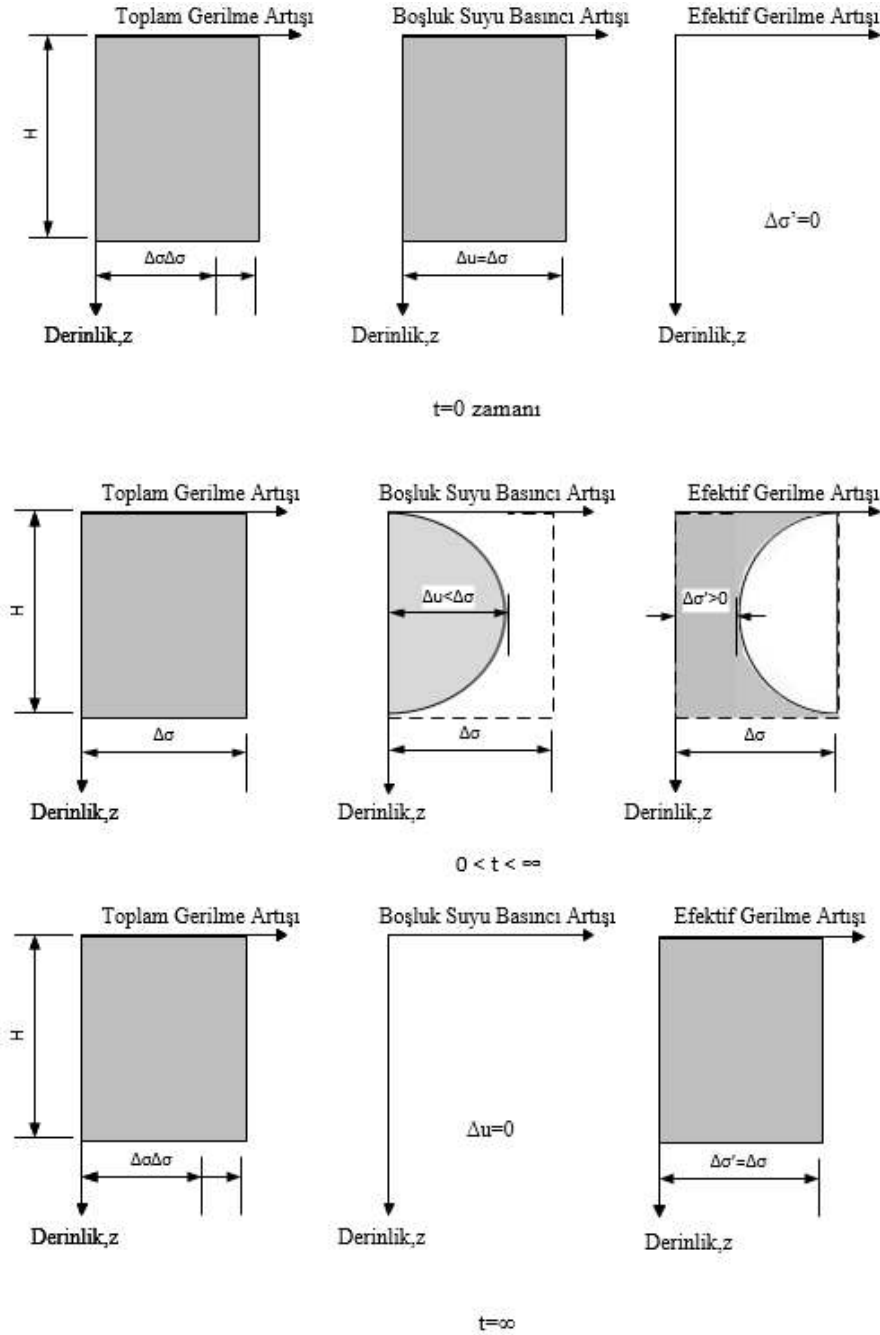
Oysa zeminde temelle birlikte oluşan ilave yüklemde gerilmeler üç boyutludur. Fakat zemin numunesi laboratuvarında modellenirken, tek boyutlu konsolidasyon teorisi kullanılmaktadır.

2.1.1 Tek Boyutlu Konsolidasyon Deneyi

Zamana bağlı oluşan konsolidasyon oturmaları, permeabilite katsayısı düşük ve ince taneli doymun zeminlerde gerçekleşirken, hızlı tamamlanan ve genellikle granüler, yüksek permeabiliteye sahip malzemenin varlığı ile gerçekleşen ani oturma ise nerdeyse yapı inşaa aşamasında tamamlanır. Konsolidasyon düşük geçirimliliği olan ve suya tam doymun zeminlerin efektif gerilmedeki değişime bağlı olarak hacminin zamanla azalmasıdır (Şekil 2.2). Bu, boşluklardaki suyun dışarıya çıkmasıyla oluşur. Bu süreç, toplam gerilmenin artmasıyla artık boşluk suyu basıncının azalması şeklinde meydana gelir. Konsolidasyon sürecinin herhangi bir evresindeki hacim değişimiyle oluşan düşey yer değiştirmeye konsolidasyon oturması denir.

Zeminlerin düşey yükler altında tek boyutlu sıkışmasının modellenmesi konusunda laboratuvarında ödometre cihazı kullanılır. Konsolidasyon deneyinde ise hareketin yönü yalnızca aşağı doğrudur. Ve bu deneyde çalışan sistemce, drenaj ölçümü ya da kontrolü mümkündür. Elde edilecek drenaj verileri ise bize malzemenin permeabilitesini yani geçirimliliğini ölçmemizi sağlayabilir ya da bu konuda fikir sahibi edebilir.

Konsolidasyon sürecinin tamamlanması için uygulanan gerilme öncelikle boşluk suyu basıncı tarafından karşılanır. Su çıkışı başladıktan sonra ise gerilmenin bir kısmı boşluk suyu basıncı bir kısmı da efektif gerilme tarafından karşılanır. Bu durum uygulanan gerilmenin yalnızca efektif gerilme tarafından karşılanmasına kadar yani sistem dengeye gelene kadar devam eder (Çizelge 2.1).



Şekil 2.3 Konsolidasyon Sürecinde Toplam Gerilme, Boşluk Suyu Basıncı Ve Efektif Gerilmenin Değişimi (Das and Sobhan 2014).

Çizelge 2.1 Konsolidasyon Sürecinde Gerilme Durumları (Das and Sobhan 2014).

Zaman (t)	Gerilme Artışı($\Delta\sigma$)	Artık Boşluk Suyu Basıncı (Δu)	Efektif Gerilme ($\Delta\sigma'$)
0	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma$	0
$0 < t < \infty$	$\Delta\sigma$	$< \Delta\sigma$	> 0
∞	$\Delta\sigma$	0	$\Delta\sigma$

Genel anlamda konsolidasyon deneyi, hassasiyetle yapılması ve ölçülmesi gereken bir yük ve deformasyon ilişkisi ölçme deneyidir demek yanlış olmaz. Yük ise uygulanan basıncın, numune alanına bölünmesiyle elde edilir.

Çizelge 2.2 Tipik Konsolidasyon Deney Yükleme Seti.

Yükleme (no)	Gerilme (P) kPa
1	0.25
2	0.50
3	1
4	2
5	4
6	8
7	16
8	32
9	8
10	2
11	0.5
12	0.125

Konsolidasyon yükleme setinde, yükleme sayısı 8 yükleme ve 4 boşaltma şeklindedir. Uygulanan gerilmeler 0,25 kPa ile 32 kPa arasında değişen sekiz değerden oluşmaktadır (Çizelge 2.1). Toplamda Çizelge 2.2’de de görüldüğü gibi 12 adet okuma yapılması gerekmektedir. Bu okumalar her yükleme için 24 saat sürmektedir. Okuma aralıkları Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Tipik Bir Yükleme Sonrası Okuma Aralıkları.

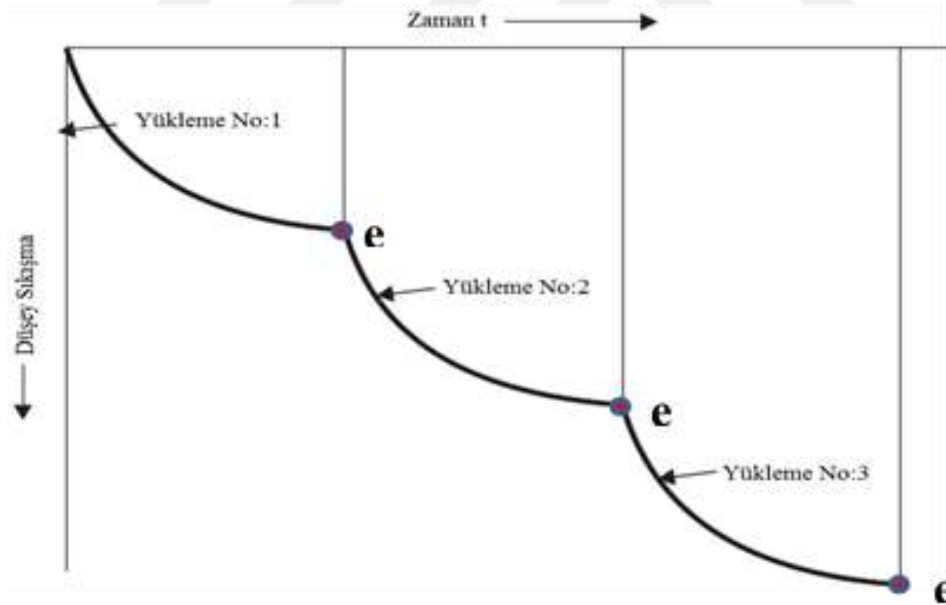
Okuma (no)	Okuma (Zaman)
1	15 sn.
2	30 sn.
3	1 dk.
4	2 dk
5	4 dk.
6	8 dk.
7	15 dk.
8	30 dk.
9	1 saat.
10	2 saat.
11	4 saat
12	8 saat.



Şekil 2.4 Konsolidasyon Deney Seti (ZBEÜ Laboratuvarı 2018).

Arazide ki zemini temsil edecek şekilde araziden alınan örselenmemiş zemin numuneleri, düşey yükler altında sıkışmayı temsil edecek şekilde hazırlanır. Yanal genişlemeye izin verilmemektedir, bunu sağlayan mekanizma ise konsolidasyon deney aleti-çelik halkasıdır. Arazi koşullarında zemin tek yönlü su çıkışına(drenaja) sahip olsa da cihazda numune çift yönlü drenaja tabi tutulur ve numuneden su çıkışı ise, numunenin altına ve üstüne yerleştirilen poroz taşlar sayesinde sağlanmaktadır. Laboratuvar numunesi genelde 2 cm kalınlığındadır. Modellenen bu zemin ve problem çözüm sistemi ile düşey yükler altında zeminin boy kısılması ölçülebilir. Ayrıca sistemde hassas bir okuma saati ile zamana bağlı olarak sürekli ölçülebilir. Konsolidasyon cihazını Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

Deney için seçilen gerilme uygulandıktan sonra, zemini temsil eden numune konsolidasyona bırakılır. Boşluk suyu basıncı sıfıra ininceye ve konsolidasyon oturması büyük ölçüde tamamlanıncaya kadar dengeye gelmesi sağlanır. Konsolidasyon deneyinin amacı verilen dış yükler altında zeminin sıkışmasını belirlemektir. Örselenmemiş temsili bir numunenin sıkışma özelliklerini değerlendirerek, arazideki zemin tabakasının oturmasını tahmin edebiliriz.

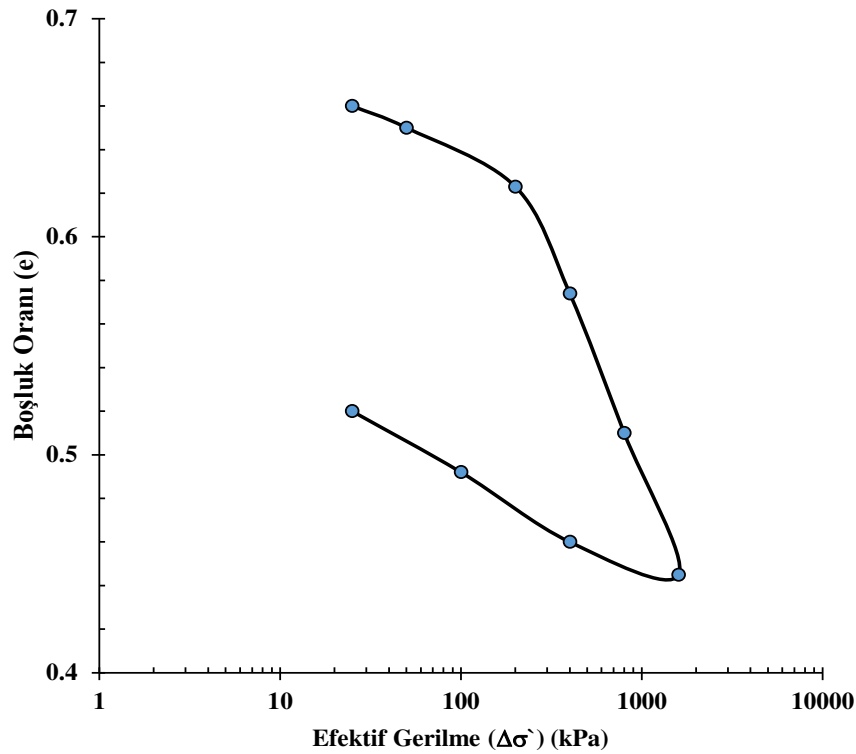


Şekil 2.5 Konsolidasyon Deneyinde Yükleme ve Zamana Bağlı Düşey Sıkışma.

Şekil 2.5'te her yükleme için zaman- düşey sıkışma grafiğinin bir örneği gösterilmiştir. Bu genel davranış eğrisinde numunenin sıkışmasının başlangıçta hızla geliştiği zaman geçtikçe numunenin sıkışma hızının yavaşladığı ve belli bir zaman sonunda hemen hemen tamamen sona erdiği gözlemlenmektedir.

Aslen sıkışma zaman eğrisi permeabilite ye doğrudan bağlıdır. Düşük permeabiliteli zeminlerde suyun dışarı çıkışı zor, yüksek permeabiliteli zeminlerde ise suyun çıkışı daha kolaydır. Killer çok düşük permeabiliteli malzemeler olduğu için zemin suyunun dışarı çıkması daha zordur. Sıkışmada birebir su çıkışına yani permabilite bağlı olduğu için, sıkışma- zaman eğrisi arazide zemin tabaka kalınlığına ve drenajın (su çıkışının) çift veya tek yönlü oluşuna da bağlıdır. Deneyde ise yukarıda da anlatıldığı gibi numunenin çift yönlü drenaja sahip olduğu koşullar dikkate alınır ve bu su çıkışı poroz taşlarla alttan ve üstten sağlanır.

Zeminin sıkışması esas olarak su ve hava yani boşluk hacminin azalmasına bağlıdır. Zemin tanelerinde herhangi bir hacim azalması söz konusu olamaz, zira katılar sıkışmaz aralarındaki boşluklar azalır. Öyleyse numune boy kısalmasının anlamı boşluk oranı değişimidir. Boşluk oranı- logaritma gerilme grafiği şekil 2.6’ da gösterilmiştir.



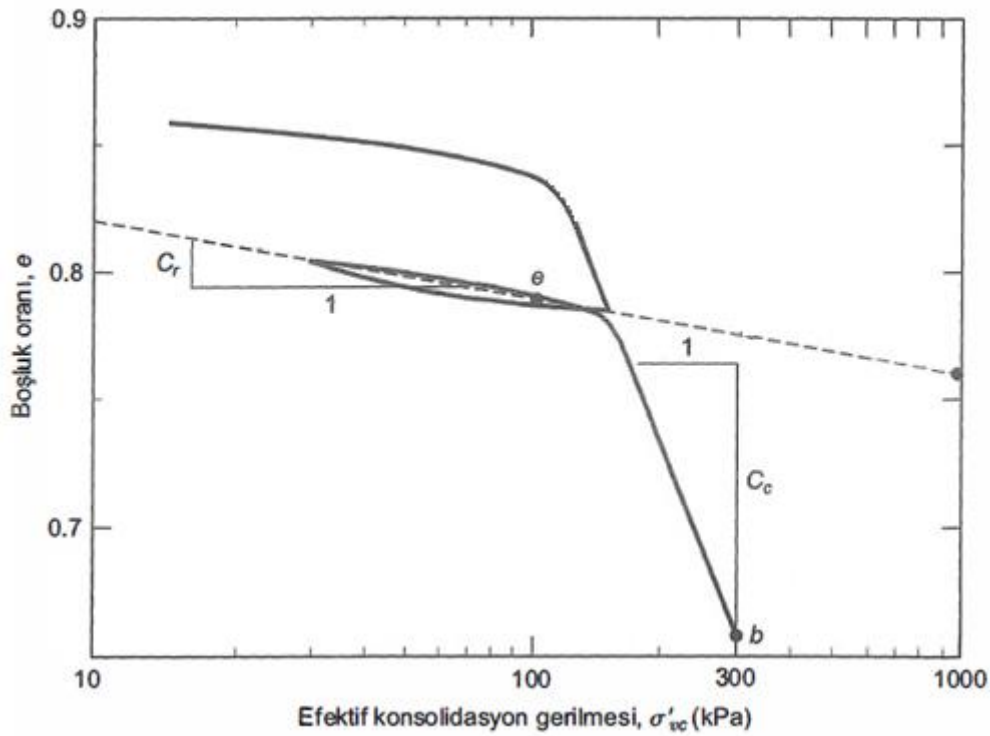
Şekil 2.6 Konsolidasyon Deneylerinde Efektif Gerilme-Boşluk Oranı İlişkisi.

Şekil 2.6’da şişmenin olduğu bölge zemin üzerindeki yükün kaldırıldığı zamana denk gelir. Yani düşey şekil değiştirmelerin bir kısmı geri gelir. Konsolidasyon deneyinde 8 yüklemeden sonraki 4 kademeli boşaltma işlemi işte bu şişme miktarını deneysel olarak saptayabilmek amacıyla yapılmıştır. Üzerinde yükleme yapılan bu numuneye tekrar bir yükleme yapılırsa, boşaltmanın

olduğu yüklemeye varıncaya kadar çok az bir sıkışma görülür ancak bu ön yükleme değeri aşılsa zemin tekrar sıkışma hızlanır. Buda zeminin geçmişte aldığı yükü hafızasında tutması anlamına gelmektedir. Bu kavram aşırı konsolide killerin temel konusunu oluşturmaktadır ve ilerleyen bölümlerde detaylı olarak incelenecektir.

2.1.2 Konsolidasyon Parametrelerinin Belirlenmesi

Konsolidasyon deneyi sonrasında çizilen boşluk oranı ve efektif gerilme grafiği Şekil 2.7’de verilmiştir. Genellikle, zeminlerde bu eğrinin bir bölümü kısmen lineer olur ve bu bölüme bakir sıkışma eğrisi adı verilir. Konsolidasyon süresince eğrinin bu bölümünde kalıcı deformasyonlar oluşur. Bakir sıkışma eğrisinin eğimi sıkışma indisi (C_c) değerini verir. Şekil 2.7’de verilen grafiğin boşaltma-yeniden yükleme (unload-reload line) eğrisinin eğimi ise yeniden sıkışma indisi (C_r) değerini verir.



Şekil 2.7 Boşluk Oranı-Efektif Gerilme Grafiği - Logaritmik Eksende (Holtz et al. 2010).

Sıkışma indisi ve yeniden sıkışma indisini Şekil 2.7’deki grafik ve eşitlikler 2.19 ve 2.20’den bulunabilir.

$$C_c = \frac{e_a - e_b}{\log \left(\frac{\sigma'_b}{\sigma'_a} \right)} \quad (2.19)$$

$$C_r = \frac{e_e - e_f}{\log \left(\frac{\sigma'_f}{\sigma'_e} \right)} \quad (2.20)$$

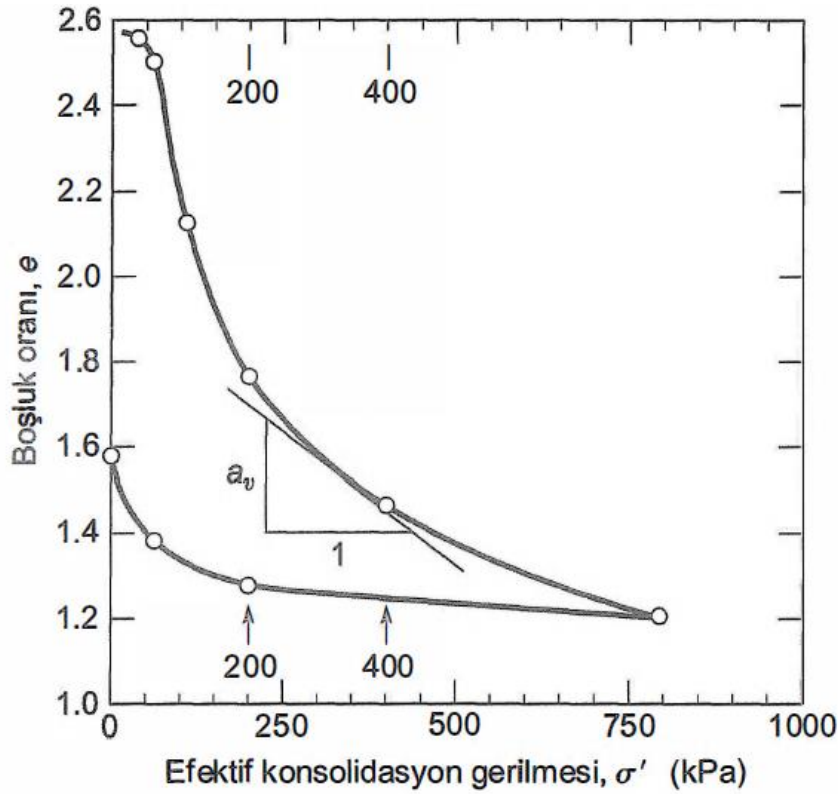
Hacimsel sıkışma katsayısı (m_v), efektif gerilmedeki birim artışa karşılık gelen birim hacim değişikliğidir ve birimi m^2/N ' dur. Hacimsel değişiklik boşluk oranı veya tabaka kalınlığıyla ifade edilebilir. σ'_0 ve σ'_1 efektif gerilme değerlerine karşılık gelen boşluk oranları e_0 ve e_1 (H_0 ve H_1) olması durumunda m_v değeri eşitlik 2.21'deki gibi olur.

$$m_v = \frac{1}{1 + e_0} \left(\frac{e_0 - e_1}{\sigma'_1 - \sigma'_0} \right) = \frac{1}{H_0} \left(\frac{H_0 - H_1}{\sigma'_1 - \sigma'_0} \right) \quad (2.21)$$

Boşluk oranı efektif gerilme grafiği Şekil 2.7'daki gibi logaritmik eksen kullanılmadan çizildiğinde sıkışma eğrisinin eğimi sıkışma katsayısı (a_v) olarak adlandırılır. Bu durumda a_v eşitlik 2.22'deki gibi bir türevi ifade eder. Eğri doğrusal olmadığı için a_v değeri σ'_0 ve σ'_1 gibi küçük bir gerilme aralığında ve onlara karşılık gelen e_0 ve e_1 boşluk oranı değerleriyle hesaplanacak olursa eşitlik 2.23 kullanılabilir (σ'_f).

$$a_v = \frac{-de}{d\sigma'} \quad (2.22)$$

$$a_v = \frac{-\Delta e}{\Delta \sigma'} = \frac{e_0 - e_1}{\sigma'_1 - \sigma'_0} \quad (2.23)$$



Şekil 2.8 Boşluk Oranı Efektif Gerilme Grafiği-Logaritmik Olmayan Eksende (Holtz et al. 2011).

2.2 ÖN ÖNKONSOLİDASYON GERİLMESİ, NORMAL KONSOLİDASYON, AŞIRI KONSOLİDASYON

2.2.1 Ön Konsolidasyon Basıncı(σ'_c) ve Casagrande Yöntemi İle Belirlenmesi

Casagrande yöntemi, ön konsolidasyon basıncının bulunmasında bu çalışmada ve sıklıkla diğer çalışmalarda da kullanılan yöntemdir. Casagrande yöntemi, zemin parametrelerinden boşluk oranı ile gerilme arasındaki ilişkiden oluşturduğumuz, konsolidasyon eğrisinin eğrilik yarıçapının minimum olduğu noktayı (A) seçmeye dayanmaktadır. Konsolidasyon deneyinden elde edilen $e-\log \sigma'$ grafiğinden Şekil 2.9'da ki eğrilik yarıçapının minimum olduğu A noktasından X eksenine paralel bir doğru çizilir ve bu noktadan $e-\log \sigma'$ eğrisine teğet doğru çizilir. Bu iki doğrunun arasındaki açı ölçülür. Ölçülen açının açıortayı çizilir. Eğrinin altından yukarı çizilen doğru açıortaya kadar uzatılır ve kesiştikleri B noktası X eksenine uzatılır. Bu noktadaki değer ön konsolidasyon basıncı (σ'_p) olarak belirlenir.

Çizelge 2.4 Ön Konsolidasyon Basıncına Sebep Olan Mekanizmalar (Holtz, Kovacs and Sheahan 2010).

Mekanizma	Açıklama ve Kaynaklar
Toplam Basıncındaki Değişimler	Jeolojik erozyon veya insan tarafından yapılan kazı
Üst zemin tabakalarının kaldırılması	
Geçmişteki Yapılar	
Buzullaşma	
Boşluk Suyu Basıncındaki değişimler	Kenney (1964) deniz seviyesi değişimlerini verir.
Su seviyesinin değişimi	Buzullaşmış alanlarda yaygındır.
Artezyen basınçları	Birçok şehirde yaygındır.
Derin pompalama, tünellere su akımı	Zeminlerin birikmesi sırasında oluşmuş olabilir.
Yüzey kuruluşundan dolayı kuruma	Zeminlerin birikmesi sırasında oluşmuş olabilir.
Bitkilerden dolayı kuruma	
Zemin yapısındaki sıkışma	Raju (1956)
Sekonder sıkışma (yaşlanma)	Leonards ve Ramiah (1959)
	Leonards ve Altschaeffl (196)
	Bjerrum (1967, 1972)
PH, sıcaklık ve tuz konsantrasyonu gibi çevresel şartlarda oluşan değişimler	Lambe (1958a ve b)
Ayrışma, çökme, çimentolaşma, iyon değişiminden dolayı oluşan kimyasal değişiklikler	Bjerrum (1967)
Yüklemedeki deformasyon hızının değişimi	Lowe (1974)

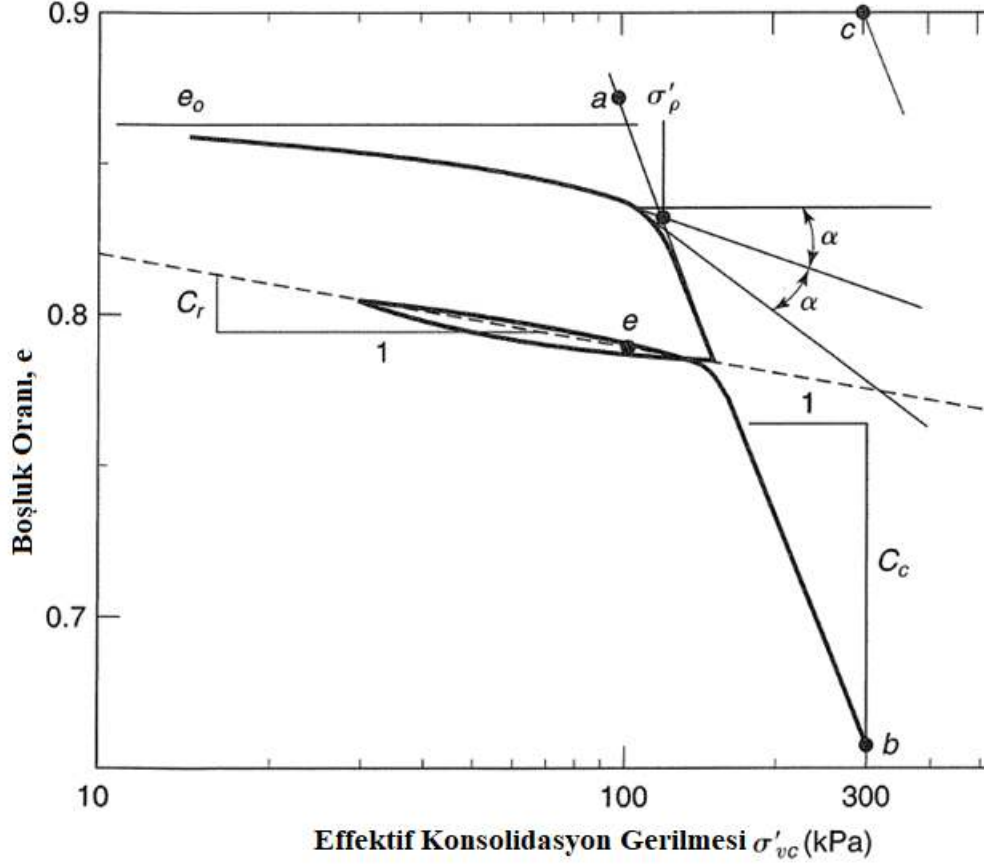
2.2.2 Aşırı Konsolidasyon Oranının Tayini

Zeminin geçmişte taşıdığı maksimum gerilme değeri o zeminin ön konsolidasyon basıncının, efektif gerilmeye oranına aşırı konsolide oranı (OCR) (Eşitlik 2.25) denir.

$$OCR = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_0} \quad (2.25)$$

Hesaplanan OCR sayısına göre zeminin konsolidasyonu hakkında bir sonuca varılır ve kullanılacak oturma formülü buna göre belirlenir;

- a. Ön konsolidasyon basıncı, üzerinde bulunan efektif örtü yükünden az olduğu durumda zemin normal konsolidedir ($OCR \leq 1$) (Şekil 2.10). Normal konsolide durum için eşitlik 2.26, 2.27, 2.28 kullanılır.

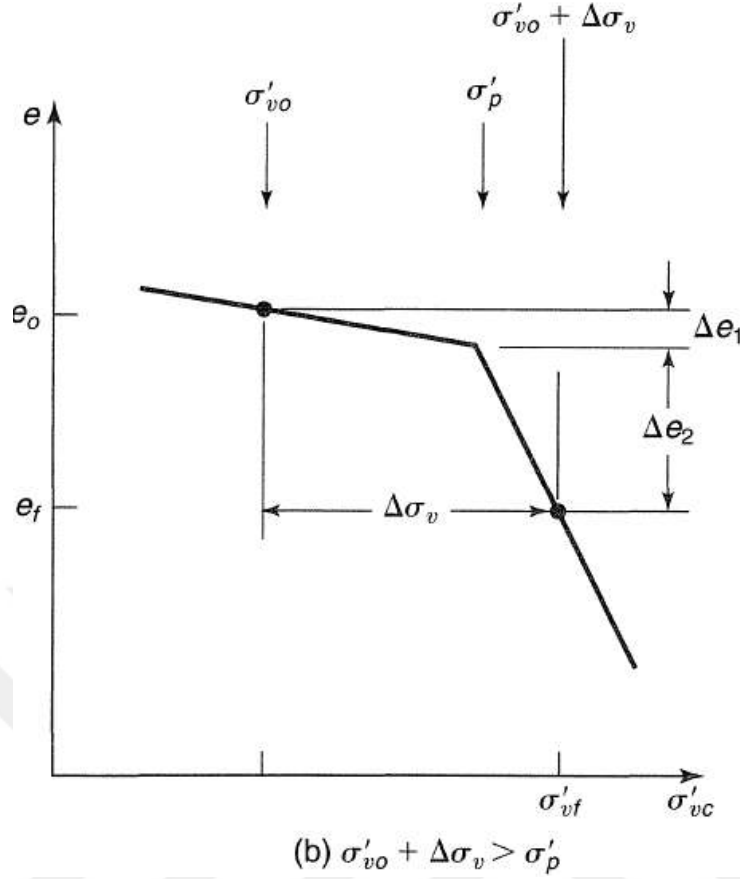


Şekil 2.10 Normal Konsolide Zeminlerin Efektif Gerilme- Boşluk Oranı İlişkisi.

$$Sc = Cc \frac{H_0}{1 + e_0} \log(\sigma'_2 / \sigma'_1) \quad (2.26)$$

$$Cc = -\frac{de}{d \cdot \log \sigma_v} = (e_1 - e_2) / (\log(\sigma'_2 - \sigma'_1)) = (e_1 - e_2) / (\log(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1})) \quad (2.27)$$

$$Sc = Cc \frac{H_0}{1 + e_0} \log((\sigma'_{vo} / \sigma'_v) / \sigma'_{vo}) = Cc \frac{H_0}{1 + e_0} \log(\sigma'_{vf} / \sigma'_{vo}) \quad (2.28)$$



Şekil 2.32 Aşırı Konsolide Zeminlerin Efektif Gerilme-Boşluk Oranı İlişkisi (Durum 2).

$$Sc = Cr \frac{H_0}{1 + e_0} \log(\sigma'_p - \sigma'_{vo}) + Cc \frac{H_0}{1 + e_0} \log(\sigma'_{vf}/\sigma'_p) \quad (2.30)$$

Bu eşitliklerde e_0 başlangıç boşluk oranı, H_0 zemin tabakasının kalınlığı, C_c sıkışma indisi, C_r yeniden sıkışma indisi, σ'_{vo} başlangıçtaki efektif gerilme, σ'_p ön konsolidasyon basıncı, $\Delta\sigma_v$ gerilme artışıdır.

2.2.3 Konsolidasyon Hızı

Konsolidasyon hızı yapı aşamaları için oldukça önemlidir ve hızın belirlenmesinde en önemli parametre konsolidasyon katsayısıdır. Konsolidasyon katsayısının belirlenmesinde bulunmaktaysa da; Logaritma-Zaman ve Karekök-Zaman Yöntemleri en yaygın olarak kullanılanlardır. Bu çalışmada da Karekök-Zaman Yöntemi kullanılmıştır.

- a. Logaritma-zaman yöntemi (Casagrande yöntemi)
- b. Karekök-zaman yöntemi (Taylor yöntemi)

2.2.3.1 Logaritma – Zaman (Casagrande) Yöntemi

Laboratuvar deneylerinin artan yük kademeleri için, numunenin deformasyonuna karşılık zamanın logaritması alınarak çizilen grafik yardımıyla hesaplama yapılır (Şekil 2.13). Konsolidasyon katsayısı c_v 'nin bulunması için aşağıdaki adımlar sırasıyla takip edilmelidir.

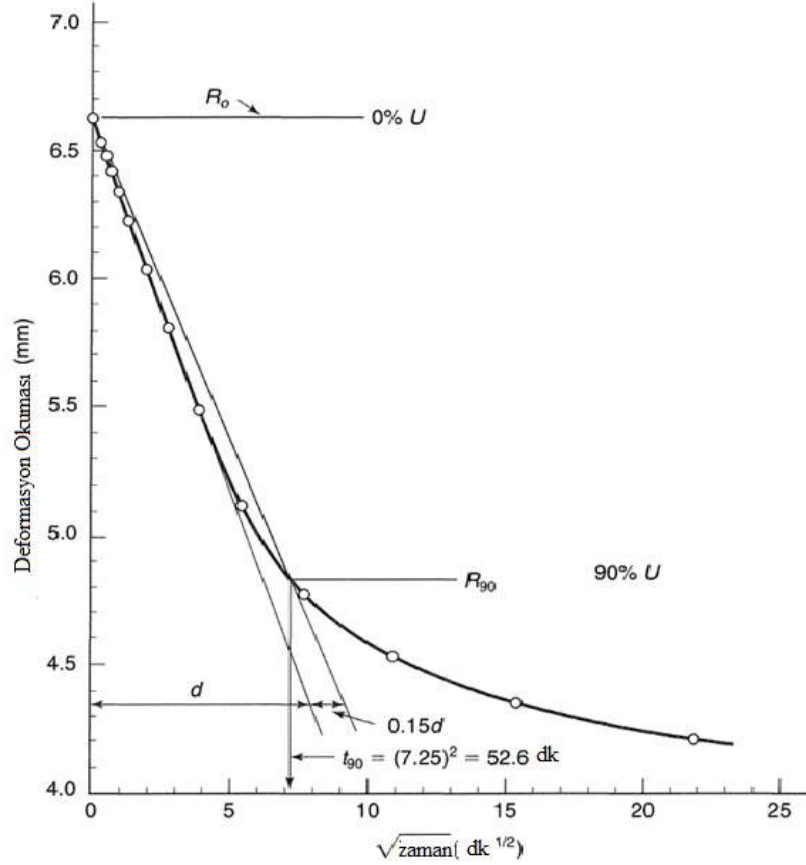
- a. Birincil ve ikincil konsolidasyon eğrileri uzatılarak t_p noktasında birleştirilir. t_p noktasının ordinatı R_{100} değerini (%100 birincil konsolidasyonun sonundaki deformasyon) verir.
- b. Eğrinin başlangıç kısmında t_1 ve t_2 değerleri $t_2=4t_1$ olacak şekilde seçilir. t_1 ve t_2 sürelerine karşılık gelen deformasyonlar arasındaki mesafe ölçülür ve x değerine karşılık gelir.
- c. B noktasından x kadar yukarıya çıkılarak $U=\%0$ doğrusu çizilir. Bu doğruya karşılık gelen deformasyon R_0 değerini (%0 konsolidasyondaki deformasyon) verir.
- d. $U=\%50$ olduğu nokta bulunur ve ordinat değeri %50 deformasyonu (R_{50}), apsisi ise t_{50} değerini verir.
- e. Ortalama %50 konsolidasyon derecesi için T_v değeri 0.197 Eşitlik 2.31'de yerine yerleştirildiğinde, konsolidasyon katsayısı C_v bulunur.

$$c_v = \frac{T_{v(50)} H_{dr}^2}{t_{50}} \quad (2.31)$$

H_{dr} drenaj boyu olmak üzere; çift yönlü drenaj olması durumunda zemin tabakasının kalınlığının yarısına, tek yönlü olması durumunda ise zemin tabakasının kalınlığına eşittir.

$$c_v = \frac{T_{v(90)} H_{dr}^2}{t_{90}} \quad (2.32)$$

konsolidasyon katsayısı C_v bulunur. Bu eşitlikte H_{dr} drenaj boyu olmak üzere; çift yönlü drenaj olması durumunda zemin tabakasının kalınlığının yarısına, tek yönlü drenaj olması durumunda ise zemin tabakasının kalınlığına eşittir.



Şekil 2.54 Karekök-Zaman Yöntemi İle Konsolidasyon Katsayısının Bulunması (Holtz et al. 2011).

Bu çalışmada konsolidasyon katsayısı bulunurken karekök zaman yöntemi kullanılmıştır.

4. bölümünde tüm bulgular somut şekilde anlatılmıştır.

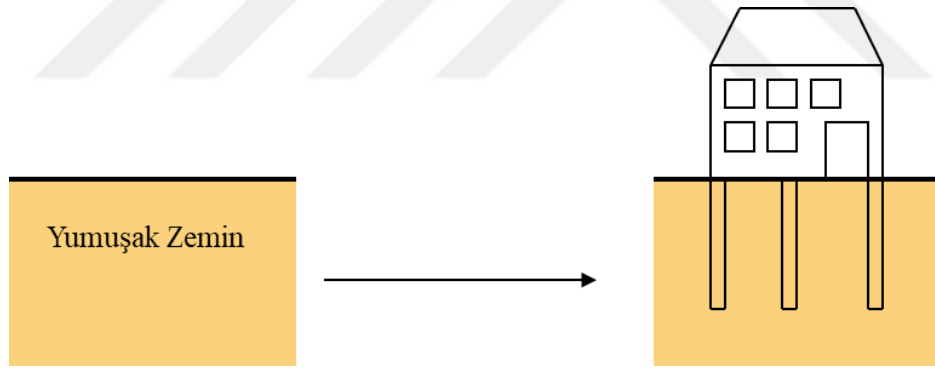


BÖLÜM 3

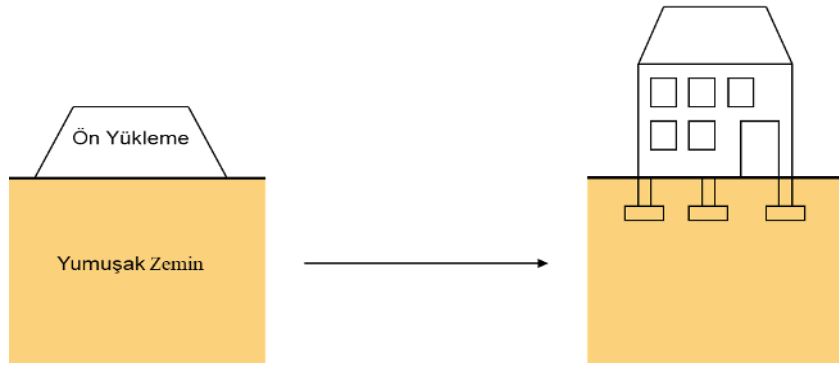
ÖNYÜKLEME YÖNTEMİ – PREFABRİKE DÜŞEY DRENLERİ VE KONSOLİDASYON SÜRECİ

3.1 ÖN YÜKLEME YÖNTEMİ VE KONSOLİDASYON SÜRECİNE ETKİSİ

Yumuşak kil tabakalarının iyileştirilmesi için kullanılan bu yöntemde, üzerine yapı imalatı yapılması planlanan zemin tanımlandıktan sonra, imalat öncesi zemine bir toprak dolgu blokajı (ön yükleme) yapılır. Bu yükleme, zeminin doygun tabakalarında artık boşluk suyu basıncı meydana getirir. Oluşan bu basınçla doygun zemin tabakaları konsolide olmaya başlar. Zeminin altındaki tabakaların konsolide olması sağlaması ile mukavemeti artmış olacaktır.



a) Yumuşak Zeminlerde Kazık Temeller



b) Ön Yükleme Uygulandıktan Sonra Temel Sistemini Yapmak

Şekil 3.1 a) Yumuşak Zeminlerde Kazık Temeller, b) Ön Yükleme Uygulandıktan Sonra Temel Sistemini Yapmak (Haunsman 1990).

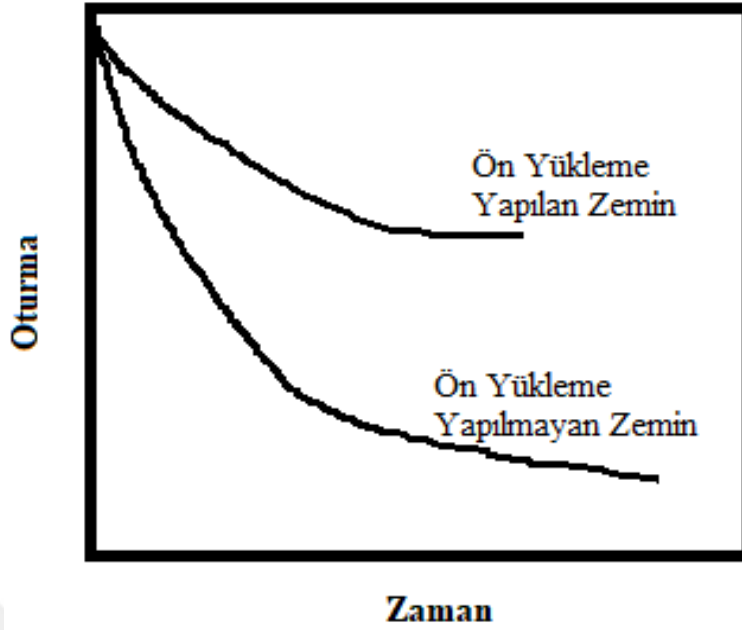
Tüm toprak tiplerinde uygulanabilir olmasına karşın ön yükleme tekniği yumuşak kohezyonlu zeminleri iyileştirmede en avantajlı yöntemdir (Şekil 3.1a). Ön yükleme metodu uygulanmaz ise yumuşak zeminlere kazık temel sistemi kurulabilir fakat maliyeti yüksektir (Şekil 3.1a). Zemin iyileştirme süreci düşey kanallarla, rölatif geçirimsiz dolgu durumunda orijinal zemin yüzeyindeki yatay drenaj tabakasıyla hızlandırılabilir.

Ön yükleme genelde killi zeminlerde uygulandığından ve killi zeminlerin permeabilitesi düşük olduğundan yüklemeden dolayı deformasyon zaman almaktadır. Bundan dolayı, zeminde kayma göçmeleri meydana gelmemesine ve konsolidasyonun biteceği zamana kadar beklenmesine özen gösterilmelidir.

Bu sürecin uzunluğu, yüklemeye yetecek malzeme miktarı ile ters orantılıdır. Fakat malzemenin durabilitesi ya da zaman maliyet dengesine göre birkaç çözüm önerisi sunmak kaçınılmazdır. Bu analizlerle varılacak sonuca uygun yapılacak ön yükleme ile henüz imalat başlamadan zeminin oturma miktarı minimuma çekilmiş olur. Zeminde yapıya zarar vereceğini ön gördüğümüz/saptadığımız potansiyel bir oturma mevcutsa bunu engellemiş oluruz.

Ön yükleme (süşarj) yönteminin amacı, oturma miktarı fazla olan zeminlerde, yapıyı güvene almak ve yapı hizmet ömrüne denk gelecek hasarları engellemek için tercih edilen kazık temeller gibi maliyetli yöntemler yerine alternatif ve daha az maliyetli olan; zemin üzerine yapılması planlanan yapı yükü kadar yüke denk gelecek kadar uygun dolgu yükleme yapılmasıdır (Stamatopoulos and Kotzias 1985).

Ön yükleme ile yeterli konsolidasyonun sağlanabileceği düşünülen zeminlerde bu çözüme başvurulmadan yapı imalatına başlanmak isterse derin temel sistemleri çalışmak gerekir.(Şekil 3.1). Fakat derin temel veya kazıklı iyileştirme yöntemleri oldukça maliyetli ve imalatı hassas ve zaman alır. Bu uygulamalara harcanacak zaman yerine daha fazla zaman harcansa dahi, az maliyetli ön yükleme yöntemi tercih edilebilir. Böylelikle de oturma miktarı imalat öncesinde oldukça büyük konsolidasyon oturması elde edilir.



Şekil 3.2 Önyüklemeye Yapılan ve Yapılmayan Zeminlerin Oturma Zaman İlişkisi.

Şekil 3.2’da oturma- zaman ilişkisi ön yükleme yapılan ve ön yükleme yapılmayan zeminler için karşılaştırılmaktadır. Görünen odur ki aynı konsolidasyon sürecinde ön yükleme yapılan durumda konsolidasyon oturması miktarı daha fazladır. Diyebiliriz ki, uygun koşullar gözetilerek yapılan ön yüklemede zemin mukavemeti imalat öncesi anlamlı derece de arttırılmıştır.

Genel olarak özetlenirse;

- Amaç konsolidasyon oturmalarını en aza indirmektir.
- Ön yükleme ve sürşarj, konsolidasyon oturmalarına neden olur.
- Killi zeminin drenajsız kayma mukavemeti artışlarına sebep olur.
- Genellikle düşey drenlerle birlikte uygulanır.
- Düşey drenler ile oturmalar daha da hızlanır ve bekleme süresi kısılır.
- Ön yükleme sırasında temel zemininde kayma göçmeleri meydana gelebilir Bu nedenle dolgu tabakası kademeli olarak inşa edilmeli ve her kademede belirli süre beklenmelidir.
- Konsolidasyonun tamamlanması için de yeterli süre beklenilmesi gerektiğine dikkat edilmelidir. Bu takip mekanizmasının doğru çalışması içinde arazi ölçüm sistemi ile boşluk suyu basınçları ve oturmalar takip edilmelidir
- Çalışmanın planlanması ve tasarlanmasında konsolidasyon teorisi kullanılmaktadır.

Konsolidasyon oturmasını, yapı imalatı süresi başlamadan en aza indirmek için kullanılan ön yükleme yöntemi, yapı yükü kadar dolgu ile elde edilemezse ekonomik bir uygulama olmaktan uzaklaşabilir. Ya da çok zamana ihtiyaç duyulursa da aynı problemle karşılaşmış olabilir. Bu analizler yapıldığında zeminde hala istenilen sürede konsolidasyon oturması yeterli miktara ulaşmıyorsa prefabrike düşey drenlerle birlikte ön yükleme yapmak alternatif ve zaman açısından daha avantajlı bir yol olacaktır.

3.2 PREFABRİKE DÜŞEY DRENLERİN KONSOLİDASYON SÜRECİNE ETKİLERİ

Zeminlerin yük taşıma kapasitesini arttırmak için söz edilen yöntemlerden biride düşey prefabrike drenlerdir (PDD). Prefabrike düşey drenler ile zeminlerin konsolidasyon oturma hızı artırılması esas alınır. Prefabrike düşey drenler (Şekil 3.3, 3.4) kohezyonsuz zeminlerin taneler arası yoğunluğu arttırır, kohezyonlu zeminlerin ise konsolidasyonunu hızlandırmak adına kullanılabilirler.



Şekil 3.3 Arazide Kullanılan PDD Örneği (Nicholson 2015).

İnce taneli zeminlerin konsolidasyonu, geçirgenliğinin düşük olması nedeniyle uzun zaman içerisinde gerçekleşir. Gerek konsolidasyon oturmasının tamamlanacağı süreci bilmek açısından, gerekse hızlandırmak açısından incelemeler yapıp prefabrike düşey drenler yardımıyla, istenmeyecek hasarları ortadan kaldıracak çalışmaların bitişinin akabinde bina imalatına başlanır.

Statik yükleme altında oluşan ilave boşluk suyu basıncını zaman içerisinde sönümlenmesini, dolayısıyla zeminin konsolidasyonunu hızlandırmak amacıyla zemin içerisine geçirgenliği daha yüksek düşey prefabrike drenlerin bir grid şeklinde yerleştirilmesi ve üzerine zeminin maruz kalacağı yükleme kadar veya bunun bir miktar fazlasının önceden yüklenmesi sonucu konsolidasyon süreci hızlandırılır. PDD sayesinde killi zemin içerisindeki drenaj boyu kısaltılarak zeminin konsolidasyon sürecinin kısaltılması temin edilebilir.



Şekil 3.4 Arazide Yerleştirilen PDD'den Dolayı Deşarj Örneği (Nicholson 2015).

Düşey drenler kum dreni ve buna eşdeğer prefabrike drenler olarak iki çeşit uygulanabilirken, bu çalışmada taşınması, uygulanması ve kullanılabiliği açısından daha avantajlı olan prefabrike düşey dren tercih edilmiştir. Düşey drenlerde kum dreni çapları 30 cm ile 60 cm arasında çapında olup delgi içerisine kum yerleştirilmesi ile prefabrike dren ise 5 cm ile 10 cm arasında çapları olan bantlardır ve içi boş bir mandrel vasıtasıyla zemin içerisine sürülmesi şeklinde inşa edilir. Bu tip drenler genellikle PES (polyester) veya PP (polypropylene) esaslı, etrafına geotekstil sarılmış malzemeler olup çekirdek ve filtre kısımlarından oluşur.

Prefabrike düşey dren (PDD) uygulaması, ıslah edilecek zemin derinliğine bağlı olarak bir vince veya uygun paletli bir iş makinası monte edilmiş bir mast ve mandrel ile mandrelin zemin içerisine sürülmesini sağlayan mekanizmadan oluşan dren makinaları ile yapılır. Zemin

şartlarına bağlı olarak çok hızlı bir üretim kapasitesine ulaşmak mümkündür. Zemin iyileştirilmesi yapılacak bölgelerde şerit veya fitil drenlerin boyları ve ara mesafeleri projelendirme safhasında her zemin türüne ve istenen proje kriterlerine göre spesifik olarak belirlenir. Her drenin çakımı sırasında mandrelin alt ucuna uygun boyutlarda bir çelik tapa (ankraj pabucu) yerleştirilerek mandrelin içinden geçen şerit veya fitil drenin proje kotuna kadar zemin içine yerleştirilmesi sağlanır; mandrelin geri çekilmesi sırasında da tapa zemin içinde terk edilir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 İnşaat Sahasında PDD Uygulaması Örneği (Nicholson 2015).

Fitil veya şerit drenler yerleşim planındaki pozisyonlarından en fazla 10 cm toleransla çakılır ve düşeyden maksimum sapma toleransı ise 1/50 mertebesinde olmalıdır. Çakılamayan drenin en fazla 45 cm uzağında başka bir drenin çakılmasına çalışılıp mümkün olmadığı taktirde o dren hakkında İşverenden talimat almak üzere diğer drenlerin yapımına devam edilir. Çakımı tamamlanan drenler zemin yüzeyinden itibaren 15~20 cm yukardan kesilmelidir (Şekil 3.6). Ön yükleme dolgusuna başlanmadan önce düşey drenler Şekil 3.6’da gösterildiği gibi yatay şerit drenlerle birbirilerine bağlanırlar ve bunlar zemin iyileştirilmesi yapılacak saha çevresinde drenaj hendeklere kadar uzatılırlar. Dolgu üzerine imal edildikten sonra da zemin iyileştirilmesinin sonuçları yapılacak aletsel gözlemlerle izlenmeli ve istenilen iyileşmenin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilerek ilgili raporlama yapılmalıdır.

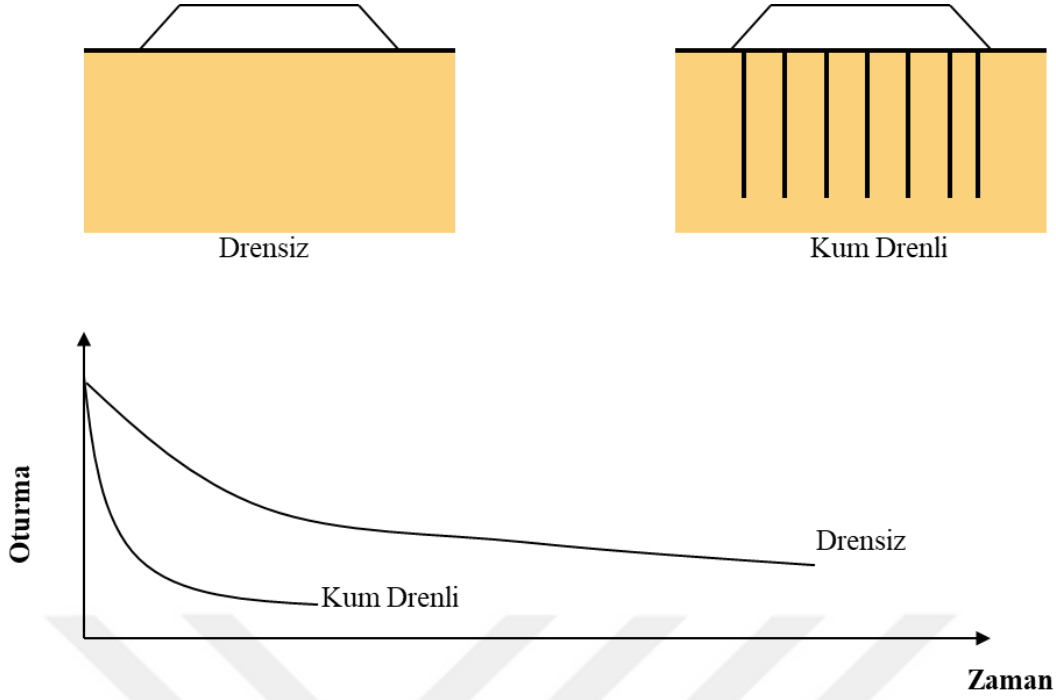
Dolgu yükü; normal olarak inşası düşünülen yapının toplam yüküne yakın veya zeminin emniyetli taşıma gücünden biraz yüksek olabilir. Böyle bir dolgu, gerçek tasarımın meydana getirdiği beklenen oturma düzeyine hızlıca ulaşmak, yapının imalatına bir an önce başlamayabilmek için geniş bir şekilde inşa edilir.



Şekil 3.6 İnşaat Sahasında PDD Yatay Olarak Bağlanan Şerit Drenlerin Yerleştirilmesi (Nicholson 2015).

Eğer temel zeminine uygulanan toplam yük zemine ait ön konsolidasyon basıncından oldukça yüksek olursa, kum drenli veya drensiz sadece hesapla tahmin edilen oturmanın oluşmasına etkilidir.

Düşey kanallar sırayla kurulur. Oturmayı hızlandırmak, yumuşak kohezyonlu zeminleri güçlendirmek için inşa edilir. Düşey kanallar olmadığında dolgu yerleştirme süresince taşıma kırılmaları meydana gelebilir. Killi zeminlerin oturması uzun yıllara yayılabilir.



Şekil 3.7 Prefabrike Düşey Drenli ve Drensiz Durumlarda Zeminde Meydana Gelen Oturma (Hausmann 1990).

Ön yüklemeyle, kum drenlerinin asıl yararlı etkileri, kum drensiz ve kum drenli zemindeki oturmanın zamana bağlı Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Ön yükleme; toplam ve farklı oturmaları azaltır. Temel sistemlerinin seçiminde ekonomik olarak uygun olabilir. Kum drenleri oturma sürecini hızlandırır fakat uygulanan yük altında oluşan toplam deformasyonu azaltmaz hatta arttırabilir.

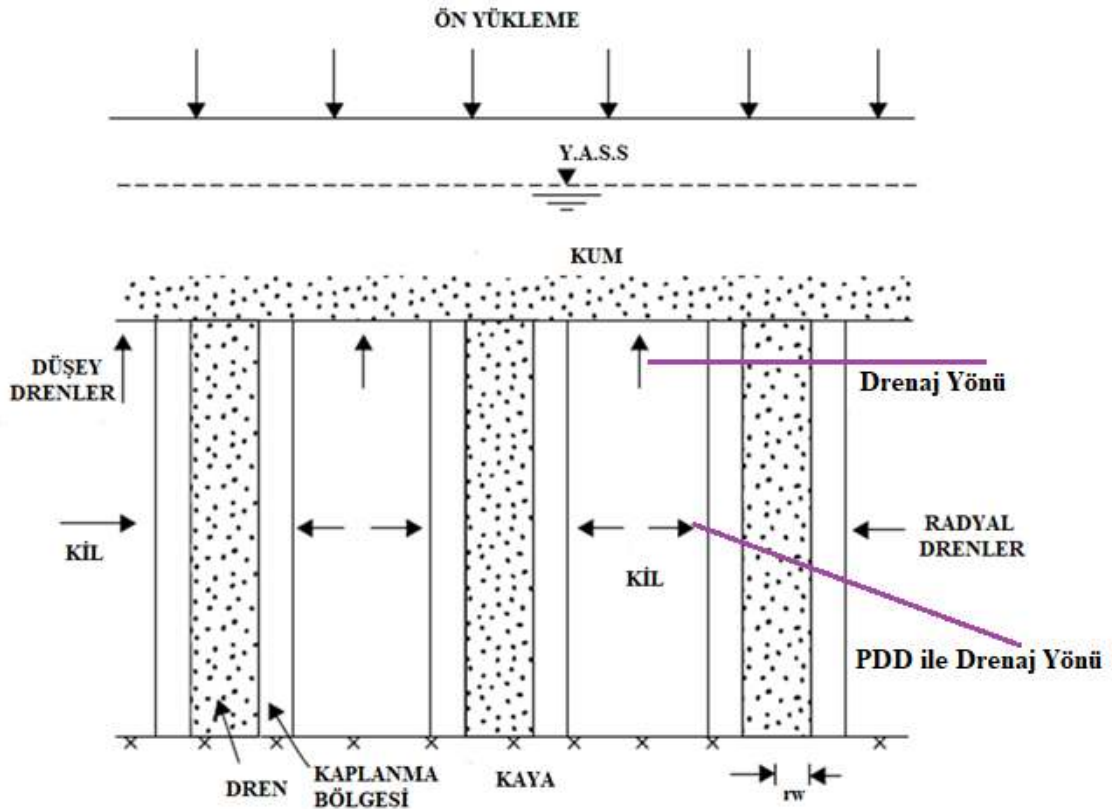
Yumuşak zemine oturan ön yükleme dolgularıyla ilgili konsolidasyon teorilerinin açıklamaları ve düşey drenajların sağladıkları uygulamalara dikkate alındığın da. zaman koşullarıyla, verilen izin verilebilir oturmalara bağlı olarak hesaplanan drenaj boşluklarının optimizasyonları için, boşluk suyu basıncı değişimiyle tahmin edilen oturma değerleri için bizi yönlendirir.

Ön yükleme teknolojisiyle, çok etkin drenlerin kurulum metotları hızlı gelişim göstermesinden dolayı, ön yüklemeyle kum drenlerinin kullanımı, derin temellerin ya da zemin iyileştirme metotlarının en ekonomik alternatifine haline gelmiştir. Düşey drenler, tıpkı yumuşak zeminler üzerindeki otoyol toprak dolguları gibi, kalıcı dolguların inşasında yararlı şekilde kullanılırlar. Eğer aşırı yükleme kalıcı ya da sadece geçiciyse temel tasarım kuralları aynıdır. Düşey drenler sadece birincil konsolidasyonu hızlandırır. Çünkü bunun (birincil konsolidasyon) su

alçalmasıyla ilişkisi vardır. İkincil konsolidasyon çok az bir suyun zeminden drene olmasına neden olur. Bu nedenle ikincil oturma kum drenleriyle hızlandırılmaz.

Yüksek dayanımlı geosentetik tabakalarla güçlendirilmiş, kum drenleriyle birleştirilmiş sistemler de vardır. Böyle bir uygulamayla taşıma gücü çok düşük (kayma gerilmesi <5 kpa) zeminlerde bile uygulanabilirler (Hausmann 1990). Kil tabakasıyla, çok ince kumlar ya da silt tabakalarının olduğu yerlerde kum drenleri özellikle etkilidir. Kum dreniyle aynı etkiyi yaratan fakat güncel kullanımı daha yaygın, nakliyesi, uygulaması ve maliyeti daha düşük olan prefabrike düşey drenlerin 5- 10 cm aralığında ki boyutluları, 30-60 cm kum dreni etkisi sağlamaktadır.

Drenli ve ön yüklemeli zemin iyileştirme sistemleri için yapılan proje ve tasarımlarda, zemin parametrelerinin hesaplanması gerekir. Buda araziden alınan iyi bir örneklem örselenmemiş numunenin konsolidasyon teorisi ile çözümünü mümkün kılınmaktadır.



Şekil 3.8 Prefabrike Düşey Drenli Zemin ve Özellikleri. (Das 1997).

Konsolidasyon hızını arttırmak için kil tabakasının içine Şekil 3.8’te gösterildiği gibi drenler yerleştirilirse fazla boşluk suyu basıncının sönümü düşey yöne ek olarak yanal yönde de oluşur. Yatay drenaj yolu uzunluğu drenleri arasındaki uzaklığın yarısına eşit olur. Kum drenlerinin yerleştirilme sıklığı da konsolidasyon hızını artırır.

Konsolidasyonun serbest düşey birim kısalma koşullarında olduğu varsayımıyla üç boyutlu konsolidasyon denklemi aşağıdaki gibi değişir.

$$\frac{\partial u_w}{\partial t} = c_v \times \left[\frac{\partial^2 u_w}{\partial z^2} \right] + c_h \times \left[\frac{\partial^2 u_w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \times \frac{\partial u_w}{\partial r} \right] \quad (3.1)$$

Bu denklemde süreci kontrol eden konsolidasyon katsayıları;

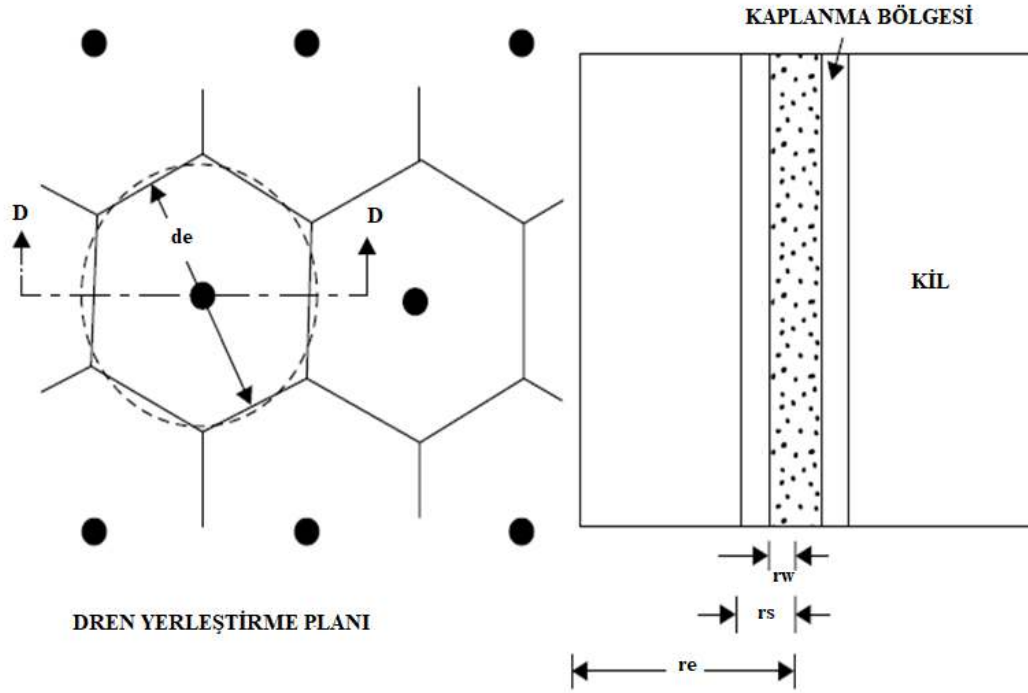
$$c_v = \frac{k \times (1 + e)}{\rho_w \times a_v} \quad (3.2)$$

$$c_h = \frac{k_h \times (1 + e)}{\rho_w \times a_v} \quad (3.3)$$

Denklem 3.2’yi doğrusal düşey ve düzlem yatay konsolidasyon denklemlerine ayırarak aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$c_v \times \frac{\partial^2 u_w}{\partial z^2} = \frac{\partial u_w}{\partial t} \quad (3.4)$$

$$c_v \times \left[\frac{\partial^2 u_w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \times \frac{\partial u_w}{\partial r} \right] = \frac{\partial u_w}{\partial t} \quad (3.5)$$



Şekil 3.9 Kum Drenlerinin Yerleştirme Planı (Das 1997).

Düşey yönde konsolidasyon için ortalama konsolidasyon yüzdesi U_z , aynı zamanda yatay akım için ortalama konsolidasyon yüzdesi U_r ise, her iki yönde bileşik akım için konsolidasyon yüzdesi U_{vr} aşağıdaki denklemden çıkarılır.

$$(1 - U_{vr}) = (1 - U_z) \times (1 - U_r) \quad (3.6)$$

Genel konsolidasyon denkleminin çözümü elde edildiğinden U_{vr} 'yi tarif etmek için denklem 3.7' yi çözmek yeterlidir.

$$U_r = 1 - \sum_{\alpha=1}^{\infty} \frac{4U_1^2 \times (\alpha)}{\alpha^2 \times (n^2 - 1) \times [n^2 \times U_0^2 \times (\alpha n) - U_1^2 \times (\alpha)]} \times \exp(\alpha^2 \times n^2 \times T_r) \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.7' deki simgeler;

$$U_1(\alpha) = J_1(\alpha) \times Y_0(\alpha) - Y_1(\alpha) \times J_0(\alpha) \quad (3.8)$$

$$U_0(\alpha n) = J_0(\alpha n) \times Y_0(\alpha) - Y_0(\alpha n) \times J_0(\alpha) \quad (3.9)$$

J_0, J_1 : birinci türden sıfır ve birinci derece Bessel fonksiyonları

Y_0, Y_1 : ikinci türden sıfır ve birinci derece Bessel fonksiyonları

α_1, α_2 : $J_1(\alpha n) \times Y_0(\alpha) - Y_1(\alpha n) \times J_0(\alpha)$ ifadesini sağlayan Bessel fonksiyonlarının kökleri

$$\text{Çap oranı} = n = \frac{r_e}{r_w} \quad (3.10)$$

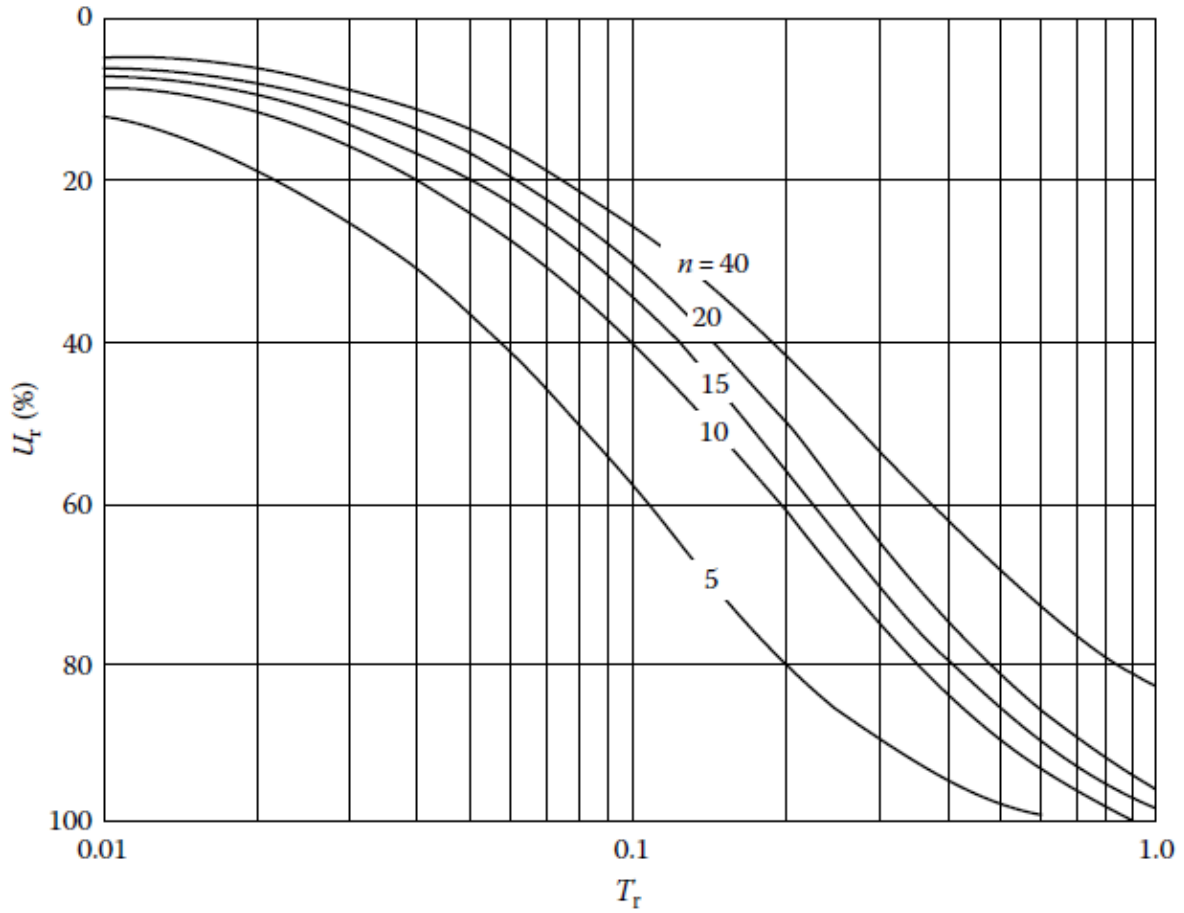
r_e : dren' in etki yarıçapı, r_w : dren' in yarıçapı olarak tarif edilmiştir. (Önalp 2002)

$$T_r = \frac{c_h \times t}{r_e^2} \quad (3.11)$$

Çap oranı n'nin belirlenmiş bir değeri ve radyal zaman faktörünün verilen değerlerine karşılık olan ortalama radyal konsolidasyon katsayıları hesaplanabilir. Bu hesaplamanın sonucunda şekil 3.10 de görüldüğü gibi n'nin değeri azaldıkça, yani dren aralıkları arttıkça konsolidasyon hızı beklendiği şekilde artmaktadır.

Eşit düşey birim kısalma olduğunda konsolidasyon denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{\partial \bar{u}_w}{\partial t} = c_v \times \left[\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] + c_r \left[\frac{\partial^2 u_w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \times \frac{\partial u_w}{\partial r} \right] \quad (3.12)$$



Şekil 3.10 Radyal Konsolidasyon Yüzdesi – Zaman Faktörü Grafiği (Önalp 2002).

$\bar{u}_w$ herhangi bir derinlikte ortalama fazla boşluk suyu basıncıdır. Sadece radyal akım söz konusuysa denklem 3.13 elde edilir.

$$\frac{\partial \bar{u}_w}{\partial t} = c_r \times \left[\frac{\partial^2 u_w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \times \frac{\partial u_w}{\partial r} \right] \quad (3.13)$$

Bu çalışmada farklı n(çap oranı) sayıları ile çözümler yapılmıştır. Dren çapı sabit tutulmuş bu sebeple de eşitlik 3. 10'dan anlaşılacağı gibi etki çapı yani dren aralıkları değiştirilmiştir. Ayrıca tabakalanma bölgesi '1' olarak alınmış yani tabakalanma etkisi ihmal edilmiştir. $r_s=r_w$ olarak tasarım ve çözüm yapılmıştır (Şekil 3.10). (n) aralıkları ve taban basınç dayanımı özellikleri ile yapılan çalışmalar 4. Bölümde ayrıntılı açıklanmıştır.



BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada doğal yapısı yumuşak kil tabakaları barındıran arazide ki jeolojik yapı kullanılmıştır. Kullanılan zemin tabakalarının tanımlama deneyleri yapılmış ve araziden alınan örselenmemiş örnekler konsolidasyon deneyine tabi tutulmuştur. Konsolidasyon deneyinden elde edilen konsolidasyon karakteristikleri ile teorik hesabı içinde barındıran geoteknik yazılımı Settle 3D versiyon 3.020 kullanılarak yapı temeli altındaki konsolidasyon oturmaları hesaplanmıştır.

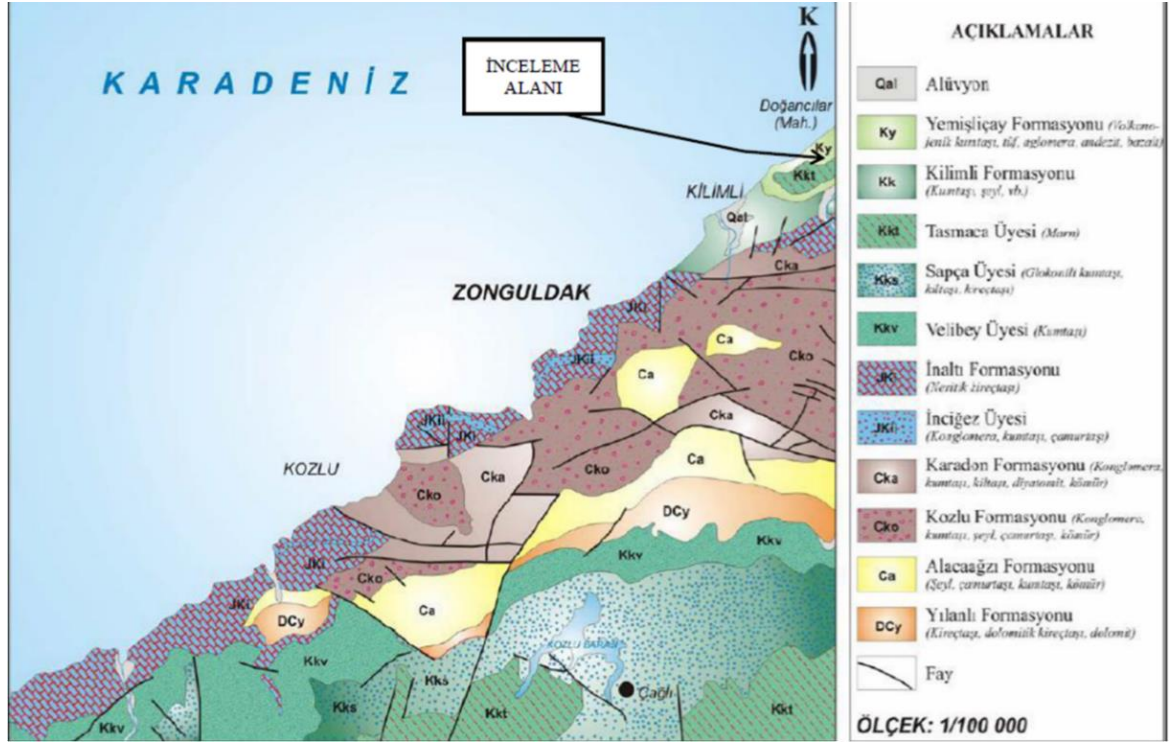
4.1 ARAŞTIRMADA KULLANILAN MALZEME

Çalışma arazisi, Zonguldak İli, Kilimli İlçesi, Çatalağzı Beldesi'nde bulunan termik santraller bölgesindedir. Şekil 4.1'de sondaj çalışması yapılan bölgenin uydu görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.1 Çalışma Alanı.

Çalışma alanının jeolojik formasyonu çok seyrek olarak tuf katkılı marn, kumtaşı, kil taşı ardalanması gösteren mavimsi - gri, koyu gri rengi ile karakteristik, ince-orta katmanlı bir birimdir. Taneler iyi çimentolaşmamış, oldukça dağınık olup hava ile temasta kolayca ayrışır ve dağılır niteliktedir. Tabaka kalınlığı 1 cm ile 20 cm arasında değişiklik gösterir. Şekil 4.2’de çalışma alanının genel jeoloji haritası verilmiştir.



Şekil 4.2 Çalışma Alanının Genel Jeoloji Haritası.

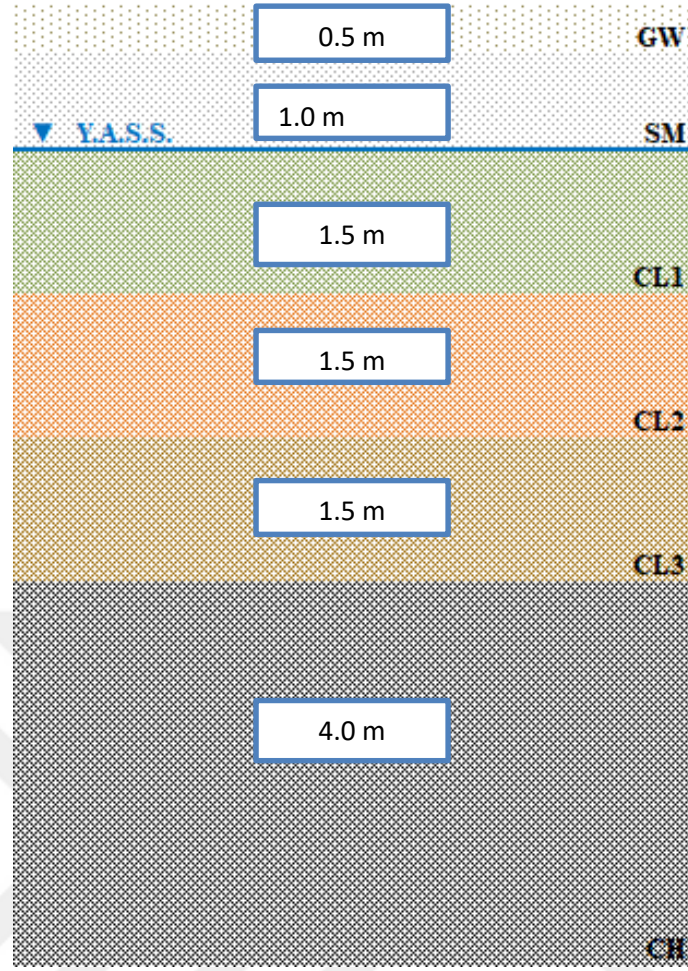
Malzeme araziden örselenmemiş olarak alınıp, taşınma sırasında su içeriğini kaybetmeyecek şekilde Z.B.E.Ü. İnşaat Mühendisliği Araştırma Laboratuvarına getirilmiştir. Numunenin fiziksel özelliklerini öğrenmek amacıyla bir kısmı örselenerek özgül ağırlık (ASTM D854-14 2014), kıvam limitleri (ASTM D4318 2010) ve hidrometre (ASTM D7928 2017) deneyleri yapılmış olup, deney ve sınıflandırma (ASTM D2787 2017) sonuçları Çizelge 4.2’de verildiği gibidir. Ayrıca Şekil 4.3’te verilen yarı otomatik konsolidasyon deney seti kullanılarak; arazide farklı derinliklerden alınan örselenmemiş 3 adet düşük plastisiteli kil örneklerinin konsolidasyon deneyleri yapılmış olup sonuçları yine Çizelge 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.3 ZBEÜN İnşaat Mühendisliği Araştırma Laboratuvarındaki Konsolidasyon Deney Seti.

Her zemin için laboratuvar çalışmaları yapılmış, LL, PL, PI hesaplanmış, zeminler sınıflandırılmış, birim hacim ağırlıkları belirlenmiş, konsolidasyon parametreleri bölüm 4 içinde anlatılacak yöntemlerle elde edilmiştir.

Arazi yapısı incelendiğinde, binanın oturacağı zeminde 0.5 m kalınlığında iyi derecelenmiş çakıl, 1 m kalınlığında siltli kum 1.5x3 m kalınlığında farklı özelliklerdeki 3 farklı düşük plastisiteli kil ve en son katmanda 4m kalınlığında yüksek plastisiteli kil tabakası bulunmaktadır. Yeraltı su seviyesi yeryüzü seviyesinde 1.5 m altta kil tabakalarının üstünde başlamaktadır. Programa tanımlanan zemin profili Şekil 4.4' de verilmiştir.



Şekil 4.4 Arazi Zemin Profili.

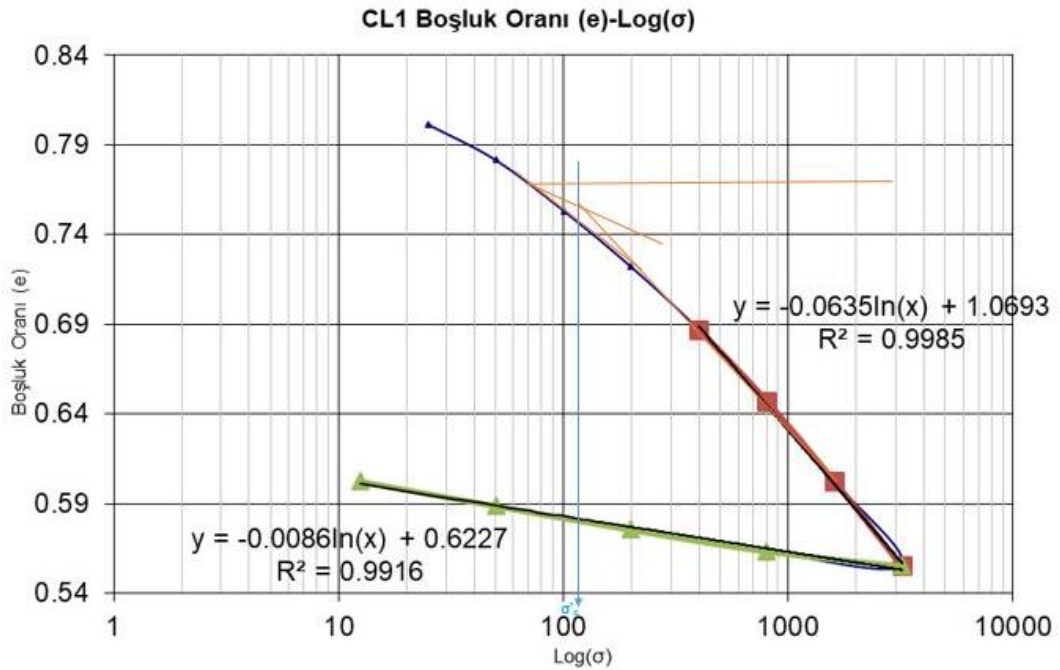
Konsolidasyon deneyi için araziden alınan örselenmemiş kil numuneleri Şekil 4.3'teki konsolidasyon deney setine yerleştirilip konsolidasyon karakteristikleri belirlenmiş ve bu sonuçlardan boşluk oranı-gerilme grafiği logaritmik eksenle çizilmiş ve 3 kil tabakası için C_c değerleri elde edilmiştir.

Yapılan tüm konsolidasyon deney sonuçları Çizelge 4.1-4.7'de özetlenmiştir. Konsolidasyon karakteristikleri bulunurken; ön konsolidasyon basıncının bulunmasında grafiksel yöntem olan Casagrande yöntemi, konsolidasyon katsayısı (C_v) bulunurken Taylor yöntemi kullanılmıştır.

CL1 zeminin deneysel verileri incelendiğinde doğal su içeriği %26.63, doğal ve doymuş birim hacim ağırlığı ($\gamma_d=\gamma_{sat}$) 18.45 kN/m^3 , Özgül ağırlığı (G_s) 2.65, doğal boşluk oranı (e_0) 0.874 bulunmuştur. Konsolidasyon deneyinden ise bakır sıkışma katsayısı (C_c) 0.146, yeniden sıkışma katsayısı (C_r) 0.020, ve hayatı boyunca aldığı maksimum konsolidasyon gerilmesi (Ön konsolidasyon basıncı) σ'_p 110 kN/m^2 olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.1- 4.2, Şekil 4.5- 4.6).

Çizelge 4.1 CL1 Kiline Ait Bulunan Konsolidasyon Katsayıları.

ΔH_i (mm)	H_i (mm)	e_i	P (kPa)
0.000	20.000	0.874	0
0.775	19.225	0.801	25
0.986	19.014	0.781	50
1.287	18.713	0.753	100
1.621	18.379	0.722	200
1.994	18.006	0.687	400
2.419	17.581	0.647	800
2.895	17.105	0.603	1600
3.401	16.599	0.555	3200
3.314	16.686	0.563	800
3.185	16.815	0.575	200
3.044	16.956	0.589	50
2.897	17.103	0.602	12.5

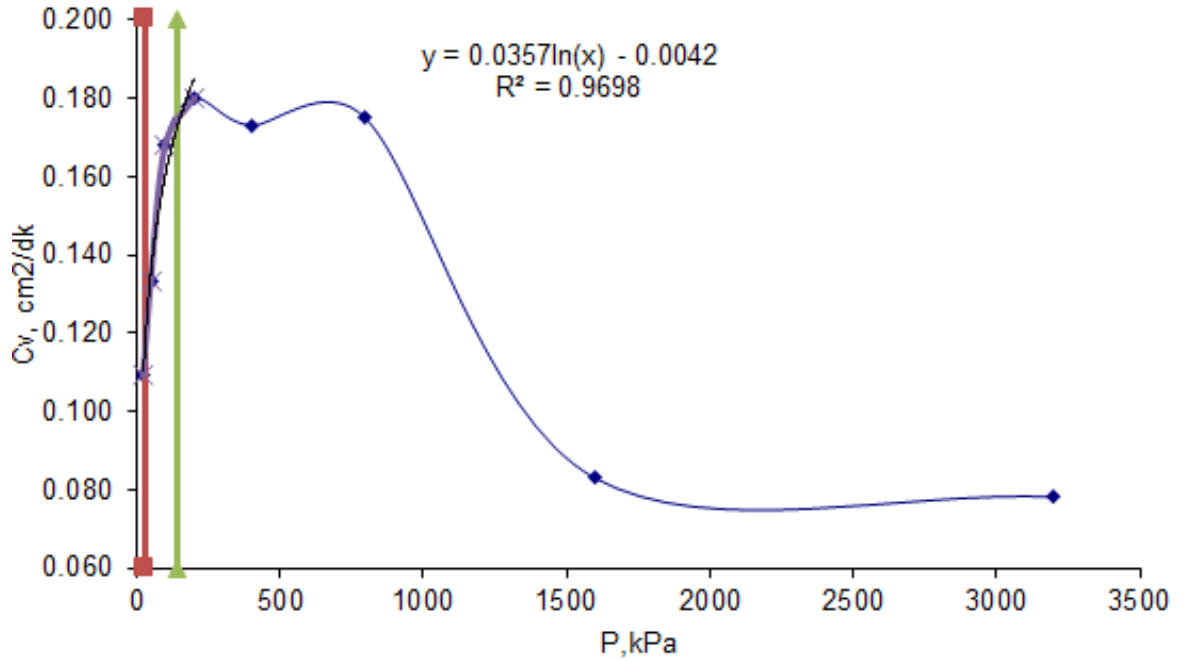


Şekil 4.5 CL1 Kiline Ait Gerilme- Boşluk Oranı İlişkisi.

Örneğe ait konsolidasyon katsayıları her bir yük kademesi için ayrı ayrı hesaplanarak gerilmeye karşılık değerleri Çizelge 4.2’de listelenmiş ve Şekil 4.6 çizilmiştir. Şekil 4.6’ dan da görüldüğü üzere C_v katsayısı sabit bir değer değildir. Bundan dolayı oturma-zaman hesaplamaları için C_v seçiminde arazideki CL1 zeminin katman kalınlığının orta noktasındaki efektif gerilme ile yapıdan gelen gerilme toplanarak başlangıç gerilme ile yapıdan sonra oluşacak son gerilme aralığına denk gelen ortalama c_v değerini Şekil 4.6’ dan bulunmuştur. Bu ortalama C_v değeri $0.02128 \text{ m}^2/\text{gün}$ ’dür.

Çizelge 4.2 CL1 Kiline Ait Bulunan Konsolidasyon Katsayıları.

P	C_v
kPa	cm^2/dk
25	0.109386
50	0.133237
100	0.168285
200	0.180127
400	0.173108
800	0.175051
1600	0.083227
3200	0.078459

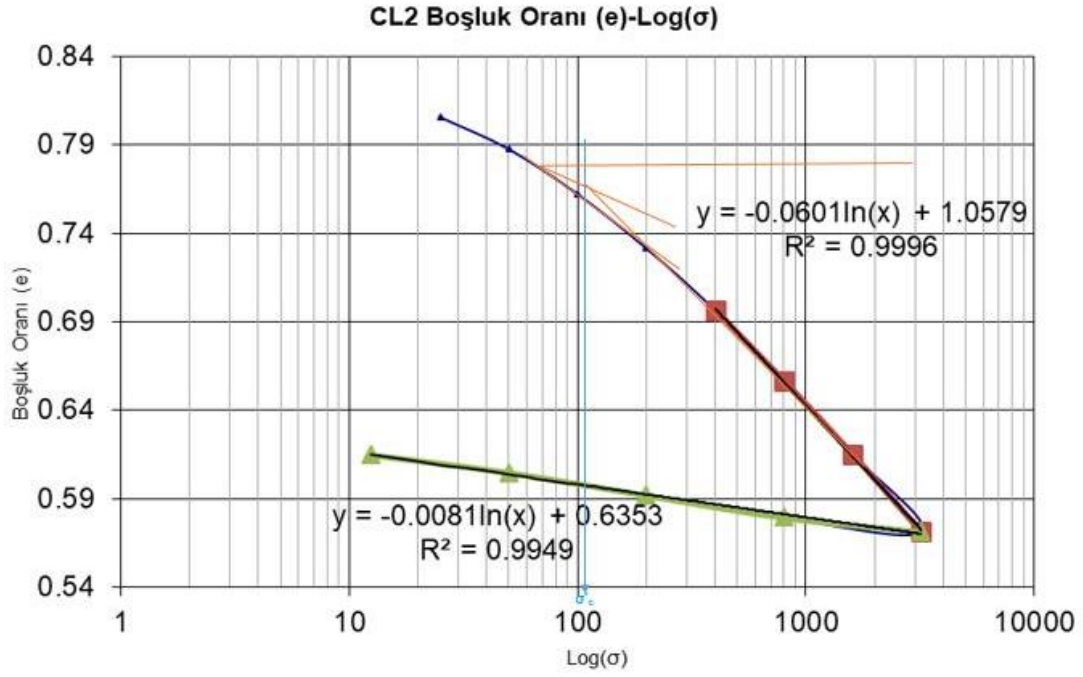


Şekil 4.6 CL1 Kiline Ait Basınç Konsolidasyon Katsayısı İlişkisi.

CL2 zeminin deneysel verileri incelendiğinde doğal su içeriği %21.03, doğal ve doygun birim hacim ağırlığı ($\gamma_d=\gamma_{sat}$) 18.47 kN/m³, Özgül ağırlığı (Gs) 2.65, doğal boşluk oranı (e_0) 0.870 bulunmuştur. Konsolidasyon deneyinden ise bakir sıkışma katsayısı (C_c) 0.138, yeniden sıkışma katsayısı (C_r) 0.019, ve hayatı boyunca aldığı maksimum konsolidasyon gerilmesi (Ön konsolidasyon basıncı) σ'_p 105 kN/m² olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.3-4.4, Şekil 4.7-4.8).

Çizelge 4.3 CL2 Kiline Ait Bulunan Konsolidasyon Katsayıları.

ΔH_i (mm)	H_i (mm)	e_i	P (kPa)
0.000	20.000	0.874	0
0.692	19.308	0.806	25
0.885	19.115	0.788	50
1.157	18.843	0.762	100
1.484	18.516	0.732	200
1.858	18.142	0.697	400
2.284	17.716	0.657	800
2.728	17.272	0.615	1600
3.196	16.804	0.571	3200
3.110	16.890	0.580	800
2.976	17.024	0.592	200
2.840	17.160	0.605	50
2.732	17.268	0.615	12.5

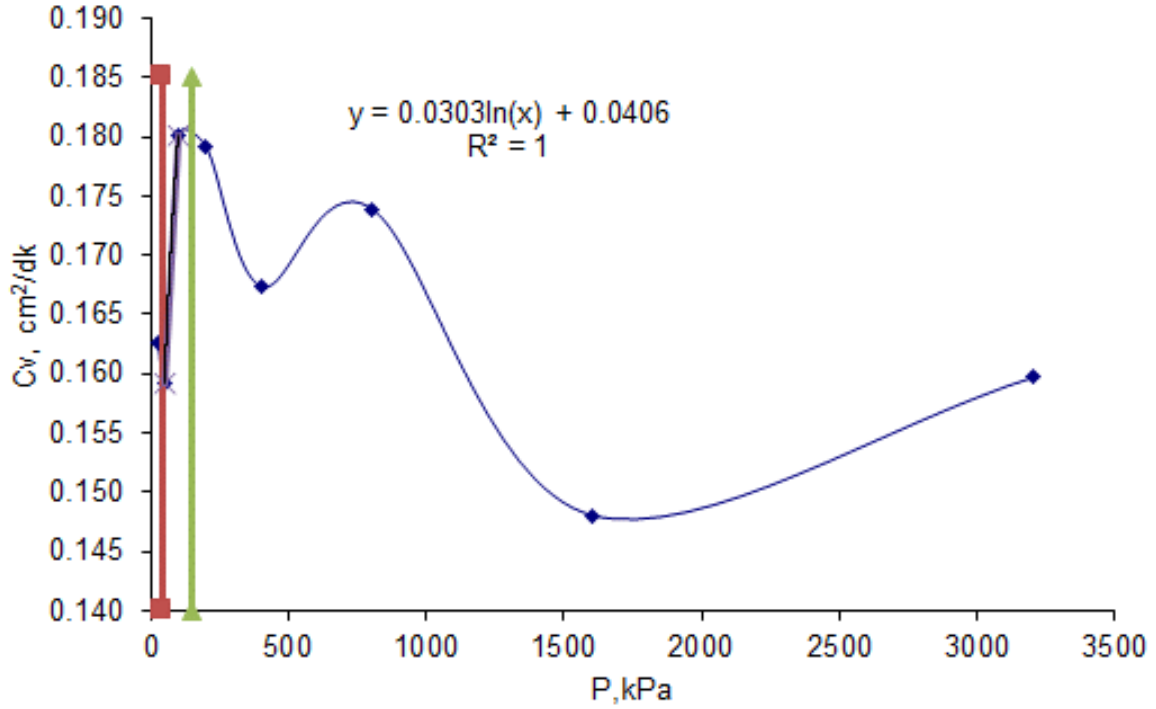


Şekil 4.7 CL2 Kiline Ait Gerilme-Boşluk Oranı İlişkisi.

Örneğe ait konsolidasyon katsayıları her bir yük kademesi için ayrı ayrı hesaplanarak gerilmeye karşılık değerleri **Çizelge 4.4’de listelenmiş** ve Şekil 4.8 çizilmiştir. Şekil 4.8’den de görüldüğü üzere C_v katsayısı sabit bir değer değildir. Bundan dolayı oturma-zaman hesaplamaları için C_v seçiminde arazideki CL2 zeminin katman kalınlığının orta noktasındaki efektif gerilme ile yapıdan gelen gerilme toplanarak başlangıç gerilme ile yapıdan sonra oluşacak son gerilme aralığına denk gelen ortalama c_v değerini Şekil 4.8’den bulunmuştur. Bu ortalama C_v değeri $0.024517 \text{ m}^2/\text{gün}$ ’dür.

Çizelge 4.4 CL2 Kiline Ait Bulunan Konsolidasyon Katsayıları.

P	C_v
kPa	cm^2/dk
25	0.162527
50	0.15919
100	0.180195
200	0.179125
400	0.167351
800	0.173925
1600	0.148027
3200	0.159683

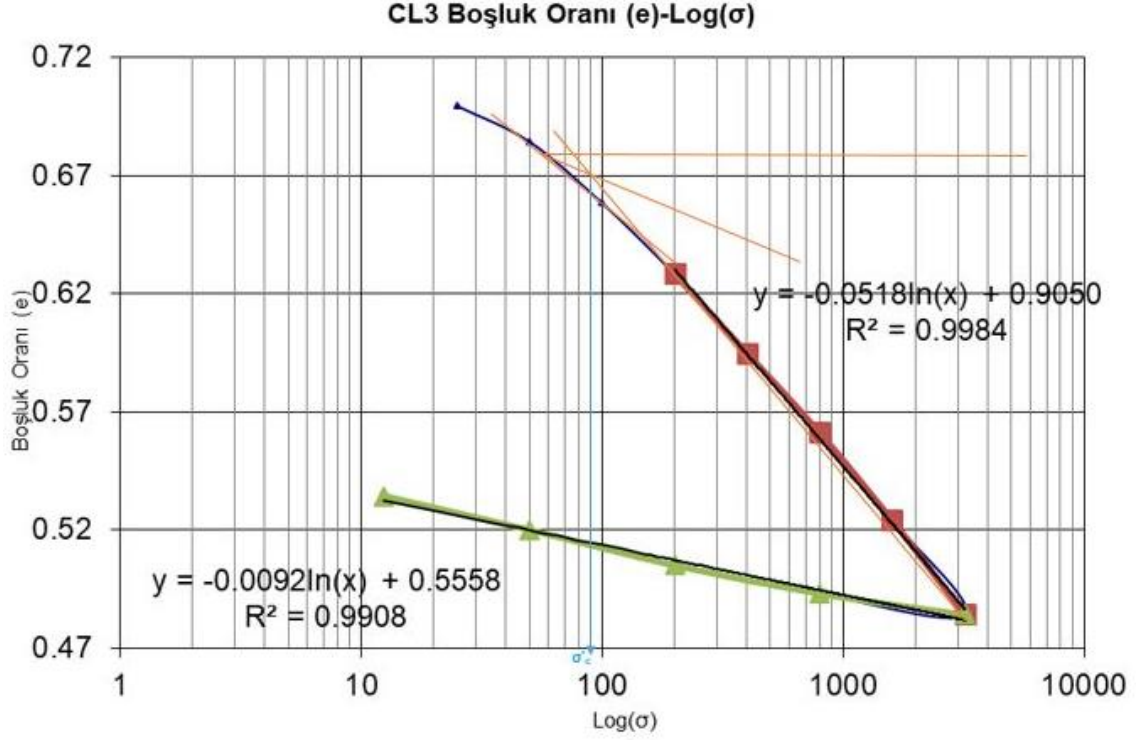


Şekil 4.8 CL2 Kiline Basınç Konsolidasyon Katsayısı İlişkisi.

CL3 zeminin deneysel verileri incelendiğinde doğal su içeriği %16.90, doğal ve doymuş birim hacim ağırlığı ($\gamma_d=\gamma_{sat}$) 19.05 kN/m³, Özgül ağırlığı (Gs) 2.65, doğal boşluk oranı (e_0) 0.751 bulunmuştur. Konsolidasyon deneyinden ise bakır sıkışma katsayısı (C_c) 0.119, yeniden sıkışma katsayısı (C_r) 0.021, ve hayatı boyunca aldığı maksimum konsolidasyon gerilmesi (Ön konsolidasyon basıncı) σ'_p 90 kN/m² olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.5-4.6, Şekil 4.9-4.10).

Çizelge 4.5 CL3 Kiline Ait Bulunan Konsolidasyon Katsayıları.

ΔH_i (mm)	H_i (mm)	e_i	P (kPa)
0.000	20.000	0.751	0
0.591	19.409	0.700	25
0.764	19.236	0.684	50
1.060	18.940	0.659	100
1.404	18.596	0.628	200
1.787	18.213	0.595	400
2.171	17.829	0.561	800
2.594	17.406	0.524	1600
3.052	16.948	0.484	3200
2.950	17.050	0.493	800
2.814	17.186	0.505	200
2.643	17.357	0.520	50
2.480	17.520	0.534	12.5

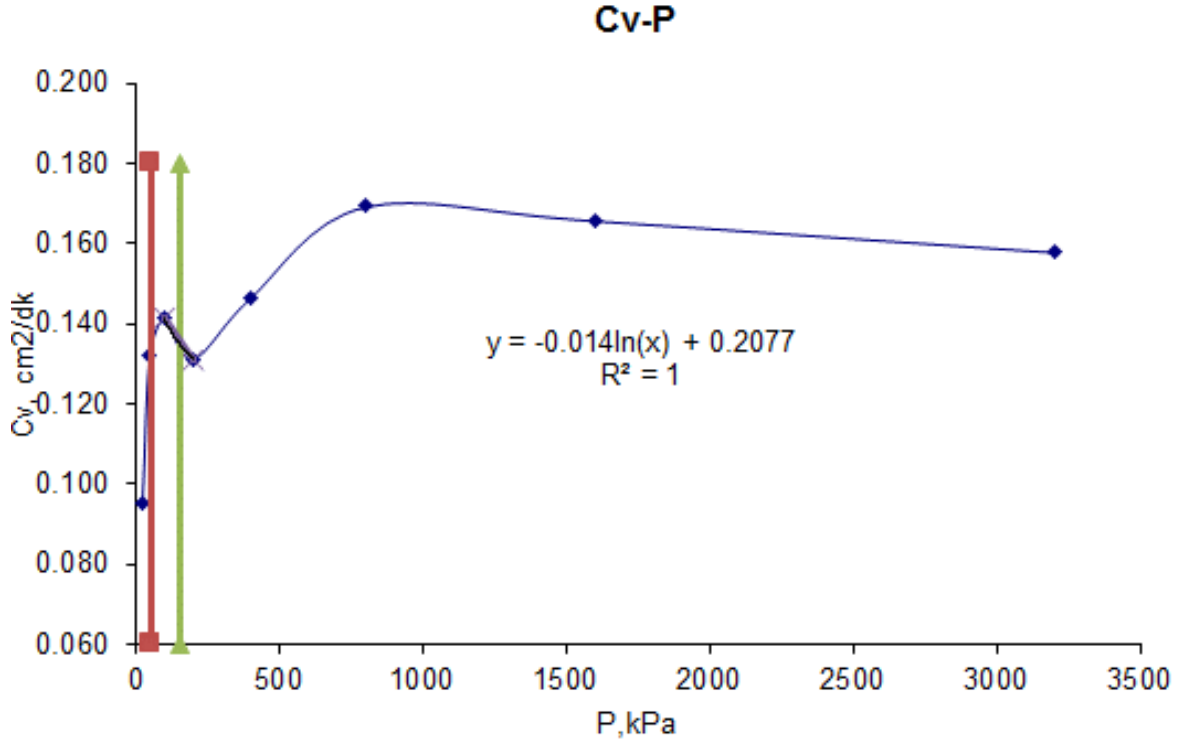


Şekil 4.9 CL3 Kiline Ait Gerilme-Boşluk Oranı İlişkisi.

Örneğe ait konsolidasyon katsayıları her bir yük kademesi için ayrı ayrı hesaplanarak gerilmeye karşılık değerleri **Çizelge 4.6'da listelenmiş** ve Şekil 4.10 çizilmiştir. Şekil 4.10'dan da görüldüğü üzere C_v katsayısı sabit bir değer değildir. Bundan dolayı oturma-zaman hesaplamaları için C_v seçiminde arazideki CL3 zeminin katman kalınlığının orta noktasındaki efektif gerilme ile yapıdan gelen gerilme toplanarak başlangıç gerilme ile yapıdan sonra oluşacak son gerilme aralığına denk gelen ortalama c_v değerini Şekil 4.10'dan bulunmuştur. Bu ortalama C_v değeri $0.019428 \text{ m}^2/\text{gün}$ 'dür.

Çizelge 4.6 CL3 Kiline Ait Bulunan Konsolidasyon Katsayıları.

P	C_v
kPa	(cm^2/dk)
25	0.09535883
50	0.1321418
100	0.14130254
200	0.13130895
400	0.14649942
800	0.16936934
1600	0.16587336
3200	0.15799917

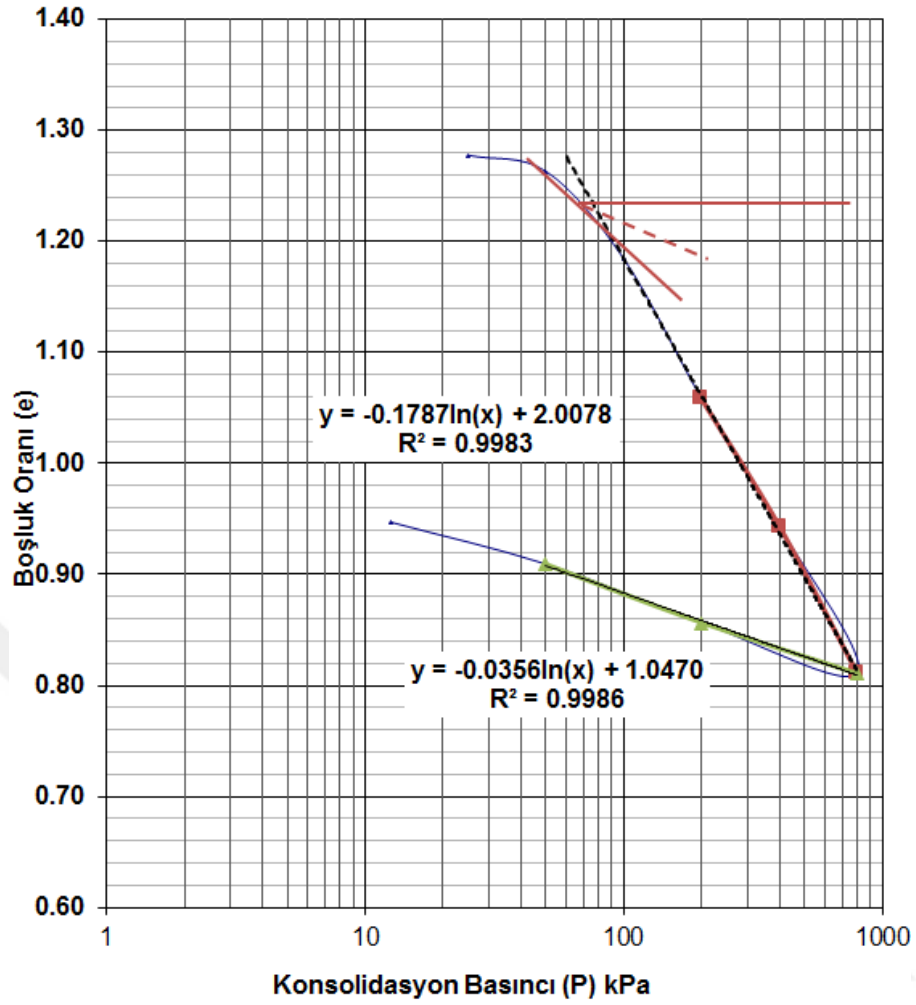


Şekil 4.10 CL3 Kiline Basınç Konsolidasyon Katsayısı İlişkisi.

CH zeminin deneysel verileri incelendiğinde doğal su içeriği %16.90, doğal ve doymuş birim hacim ağırlığı ($\gamma_d=\gamma_{sat}$) 17.11 kN/m³, Özgül ağırlığı (Gs) 2.70, doğal boşluk oranı (e_0) 1.285 bulunmuştur. Konsolidasyon deneyinden ise bakir sıkışma katsayısı (C_c) 0.411, yeniden sıkışma katsayısı (C_r) 0.082, ve hayatı boyunca aldığı maksimum konsolidasyon gerilmesi (Ön konsolidasyon basıncı) σ'_p 75 kN/m² olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.7-4.8, Şekil 4.9-4.10).

Çizelge 4.7 CH Kiline Ait Bulunan Konsolidasyon Katsayıları

ΔH_i (mm)	H_i (mm)	e_i	P (kPa)
0.000	20.185	1.280	0
0.020	20.165	1.278	25
0.150	20.035	1.263	50
0.850	19.335	1.184	100
1.965	18.220	1.058	200
2.982	17.203	0.943	400
4.158	16.027	0.810	800
3.750	16.435	0.856	200
3.285	16.900	0.909	50
2.950	17.235	0.947	12.5

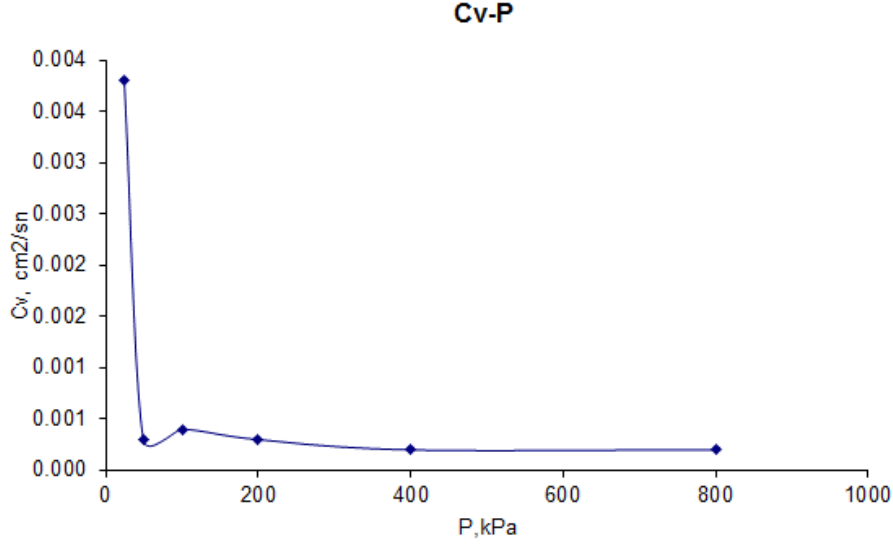


Şekil 4.11 CH Kiline Ait Gerilme-Boşluk Oranı İlişkisi.

Örneğe ait konsolidasyon katsayıları her bir yük kademesi için ayrı ayrı hesaplanarak gerilmeye karşılık değerleri Çizelge 4.8’de listelenmiş ve Şekil 4.12 çizilmiştir. Şekil 4.10’dan da görüldüğü üzere C_v katsayısı başlangıç gerilmelerde yüksek değerlerde iken gerilme artımı ile yaklaşık sabit değerler almaktadır. Bundan dolayı oturma-zaman hesaplamaları için C_v ortalama olarak alınmıştır. Bu ortalama C_v değeri $0.0029 \text{ m}^2/\text{gün}$ ’dür.

Çizelge 4.8 CH Kiline Ait Bulunan Konsolidasyon Katsayıları

P	C_v
kPa	cm^2/dk
25	0.0038
50	0.0003
100	0.0004
200	0.0003
400	0.0002
800	0.0002



Şekil 4.12 CH Kiline Basınç Konsolidasyon Katsayısı İlişkisi.

Zeminler oluşumlarından dolayı yapısal anizotropiye sahiptirler. Özellikle sedimente olan zemin tabakalarının yatay permeabiliteleri (k_h), düşey permeabiliteleri (k_v) değerlerinden çok daha yüksektir. Bundan dolayı konsolidasyon katsayıları da düşey ve yatay yönde birbirlerinden farklıdır ($C_h > C_v$). Levadoux ve Baligh (1986) arazide yaptıkları CPT deneylerinden Denklem 3.1’de verilen ilişkiyi bulmuşlardır.

$$C_{v(NC)} = \frac{k_v}{k_h} C_{h(NC)} \quad (4.1)$$

Bununla beraber Abu-Farsakh et al. 2004’de zemin tabakalarının dizilimleri ve jeolojik oluşumlarına göre Çizelge 4.9’daki oranları önermektedir. Bu çalışmada çok tabakalı ve araya gömülmüş kil tabakalarına rastlandığı için k_h/k_v oranını CH tabakası için 3 almak uygun görülmüş ve tüm modellerde malzeme özelliklerinde CH için k_h/k_v oranı 3 olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 4.9 Killerin Anizotropik Permeabilite Oranları (Abu-Farsakh et al. 2004).

Kil yapısı	k_h/k_v
Tabakalanma hakkında hiçbir bilgi yoksa	1-1.5
Ufak tabakalanma özellikle birbirini takip etmeyen lensler ve daha geçirgenli tabakalanma ile karışmış sedimenter killer	2-4
<u>Çok tabakalı killer ve daha çok veya daha az geçirimli tabakaların arasına gömülmüş tabakalı killer</u>	3-5

Bütün deneysel çalışmalardan elde edilen zemin parametreleri Settle3D programında girdi olarak kullanılmıştır. Bütün parametre girdileri Çizelge 4.10'daki özetlenmiştir. İlk iki tabaka arazi zemin profili hatırlanacak olursa kaba daneli dolgudur. Oturma hesaplamalarında bu iki tabakanın ani oturma yapacağından dolayı oturma miktarları ihmal edilmiştir. Bilindiği üzere bu tip zeminler inşaat sırasında özellikle ilk bir yıl içinde otuma değerlerinin %90'nı tamamlarlar. Bundan dolayı bu oturmanın zamana bağlı değildir.

Çizelge 4.10 Arazi Deney Bulguları ve Hesaplanan Parametreler.

Sıra No		1	2	3	4	5	6
Sondaj No		SK-1	SK-1	SK-1	SK-1	SK-1	SK-1
Numune No		SPT-1	SPT-2	SPT-3	UD-1	SPT-4	SPT-5
SPT Değerleri		Refü	2-2-2	2-1-1		1-1-1	0-0-1
Derinlik (m)		0-0.5	0.5-1.5	1.5-3.0	3.0-4.5	4.5-6.0	6.0-10.0
Atterberg Limitleri	LL (%)	NP	NP	24	35	47	79
	PL (%)	NP	NP	20	24	27	23
	PI (%)	NP	NP	4	11	20	56
Sınıflama		GW	SM	CL	CL	CL	CH
Doğal Su İçeriği	(%)	8.12	22.10	28.63	21.03	16.90	51.35
Doğal Birim Hacim Ağırlık	kN/m ³	15.45	14.21	18.45	18.47	19.05	17.11
Özgül Ağırlık		2.60	2.60	2.65	2.65	2.65	2.70
Doygun Birim Hacim Ağırlık	kN/m ³	19.40	18.66	18.45	18.47	19.05	17.11
Ön Konsolidasyon Basıncı		-	-	110	105	90	75
e ₀		-	-	0.874	0.870	0.751	1.285
Cc		-	-	0.146	0.138	0.119	0.411
Cr		-	-	0.020	0.019	0.021	0.082
Cv	m ² /gün	-	-	0.02128	0.024517	0.019428	0.0029

4.2 OTURMA HESABINDA SETTLE 3D’NİN KULLANIMI

4.2.1 Settle 3D Yazılımının Özellikleri

Bu çalışmada konsolidasyon hesabı yaptığımız Settle 3D programı düşey yükler altındaki konsolidasyon oturmasını hesaplar. Bu program ile çok karışık zemin profillerini bile rahatlıkla tanımlanabilir ve tanımlama esnasında zemin yapısı üç boyutlu olarak takip edilebilir. Zemindeki drenaj durumu, tasarlanan yük ayrıntıları ve malzeme dağılımları modellenenebilir.

Programda çeşitli temel türleri (dairesel, dikdörtgen, poligonal vb) tanımlanabilir. Yüklemeler çeşitli kademelerde tanımlanabilir ve herhangi bir derinliğe uygulanabilir. Hazırlanan zemin modeli üzerinde kazı yapmanın mümkün olduğu bu programda aynı zamanda kazı yapılan zemine yük yüklenebilir.

Oturma analizleri için gerekli zemin parametreleri kullanıcı verileri girilerek yapılabildiği gibi, programın kendi içerisinde yer alan örnek zeminlerin malzeme parametreleri incelenip kullanılabilir.

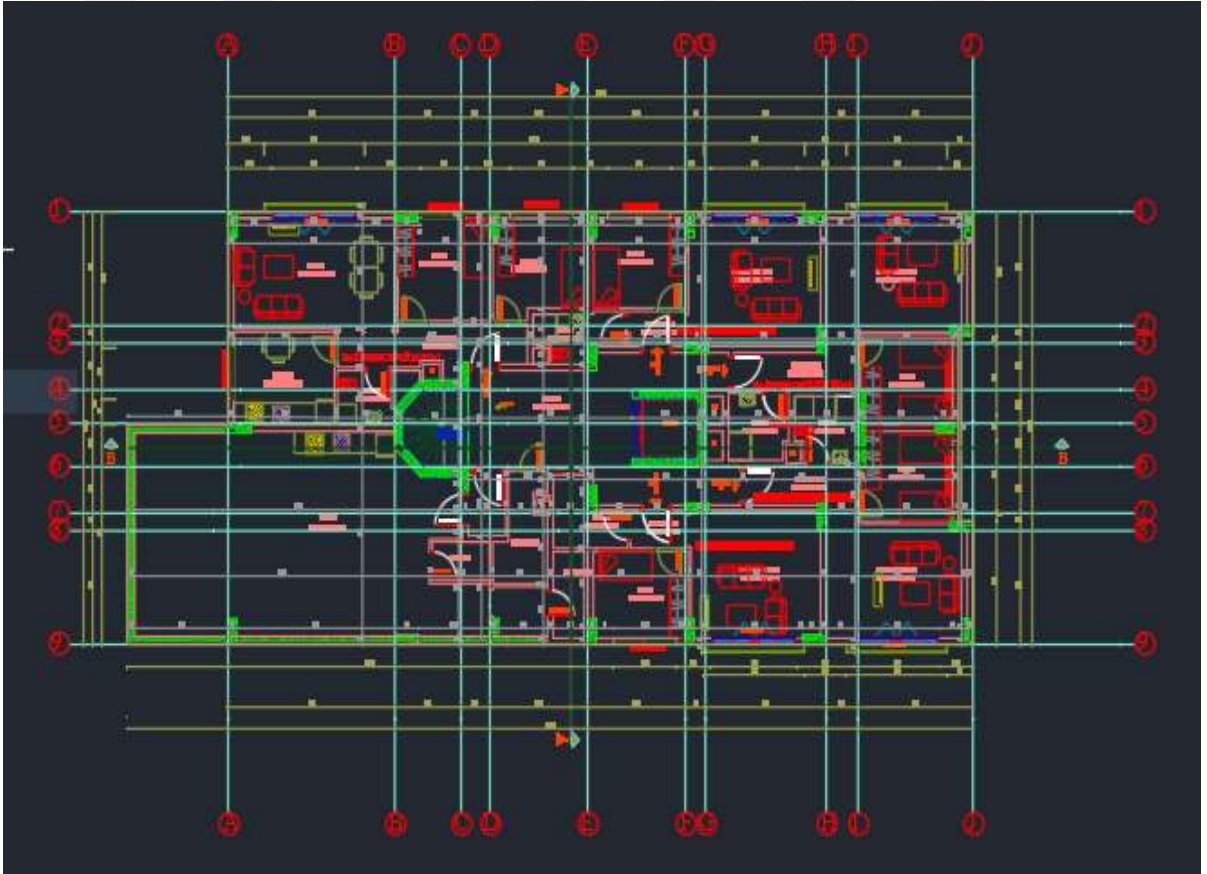
Tanımlanan zemin 3 boyutlu hacim olarak incelenebildiği için oturma, gerilme ve boşluk suyu basınç değerleri hesaplanabilir ve sonuçlar yatay veya düşey bir düzlemde ya da herhangi bir hat üzerinde gösterilebilir, deformasyon yine 3 boyutlu sunulabilir. İstenilen herhangi bir derinlikte veya noktada herhangi bir verinin grafiği çizilebilir. Sonuçlar rahatlıkla Excel programına aktarılabilir.

4.2.2 Settle 3D Yazılımında Oturma Hesabı

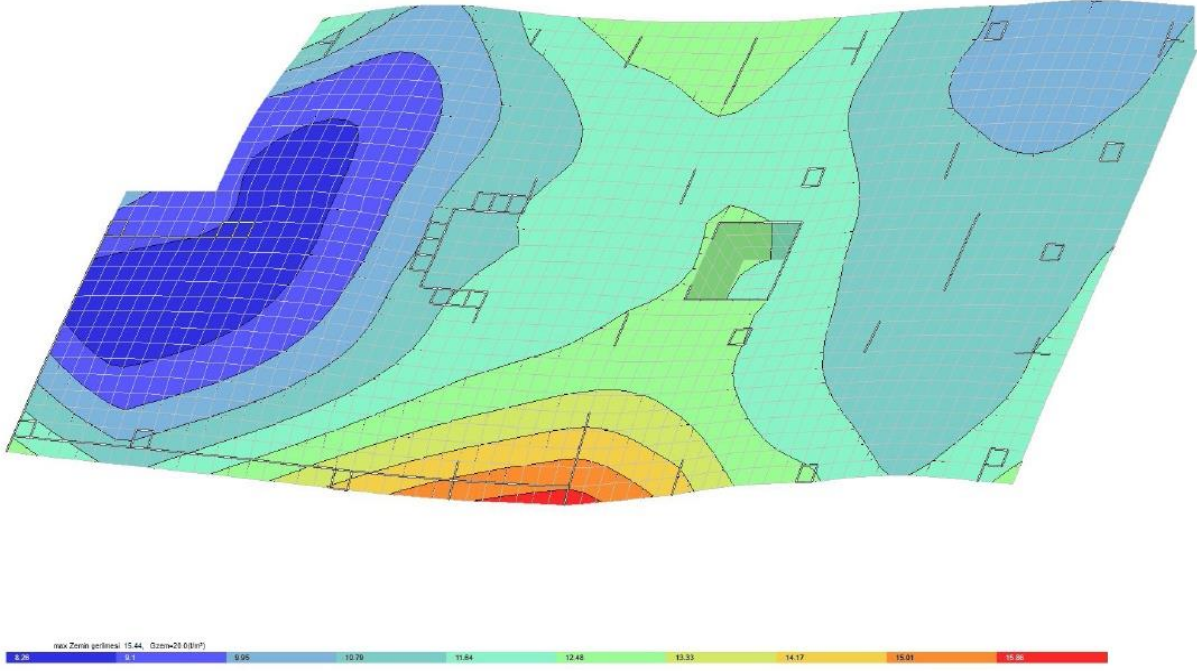
Bu çalışma kapsamında bir bina temeli altındaki zamana bağlı konsolidasyon oturmasını hesaplamak için literatürde yer alan teorik formüllerle hesaplama yapan Settle 3D yazılımı kullanılmıştır. Bölüm 3.2’de anlatılan zemin özellikleri programa tanımlanarak arazideki zemin tabakaları belirtilmiştir. Zemin tabakalarının üzerine uygulanacak bina temelinin geometrisi ve taban basıncı değerleri gerçekte uygulandığı gibi programda tanımlanmıştır. Settle 3D yazılımında kullanılan literatürlerde kabul görmüş gerilme dağılımı için geliştirilen teoriler aşağıda verildiği gibidir ve bu çalışmada Boussinesq Teoremi kullanılmıştır.

Bu çalışmada oturma analizini gerçekleştirmek amacıyla 349,23 m² taban alanına sahip 6 katlı bina temel geometrisi kullanılmıştır. Bina temeline ait taban basınçları ilgili statik rapordan uniform olmayan ve uniform taban basıncı altında olacak şekilde elde edilmiş olup Şekil 4.14’te verildiği gibi sonlu elemanlara bölünerek “SETTLE 3D v:3.020” yazılımı kullanılarak kodlanmıştır.

Settle 3D ile modellenen bina, Zonguldak- Kilimli İlçesi- Çatalağzı Belediyesi sınırları içinde şekil 4.1’de tanımlanan araziye oturtulması tasarlanan; 6 katlı bir yurt binası projesinin, bina yüksekliği 21.95-0.90 (temel)= 21.05 m olmakla birlikte, yapı toplam inşaat alanı 2286.20 m² ‘dir. Binanın örnek kat planı şekil 4.13’de gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Bina Örnek Kat Planı.



Şekil 4.14 Bina Temelinin Taban Basıncı Dağılımı.

Programla tanımlanan zemin profili Şekil 4.4’de gösterilmiş ve tüm modellere bu şekilde tanımlanmıştır. Oturma analizi hesaplarında gerekli olan zemin parametreleri tüm çözümler için Çizelge 4.10’dan alınmıştır.

Bu çalışmada bina temelindeki basınç dayanımları, Şekil 4.14’de görüldüğü şekilde yer yer farklılık gösterdiği için Çizelge 4.11’de ki gibi 1697 parçaya bölünmüştür. Her bir parçanın alanı $0.48 \times 0.47 = 0.2256 \text{ m}^2$ olmak üzere ve bu model 1697 parçanın özellikleri girerek oluşturulmuştur (Şekil 4.15).

Oturma analizleri yapılırken üniform olmayan taban basıncı altında yükleme ve üniform taban basıncı altında yükleme yapılmış olup; ayrıca her iki yük dağılımı için prefabrike düşey dren uygulaması da yapılarak oturma miktarının ve süresinin ne kadar değiştiği de incelenmiştir.

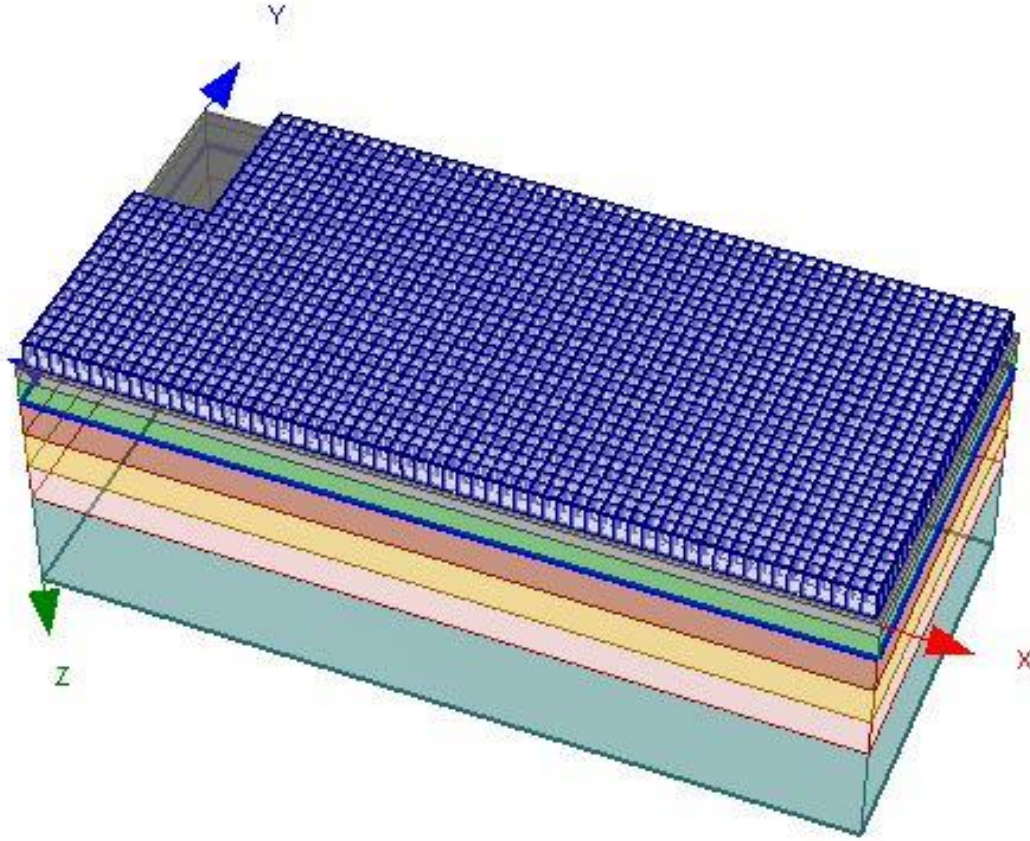
Bu çalışmaya ek olarak üniform olan ve olmayan modellere prefabrike düşey drenler tanımlanıp çözümlerde yapılmıştır. Üniform olan ve olmayan modelin yanı sıra üniform PDD’li, üniform taban basıncı altından olmayan zeminin de dren aralıkları 0.50 m, 0.625 m, 1.00 m, 1.25 m, 3.124 m olarak değiştirilerek oturma zamanları kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.11 Statik Rapor Okumasından Elde Edilen Taban Basıncı ve Parça Numaraları.

parça no	taban basıncı	x	y	parça no	taban basıncı	x	y	parça no	taban basıncı	x	y	parça no	taban basıncı	x	y
1501	122.43	13.92	11.75	1555	122.43	13.44	12.22	1609	122.43	12.96	12.69	1663	122.43	12.48	13.16
1502	122.43	14.40	11.75	1556	122.43	13.92	12.22	1610	122.43	13.44	12.69	1664	122.43	12.96	13.16
1503	122.43	14.88	11.75	1557	122.43	14.40	12.22	1611	122.43	13.92	12.69	1665	122.43	13.44	13.16
1504	122.43	15.36	11.75	1558	122.43	14.88	12.22	1612	122.43	14.40	12.69	1666	122.43	13.92	13.16
1505	122.43	15.84	11.75	1559	122.43	15.36	12.22	1613	122.43	14.88	12.69	1667	122.43	14.40	13.16
1506	122.43	16.32	11.75	1560	122.43	15.84	12.22	1614	122.43	15.36	12.69	1668	122.43	14.88	13.16
1507	122.43	16.80	11.75	1561	122.43	16.32	12.22	1615	122.43	15.84	12.69	1669	122.43	15.36	13.16
1508	114.19	17.28	11.75	1562	122.43	16.80	12.22	1616	122.43	16.32	12.69	1670	122.43	15.84	13.16
1509	114.19	17.76	11.75	1563	122.43	17.28	12.22	1617	122.43	16.80	12.69	1671	122.43	16.32	13.16
1510	114.19	18.24	11.75	1564	118.31	17.76	12.22	1618	122.43	17.28	12.69	1672	122.43	16.80	13.16
1511	114.19	18.72	11.75	1565	114.19	18.24	12.22	1619	114.19	17.76	12.69	1673	122.43	17.28	13.16
1512	114.19	19.20	11.75	1566	114.19	18.72	12.22	1620	114.19	18.24	12.69	1674	114.19	17.76	13.16
1513	105.85	19.68	11.75	1567	114.19	19.20	12.22	1621	114.19	18.72	12.69	1675	114.19	18.24	13.16
1514	105.85	20.16	11.75	1568	114.19	19.68	12.22	1622	114.19	19.20	12.69	1676	114.19	18.72	13.16
1515	105.85	20.64	11.75	1569	105.85	20.16	12.22	1623	114.19	19.68	12.69	1677	105.85	19.20	13.16
1516	105.85	21.12	11.75	1570	105.85	20.64	12.22	1624	105.85	20.16	12.69	1678	105.85	19.68	13.16
1517	105.85	21.60	11.75	1571	105.85	21.12	12.22	1625	105.85	20.64	12.69	1679	105.85	20.16	13.16
1518	105.85	22.08	11.75	1572	105.85	21.60	12.22	1626	105.85	21.12	12.69	1680	105.85	20.64	13.16
1519	97.61	22.56	11.75	1573	105.85	22.08	12.22	1627	105.85	21.60	12.69	1681	105.85	21.12	13.16
1520	97.61	23.04	11.75	1574	105.85	22.56	12.22	1628	105.85	22.08	12.69	1682	101.73	21.60	13.16
1521	97.61	23.52	11.75	1575	97.61	23.04	12.22	1629	105.85	22.56	12.69	1683	97.61	22.08	13.16
1522	97.61	24.00	11.75	1576	97.61	23.52	12.22	1630	97.61	23.04	12.69	1684	97.61	22.56	13.16
1523	97.61	24.48	11.75	1577	97.61	24.00	12.22	1631	97.61	23.52	12.69	1685	97.61	23.04	13.16
1524	97.61	24.96	11.75	1578	97.61	24.48	12.22	1632	97.61	24.00	12.69	1686	97.61	23.52	13.16
1525	97.61	25.44	11.75	1579	97.61	24.96	12.22	1633	97.61	24.48	12.69	1687	97.61	24.00	13.16
1526	97.61	25.92	11.75	1580	97.61	25.44	12.22	1634	97.61	24.96	12.69	1688	97.61	24.48	13.16
1527	97.61	26.40	11.75	1581	97.61	25.92	12.22	1635	97.61	25.44	12.69	1689	97.61	24.96	13.16
1528	97.61	26.88	11.75	1582	97.61	26.40	12.22	1636	97.61	25.92	12.69	1690	97.61	25.44	13.16
1529	97.61	27.36	11.75	1583	97.61	26.88	12.22	1637	97.61	26.40	12.69	1691	97.61	25.92	13.16
1530	97.61	27.84	11.75	1584	97.61	27.36	12.22	1638	97.61	26.88	12.69	1692	97.61	26.40	13.16
1531	105.85	28.32	11.75	1585	97.61	27.84	12.22	1639	97.61	27.36	12.69	1693	97.61	26.88	13.16
1532	105.85	28.80	11.75	1586	105.85	28.32	12.22	1640	97.61	27.84	12.69	1694	97.61	27.36	13.16
1533	105.85	2.88	12.22	1587	105.85	28.80	12.22	1641	105.85	28.32	12.69	1695	97.61	27.84	13.16
1534	105.85	3.36	12.22	1588	114.93	2.88	12.69	1642	105.85	28.80	12.69	1696	81.03	28.32	13.16
1535	101.73	3.84	12.22	1589	110.02	3.36	12.69	1643	114.19	2.88	13.16	1697	81.03	28.80	13.16
1536	97.61	4.32	12.22	1590	105.85	3.84	12.69	1644	114.19	3.36	13.16				
1537	97.61	4.80	12.22	1591	105.85	4.32	12.69	1645	114.19	3.84	13.16				
1538	97.61	5.28	12.22	1592	101.73	4.80	12.69	1646	105.85	4.32	13.16				
1539	97.61	5.76	12.22	1593	97.61	5.28	12.69	1647	105.85	4.80	13.16				
1540	97.61	6.24	12.22	1594	97.61	5.76	12.69	1648	101.73	5.28	13.16				
1541	97.61	6.72	12.22	1595	97.61	6.24	12.69	1649	97.61	5.76	13.16				
1542	97.61	7.20	12.22	1596	97.61	6.72	12.69	1650	97.61	6.24	13.16				
1543	97.61	7.68	12.22	1597	97.61	7.20	12.69	1651	97.61	6.72	13.16				
1544	97.61	8.16	12.22	1598	97.61	7.68	12.69	1652	97.61	7.20	13.16				
1545	101.73	8.64	12.22	1599	105.85	8.16	12.69	1653	105.85	7.68	13.16				
1546	105.85	9.12	12.22	1600	105.85	8.64	12.69	1654	105.85	8.16	13.16				
1547	105.85	9.60	12.22	1601	114.19	9.12	12.69	1655	105.85	8.64	13.16				
1548	108.63	10.08	12.22	1602	114.19	9.60	12.69	1656	114.19	9.12	13.16				
1549	114.19	10.56	12.22	1603	114.19	10.08	12.69	1657	114.19	9.60	13.16				
1550	114.19	11.04	12.22	1604	114.19	10.56	12.69	1658	114.19	10.08	13.16				
1551	114.19	11.52	12.22	1605	114.19	11.04	12.69	1659	122.43	10.56	13.16				
1552	114.19	12.00	12.22	1606	119.68	11.52	12.69	1660	122.43	11.04	13.16				
1553	116.94	12.48	12.22	1607	122.43	12.00	12.69	1661	122.43	11.52	13.16				
1554	122.43	12.96	12.22	1608	122.43	12.48	12.69	1662	122.43	12.00	13.16				

Genel model 1697 parçadan oluşturulmuş ve her bir parçanın alanı 0.2256 m^2 olarak belirlenip toplam temel kütesini temsil etmiştir. Üniform veya üniform olmayan taban basıncı altındaki zemin özellikleri aynıdır. Üniform taban basıncı altında ki modellerde her bir parça için ortalama taban basıncı girilmiş, üniform taban basıncı altında olmayan modellerde ise taban basıncı her bir parça için tek tek girilmiştir.

Drenli modellerde ise n sayısı hesaplanmış ve bir adet üniform, beş adet üniform olmayan taban basıncı altında PVD'li zemin çözümü yapılmıştır. Yapılan çalışmada dren uygulama süresi ve ön yükleme süresi toplam 100 gün, inşaat süresi ise dolgu kaldırıldıktan sonra 365 gün olarak tanımlanmıştır. Şekil 4.15'da yapılan modellemeye ait ekran görüntüsü verilmiştir. Çözümlerde bu model esas alınmıştır.



Şekil 4.15 Üniform ve Üniform Olmayan Taban Basıncı Altında Yükleme Yapılacak Zemin Modeli.

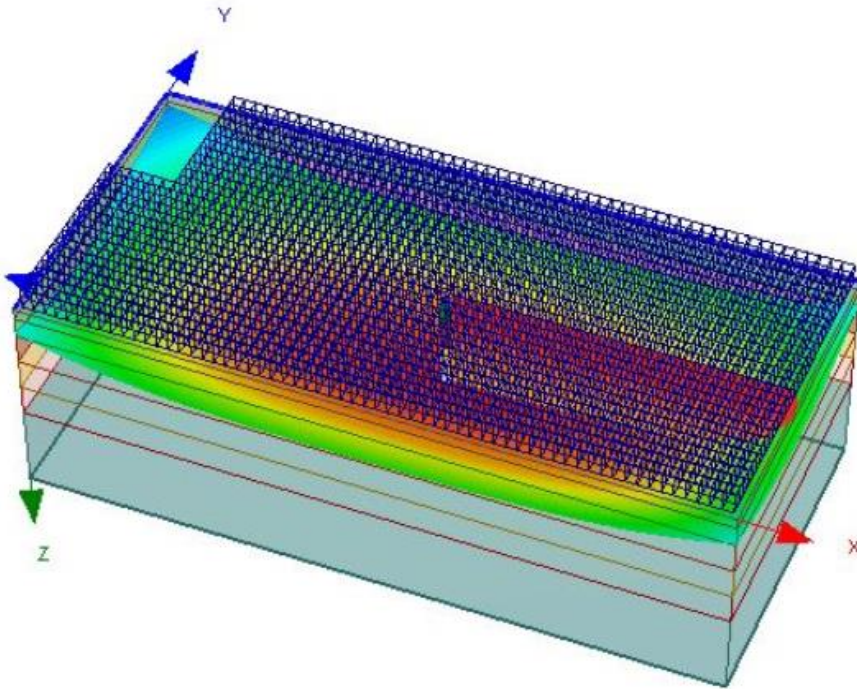


BÖLÜM 5

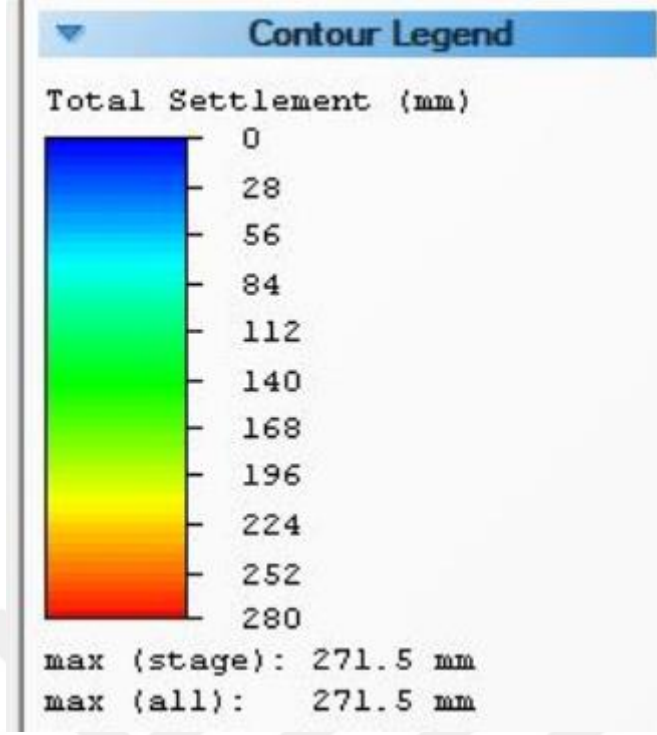
BULGULAR

5.1 ÜNİFORM TABAN BASINCI ALTINDAKİ ZEMİN MODELİ

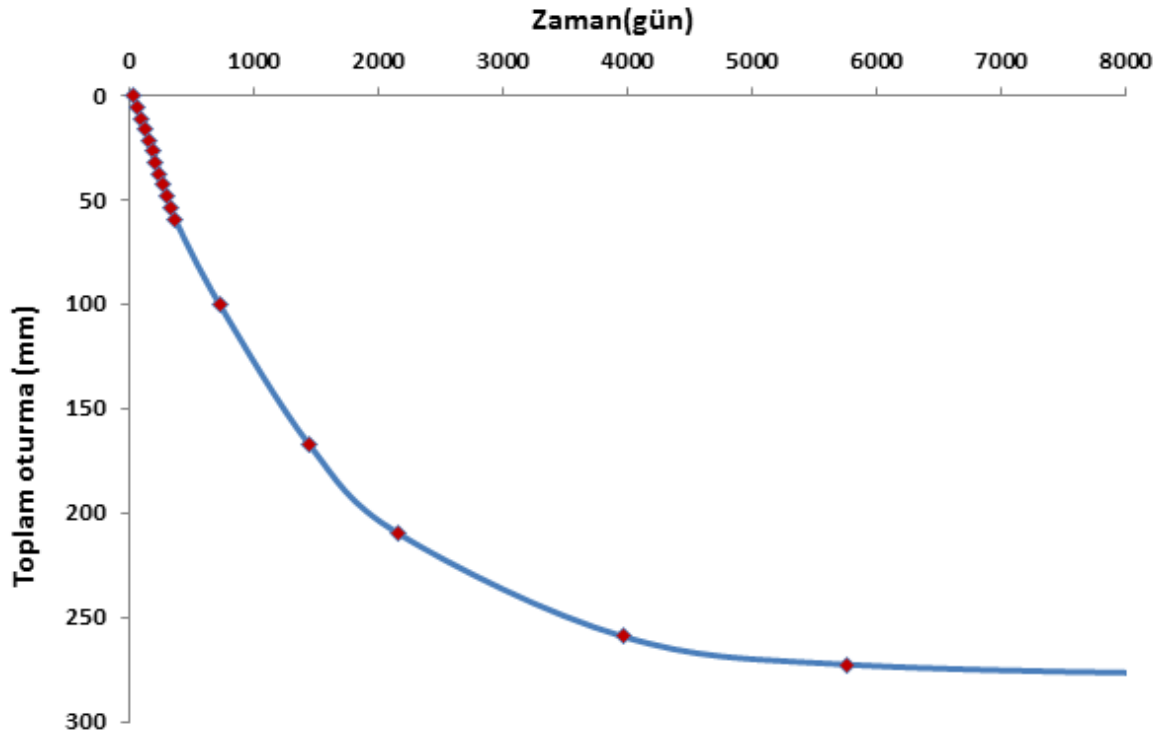
Setle 3.D’de modellenen zeminde üniform dağılımlı yük ve aynı yükleme şekliyle prefabrike düşey dren çalışılmıştır. Birinci aşamada Şekil 5.1’de görüldüğü gibi 1697 parçadan oluşturulmuş temel sistemine her bir bölünmüş alana ortalama taban basıncı 107 kN/m^2 olarak girilmiştir. Zemine yapılması planlanan yapıdan gelen taban basınç dağılımları ortalaması programa tanımlandığında toplam oturma 27.15 cm olarak hesaplanmıştır. Üniform taban basıncı altındaki modelde oluşan 27.15 cm ’ lik oturma miktarının 7200 günde yaklaşık %98 tamamlandığı görülmüştür (Şekil 5.2 ve 5.3).



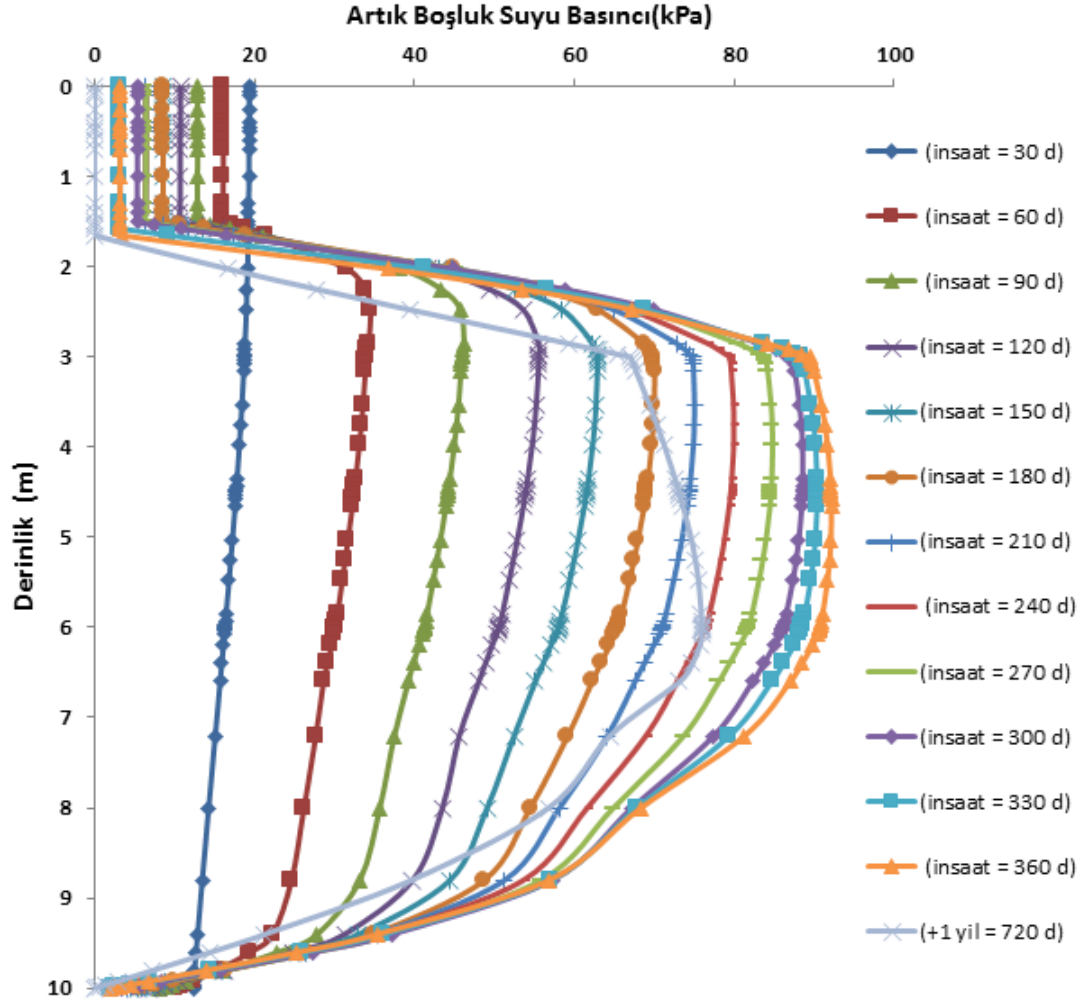
Şekil 5.1 Üniform Taban Basıncı Altındaki Model Deformasyonu.



Şekil 5.2 Üniform Taban Basıncı Altındaki Modelde Yükleme Sonucu Oluşan Maksimum Oturma Miktarı.

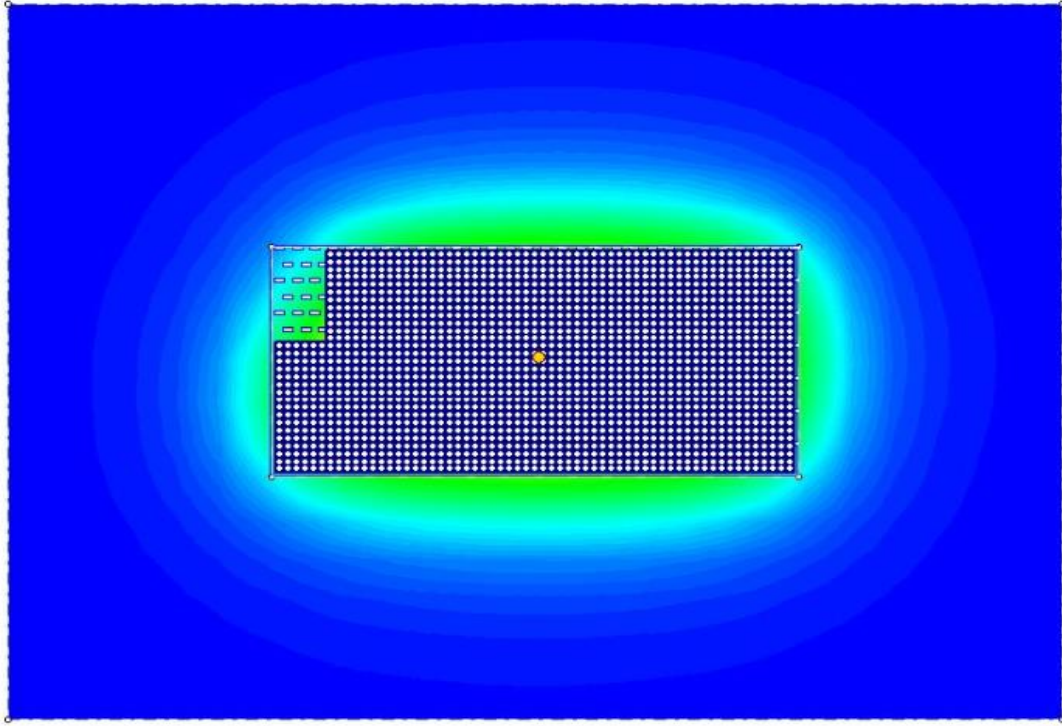


Şekil 5.3 Üniform Taban Basıncı Altındaki Modelde Zaman- Toplam Oturma İlişkisi.



Şekil 5.4 Üniorm Taban Basıncı Altındaki Modelde, Artık Boşluk Suyu Basıncı Derinlik İlişkisi.

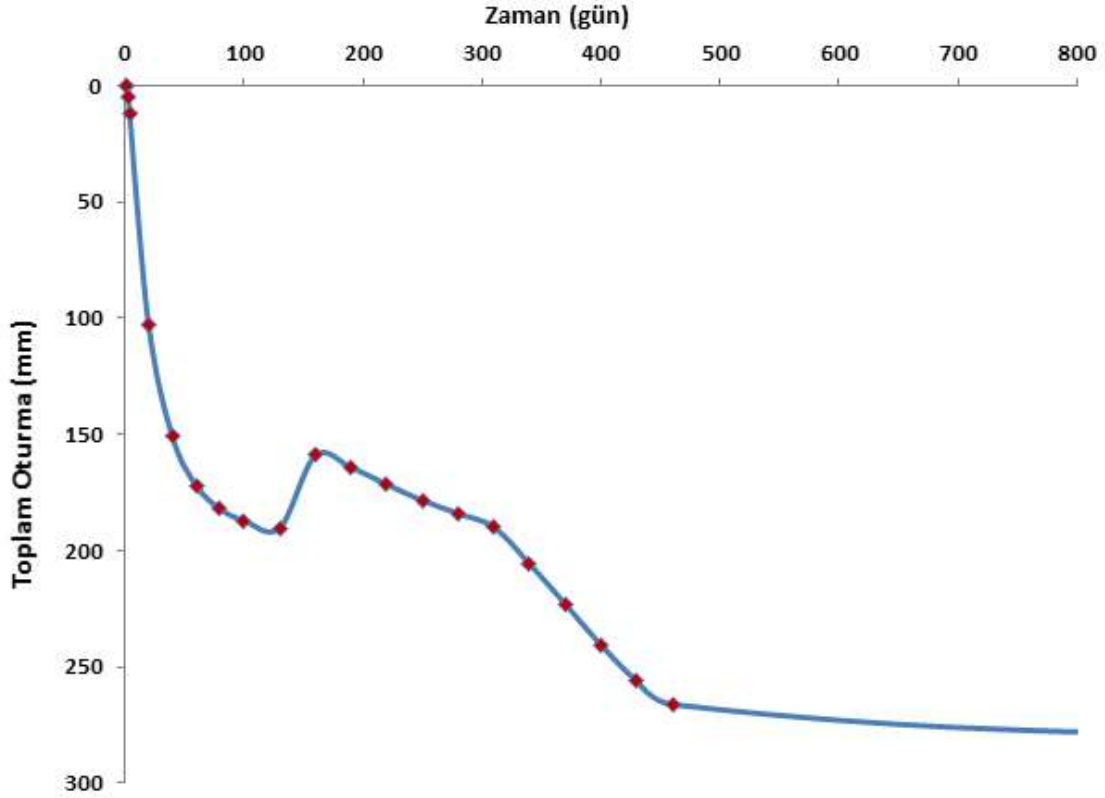
Tanımladığımız 10 metre kalınlığındaki Zemin profilinde, üniorm yükleme sonucu, artı boşluk suyu basıncının 360 günden sonra azalmaya başladığı Şekil 5.4'te görülmektedir. 1.5 m kalınlığındaki GW ve SM tabakaları için artı boşluk suyu basıncı 20 kPa' a kadar yükselebilmişken, zeminin orta bölgelerini temsil eden CL1,CL2 ve CL3 tabakalarında 360 günde yaklaşık 95 kPa' a kadar yükselmiştir. Zeminin 4.0 m'lik en alt tabakası olan CH tabakasında ise su çıkışı 20 yıl sonra büyük ölçüde tamamlanmıştır. 7200 günde konsolidasyonunu %98 oranda tamamlayan üniorm taban basıncı altındaki zeminde istikrarlı gözlemlenen artı boşluk suyu basıncı oturmanın en az 7200 güne ihtiyaç duyduğunu işaret etmektedir.



Şekil 5.5 Üniform Taban Basıncı Altında ve Düşey Prefabrike Drenli Model.

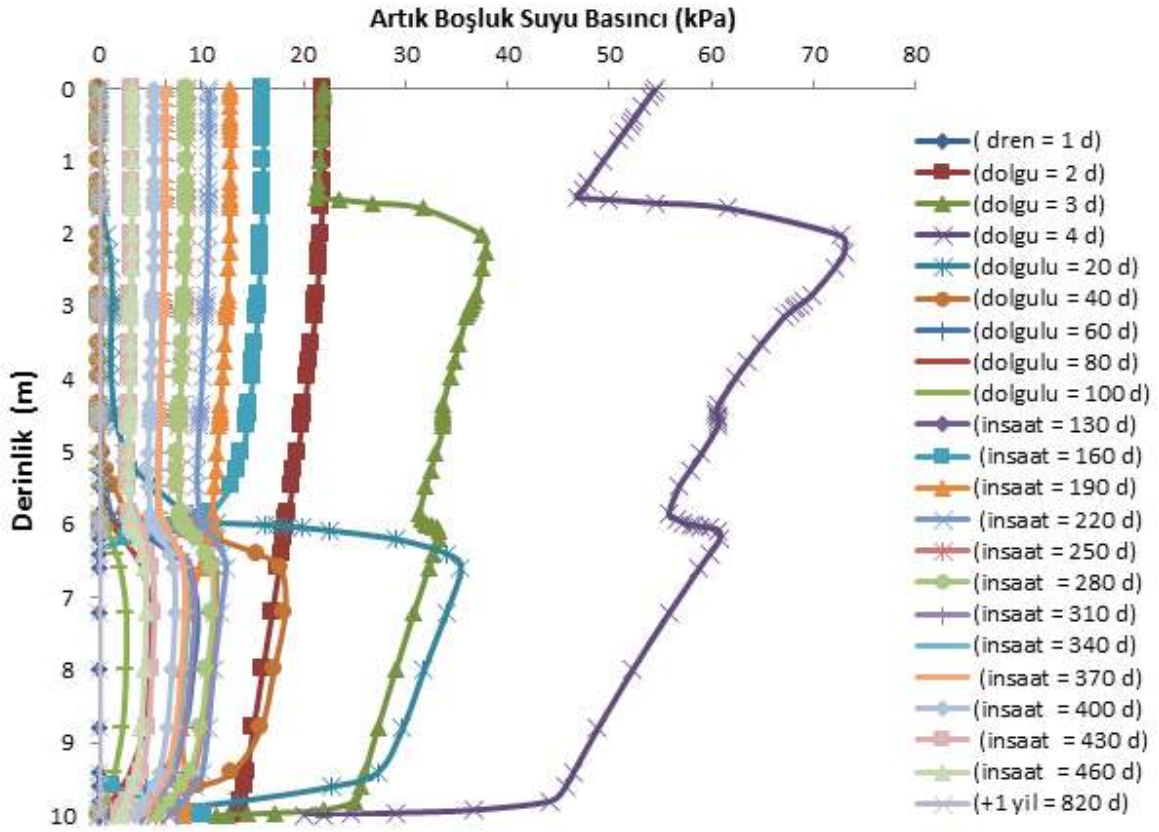
Zemine yapılması planlanan yapıdan gelen taban basınç dağılımları ortalaması(üniform) programa tanımlandığında toplam oturma 27.15 cm olarak hesaplanmıştı. Fakat oturma için çok fazla zamana ihtiyaç duyulduğu ve bu aşama da bina imalatı tamamlandığından binada hasarlara neden olacağı anlaşılmaktadır. Zemin iyileştirme yöntemleri ile konsolidasyon zamanının kısaltılması için denenen bir yöntemde üniform taban basıncı altındaki zemine PDD uygulaması yapmaktır. Bu modelde $n=16$ (dren aralıkları 1 m) olacak şekilde zeminde bir ön yükleme ve PDD tasarımı yapılmıştır. Şekil 5.6’da bu tasarım sonucu elde edilen oturma zaman ilişkisi vermiştir.

Ön yükleme ve PDD uygulaması yapıldıktan sonra 100 gün beklenmiş ve bu sürede toplamda 27.15 cm olan oturmanın yaklaşık 20 cm tamamlandığı fakat yük kaldırıldığında 15 cm’e geri dönerek zeminde şişme olduğu ve yapım aşamasında müsaade edilebilir sınırlar dışında kaldığı (12.15 cm- Şekil 5.6) görülmüştür. Yük ve dren 100 günden fazla bekletilmeli ve müsaade edilebilir oturma miktarı ancak 1 yılın üstünde bekleme süresinde elde edilebilmektedir.



Şekil 5.6 Üniorm Taban Basıncı Altında ve Düşey Prefabrike Drenli Modelde, Zaman-Toplam Oturma İlişkisini Gösteren Grafik.

10 metre kalınlığındaki zemin profilimizde, üniorm taban basıncı altında ön yükleme ve PDD'li modelde çözüm yapıldığında, artık boşluk suyu basıncının 820 günden sonra ihmal edilebilir bir seviyeye geldiği Şekil 5.7'de görülmektedir. 1.5 m kalınlığındaki GW ve SM tabakaları için artık boşluk suyu basıncı 55 kPa' a kadar yükselebilmişken, zeminin orta bölgelerini temsil eden CL1,CL2 ve CL3 tabakalarında ise dolgu ve PDD ile ilk 4 günde yaklaşık 75 kPa' a kadar yükselmiş ve 100 güne kadar su çıkışı devam etmiştir. Bununla beraber yük kaldırılınca zeminde tekrar şişme gözlenmiştir. Zeminin 4m'lik en alt tabakası olan CH tabakasında ise su çıkışı 1.5 yıl sonra büyük ölçüde tamamlanmıştır. 460 günde konsolidasyonunu %98 oranda tamamlayan üniorm taban basıncı altındaki zeminde dolgu yükü kaldırıldığında gözlenen ani şişmenin imalat süresine denk geldiği ve bu geri dönüşün 5 cm civarında olduğu, müsaade edilebilir oturma sınırını aştığı Şekil 5.6 ve 5.7' de verilmiştir.



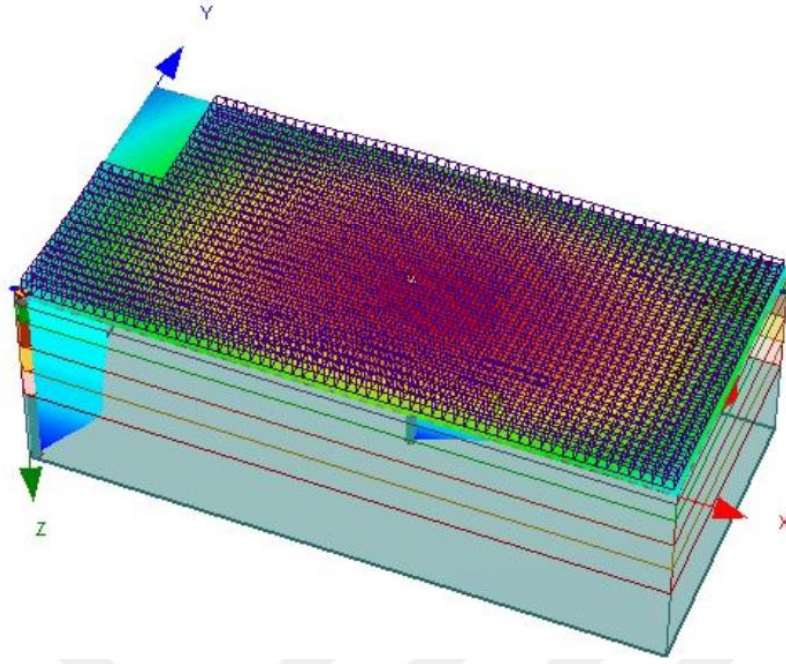
Şekil 5.7 Üniorm Taban Basıncı Altında ve Düşey Prefabrike Drenli Modelde, Artık Boşluk Suyu Basıncı-Derinlik İlişisini Gösteren Grafik.

5.2 UNİFORM OLMAYAN TABAN BASINCI ALTINDAKİ ZEMİN MODELİ

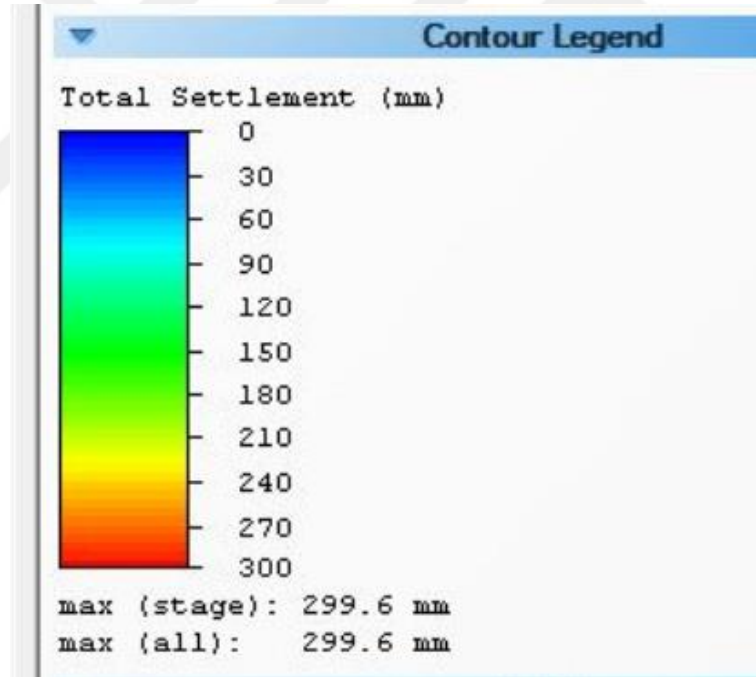
Üniorm olmayan taban basıncı altında incelenen modelde PDD aralıkları $n=8, 10, 16, 20$ ve 50 değeri ile incelenmiştir. (n) değeri için denk geldiği dren aralıkları ise sırasıyla 0.5 m , 0.625 m , 1.0 m , 1.25 m , 3.124 m 'dir.

İncelenen tüm aralıklarda üniorm taban basıncı altındaki oturma miktarından %10 fazla oturma elde edilmiştir. Üniorm olmayan taban basıncı altındaki model çözümünden elde edilen oturma miktarı 29.96 cm bulunmuş ve Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Gerçekte de binadan zemine aktarılan taban basıncının üniorm olmadığı ve üniorm olmayan taban basıncı altında çalışma yapmanın daha uygun olacağı düşünülmektedir.

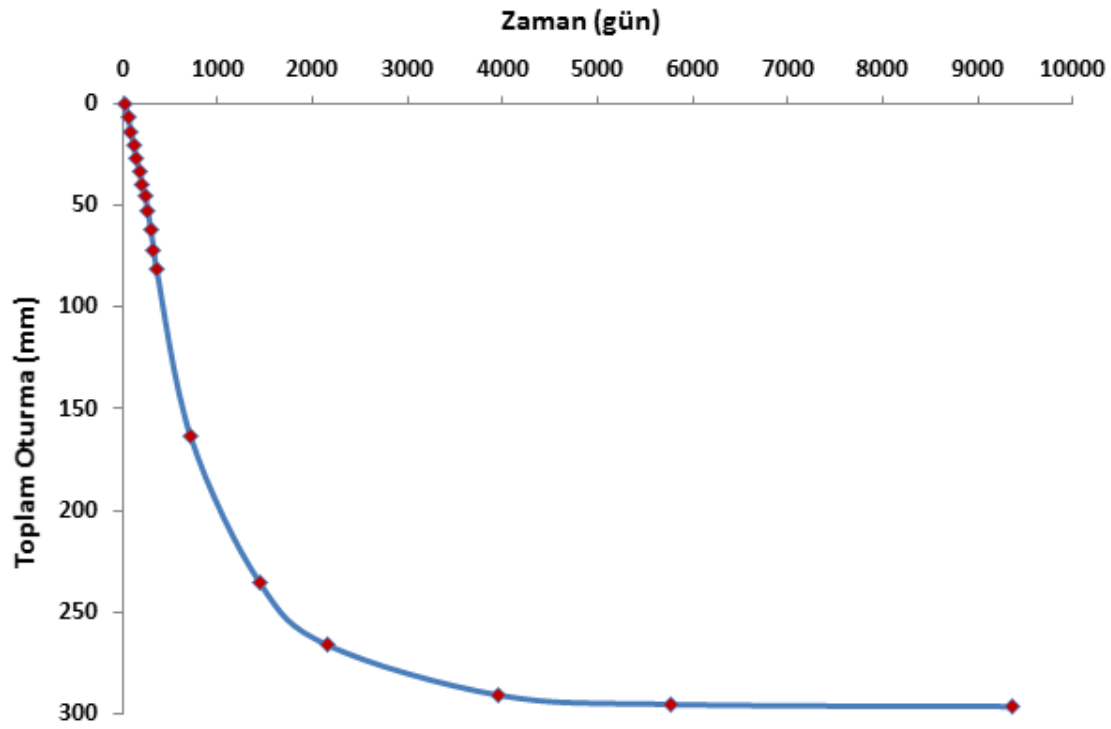
Çözüm sonucu bulunan, toplam oturma miktarı 29.96 cm olup Şekil 5.9'da gösterilmiş, Şekil 5.10'da ise bu oturma değeri için %90'lık kısmının yaklaşık 4000 günde tamamlandığı görülmektedir. 9000 günde ise oturmanın hemen hemen %100'e yakın kısmı tamamlanmıştır.



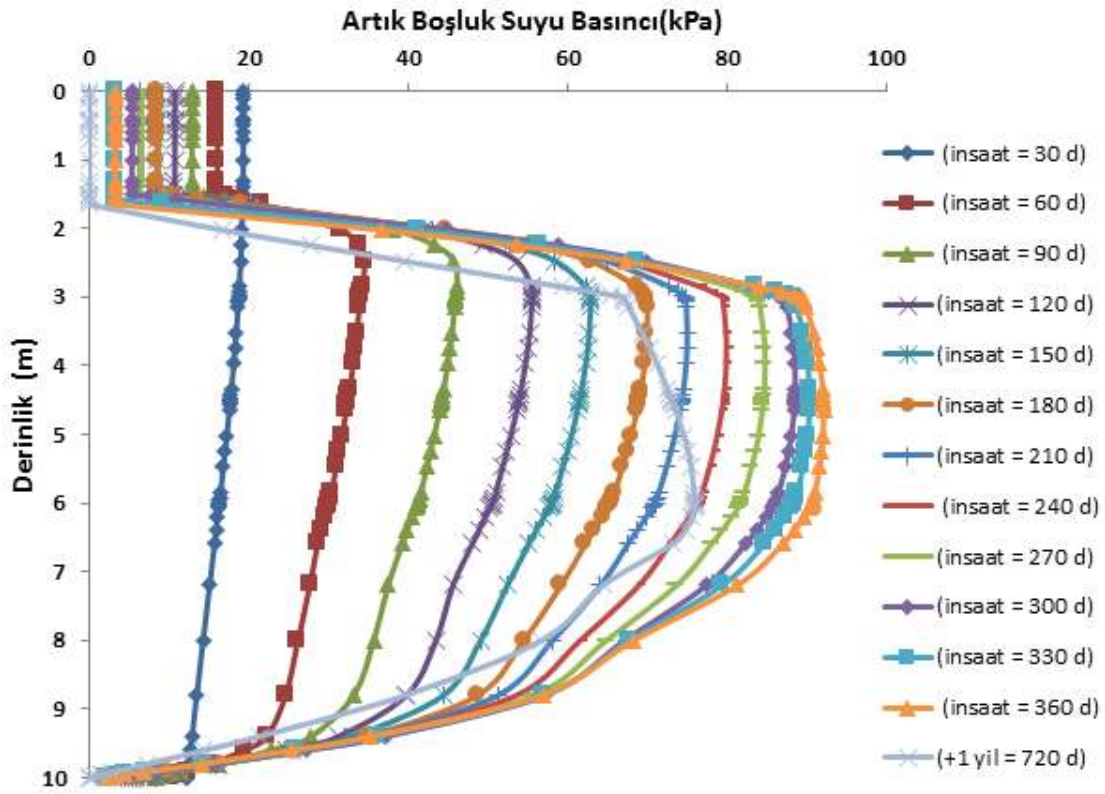
Şekil 5.8 Üniform Olmayan Taban Basıncı Altında ve Düşey Prefabrike Drenli Model.



Şekil 5.9 Üniform Olmayan Taban Basıncı Altındaki Model Çözümünden Elde Edilen Oturma Miktarı.



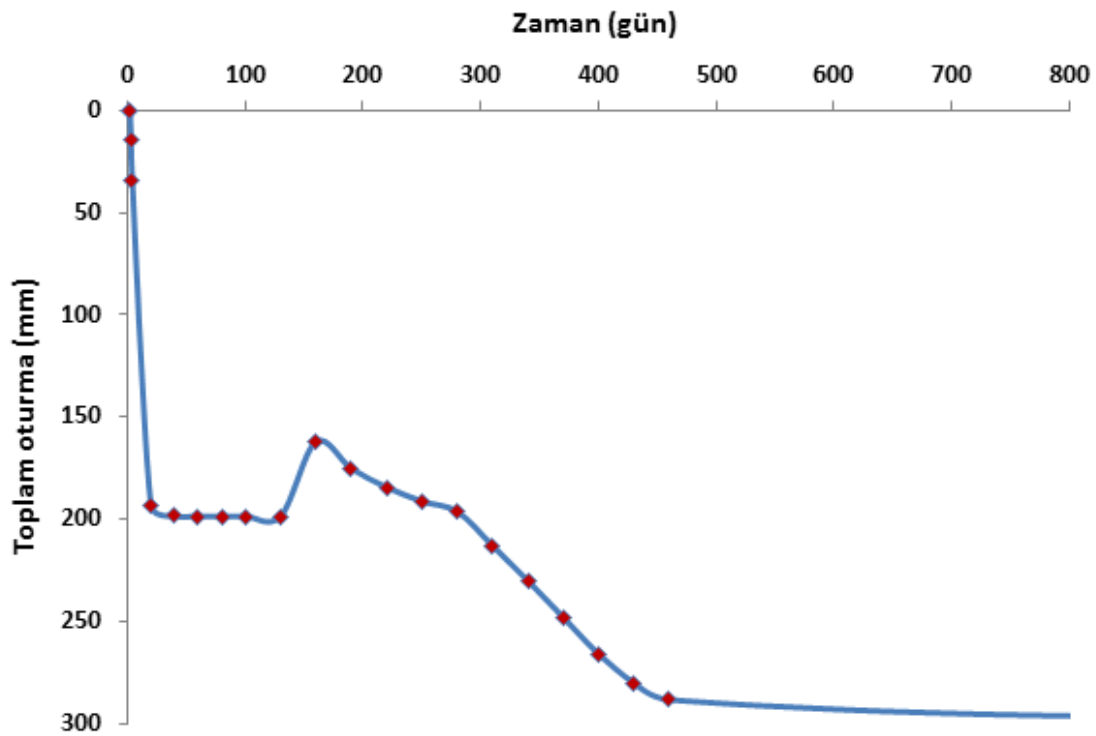
Şekil 5.10 Üniorm Olmayan Taban Basıncı Altındaki Modelde, Zaman-Toplam Oturma İlişkisi.



Şekil 5.11 Üniorm Olmayan Taban Basıncı Altındaki Modelde, Artık Boşluk Suyu Basıncı- Derinlik İlişkisi.

Zemin tabakalarından 2 yıl içindeki su çıkışları incelenirse, GW ve SM tabakalarındaki artık boşluk suyu basıncı 20 kPa'a kadar yükselirken CL tabakalarında 2 yılda artık boşluk suyu basıncı 90 kPa'a kadar yükselmiştir. En yüksek boşluk suyu basıncı ise inşaat tamamlanma süresi olan 1 yılda görülmüştür. Yani ilk 1 yılda su çıkışının önemli bir kısmı gerçekleşmiş ve buda oturma değeri olarak yaklaşık 24 cm'e denk gelmektedir.

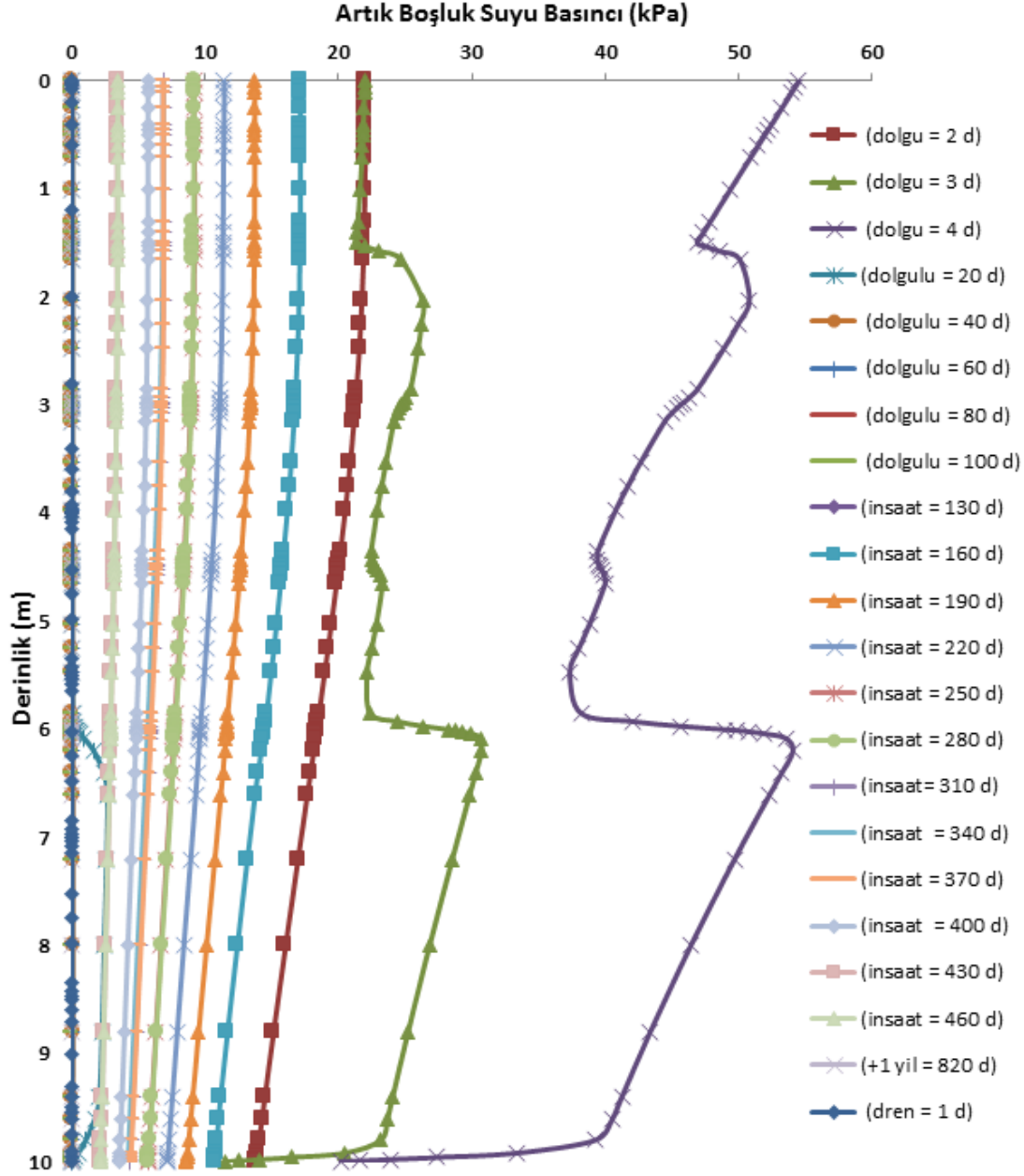
Fakat bu zaman dilimlerinde yapı imalatı tamamlanmış ve hizmete sunulmuş olmasına rağmen henüz oturma müsaade edilebilir sınır altındadır. İstenmeyen deformasyonların oluşabilmesi muhtemeldir ve yapının hizmet vermesi sakıncalıdır. Zeminde ihtiyaç duyulan iyileştirme için önerdiğimiz prefabrike düşey dren sistemi farklı aralıklarla zeminde modellenmiş ve aşağıda tüm aralıklar için grafiklerle açıklanmıştır. Böylelikle hem oturma süresini kısaltılma hem de bina imalat aşamasında müsaade edilebilir oturma miktarına kadar zemin tabakalarının oturma yapması hedeflenmektedir.



Şekil 5.12 PDD'li Modelde, n=8 İçin Zaman-Oturma Değerleri.

Sistemde oturma miktarının 20 cm'lik kısmı 100 günde tamamlanmış fakat 100 gün sonunda dolgu kaldırıldığında zeminde yaklaşık 10 cm'lik bir şişme yani geri dönüş olmuştur. Geriye kalan yaklaşık 19 cm'lik oturma imalat aşamasına denk gelmektedir. Bununla birlikte

oturmanın tamamının hemen hemen bina imalatı ile bittiği ve deformasyonların kontrol altında tutulabileceği görülmektedir. Bu modelde dren aralıkları 50 cm olarak tasarlanmıştır.



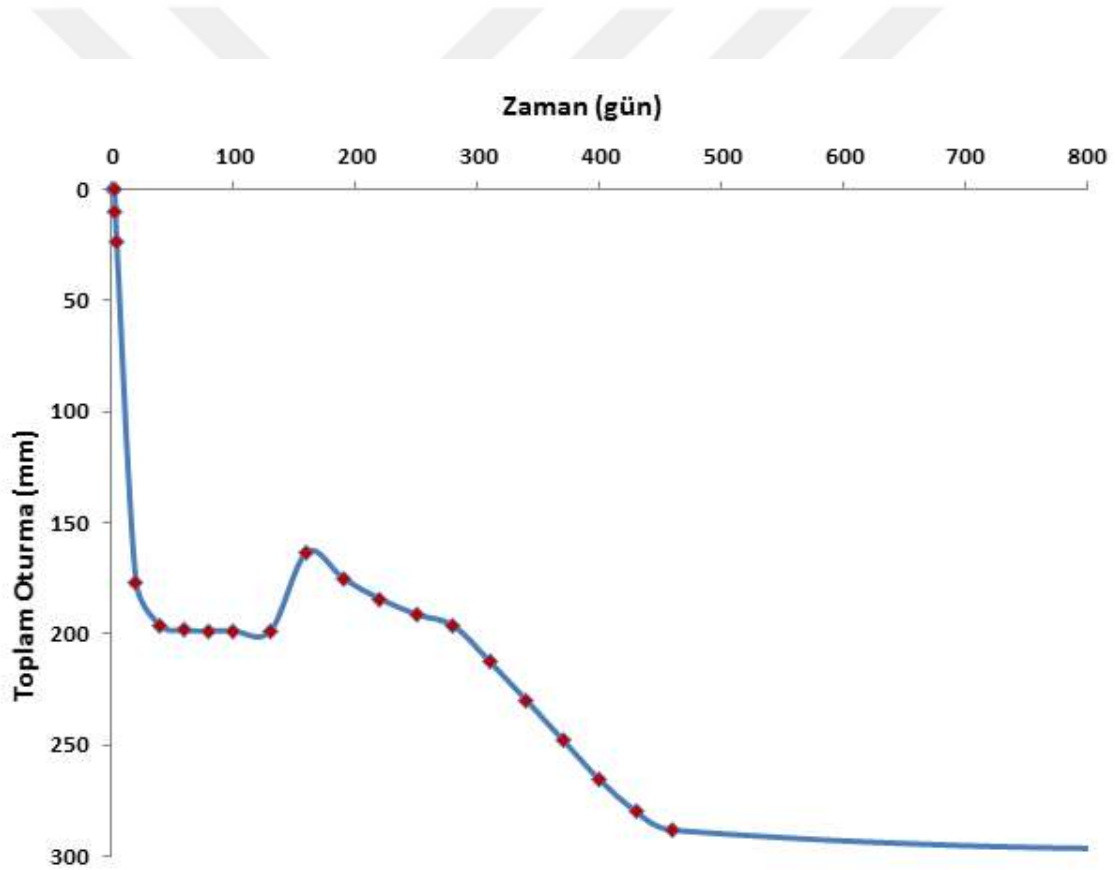
Şekil 5.13 PDD'li Modelde, n=8 İçin Artık Boşluk Suyu Basıncı- Derinlik Değerlerinin Zaman Bağlı Değişimi.

N= 8 modelinde artık boşluk suyu basıncının zamanla ilişkisi şekil 5.13'te görüldüğü gibi, 1.5 m'lik tabaka için (GW ve SM) dolgu uygulamasıyla birlikte 55 kPa değerine ulaşmıştır. CL tabakaları içinse 2 yıllık süreçte artık boşluk suyu basıncı anlamlı seviyede düşmüştür ve oturmanın tamamına yakınının bittiğini işaret etmektedir. Görülmektedir ki dolgunu

yapılmasıyla artık boşluk suyu basıncı zemine hızla terk etmiş dolgu kaldırıldığında şişme ve geri dönüş olmuş fakat 160 günden sonra yine 20 kPa altında seyir etmiştir.

PDD aralıkları $n=10$ modelinde ki oturma- zaman ve artık boşluk suyu basıncı derinlik ilişkileri sırasıyla şekil 5.14 ve şekil 5.15’de verilmiştir. Bu modelde dren aralıkları 0.625 cm olarak belirlenmiş her modelde olduğu gibi n sayısına buradan ulaşılmıştır.

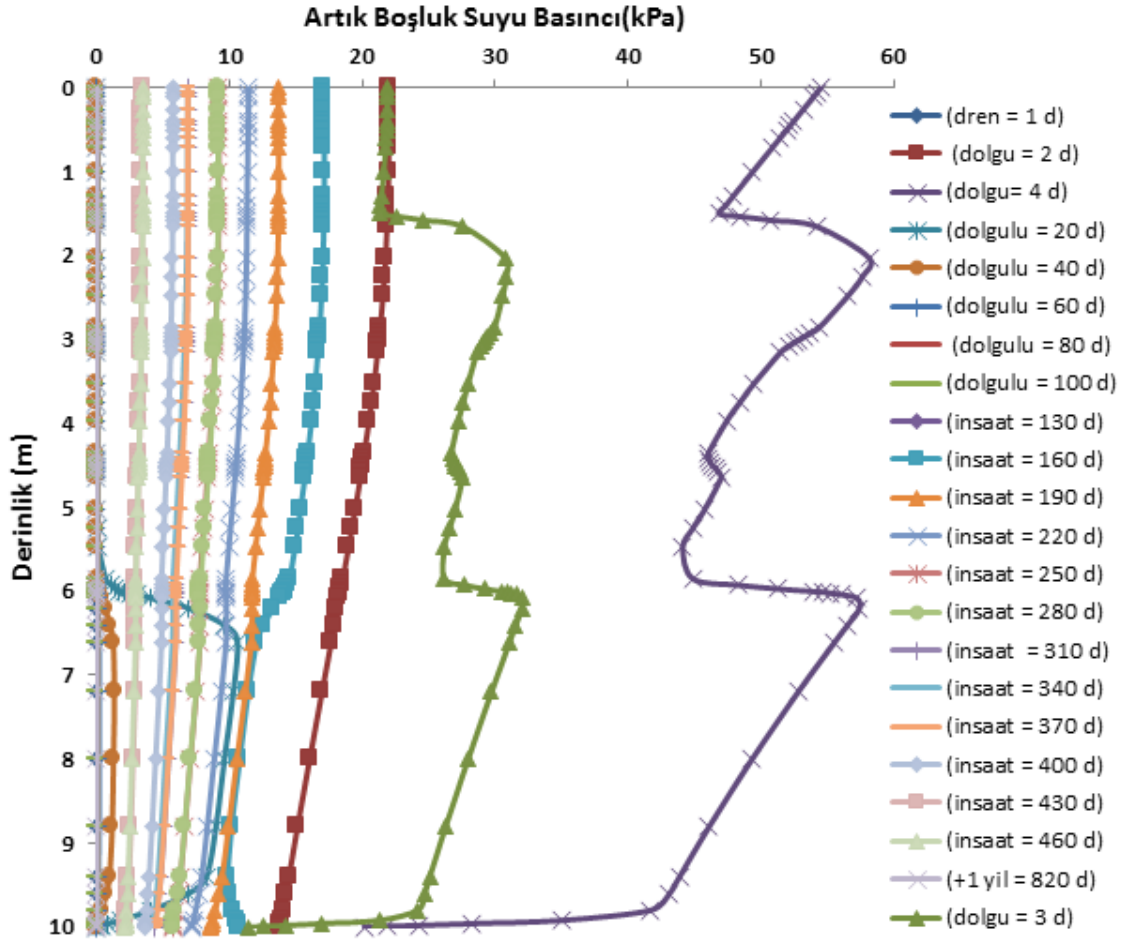
İlk 100 günde 20 cm oturma elde edilmiş fakat dolgu kaldırıldığında 5 cm’lik bir geri dönüş olmuştur. Zeminin tekrar aynı oturma miktarına ulaşması yaklaşık 300 günü bulmuştur ki buda yapının tamamlanma süresine çok yakın bir zamanı işaret etmektedir. Zeminde ki oturmanın hemen hemen %100 değerine ulaşması ise 500 güne denk gelmektedir.



Şekil 5.14 PDD’li Modelde, $n=10$ İçin Zaman-Oturma Değerleri.

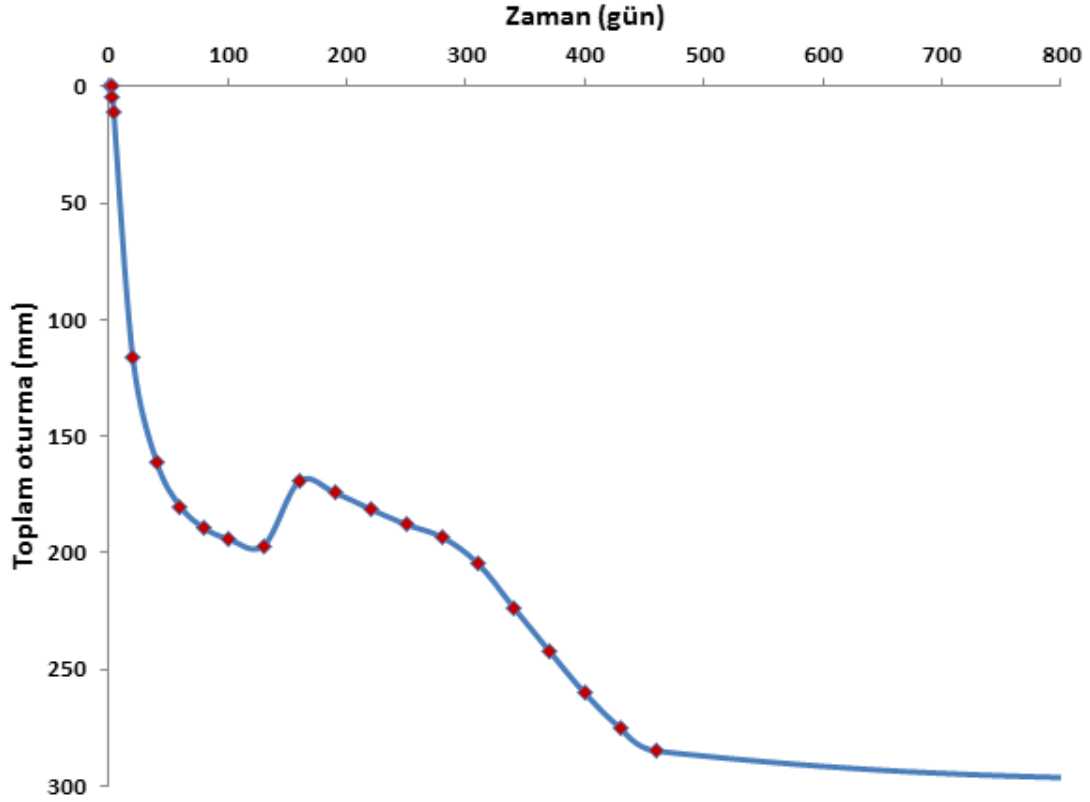
Üniform olmayan taban basınçları altında diğer modellerde de gözlemlendiği üzere suyun zemini terk etmesi dolgunun ilk çekildiği günlerde hızlıdır ve bu süreçte ilk 6m lik tabakada artık boşluk suyu basıncı 45 kPa ile 55kPa aralığında değişmekte, CH tabakasında ise 25 kPa ile 45 kPa aralığında değişmektedir. 100. günde dolgunun kaldırılmasıyla birlikte şişme

meydana gelmiş ve artık boşluk suyu basıncı neredeyse durmuş fakat kısa sürede sistemde kalan su tekrar zemini terk etmeye devam etmiş ve 160. günde sonra hep 20 kPa'ın altında seyir etmiştir. 500. güne kadar hemen hemen su çıkışı durmuş ve artık boşluk suyu basıncı sıfıra yaklaşmıştır.



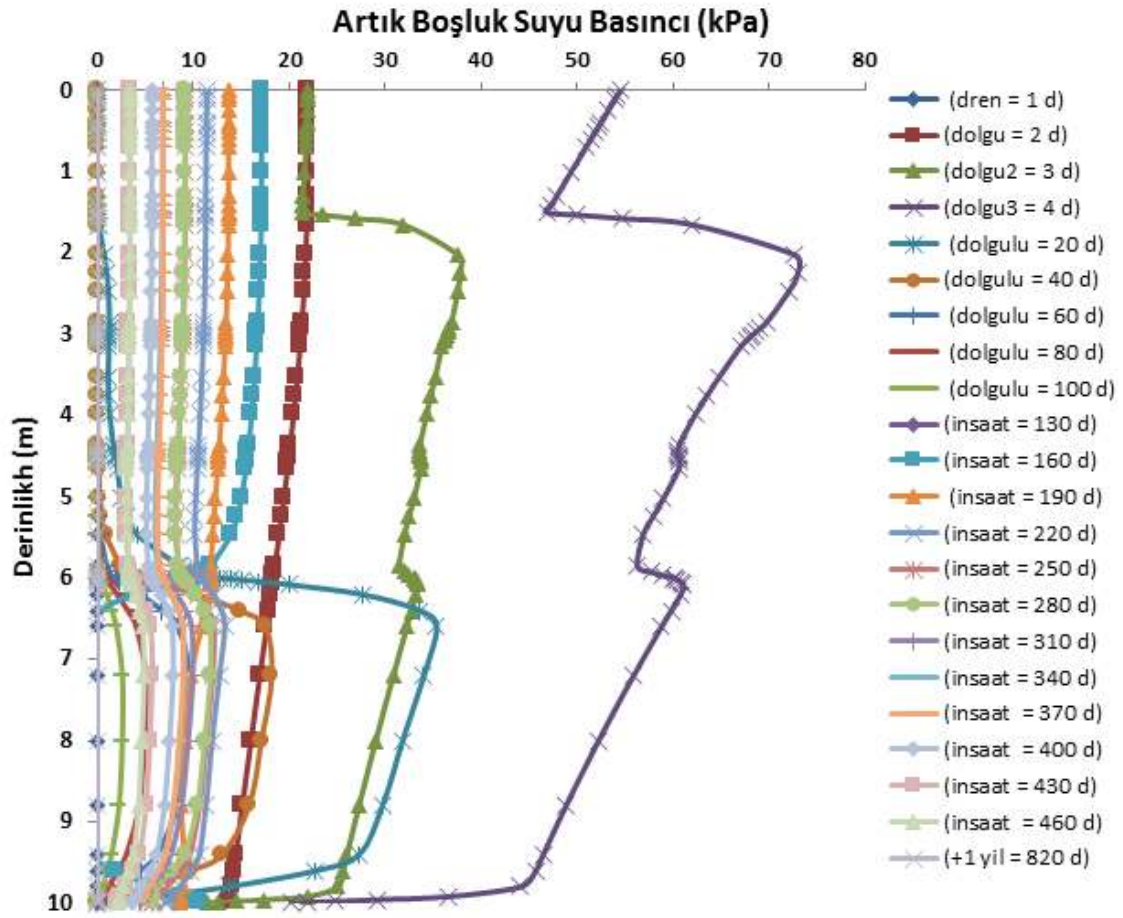
Şekil 5.15 PDD'li Modelde, n=10 İçin Artık Boşluk Suyu Basıncı- Derinlik Değerlerinin Zaman Bağlı Değişimi.

PDD aralıkları n= 16 değerinde 1.0 m'dir ve oturma- zaman ilişkisi şekil 5.16'da verilmiştir. 100. günde 20 cm'e çok yaklaşan oturma değerinde dolgu kaldırılınca tekrar bir şişme olmuştur. Bu şişmenin yarattığı geri dönüş ile oturma miktarı yaklaşık 4 cm azalmış ve imalat bu oturma miktarı üzerine başlamıştır. Fakat imalatın 60. gününde zeminin oturma miktarı kalan kısmı müsaade edilebilir seviyeye inmiştir. İmalatın tamamen bitişi ile de oturma neredeyse tamamen bitmiştir ve hizmet ömründe herhangi bir deformasyona sebep olmayacağı görülmektedir.



Şekil 5.16 PDD'li Modelde, n=16 İçin Zaman-Oturma Değerleri.

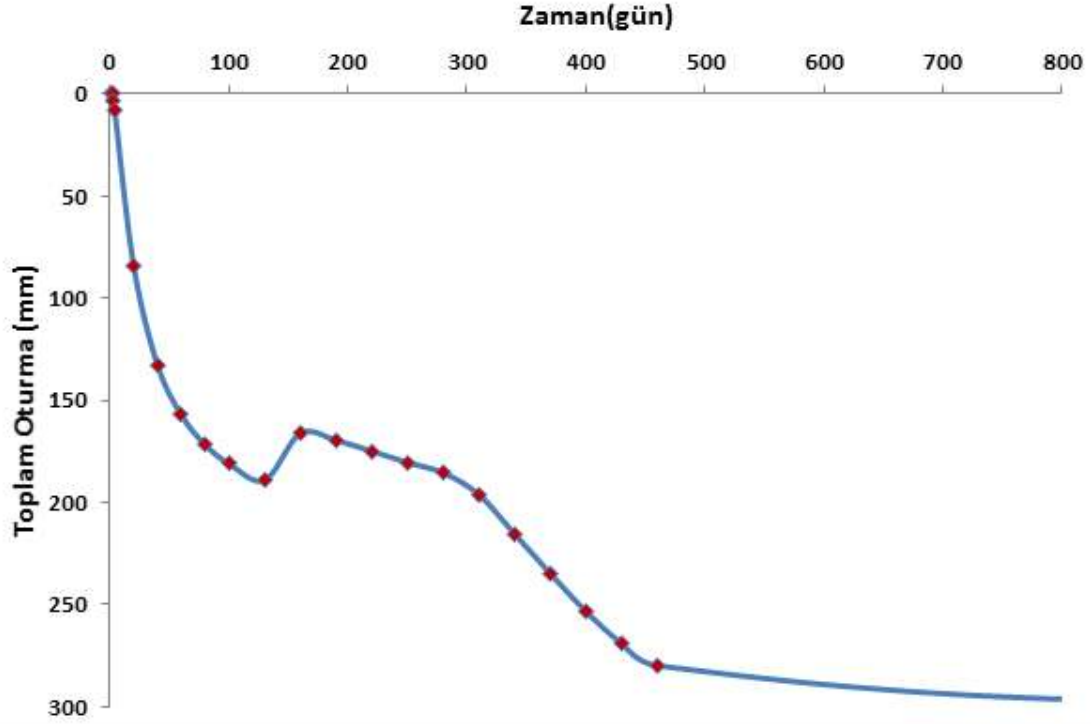
Üniform olmayan taban basıncı altında ve n=16 olan modelde suyun zemini terk etmesi dolgunun ilk çekildiği günlerde hızlıdır ve bu süreçte ilk 6m' lik tabakada artık boşluk suyu basıncı 45 kPa ile 75kPa aralığında değişmekte, CH tabakasında ise 25 kPa ile 45 kPa aralığında değişmektedir. 100. günde dolgunun kaldırılmasıyla birlikte şişme meydana gelmiş ve artık boşluk suyu basıncı neredeyse durmuş fakat kısa sürede sistemde kalan su tekrar zemini terk etmeye devam etmiş ve 160. günde sonra hep 20 kPa'nın altında seyir etmiştir. 500. güne kadar hemen hemen su çıkışı durmuş ve artık boşluk suyu basıncı sıfıra yaklaşmıştır. Oturmanın anlamlı kısmı ön yükleme+PDD+yapı imalatı süreçlerinde tamamlanmış ve yapı servis ömrü boyunca güvene alınmış olmaktadır.



Şekil 5.17 PDD'li Modelde, n=16 İçin Artık Boşluk Suyu Basıncı- Derinlik Değerlerinin Zaman Bağlı Değişimi.

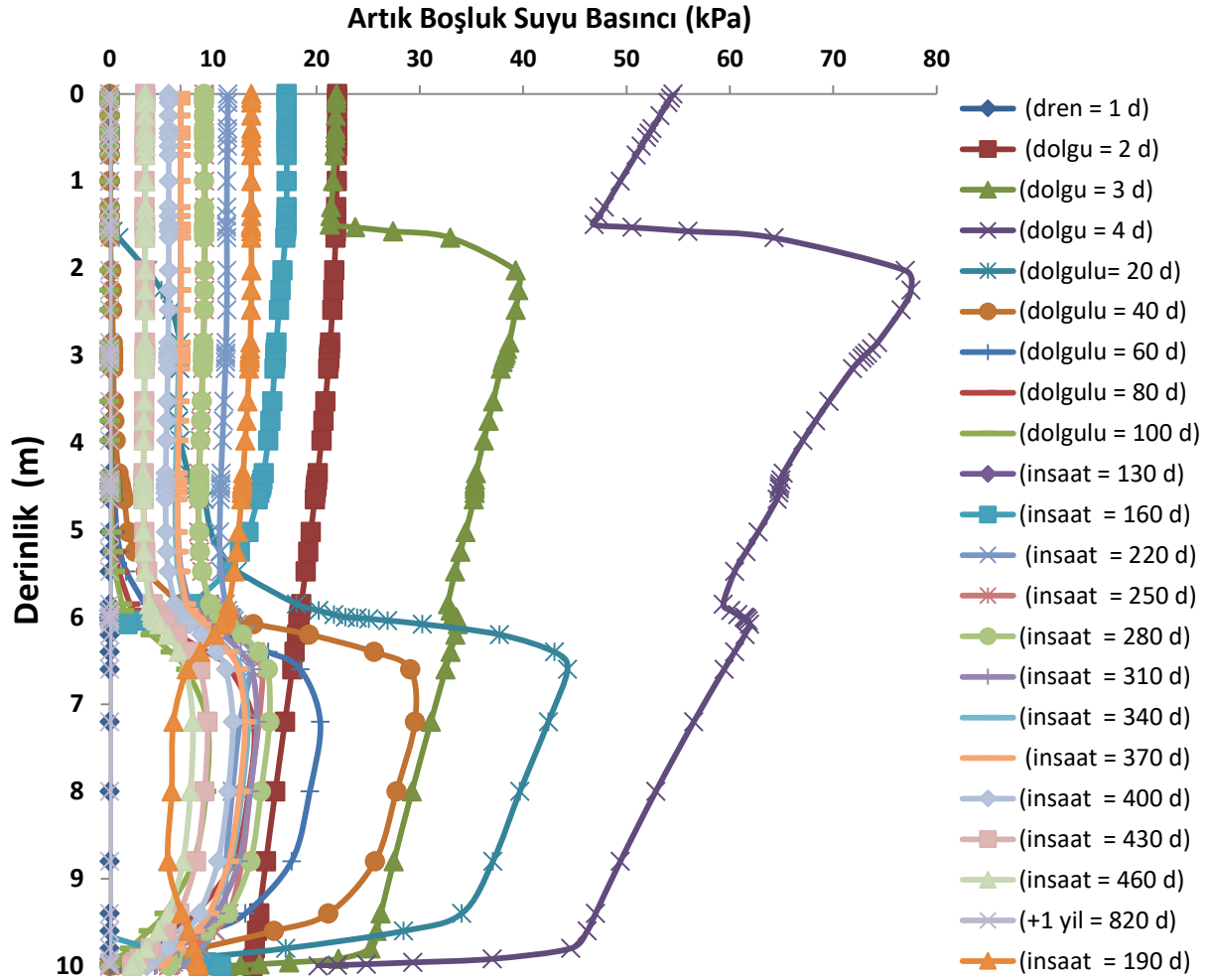
Dren aralığı 1.0 m iken, zeminde ki artık boşluk suyu basıncı, dolgunun yapılması ile tüm tabakaları hızla terk edecektir. Dolgunun kaldırılması ile oluşacak şişme yani geri dönüş ise yapı imalatının ilk aylarında telafi edilecek ve yapı güvene alınacaktır.

Çap oranı n=20 değeri seçilmesi ile diren aralıkları 1.5 m'ye çıkarılmıştır. PDD'li zeminde dolgu 100 gün bekletildiğinde yaklaşık 20 cm oturma gözlenmiş ve diğer modellerde de olduğu gibi dolgu kaldırılınca zeminde şişme olmuş ve su çıkışı bir süreliğine durmuştur. Yapı imalatının başlaması ile birlikte ilk 30 günde zeminde oluşan şişme henüz yapının kaba inşaat imalatları tamamlanmadan yine 20 cm' lik oturma değerine dönmüş ve böylelikle bina imalatı müsaade edilebilir oturma sınırları içinde tamamlanmış olacaktır. Zeminin konsolidasyonu hemen hemen 600 günde çok önemli bir ölçüde tamamlanacaktır (Şekil 5.18).



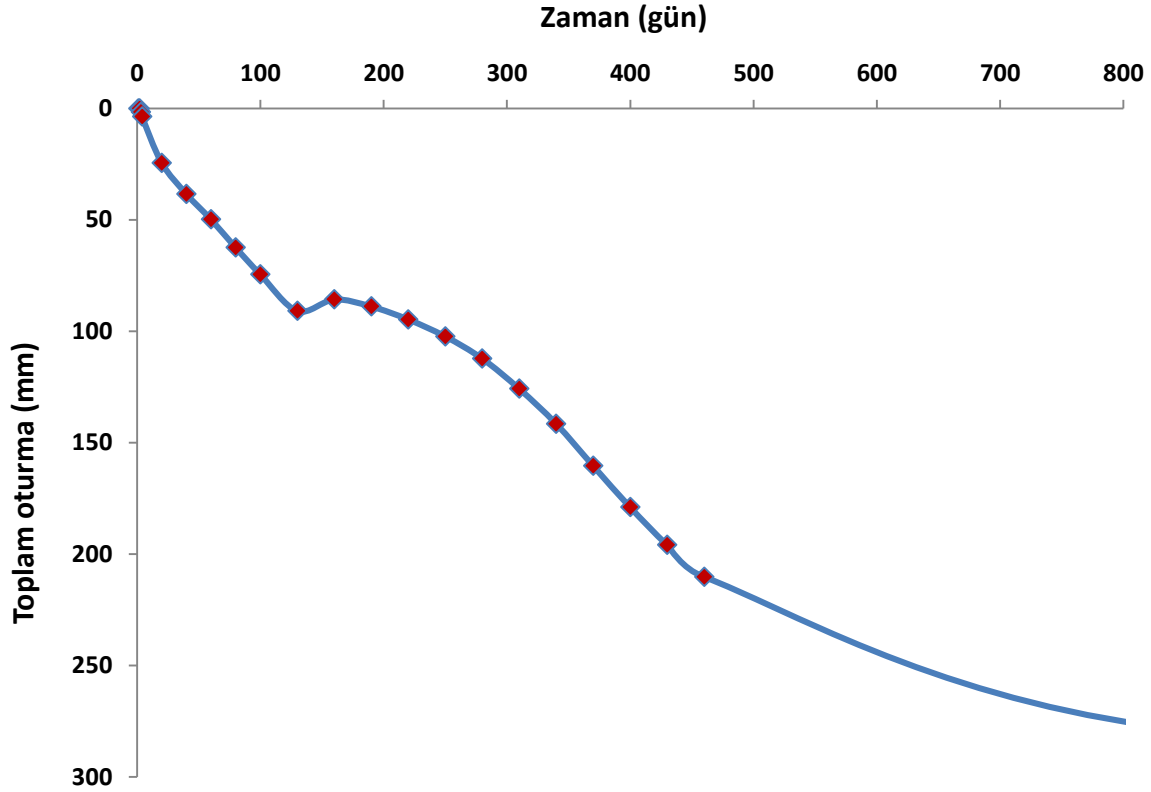
Şekil 5.18 PDD'li Modelde, $n=20$ İçin Zaman-Oturma Değerleri.

Üniform olmayan taban basıncı altında ve $n=20$ olan modelde suyun zemini terk etmesi dolgunun ilk yapıldığı günlerde hızlıdır ve bu süreçte ilk 6m' lik tabakada artık boşluk suyu basıncı 45 kPa ile 75kPa aralığında değişmekte, CH tabakasında ise 20 kPa ile 45 kPa aralığında değişmektedir. 100. günde dolgunun kaldırılmasıyla birlikte şişme meydana gelmiş ve artık boşluk suyu basıncı neredeyse durmuş fakat bir süre sonra sistemde kalan su tekrar zemini terk etmeye devam etmiş ve 160. günden sonra hep 20 kPa'ın altında seyir etmiştir. 500. günden sonra artık boşluk suyu basıncı 10 kPa'ın altında seyir etmiştir. kadar hemen hemen su çıkışı durmuş ve artık boşluk suyu basıncı sıfıra yaklaşmıştır. Oturmanın anlamlı kısmı ön yükleme+ PDD+ yapı imalatı süreçlerinde tamamlanmış ve güvene alınmış olmaktadır.



Şekil 5.19 PDD'li Modelde, n=16 İçin Artık Boşluk Suyu Basıncı-Derinlik Değerlerinin Zaman Bağlı Değişimi

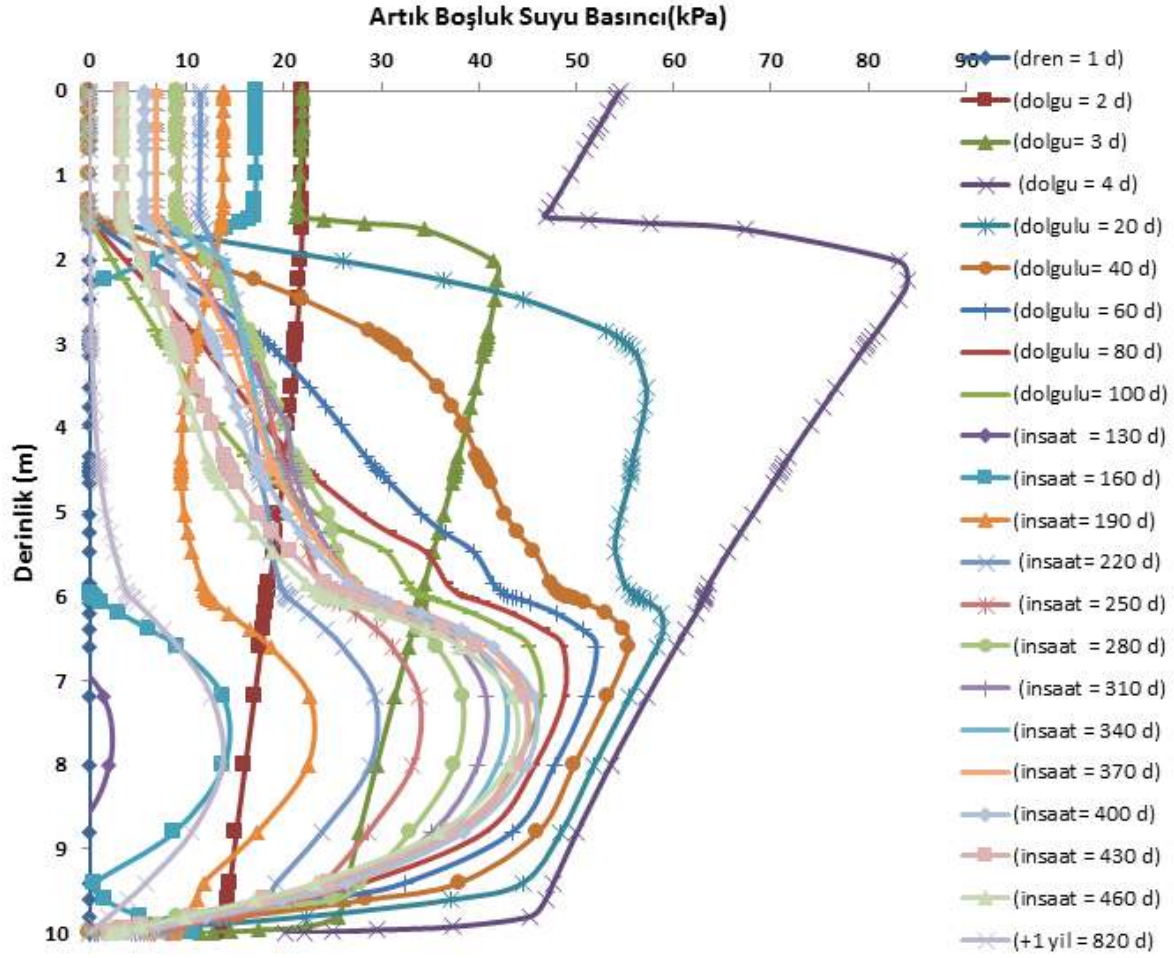
Son olarak n=50 değerinde ise diren aralıkları bir miktar daha arttırılıp 3.124 m'ye çıkarılmıştır. PDD'li zeminde dolgu 100 gün bekletildiğinde yaklaşık 10 cm oturma gözlenmiş ve diğer modellerde de olduğu gibi dolgu kaldırılınca zeminde bir miktar şişme olmuştur. Yapı imalatının başlaması ile birlikte ilk 30 günde zeminde oluşan şişme henüz yapının kaba inşaat imalatları tamamlanmadan yine 10 cm' lik oturma değerine dönmüştür. Fakat gerçekleşen bu oturma bina imalatı ve hizmet başlangıç süreside dahil olmak üzere 700. günden sonra müsaade edilebilir oturma seviyesine inmiştir ve bu yapı için risk taşımaktadır. Şekil 5.20'de de görüldüğü gibi n=50 değeri için konsolidasyon süresi anlamlı derecede azaltılamamış ve bu model için dren aralığımız olan 3.125 m azaltılmalıdır.



Şekil 5.20 PDD'li Modelde, n=50 İçin Zaman-Oturma Değerleri.

Üniform olmayan taban basıncı altında ve n=50 olan modelde suyun zemini terk etmesi dolgunun ilk yapıldığı günlerde hızlıdır ve bu süreçte ilk 6m' lik tabakada artık boşluk suyu basıncı 45 kPa ile 85kPa aralığında değişmekte, CH tabakasında ise 15 kPa ile 45 kPa aralığında değişmektedir. 100. günde dolgunun kaldırılmasıyla birlikte bir miktar şişme meydana gelmiştir. Fakat bina imalatının hemen başlaması ile oturma devam etmiştir. Özellikle CH tabakasında artık boşluk suyu basıncı uzun zaman düşmemiş dolayısıyla su çıkışı oldukça yavaş gerçekleşmiştir. Oturmanın anlamlı kısmı ön yükleme+ PDD+ yapı imalatı süreçlerinde tamamlanamamış ve yapı tam anlamıyla güvene alınmamış olmaktadır.

N değerinin daha küçük seçilmesinin dolayısıyla dren aralığının azaltılmasının yapı güvenliği açısından daha faydalı olacağı düşünülmektedir ve bu kapsamda bölüm 6'da değerlendirme ve kıyas yapılmaktadır.

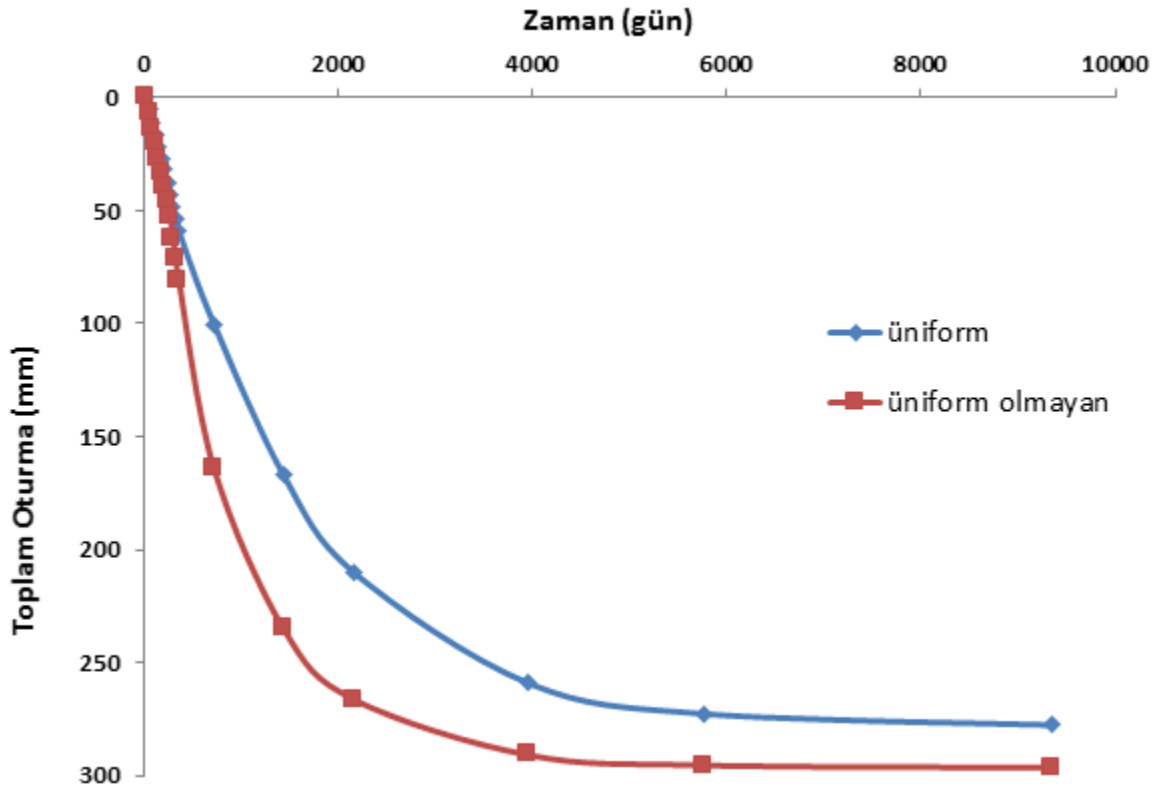


Şekil 5.21 PDD'li Modelde, $n=50$ İçin Artık Boşluk Suyu Basıncı- Derinlik Değerlerinin Zaman Bağlı Değişimi.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

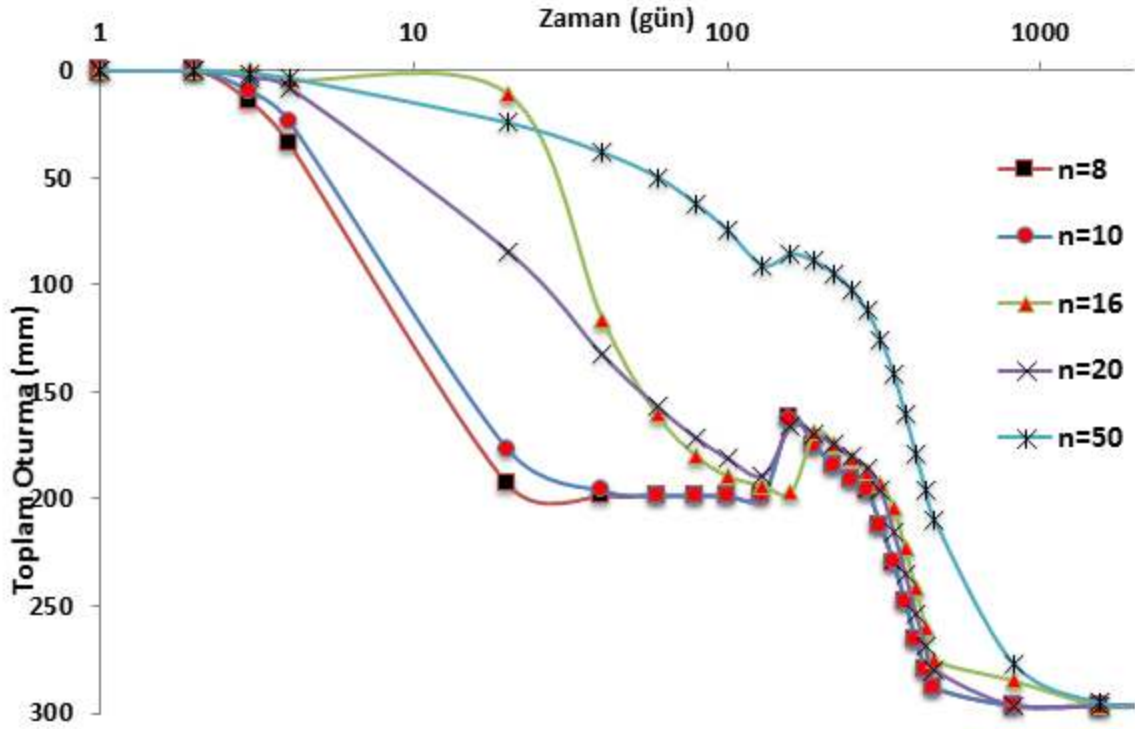
Bina tabanı 1697 adet eşit (0.226 m^2) dikdörtgenlere bölünerek yapılan çözümlerde üniform ve Üniform olmayan yükler kullanılmış ve daha reel bir yaklaşım olan üniform olmayan taban basınçları altındaki modelde zamana bağlı oturmanın ortalama taban basıncı ile çözülen üniform modele göre daha hızlı olduğu Şekil 6.1’de de görüldüğü gibi belirlenmiştir.



Şekil 6.1 Üniform ve Üniform Olmayan Taban Basıncı Altındaki Modellerin Zamana Bağlı Toplam Oturma Miktarları.

Güvenirlilik açısından daha reel bir yaklaşıma sebep olan üniform taban basıncına sahip olmayan modelde farklı dren çapları ve bu çapların etki alanı ile elde edilen çap oranı(n) değerleri 8, 10,

16, 20 ve 50 olarak çalışılmış bu çözümlerin sonucunda oluşan zamana bağlı oturma ise Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2 Üniform Olmayan Taban Basıncı Altındaki, Çap Oranları 8,10,16,20,50 Olan Modellerin Zamana Bağlı Toplam Oturma Miktarları.

Yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar özetlenmiştir;

- Yapı altında bulunan 4 ayrı kil tabakasında oluşan konsolidasyon oturma değeri üniform dağılımlı temel sistemde 30 cm olarak hesaplanmıştır. Bu değer betonarme bir yapı için müsaade edilebilir oturma değerlerinden çok büyüktür. Bu yapı inşa edilecekse mutlaka temel zemininde iyileştirme yapılması zorunludur.
- Temel basıncı ortalama değer yerine, yapının betonarme statik ve dinamik hesaplarında elde edilen üniform olmayan gerçek değeri sisteme girilerek oturma hesabı yapıldığında toplam konsolidasyon oturma değeri 27.7 cm olarak hesaplanmıştır. Bu değer de kabul edilen sınırların dışındadır.
- Gerçek yapının betonarme statik ve dinamik hesaplarından elde edilen taban basıncı ile oturma hesabı yapılabilmesi için temel sistemi 1617 parçaya bölünerek her bir parçaya denk gelen gerilme değerleri ayrı ayrı girilmiştir. Bu verilerin çokluğu bakımından ancak (64 GB Çift XEON 2655) yüksek seviyeli Workstation PC sayesinde çözüm yapılabilmiştir. Sayısal çözüm oldukça uzun sürmesine rağmen üniform ve üniform

olmayan taban basıncı oturma farkı 3cm den fazladır. Bundan dolayı pratik temel mühendisliği hesaplamalarında gerçek değişken taban basıncına göre hesaplamak daha doğru sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

- Yapı yükleri gerçekte araziye bir anda etkimemekte ortalama bir bina yaklaşık 1 yıl gibi bir sürede bitmektedir. Bundan dolayı oturma hesaplamalarında zamana bağlı yük artımı dikkate alınarak yapılması önerilmektedir.
- Üniform veya üniform olmayan taban basınçları sebebi ile zemin tabakaları yaklaşık 25 yılda tamamlandığı hesaplanmıştır. Oturma süresinin kısaltılabilmesi ve yapıya etkiyecek oturma değerleri düşürebilmek için önyükleme ve düşey drenler zemin tabakalarının üzerine sanal olarak eklenerek oturma miktarları ve süreleri tekrar hesaplanmıştır. Ön yükleme sonucu 20 cm kadar bir oturma yapı inşaatı önce drenler sayesinde başarılmıştır.
- Ön yükleme ve PDD imalatına karar vermek için mutlaka dren aralıkları değiştirilerek tekrar tekrar çözmek gerekmektedir. Bu çalışmada çap oranları (n) 10 sayısı en uygun olduğu elde edilmiştir (Şekil 6.2). Çap oranı $n=8$ daha az süre vermesine rağmen maliyet dikkate alındığında $n=10$ hemen aynı zamanda oturmayı sağlamakta hem de %10 dan fazla dren sayısını azaltmaktadır.



KAYNAKLAR

- Abu-Farsakh M Y** (Ed.) (2004) *Evaluation of Consolidation Characteristics of Cohesive Soils From Piezocone Penetration Tests*. ISBN:736-99-0781, Louisiana Transportation Research Center, Baton Rouge, 106 pp.
- ASTM D4318-10** (2010) Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. *ASTM International*.
- ASTM D2435/D2435M-11** (2011) Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading. *ASTM International*.
- ASTM D854-14** (2014) Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. *ASTM International*.
- ASTM D2787-17** (2017) Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). *ASTM International*.
- ASTM D7928 – 17** (2017) Standard Test Method for Particle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis. *ASTM International*.
- Capper L and Cassie W F** (1984) *İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği*. 1. Baskı, Çağlayan Kitabevi, İstanbul. 386 s.
- Das B M** (1997) Consolidation Settlement. *Advanced Soil Mechanics*, 2nd edition, ISBN: 1-56032-561-5, Spon Press, London, 426-453.
- Das B M and Sobhan K** (2014) Compressibility of Soil. *Principles of Geotechnical Engineering*, 8th edition, ISBN: 978-1-133-10867-2, Cengage Learning, Stamford, 353-428.
- Holtz R D, Kovacs W D and Sheahan T C** (2010) Compressibility of Soil. *An Introduction to Geotechnical Engineering*, 2nd edition, ISBN: 978-0-13-249634-6, Pearson, New Jersey, 345-403.
- Hausmann M R** (1990) *Engineering Principles of Ground Modification*. International Edition, ISBN: 978-0070272798, McGraw-Hill, Singapore 619 pp.
- Knappet J A and Craig R F** (2012) Consolidation. *Craig's Soil Mechanics*, 8th edition, ISBN: 978-0-415-56125-9, Spon Press, Oxon, 101-144.
- Levadoux J N and Baligh M M** (1986) Consolidation After Undrained Piezocone Penetration. I: Prediction. *ASCE Journal of Geotechnical Engineering*, 112 (7): 706-726.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Mayne P W and Kemper J B** (1988) Profiling OCR in Stiff Clays by CPT and SPT. *Geotechnical Testing Journal*, 11: 139-147.
- Nicholson P G** (2015) *Soil Improvement And Ground Modification Methods*. ISBN: 978-0-12-408076-8, Elsevier Waltham, MA USA, 441 pp.
- Önalp A** (2002) *Geoteknik Bilgisi 1*. 1. Baskı, ISBN: 4236651005052, Birsen Yayınevi, İstanbul, 450 s.
- Stamatopoulos A C and Kotzias P C** (1985) *Soil Improvement by Preloading*. ISBN: 0-471-81593-4 John Wiley & Sons, Inc USA, 261 pp.
- Taylor D W** (1948) *Fundamentals of Soil Mechanics*. 1st edition, John Wiley and Sons Inc., New York, USA, 711 pp.
- TSE 1900-2** (2006) İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

BİBLİYOGRAFYA

- Casagrande A** (1936) The Determination of the Pre-Consolidation Load and Its Practical Significance, Discussion D-34. *Proceedings of the First International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Cambridge, 111: 60-64.
- Bjerrum L** (1967) Engineering Geology of Norwegian Normally Consolidated Marine Clays as Related to Settlements of Buildings. *Geotechnique*, 17(2): 81-118.
- Bjerrum L** (1972) Embankments on Soft Ground, *Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Performance of Earth and Earth-Supported Structures*, Purdue University, 2:1-54.
- Kenney T C** (1964) Sea-Level Movements and the Geologic Histories of the Post-Glacial Marine Soils at Boston, Nicolet, Ottawa, and Oslo. *Geotechnique*, 14(3):203-230.
- Lambe T W** (1958a) The Structure of Compacted Clay. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, 84(2):1654-1 to 1654-34.
- Lambe T W** (1958b) The Engineering Behavior of Compacted Clay. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, 84(2):1655-1 to 1655-35.
- Leonards G A and Altschaeffl A G** (1964) Compressibility of Clay. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, 90(5):133-156.
- Leonards G A and Ramiah B K** (1959) Time Effects in the Consolidation of Clay. *Papers on Soils - 1959 Meeting, American Society for Testing and Materials*, Special Technical Publication No. 254, 116-130.
- Lowe J III** (1974) New Concepts in Consolidation and Settlement Analysis. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 100 (6):574-612.
- Raju, A A** (1956) The Preconsolidation Pressure in Clay Soils. *MSCE thesis*, Purdue University, 41 p.



ÖZGEÇMİŞ

Özge VATANER 1989 yılında Erzincan’da doğdu. İlköğretim ve Lise öğrenimini Erzincan’da tamamladı. 2008 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi- İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne başladı ve 2014 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği ABD (Geoteknik) yüksek lisans eğitimine başladı. 2013-2018 yılları arasında Zonguldak’ta, HAVER İnşaat Ltd. Şti, DEMİRTAŞLAR Yapı Denetim A.Ş, KOZLU BELEDİYE BAŞKANLIĞI ve MERFA İnşaat Ltd. Şti’ de proje bazlı çalışan Özge VATANER, 2019 yılında Erzincan’da ANKA YAPI-Özge VATANER firmasını kurdu.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: Atatürk Mahallesi Ordu Cd. No:6/204
Merkez /ERZİNCAN

Tel: (+90) 545 802 32 61

E-posta: ozgevataner@hotmail.com