

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AŞIRI KONSOLİDE ORANININ (OCR) KONSOLİDASYON OTURMA VE ZAMAN
İLİŞKİSİNE ETKİSİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİLEK CANSU TURHAN

ARALIK 2017

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AŞIRI KONSOLİDE ORANININ (OCR) KONSOLİDASYON OTURMA VE ZAMAN
İLİŞKİSİNE ETKİSİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dilek Cansu TURHAN

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk ÇAPAR

ZONGULDAK

Aralık 2017

KABUL:

Dilek Cansu TURHAN tarafından hazırlanan “Aşırı Konsolide Oranının (OCR) Konsolidasyon Oturma ve Zaman İlişkisine Etkisi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle/oyçokluğuyla kabul edilmiştir. 07/12/2017

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk ÇAPAR

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Aşkın ÖZOCAK

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü


Üye: Yrd. Doç. Dr. Ayşe Bengü SÜN BÜL

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

29/12/2017


Doç. 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.”


Dilek Cansu TURHAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AŞIRI KONSOLİDE ORANININ (OCR) KONSOLİDASYON OTURMA VE ZAMAN İLİŞKİSİNE ETKİSİ

Dilek Cansu TURHAN

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk ÇAPAR

Aralık 2017, 93 sayfa

Herhangi bir yapıya ait temel sisteminin stabilite problemlerinde, temelden zemine aktarılan taban basıncının zeminin taşıma gücünü aşmamasına ve yapıya zarar verecek boyutta oturmaya sebep vermemesine dikkat edilir. Bu sebeple, zeminlere oturan temeller için hesaplanan izin verilebilir taşıma gücü değerleri, meydana getireceği oturmalara göre sınırlandırılması gerekmektedir. Yapılan araştırmaların ışığında, temel zemininde oluşan oturmaları üç ayrı grupta toplamak mümkündür. Bunlar ani oturma, birincil konsolidasyon ve ikincil konsolidasyon oturmalarıdır. Yapılan önceki çalışmalarda, bahsi geçen oturma tiplerini matematiksel olarak modellemek için arazi ve laboratuvar deneyleri kullanılarak çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Her bir zemin türüne göre ayrı ayrı birbirinden bağımsız oturma analiz yöntemleri literatürde mevcuttur. Bu çalışmada, oturma hesaplarında, literatürlerde genel kabul görmüş oturma analiz tekniklerinden yararlanılacaktır. Konsolidasyon oturma problemlerinin en fazla görüldüğü zemin tipi olan doygun killi zeminler araştırma zemini olarak seçilmiştir.

ÖZET (devam ediyor)

Konsolidasyon oturma ve süre hesaplama yöntemlerinde en önemli bulunması gereken zemin parametresi aşırı konsolidasyon oranıdır. Aşırı konsolidasyon oranı (OCR) zemin tabakasının sahip olduğu ön konsolidasyon basıncı değerinin aynı tabaka üzerindeki mevcut efektif gerilme değerine bölümü ile bulunur. Bu oran derinlikle değişmektedir. Bu çalışmada yapı temellerinin altında oluşan oturma ve oluşum süresi arasındaki ilişkilerin zemin tabakalarına ait derinlik ile değişim gösteren aşırı konsolide oranından nasıl etkilendiği sayısal olarak sunulmuştur. Araziden elde edilen zemin örnekleri laboratuvar şartlarında yeniden yapılandırılmış ve farklı ön konsolidasyon basıncına sahip olmaları sağlanmıştır. Bu işlemin devamında yük boşaltılması yapılarak numunelerin aşırı konsolide edilmiştir. Deney seti daha sonra 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 kPa gerilme değerleri altında tekrar yüklenerek ve her yük aşamasında oturma miktarı ve oturma süresi hesapları için gerekli konsolidasyon sıkışma katsayısı (C_c), Yeniden sıkışma katsayısı (C_r), her bir gerilme yüklemesinde numunenin kompresibilite (m_v) ve konsolidasyon (C_v) katsayıları hesaplanmıştır.

Elde edilen deneysel veriler yardımı ile Settle3D yazılımı kullanılarak değişik temel geometrisine sahip temel sistemlerinde oturma analizleri 3 boyutlu olarak yapılmıştır. Ayrıca oturma - zaman ilişkileri incelenmiştir. Böylelikle, aşırı konsolide oranı (OCR) değerinin derinlikle değişiminin, oturma değerlerini ve oturma sürelerini nasıl etkilediği incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Killi zeminler, Konsolidasyon Oturması, Aşırı konsolidasyon Oranı, Sayısal Modelleme

Bilim Kodu: 624.01.01

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EFFECTS OF OVERCONSOLIDATION RATIO ON CONSOLIDATION TIME- SETTLEMENT RELATIONSHIP

Dilek Cansu TURHAN

Bülent Ecevit University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

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

December 2017, 93 pages

In stability problems for a foundation system of any structure, it is regarded that contact pressure is not only exceeded ultimate bearing capacity of foundation soil but also caused to enough settlement for damaging the structure. In this reason, allowable bearing capacity value of a shallow foundation system must be limited with the results of settlement analysis. According to previous studies, the settlement of a foundation can be grouped into three different types which are immediate settlement, primary consolidation and secondary consolidation settlement. Mathematical modelling of these settlements have been developed by in-situ and laboratory experiments and presented in previous studies. In this study, settlement analysis procedures recommended by scientific researches were used. Saturated clayey soils most frequently subjected to consolidation settlement problems were chosen as research material.

ABSTRACT (continued)

The most important material parameter, used in calculation methods for consolidation time and settlement was over consolidation ratio (OCR). OCR values were calculated as pre-consolidation pressure divided by the actual overburden pressure actin on the same soil layer. OCR varies with the depth. In this study, it was numerically reported how consolidation settlement occurred beneath foundation systems and the duration time are affected by OCR varying with the depth. Soil samples obtained from the field will be re-constituted and they will be had different pre-consolidation pressure respectively. Moreover, the samples are made over consolidated by unloading. After this procedure the same samples will be reloaded to obtain stress as 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 kPa. Consolidation coefficient (C_v) and compressibility coefficient (m_v) were calculated separately at every loading step. After the Odometer test was done compression coefficient (C_c) and recompression coefficient (C_r) were computed.

Based on experimental results, calculations of consolidation settlement and time for foundation systems having different geometrical shapes were been three dimensionally conducted by Settle3D. In addition, settlement-time relations were investigated. In this way, it was investigated that relationship between OCR variation with the depth and the magnitude of consolidation settlement and duration time.

Keywords: Clays, Consolidation Settlement, Over consolidation Ratio, Numerical Modelling.

Science Code: 624.01.01.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince fikir ve deneyimleriyle bana her konuda yardımcı olan, karşılaştığım her zorlukta güler yüzü ve hoşgörüsüyle bana destek olan saygıdeğer danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk ÇAPAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması boyunca fikirlerini ve desteğini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ayşe Bengü SÜNBÜL'e ve çalışma arkadaşlarım Arş. Gör. Berna AKSOY ve Arş Gör. Emrah DAĞLI'ya teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde yanımda olduğunu ve olacağını bildiğim benden sevgisini ve desteğini bu tez çalışması süresince ve hayatımın her alanında benden esirgemeyen Semih BOZACIOĞLU'na teşekkür ederim.

Her türlü zorluklarla mücadele ederek beni bugünlere getiren, sevgi ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, beni iyi bir birey olarak yetiştiren canım aileme sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2015-37891158-01 numaralı Lisansüstü Öğrenim ve Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 GENEL BİLGİLER	3
2.1 KONSOLİDASYON OTURMALARI	3
2.1.1 Birincil Konsolidasyon Oturmaları	4
2.1.2 Ön Konsolidasyon Basıncının Belirlenmesi	5
2.1.2.1 Casagrande Yöntemi	8
2.1.2.2 Janbu Yöntemi.....	9
2.1.2.3 Butterfield Yöntemi.....	9
2.1.2.4 Tavenas Yöntemi.....	10
2.1.2.5 Burmister Yöntemi	11
2.1.2.6 Vaz Zelst Yöntemi	12
2.1.2.7 Eski Yöntem	13
2.1.2.8 Sridharan, Abraham, Jase Yöntemi (1991)	13
2.1.2.9 Nagaraj, Pandian Raju Yöntemi (1993)	14
2.1.3 Aşırı Konsolide Oranı	16
2.1.3.1 Aşırı Konsolide Oranının Arazide Belirlenmesi	16
2.1.4 Sekonder (İkincil) Konsolidasyon Oturması	17

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.2 KONSOLİDASYON SÜRECİ.....	19
2.2.1 Konsolidasyon Derecesi.....	21
2.3 BİR BOYUTLU KONSOLİDASYON TEORİSİ (TS1900-2, ASTM D 2435 M-11) ..	22
2.4 KONSOLİDASYON KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ	28
2.5 KONSOLİDASYON HIZININ BELİRLENMESİ	30
2.5.1 Logaritma – Zaman (Casagrande) Yöntemi	30
2.5.2 Karekök – Zaman (Taylor) Yöntemi	31
2.5.3 Hyperbola Yöntemi.....	33
2.5.4 Erken Kademe (Early Stage) Log-t Yöntemi.....	34
2.5.5 B. Sivaram and Prabhata, K. Swamee – 1976	35
2.5.6 Eulalio Juarez-Badillo Yöntemi – 1986.....	36
2.5.7 P.S.R. Narashima Raju, N.S. Pandian, T.S. Nagaraj Yöntemi – 1995	37
2.5.8 P.S.R. Narashima Raju, N.S. Pandian, T.S. Nagaraj Yöntemi – 1997	38
2.5.9 R. G. Robinson Yöntemi – 1997.....	39
2.5.10 A. Siridharan, H. B. Nagaraj Yöntemi – 2004.....	41
2.5.11 Mohammad Shukri Al-Zoubi Yöntemi – 2008.....	42
2.5.12 Arazi Deneyleri ile Konsolidasyon Kaysayısının C_v Bulunması.....	44
BÖLÜM 3 GEREÇ VE YÖNTEM.....	49
3.1 GİRİŞ.....	49
3.2 ARAŞTIRMADA KULLANILAN MALZEME	49
3.3 NUMUNELERİN HAZIRLANIŞI VE KONSOLİDASYON DENEYİNİN YAPILIŞI.....	50
3.4 OTURMA HESABINDA SETTLE 3D’NİN KULLANIMI	51
3.4.1 Settle 3D Yazılımının Özellikleri	51
3.4.2 Settle 3D Yazılımında Oturma Hesabı	52

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

BÖLÜM 4 KONSOLİDASYON DENEY SONUÇLARI VE SETTLE 3D İLE OTURMA ANALİZİ.....	57
4.1 KONSOLİDASYON DENEY SONUÇLARI.....	57
4.2 SETTLE 3D İLE KONSOLİDASYON OTURMA ANALİZİ.....	75
BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	85
5.1 SONUÇLAR.....	85
5.2 ÖNERİLER	86
KAYNAKLAR.....	87
BİBLİYOGRAFYA	91
ÖZGEÇMİŞ	93



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Konsolidasyon teorisini anlatmak için kullanılan yay modeli	4
Şekil 2.2 Derinlikle ön konsolidasyon basıncının değişmesi.	7
Şekil 2.3 Mystic Elektrik Santrali	7
Şekil 2.4 Casagrande yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının bulunması	8
Şekil 2.5 Janbu yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi	9
Şekil 2.6 Butterfield yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının bulunması	10
Şekil 2.7 Tavenas yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının bulunması	11
Şekil 2.8 Burmister yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının bulunması.	12
Şekil 2.9 Van Zelst yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının bulunması	12
Şekil 2.10 Eski yöntem ile ön konsolidasyon basıncının bulunması.....	13
Şekil 2.11 Sridharan, Abraham, Jase yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının bulunması ...	14
Şekil 2.12 a) Boşluk oranı – konsolidasyon basıncı grafiği, b) Normalize edilmiş durum parametreleri – konsolidasyon basıncı grafiği	15
Şekil 2.13 Konsolidasyonun zamanla değişimi.....	18
Şekil 2.14 Konsolidasyon sürecinde toplam gerilme, boşluk suyu basıncı ve efektif gerilmenin değişimi	20
Şekil 2.15 Konsolide olan zemin tabakasının dx,dy,dz boyutlarındaki partikülü.....	23
Şekil 2.16 Tek yönlü ve çift yönlü drenaja sahip zeminlerin $\Delta u-z$ grafiği	26
Şekil 2.17 Konsolidasyon derecesi ile zaman faktörü ve derinlik arasındaki ilişki	27
Şekil 2.18 Boşluk oranı-efektif gerilme grafiği - logaritmik ekseninde.....	28
Şekil 2.19 Boşluk oranı efektif gerilme grafiği-logaritmik olmayan ekseninde	29
Şekil 2.20 Casagrande yöntemi ile konsolidasyon katsayısının bulunması	31
Şekil 2.21 Taylor yöntemi ile konsolidasyon katsayısının bulunması	32

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.22 Hyperbola yöntemi ile konsolidasyon katsayısının bulunması.....	33
Şekil 2.23 Erken kademe (early stage) log–t yöntemi ile konsolidasyon katsayısının bulunması	34
Şekil 2.24 a) Boşluk oranı – konsolidasyon basıncı grafiği, b) Normalize edilmiş durum parametreleri – konsolidasyon basıncı grafiği	38
Şekil 2.25 Aşırı ve normal konsolide killer için a) Boşluk oranı – konsolidasyon basıncı grafiği, b) Normalize edilmiş durum parametreleri – konsolidasyon basıncı grafiği.....	39
Şekil 2.26 Dönüm noktasının grafiksel olarak belirlenmesi	40
Şekil 2.27 $\Delta\delta/\Delta\log t$ grafiği.....	41
Şekil 2.28 Karekök zaman ve deformasyon grafiği	42
Şekil 2.29 Oran faktörünün belirlenmesi	46
Şekil 3.1 BEU İnşaat Mühendisliği Araştırma Laboratuvarındaki konsolidasyon deney seti .	51
Şekil 3.2 BEÜ İlahiyat Fakültesi Derslik Binasına ait temel geometrisi ve üç boyutlu arazi modeli.	53
Şekil 3.3 BEÜ İlahiyat Fakültesi Derslik Binasının temeli altındaki efektif gerilme ve ön konsolidasyon basıncının derinlikle değişmesi.	54
Şekil 4.1 100 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait e-log σ grafiği.....	59
Şekil 4.2 100 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye Ait 1600 kPa yüklemede C_v 'nin Casagrande ve Taylor yöntemleriyle bulunması.....	59
Şekil 4.3 100 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $m_v - \sigma$ grafiği.	60
Şekil 4.4 100 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $C_v - \sigma$ grafiği.	60
Şekil 4.5 200 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait e-log σ grafiği.....	62
Şekil 4.6 200 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait 3200 kPa Yüklemede C_v 'nin Casagrande ve Taylor yöntemleriyle bulunması.....	62
Şekil 4.7 200 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $m_v - \sigma$ grafiği.	63
Şekil 4.8 200 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $C_v - \sigma$ grafiği.	63
Şekil 4.9 300 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait e-log σ grafiği.....	65

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.10 300 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait 800 kPa yüklemeye C_v 'nin Casagrande ve Taylor yöntemleriyle bulunması.....	65
Şekil 4.11 300 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $m_v - \sigma$ grafiği.	66
Şekil 4.12 300 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $C_v - \sigma$ grafiği.	66
Şekil 4.13 400 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $e - \log \sigma$ grafiği.....	68
Şekil 4.14 400 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait 100 kPa yüklemeye C_v 'nin Casagrande ve Taylor yöntemleriyle bulunması.....	68
Şekil 4.15 400 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $m_v - \sigma$ grafiği.	69
Şekil 4.16 400 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $C_v - \sigma$ grafiği.	69
Şekil 4.17 500 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $e - \log \sigma$ grafiği.....	71
Şekil 4.18 500 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait 400 kPa yüklemeye C_v 'nin Casagrande ve Taylor yöntemleriyle bulunması.....	71
Şekil 4.19 500 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $m_v - \sigma$ grafiği.	72
Şekil 4.20 500 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $C_v - \sigma$ grafiği.	72
Şekil 4.21 800 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $e - \log \sigma$ grafiği.....	74
Şekil 4.22 800 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait 400 kPa yüklemeye C_v 'nin Casagrande ve Taylor yöntemleriyle bulunması.....	74
Şekil 4.23 800 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $m_v - \sigma$ grafiği.	75
Şekil 4.24 800 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $C_v - \sigma$ grafiği.	75
Şekil 4.25 BEÜ İlahiyat Fakültesi Derslik Binası temelinden zemine aktarılan gerilme dağılımının derinlikle değişimi.....	76
Şekil 4.26 BEÜ İlahiyat Fakültesi Derslik Binasının OCR=1 olması durumunda elde edilen plan görüntüsü ve oturma miktarları.....	77
Şekil 4.27 OCR=1 olması durumunda derinliğe bağlı toplam oturma.....	78
Şekil 4.28 OCR=1 olması durumunda derinliğe bağlı artık boşluk suyu basıncı (0-12 ay)	79
Şekil 4.29 OCR=1 olması durumunda derinliğe bağlı artık boşluk suyu basıncı (12 ay-+100 yıl).....	79

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.30 BEÜ İlahiyat Fakültesi Derslik Binasının OCR derinlikle değişken olması durumunda elde edilen plan görüntüsü ve oturma miktarları.	80
Şekil 4.31 OCR derinlikle değişken olması durumunda derinliğe bağlı toplam oturma.	81
Şekil 4.32 OCR derinlikle değişken durumunda derinliğe bağlı artık boşluk suyu basıncı (0-12 ay).....	82
Şekil 4.33 OCR derinlikle değişken durumunda derinliğe bağlı artık boşluk suyu basıncı (0-12 ay).....	82
Şekil 4.34 OCR derinlikle değişken ve OCR=1 olması durumunda zamana bağlı toplam oturma. .	83



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Ön konsolidasyon basıncına sebep olan mekanizmalar	6
Çizelge 2.2 Arazi deneyleri ile OCR'nin bulunması.....	17
Çizelge 2.3 Doğal zeminlerin ikincil konsolidasyon karakteristikleri.....	19
Çizelge 2.4 C_a ve C_c arasındaki deneysel korelasyonlar.....	19
Çizelge 2.5 Konsolidasyon sürecinde gerilme durumları	20
Çizelge 2.6 Yatay konsolidasyon katsayısının CPT sonuçlarıyla bulunuşu.	45
Çizelge 2.7 Modifiye zaman faktörünün belirlenmesi	46
Çizelge 3.1 Kil numunesinin tanımlama deney sonuçları.....	49
Çizelge 3.2 OCR'nin değişken olması durumunda zemin parametreleri.....	55
Çizelge 3.3 OCR=1 olması durumunda zemin parametreleri.	56
Çizelge 4.1 100 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen deneyler için konsolidasyon karakteristikleri	58
Çizelge 4.2 200 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen deneyler için konsolidasyon karakteristikleri.	61
Çizelge 4.3 300 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen deneyler için konsolidasyon karakteristikleri.	64
Çizelge 4.4 400 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen deneyler için konsolidasyon karakteristikleri.	67
Çizelge 4.5 500 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen deneyler için konsolidasyon karakteristikleri	70
Çizelge 4.6 800 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen deneyler için konsolidasyon karakteristikleri	73



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
M_c	: Kritik Durum Çizgisinin Eğimi
P_a	: Atmosfer Basıncı
S_u	: Drenajsız Kayma Mukavemeti
σ'_{vnc}	: Konsolidasyon Gerilmesi
t_{sec}	: İkincil Konsolidasyonun Tamamlandığı Zaman
t_p	: Birincil Konsolidasyonun Tamamlandığı Süre
C_α	: İkincil Sıkışma Katsayısı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

U_v	: Herhangi Bir Zamandaki Konsolidasyon Derecesi
Δu	: Artık Boşluk Suyu Basıncı
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
a_v	: Sıkışma Katsayısı
t	: Zaman
T_v	: Boyutsuz Zaman Faktörü
H_{dr}	: Maksimum Drenaj Boyu
I_L	: Likit Limit
I_p	: Plastik Limit
ACT	: Aktivite

KISALTMALAR

CPT	: Konik Penetrasyon Testi
OCR	: Aşırı Konsolidasyon Oranı
PCPT	: Piezokonik Penetrasyon Testi
PPD	: Boşluk Basıncı Farkı
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
Y.A.S.S.	: Yeraltı Su Seviyesi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bir binanın temel zeminine ait taşıma gücü hesabı iki aşamada yapılır. Birinci aşama temel altındaki zeminin kırılmadan temelden gelen gerilmeyi taşımasının hesaplanması, ikincisi ise yapının servis ömrünü dikkate alan yapının tolere edebildiği oturma değerlerine göre taşıma gücünün sınırlandırılmasıdır. Bu sebeple, zeminlere oturan temeller için izin verilebilir taşıma gücü değerleri, meydana getireceği oturmalara göre sınırlandırılarak hesaplanmaktadır. Yapılan araştırmaların ışığında, temel zemininde oluşan oturmaları üç ayrı grupta toplamaktadır. Bunlar ani oturma, birincil konsolidasyon ve ikincil konsolidasyon oturmalarıdır. Bahsi geçen oturma tiplerini matematiksel olarak modellemek için arazi ve laboratuvar deneyleri kullanılarak çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Her bir zemin türüne göre ayrı ayrı birbirinden bağımsız oturma analiz yöntemleri literatürde mevcuttur. Kaba daneli zeminlerde ani oturma hesapları, ince daneli (siltli veya killi) zeminlerde ise konsolidasyon oturması ve oturma sürelerinin hesaplamaları yapılmaktadır.

Özellikle killi zeminlerde konsolidasyon oturma miktarının ve oturma süresinin hesaplanması için en önemli bulunması gereken zemin parametresi aşırı konsolidasyon oranıdır. Aşırı konsolidasyon oranı (OCR) zemin tabakasının sahip olduğu ön konsolidasyon basıncı değerinin aynı tabaka üzerindeki mevcut efektif gerilme değerine oranlanması ile bulunur. Bu oran arazideki kil tabakası boyunca derinlikle değişmektedir. Ancak yapılması planlanan bir yapının fizibilite çalışmaları arasında yer alan zemin etüt uygulamasında, suya doymuş kil tabakasının orta noktasından alınan numuneler laboratuvarında konsolidasyon deneyine tabi tutulur. Bu deney sonucunda elde edilen konsolidasyon karakteristikleri tüm tabakaya ait kabul edilir ve oturma analizleri bu verilerle yapılır. Dolayısıyla arazide aşırı konsolide oranı (OCR) derinlikle değişip orta noktada 1'e eşit olduğundan (normal konsolide) yapılan oturma analizi sonucunda elde edilen oturma miktarları olması gerekenden büyük çıkmaktadır. Bu durum o yapıya ait temel sisteminin tasarımını değiştirmekte ve proje maliyetinin artmasına sebep olabilmektedir.

Bu çalışmada, oturma hesaplarında, literatürlerde genel kabul görmüş konsolidasyon oturma analiz tekniklerinden yararlanılmıştır. Konsolidasyon oturma analizi yapılırken BEU Farabi Kampüsünde yapılması planlanan İlahiyat Fakültesi Derslik Binası temel sistemi ve proje değerleri kullanılmıştır. Konsolidasyon oturma hesaplamaları için Çaytaş Refrakraktör bağlama kili saf halde alınmış ve laboratuvar şartlarında temel altı zeminin homojen ve aynı tip bir kil katmanı olarak kabul edilerek suya doygun düşük plastisiteli killi bir tabaka olarak oluşturulmuştur.

Yapı temelinin altında oluşan oturma miktarı ve oturmanın oluşum süresi arasındaki ilişkilerin incelenebilmesi için kil örnekleri laboratuvar şartlarında yeniden yapılandırılarak farklı ön konsolidasyon basıncına sahip olmaları sağlanmıştır. Zeminlere ön konsolidasyon basınç değerleri kazandırdıktan sonra yük boşaltılması yapılarak numunelerin aşırı konsolide olması sağlanmıştır. Deney seti daha sonra 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 kPa gerilme değerleri altında tekrar yüklenmiş ve 800, 200, 50, 12.5 kPa gerilme değerlerinde geri dönmüştür. Her bir deney için oturma miktarı ve oturma süresi hesaplarında kullanılmak üzere gerekli konsolidasyon sıkışma katsayısı (C_c), yeniden sıkışma katsayısı (C_r), her bir gerilme yüklemesinde numunenin hacimsel sıkışma katsayıları (m_v) ve konsolidasyon katsayısı (C_v) hesaplanmıştır.

Elde edilen deneysel veriler yardımı ile Settle3D yazılımı kullanılarak BEÜ Farabi Kampüsünde inşa edilecek olan İlahiyat Fakültesi derslik binasına ait L tipi temel geometrisine sahip temel sistemlerinde oturma analizleri 3 boyutlu olarak ve 2 farklı durumda ($OCR=1$ ve $OCR=$ derinlikle değişen) yapılmıştır. Ayrıca oturma - zaman ilişkileri de hesaplanmıştır. Böylelikle, aşırı konsolide oranı (OCR) değerinin derinlikle değişiminin, oturma değerlerini ve oturma sürelerini nasıl etkilediği incelenmiştir.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

Bir yapıya ait temel sisteminin stabilite analizlerinde, temelden zemine aktarılan taban basıncının zeminin taşıma gücünü aşmamasına ve yapıya zarar verecek boyutta oturmaya sebep vermemesine dikkat edilmektedir. Bu nedenle, zemin üzerindeki temeller için hesaplanan izin verilebilir taşıma gücü değerlerinin, meydana getireceği oturma miktarlarına göre belirlenmesi gerekmektedir. Mühendislik yapılarının temel tasarımında kullanılan toplam oturma miktarı, Eşitlik 2.1’de gösterildiği gibi üç bileşene sahiptir. Bunlar; Ani (Elastik) Oturma (S_i), Birincil konsolidasyon Oturması (S_c), İkincil Konsolidasyon Oturmasıdır (S_s).

$$S_t = S_i + S_c + S_s \quad (2.1)$$

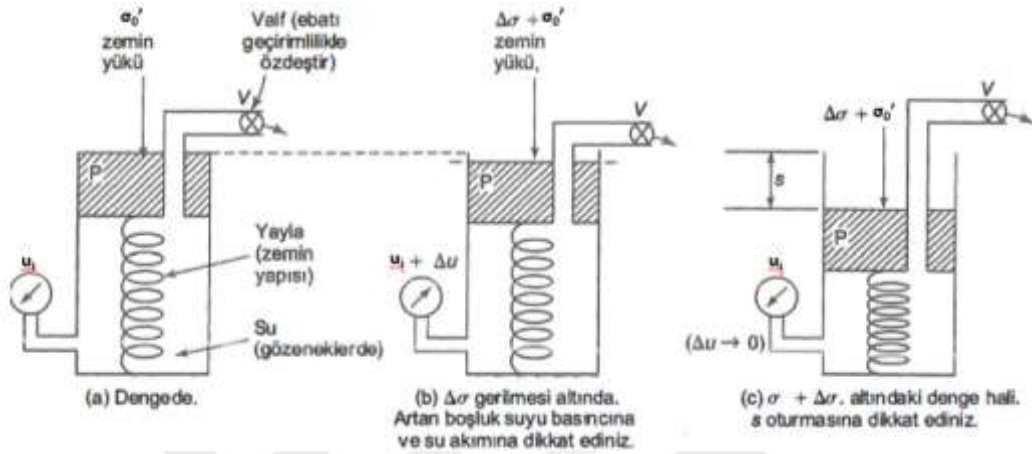
Oturmanın bu üç bileşenini bulmak amacıyla her bir zemin türü için ayrı ayrı hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Kaba daneli zeminler bir yapının inşası aşamasında, yapıdan gelen yüklerle ani oturma sergilemektedir. Ancak ince daneli zeminler yapıdan gelen yüklerle oluşacak olan oturmalarını uzun sürelerde tamamlarlar. Bu nedenle ince daneli zemin tabakasının üzerine inşa edilecek bir yapının temel tasarımını yaparken konsolidasyon oturması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada incelenen 35 m kalınlığındaki zemin tabakasında yaklaşık 30m kalınlığında suya doymuş düşük plastisiteli kil tabakası bulunmaktadır. Bu nedenle yapılan literatür araştırmasında oturma bileşenlerinden yalnızca konsolidasyon oturmasından bahsedilmiştir.

2.1 KONSOLIDASYON OTURMALARI

Düşük permeabiliteli suya tam doymuş zeminlerin efektif gerilmedeki değişime bağlı olarak hacminin zamanla azalmasına konsolidasyon denir. 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. Şekil 2.1’de konsolidasyon süreci yay yardımıyla modellenerek anlatılmıştır. Konsolidasyon oturması birincil konsolidasyon oturması ve ikincil konsolidasyon oturması olarak ikiye ayrılmaktadır.



Şekil 2.1 Konsolidasyon teorisini anlatmak için kullanılan yay modeli (Holtz, Kovacs and Sheahan 2011).

2.1.1 Birincil Konsolidasyon Oturmaları

Kohezyonlu zeminlerde toplam oturmanın önemli bir bölümünü oluşturur. Boşluk suyu basıncının sıfırlanmasıyla gerçekleşen hacim değişiminin sonucudur. Birincil konsolidasyon oturmasının miktarı ve zaman içerisindeki değişimi konsolidasyon teorisi ile konsolidasyon deneylerinden elde edilen zemin sıkışabilirlik katsayıları kullanılarak eşitlik 2.2, 2.3, 2.4 ve 2.5’teki gibi hesaplanır.

$$S_c = \Delta H_t = \frac{\Delta e}{1+e_0} H_t \quad (2.2)$$

Boşluk oranı değişimi (Δe) ve oturma miktarı killerin aşırı konsolide olma durumlarına göre farklı eşitliklerle hesaplanır.

Normal konsolide killer için;

$$\Delta e = C_c \log \frac{\sigma_0' + \Delta\sigma}{\sigma_0'}, S_c = \frac{H_t}{1+e_0} C_c \log \left(\frac{\sigma_0' + \Delta\sigma}{\sigma_0'} \right) \quad (2.3)$$

Aşırı konsolide killer için Δe iki durumda hesaplanır. $\sigma'_0 + \Delta\sigma \leq \sigma'_c$ için;

$$\Delta e = C_r \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0}, \quad S_c = \frac{H_t}{1+e_0} C_r \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \right) \quad (2.4)$$

$\sigma'_0 < \sigma'_c < \sigma'_0 + \Delta\sigma$ için;

$$\Delta e = C_r \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + C_c \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_c}, \quad S_c = \frac{H_t}{1+e_0} C_r \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + \frac{H_t}{1+e_0} C_c \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_c} \right) \quad (2.5)$$

Bu eşitliklerde e_0 başlangıç boşluk oranı, H_t zemin tabakasının kalınlığı, C_c sıkışma indisi, C_r yeniden sıkışma indisi, σ'_0 başlangıçtaki efektif gerilme, σ'_c ön konsolidasyon basıncı, $\Delta\sigma$ gerilme artışıdır.

2.1.2 Ön Konsolidasyon Basıncının Belirlenmesi

Zeminlerin servis ömürleri boyunca maruz kaldıkları en yüksek gerilmeye ön konsolidasyon basıncı denir. Ön konsolidasyon basıncının oluşmasına yol açan etmenler Holtz and Kovacs tarafından özetlenmiş ve çizelge 2.1'de sunulmuştur.

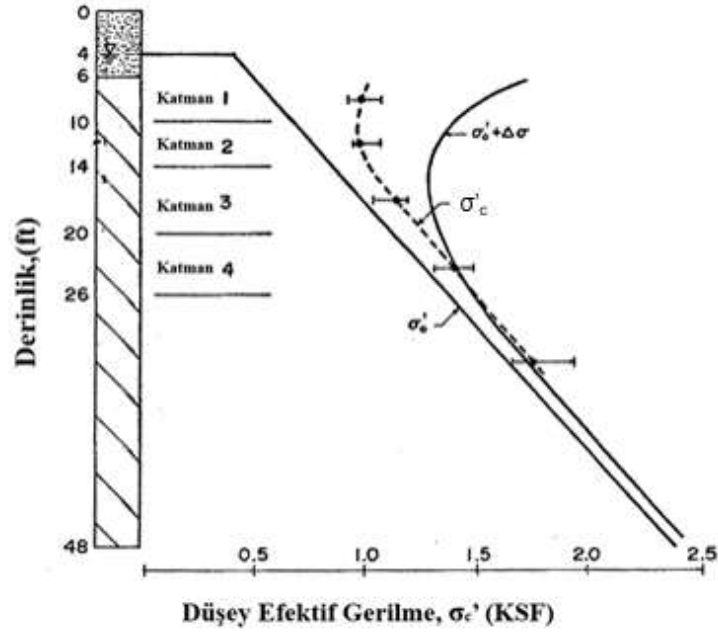
Çizelge 2.1 Ön konsolidasyon basıncına sebep olan mekanizmalar (Holtz, Kovacs and Sheahan 2011).

Mekanizma	Açıklama ve Kaynaklar
Toplam Basıncıdaki 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, çökeltme, çimentolaşma, iyon değişiminden dolayı oluşan kimyasal değişiklikler	Bjerrum (1967)
Yüklemedeki deformasyon hızının değişimi	Lowe (1974)

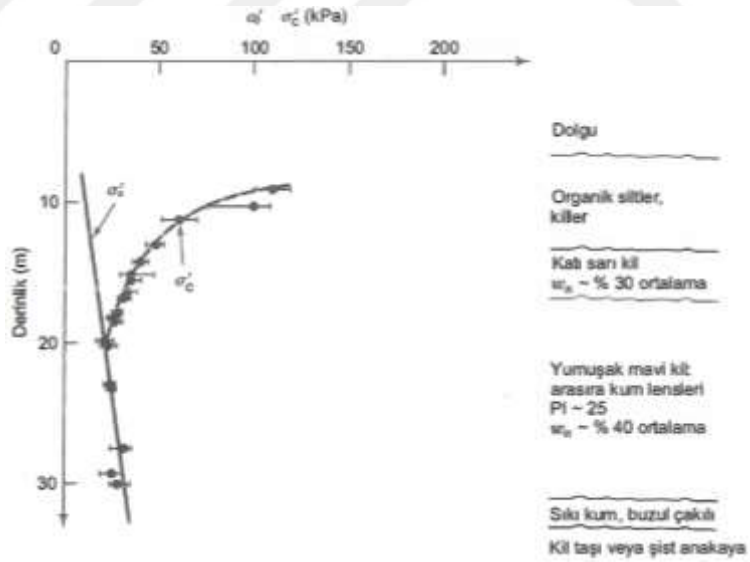
Zeminlerin kendi ağırlıkları, zemin üzerinde mevcuttaki bir yapının oluşu ve soğuk iklimlerin olduğu yerlerde zemin tabakaları üzerindeki buz kütlelerinden kaynaklanan gerilmeler zemine bir hafıza kazandırmaktadır. Bu gerilmelerde değişim olması durumunda (zemine kazı yapılması, mevcuttaki yapının yıkılması ve buzulların erimesi gibi) hafızadaki gerilme ön konsolidasyon basıncı olmaktadır. Benzer şekilde yeraltı su seviyesinin mevsimlere göre değişmesi, bitki köklerinin zeminlerin boşluğundaki suyu emmesi gibi etkenler de boşluk suyu basıncı değerini değiştireceğinden geçmişteki toplam gerilme zeminin ön konsolidasyon basıncı olacaktır. Yaşlanma, ayrışma-çökeltme-çimentolaşma gibi kimyasal değişiklikler, zeminin asit-baz dengesinin değişimi ve yükleme sırasında yüklemenin düzensiz yapılması da hafızadaki gerilmeden farklı olduğu için ön konsolidasyon basıncının oluşma sebeplerindedir.

Yerinde yapılan arazi çalışmalarında ön konsolidasyon basıncının zemin tabakası boyunca sabit olmadığı, yüzeye yakın olan yerlerde derinlere oranla daha yüksek olduğu görülmüştür.

Bu zeminlerin derinliğe bağlı efektif gerilme ve ön konsolidasyon basıncı grafikleri şekil 2.2 ve şekil 2.3’de verildiği gibidir.



Şekil 2.2 Derinlikle ön konsolidasyon basıncının değişmesi (Perloff and Barron 1976).



Şekil 2.3 Mystic Elektrik Santrali (Casagrande and Fadum 1944).

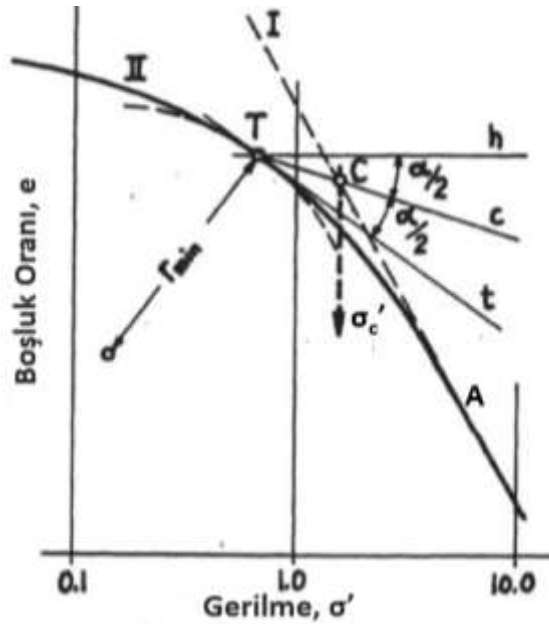
Yukarıdaki şekillerde de görüldüğü gibi ön konsolidasyon basıncı derinlikle büyük ölçüde değişmektedir. Yüzeyde efektif gerilmeden çok yüksek olan ön konsolidasyon basıncı derinlere indikçe efektif gerilme değerine yaklaşmakta veya eşit olmaktadır.

Araziden belirli bir derinlikten alınan zemin numunesine konsolidasyon deneyi yapıldığında tek bir ön konsolidasyon basıncı değeri elde edilmektedir. Ancak şekiller 2.2 ve 2.3'te de görüldüğü gibi bu durum arazi koşullarını yansıtmamaktadır. Araziden elde edilen bu ön konsolidasyon basıncı ile hesaplama yapıldığında olması gerekenden daha büyük oturma değerleri elde edilir.

Laboratuvar deneyi ve arazi çalışmaları ile zeminlerin ön konsolidasyon basıncının bulunması için çeşitli yöntemler mevcuttur bunlardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir. Bu çalışmada ise TS 1900-2'de ve ASTM 2435/2435M-11'de önerilen Casagrande yöntemi kullanılmıştır.

2.1.2.1 Casagrande Yöntemi

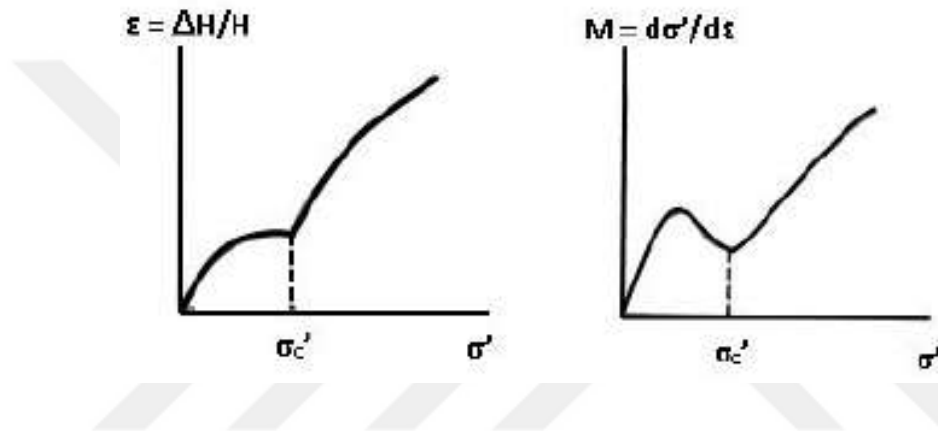
Ön konsolidasyon basıncının bulunmasında en sık kullanılan yöntemdir. Casagrande (1936) yöntemi konsolidasyon eğrisinin eğrilik yarıçapının minimum olduğu noktayı (T) seçmeye dayanmaktadır. Konsolidasyon deneyinden elde edilen e - $\log \sigma'$ grafiğinden şekil 2.4'teki eğrilik yarı çapının minimum olduğu T noktasından X eksenine paralel bir doğru (h doğrusu) çizilir. Aynı noktadan e - $\log \sigma'$ eğrisine teğet doğrusu (t doğrusu) çizilir. Bu iki doğrunun arasındaki açı ölçülür ve açıortay (c doğrusu) çizilir. A noktasından çizilen I doğrusu açıortaya kadar uzatılır ve kesiştikleri C noktası X eksenine uzatılır. Bu noktadaki değer ön konsolidasyon basıncı olarak belirlenir.



Şekil 2.4 Casagrande yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının bulunması (Casagrande 1936).

2.1.2.2 Janbu Yöntemi

Janbu (1981) yönteminde ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi için efektif gerilme – tanjant sıkışma modülü grafiği önerilmiştir. Yüksek hassasiyetli ve düşük konsolidasyon oranına sahip killerde ise gerilme şekil değiştirme grafiğinde eğrinin sürekliliğinin bozulduğu noktada ön konsolidasyon basıncı bulunur. Bu yöntem şekil 2.5’te görüldüğü üzere grafikler üzerinde herhangi bir hesaplama yapmadan ön konsolidasyon basıncının doğrudan grafik üzerinden okunabildiği pratik bir yöntemdir. Ancak normal standart yüklemeli konsolidasyon aleti ile sabit gerilme artımları yapılmayan deneylerde tam ve net sonuçlar vermemektedir.



Şekil 2.5 Janbu yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi (Altundağ 2016).

2.1.2.3 Butterfield Yöntemi

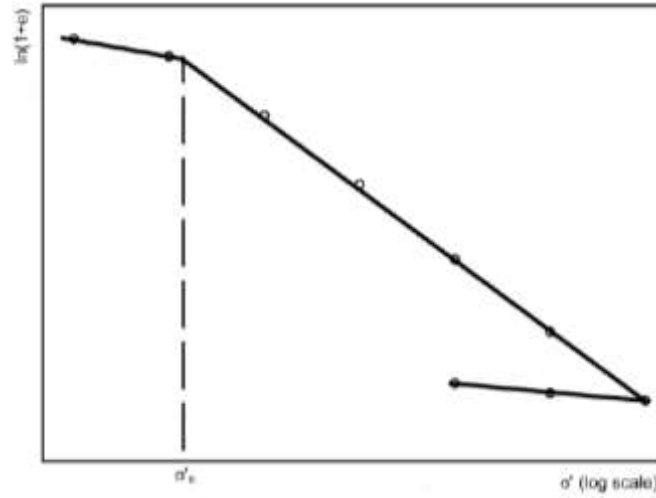
Butterfield (1979) yöntemine göre kritikdurum teorisinden yola çıkılarak efektif gerilmelerle zeminin hacimsel değişikliklerinin eğrilerine bağlı olarak bulunabilmektedir. Bu yöntem literatürde $\log(1+e)-\log\sigma'$, $\ln(1+e)-\ln\sigma'$, $\ln(1+e)-\log\sigma'$ gibi çeşitli varyasyonlara sahiptir. Bu yöntemin bazı dezavantajları aşağıda verilmiştir.

a. Yüksek sıkışabilirliğe sahip zeminlerde uygulanan gerilmelerle meydana gelen boşluk oranı değişimleri $e-\log\sigma'$ grafiğinde doğrusal bir eğilimde olabilir.

b. Karmaşık bir teoriye sahip zemin numuneleri yada basit oturma problemlerinde temel hesaplama yöntemi olarak hacimsel deformasyon-efektif gerilme ilişkisi göz önüne alınmaktadır.

Casagrande yöntemindeki gibi eksenler $e-\log\sigma'$ olduğu durumda eğrisel olan grafik, Butterfield yöntemindeki gibi $\ln(1+e)-\log\sigma'$ olduğu zaman lineer bir davranış gösterir. Bu

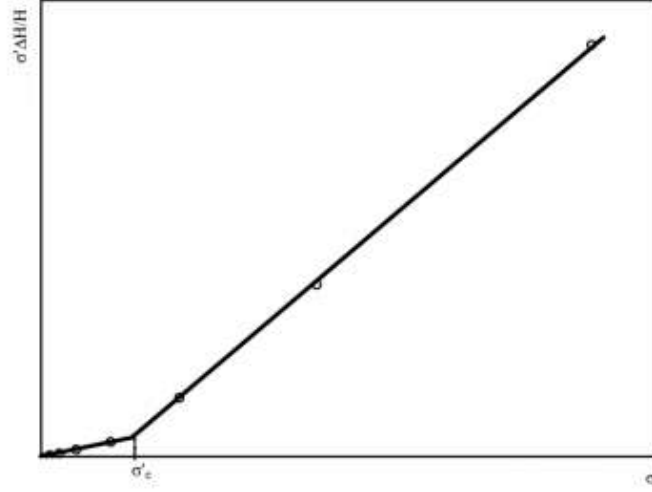
grafikte iki eğrinin birleşme noktası da olan kırıklık noktasının X eksenindeki değeri ön konsolidasyon basıncını verir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Butterfield yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının bulunması (Çelik ve Tan 2005).

2.1.2.4 Tavenas Yöntemi

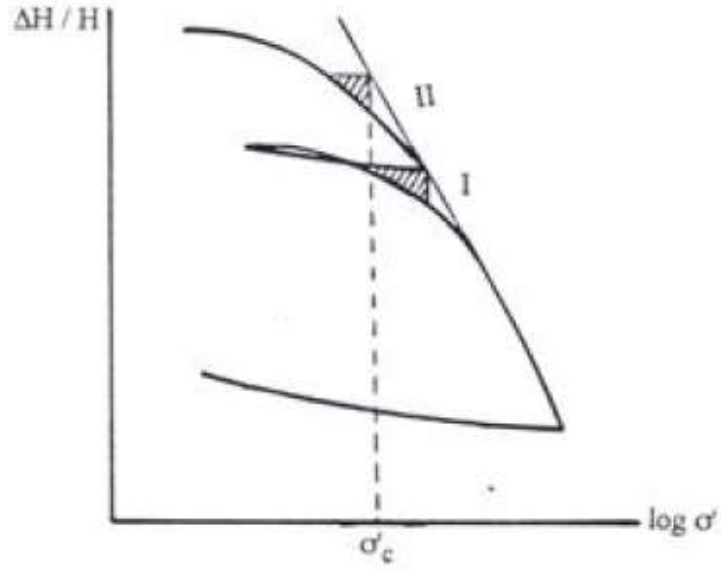
Tavenas (1979) yöntemine göre; deformasyon enerjisinin, zeminin konsolidasyon davranışı üzerinde önemli bir rol oynadığı açıklanmıştır. Konsolidasyon deneyi sonucunda elde edilen deformasyon gerilme eğrisi altında kalan alanın deformasyon enerjisini verdiği belirtilmiştir. Tavenas yönteminde y eksenini deformasyon enerjisi x eksenini efektif gerilme olan grafik çizilmektedir. Bu yöntemde Tavenas deformasyon enerjisi ile efektif gerilme arasında lineer bir ilişki olduğunu ön görmüştür. Ancak bu ilişkinin belirli bir noktada eğiminin değişeceğini ve grafik üzerinde birbirinden farklı iki doğru olacağını belirtmiştir. Bu iki doğrunun birleştiği kırılma noktasının x eksenindeki değeri ön konsolidasyon basıncını vermektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Tavenas yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının bulunması (Çelik ve Tan 2005).

2.1.2.5 Burmister Yöntemi

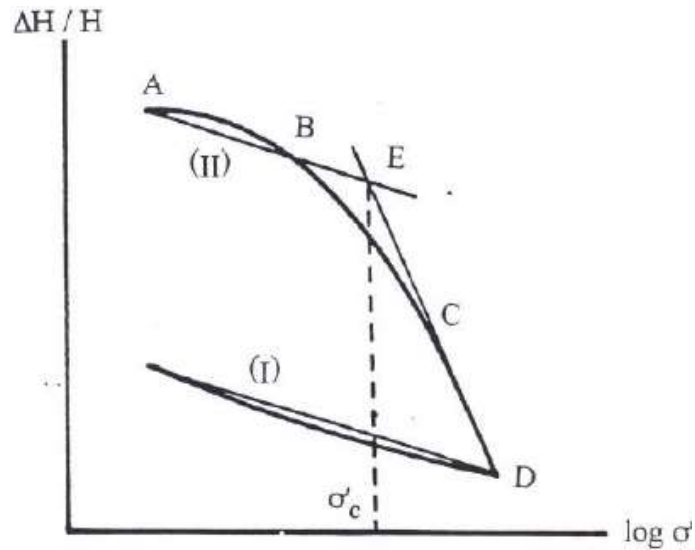
Burmister yöntemine göre gerilme deformasyon grafiği Casagrande ve Schmertmann yöntemlerine benzer bir şekilde yarı logaritmik eksen kullanılarak çizilmiştir. Bu yöntemde şekil 2.8’de görüldüğü gibi konsolidasyon deneyinin yükleme-boşaltma kısımlarının eğrileri çizildikten sonra birinci yükleme eğrisinin son değerinden ikinci yükleme eğrisine bir dik indirilerek I numaralı küçük üçgen oluşturulur. İkinci yükleme eğrisinin lineer kısmının üst tarafa doğru uzantısı çizilir. Taralı üçgen alanın düşey bileşeni göz önüne alınarak lineer doğru ile ilk yükleme bölgesi arasındaki nokta işaretlenir. II no’lu taralı üçgenin düşey bileşeninin x eksenindeki yeri ön konsolidasyon basıncının değerini verir. Fakat bu yöntemin uygulanabilmesi için birinci yükleme kısmından sonra ikinci yükleme kısmının deneyde yapılmış olması gerekmektedir. Birinci boşaltma eğrisi ile ikinci yükleme eğrisinin üst üste çakışması halinde bu yöntem kullanılmaz.



Şekil 2.8 Burmister yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının bulunması (Altundağ 2016).

2.1.2.6 Vaz Zelst Yöntemi

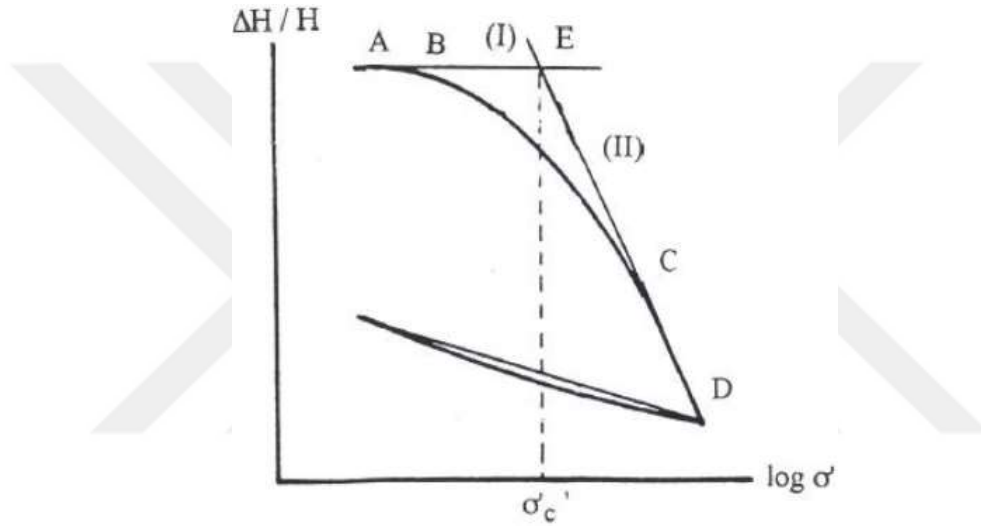
Bu yöntem Burmister yöntemiyle aynı mantık kullanılarak geliştirilmiştir. Şekil 2.9’da verilen ve yarı logaritmik ekseninde çizilen $\Delta H/H$ - $\log \sigma'$ grafiğinde boşaltma eğrisine (I) paralel olan bir doğru (II) A noktasından başlayarak çizilir. Konsolidasyon eğrisinin lineer olan bölgesi uzatılarak II doğrusunu keser (DCE). II ve DCE doğrularının kesiştikleri noktanın X eksenindeki karşılığı ön konsolidasyon basıncını verir. Bu yöntemin kolay uygulanabilir olması en büyük avantajlarındanıdır.



Şekil 2.9 Van Zelst yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının bulunması (Altundağ 2016).

2.1.2.7 Eski Yöntem

Bu yöntem Casagrande yöntemine benzer bir şekilde geliştirilmiştir. Yarı logaritmik eksen kullanılarak çizilmiş $\Delta H/H - \log \sigma'$ grafiğinde zeminin başlangıç boşluk oranından yatay bir doğru çizilir (I). Konsolidasyon eğrisinin lineer olan (II) bakir sıkışma eğrisi kısmı I doğrusuna kadar uzatılır. I-II doğrularının kesişim noktasından X eksenine bir dikme indirilir ve bu noktadaki gerilme değeri ön konsolidasyon basıncını verir (Şekil 2.10). Fakat doğal numunenin boşluk oranının doğru bulunamamasından dolayı sonucun güvenilir olması durumuna mani olur.

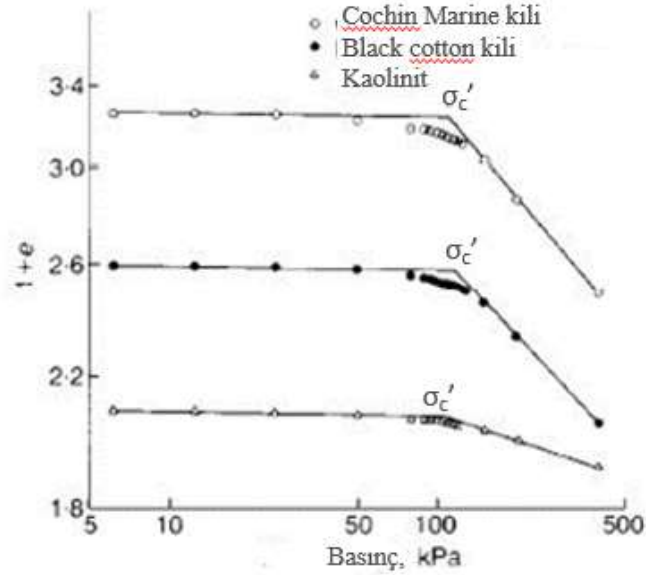


Şekil 2.10 Eski yöntem ile ön konsolidasyon basıncının bulunması (Özocak ve Altundağ 2016).

2.1.2.8 Sridharan, Abraham, Jase Yöntemi (1991)

Ön konsolidasyon basıncını verilen yük-sıkışma eğrisinden elde etmek için uygulanan farklı yöntemler vardır. En sık kullanılan Casagrande yöntemidir. Daha sonra Burmister ve Schmertmann yöntemleri önerilmiştir. Sonradan önerilen bu yöntemler temel olarak deneme yanılma prensibine bağlıdır. Ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi için kullanılan yöntemlerin daha basit, hızlı ve kesin olması gerekir. Butterfield boşluk oranı-efektif gerilme grafiğinin çizilmesinde boşluk oranını $\ln(1+e)$, efektif gerilmeyi $\ln(\sigma')$ veya $\ln(V)-\ln(\sigma')$ ($V=1+e$, özel boşluk) olarak tanımlamıştır. Butterfield yönteminden yola çıkılarak bu yöntemde boşluk oranı-efektif gerilme grafiği $\log(1+e)-\log(\sigma')$ şeklinde çizilerek ortaya çıkan sıkışma eğrisinin lineer kısımlarından uzatılan iki düz çizginin kesişim noktasında ön

konsolidasyon basıncı bulunur. Şekil 2.11’de üç farklı zemine ait sıkışma eğrisi ve ön konsolidasyon basınçları verilmiştir.



Şekil 2.11 Sridharan, Abraham, Jase yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının bulunması (Sridharan, Abraham and Jase 1991).

2.1.2.9 Nagaraj, Pandian Raju Yöntemi (1993)

İnce daneli ve sıkışabilirliği yüksek zeminlerde oturma analizi problemlerinde permeabilite ve ön konsolidasyon basıncının önemli bir yeri vardır. Zeminin aşırı konsolide veya normal konsolide olması durumlarında oturma hesaplarında kullanılan eşitlikler farklılık göstermektedir. Ayrıca permeabilite ve konsolidasyon katsayısı arasında bir ilişki mevcut olduğundan oturma problemlerinde permeabilite de etkilidir.

Yazarlar bu çalışmada aşağıda verilen eşitliklerle gerilme ve permeabilite değerlerini boşluk oranına bağlı olarak belirlemişlerdir.

Yazarlar aşağıda verilen eşitliklerde “gerilme bazlı permeabilite” ilişkilerini önermektedir:

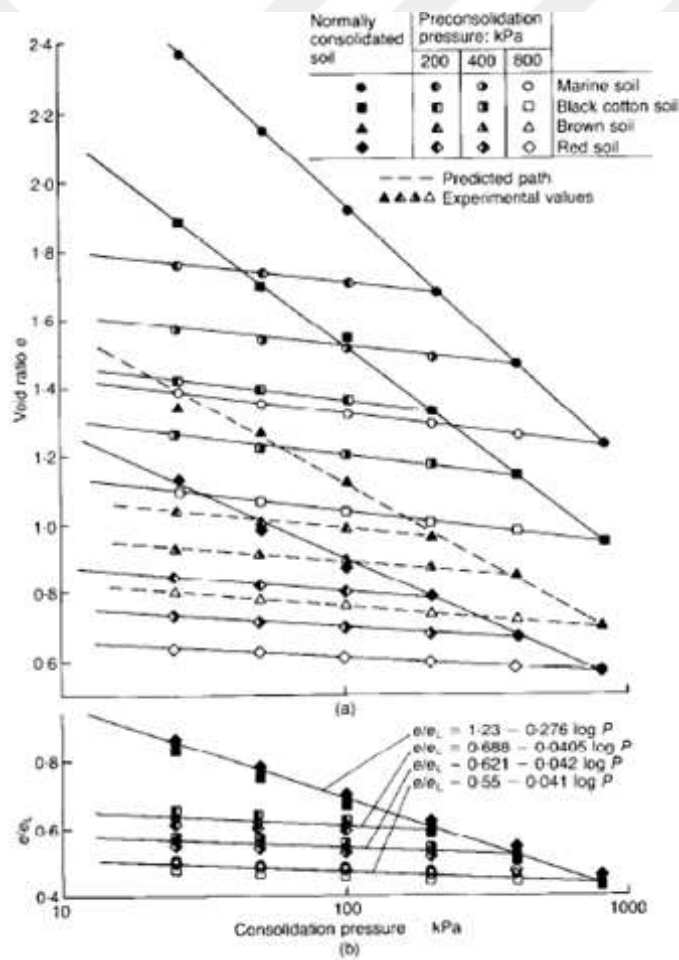
$$\frac{e}{e_L} = a - b \log \sigma' \quad \text{sıkışma için} \quad (2.6)$$

$$\frac{e}{e_L} = c - d \log k \quad \text{permeabilite için} \quad (2.7)$$

Burada; e = düşey yük σ' 'ya karşılık gelen boşluk oranı, e_L = likit limitteki boşluk oranı, k = permeabilite, a, b, c ve d =sabitlerdir. Permeabilite katsayısı baskın olarak sadece boşluk oranından etkilendiği için eşitlik 2.7 0.98 korelasyon katsayısı ile aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{e}{e_L} = 2.162 + 0.195 \log k \quad (2.8)$$

Şekil 2.12'de dört farklı zemine ait farklı ön konsolidasyon basınçlarında yapılan 16 farklı konsolidasyon deney sonuçları, likit limitteki boşluk oranı e_L ile normalize edilmiş ve edilmemiş olarak ($e - \log(\sigma')$) ve ($e/e_L - \log(\sigma')$) boşluk oranı – gerilme grafikleri çizilmiştir. Bu grafiklerden yola çıkılarak eşitlik 2.9 elde edilir.



Şekil 2.12 a) Boşluk oranı – konsolidasyon basıncı grafiği, b) Normalize edilmiş durum parametreleri – konsolidasyon basıncı grafiği (Nagaraj, Pandian and Raju 1993).

$$\frac{e}{e_L} = 1.23 - 0.276 \log \sigma'_c + 0.041 \sigma'_c / \sigma' \quad (2.9)$$

Burada normal konsolide killer için $\sigma'_c = \sigma'$ (kPa). σ'_c 'nin farklı değerlerinde, eşitlik 2.9'dan farklı aşırı konsolide eğrileri çıkabilir.

2.1.3 Aşırı Konsolide Oranı

Zeminin geçmişte taşıdığı maksimum gerilme değeri o zeminin ön konsolidasyon basıncıdır. Ön konsolidasyon basıncı üzerinde bulunan efektif örtü yükünden fazla olduğu durumda zemin aşırı konsolidedir. Ön konsolidasyon basıncının efektif gerilmeye oranına aşırı konsolide oranı (OCR) (Eşitlik 2.10) denir. OCR değeri bire eşit ve daha küçükse zemin normal konsolidedir.

$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} \quad (2.10)$$

2.1.3.1 Aşırı Konsolide Oranının Arazide Belirlenmesi

Aşırı konsolide oranını yerinde tespit edebilmek için CPT (Koni Penetrasyon Deneyi), PCPT (Piezo Koni Penetrasyon deneyi) veya SPT (Standart Penetrasyon Deneyi) verileri ve ön konsolidasyon basıncı değerinin belirlenmiş olması gerekmektedir. OCR'nin bu verilerle elde edilmiş eşitlikleri Murad Y. Abu – Farsakh tarafından çizelge 2.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2 Arazi deneyleri ile OCR'nin bulunması (Abu-Farsakh 2000).

Yöntem Adı	Aşırı Konsolide Oranı
Mayne and Holts,1988	$OCR = 0.4 \left(\frac{q_c - \sigma_0}{\sigma'_{t_0}} \right)$
Kulhawy and Mayne,1990	$OCR = k_t \left(\frac{q_t - \sigma_0}{\sigma'_{t_0}} \right)$
Chen and Mayne,1994	
Powell et al.,1988	
Leroueil et al.1995	
Chen and Mayne 1994	$OCR = k_1 \left(\frac{q_t - u_1}{\sigma'_{t_0}} \right), k_1=0.81$
	$OCR = k_2 \left(\frac{q_t - u_2}{\sigma'_{t_0}} \right), k_2=0.46$
Sully et al.1988	$OCR = 0.66 + 1.43(PPD)$ ($PPD = \text{boşluk basıncı farkı} = \frac{u_1 - u_2}{u_i}$)
Kulhawy and Mayne 1990	$OCR = k_u \frac{u - u_i}{\sigma'_{v_0}}$
Larson and Mulabdic 1991	$u = u_1 \text{ veya } u_2,$
Mayne and Kulhawy 1995	$B_q = \frac{\Delta u}{q_t - \sigma_0}$ $OCR = \frac{2.3B_q}{3.7B_q - 1}$
Mayne 1991	$OCR = 2 \left[\frac{1}{1.95M_c + 1} \left(\frac{q_t - u_2}{\sigma'_{t_0}} \right) \right]^{1.33}$ $OCR = 2 \left[\frac{1}{1.95M_c} \left(\frac{q_t - u_1}{\sigma'_{t_0}} + 1 \right) \right]^{1.33}$ $M_c = \text{kritik durum çizgisinin eğimi} = \frac{6 \sin \phi'}{3 - \sin \phi'}$
Mayne and Kemper 1988	$OCR = \left(\frac{s_u / \sigma'_{t_0}}{s_u / \sigma'_{vnc}} \right)^{1/\wedge}$ (s_u / σ'_{vnc})=normal konsolide gerilme oranı \wedge = gerilme geri dönüş üssü OCR = ($\sigma'_c / \sigma'_{t_0}$)= aşırı konsolide oranı
Mayne and Kemper 1988	$OCR = k_c \left(\frac{q_c - \gamma z}{\sigma'_{t_0}} \right)$ 0.3 < k_c < 0.8 elektrikli koni 0.12 < k_c < 0.5 mekanik koni
Mayne and Kemper 1988	$OCR = K_s (N / \sigma'_{t_0}) P_a$ $P_a = \text{atmosferik basınç} = 1 \text{ tsf} = 100 \text{ kPa}$ $K_s = 0.2 - 1.0$

2.1.4 Sekonder (İkincil) Konsolidasyon Oturması

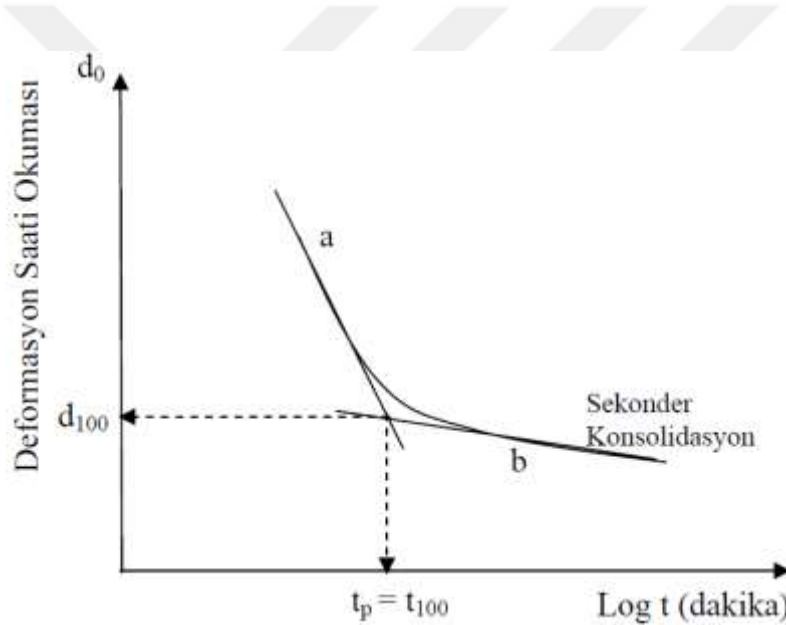
İkincil konsolidasyon birincil konsolidasyonun başlamasından sonra devam eden ve daha yavaş oluşan hacimsel değişimdir. İkincil konsolidasyon değeri birincil konsolidasyon değerinden farklıdır. İkincil konsolidasyon, sabit efektif gerilmeler altında ve artık boşluk suyu basıncı sıfırlandıktan sonra oluşur. Arazide ikincil konsolidasyonu birincil konsolidasyondan ayırt etmek zordur çünkü iki oturma değeri de toplam yüzey oturmasının bir parçasıdır. Bunu yanı sıra laboratuvarında yapılan konsolidasyon deneyleri ikincil konsolidasyon hakkında fikir edinmemizi sağlamaz. İkincil konsolidasyon oturması eşitlik 2.11'de verildiği gibi hesaplanır.

$$S_s = \frac{H_t}{1+e_0} C_\alpha \log \frac{t_{sec}}{t_p} \quad (2.11)$$

Bu eşitlikte S_s ikincil oturmayı, H_t tabaka kalınlığını, t_{sec} ikincil konsolidasyonun tamamlandığı zaman, t_p birincil konsolidasyon oturmasının tamamlandığı zamanı temsil eder. C_α ise ikincil sıkışma katsayısıdır ve şekil 2.13'ten eşitlik 2.12 kullanılarak bulunur.

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\Delta \log t} \quad (2.12)$$

Burada Δe zaman değerlerinin arasındaki boşluk oranı değişimidir. $\Delta \log t$ ise $\log t_{sec} - \log t_p$ farkına eşittir.



Şekil 2.13 Konsolidasyonun zamanla değişimi (Göktürk 2004).

Çizelge 2.3'te bazı zemin türlerine ait C_α/C_c değer aralıkları verilmiştir. Ayrıca çizelge 2.4'te C_α ve C_c arasındaki deneysel korelasyonlar verilmiştir.

Çizelge 2.3 Doğal zeminlerin ikincil konsolidasyon karakteristikleri (Mitchell and Soga 2005).

Zemin Türü	C_a/C_c
Kumlar (Düşük İnce Yüzdesi)	0.01-0.03
Killer Ve Siltler	0.03-0.08
Organik Zeminler	0.05-0.10

Çizelge 2.4 C_a ve C_c arasındaki deneysel korelasyonlar (Terzaghi, Peck and Mesri 1996)

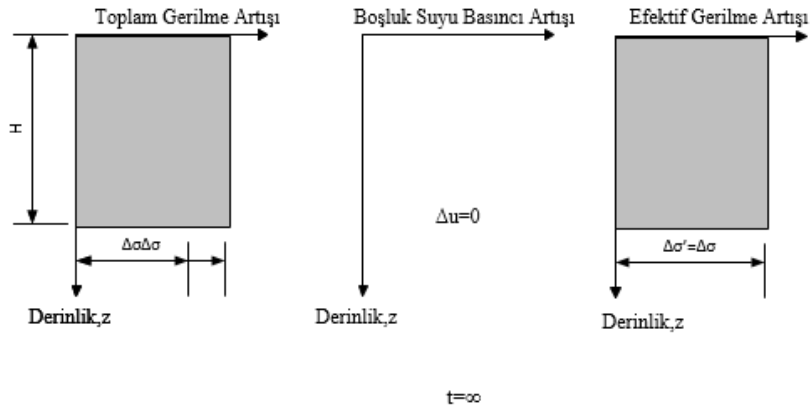
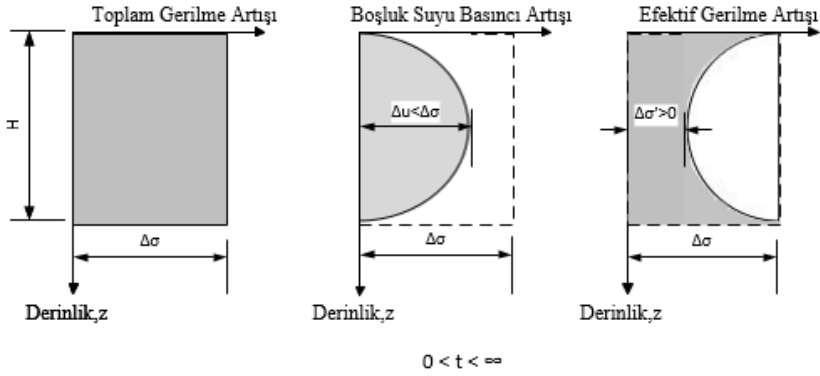
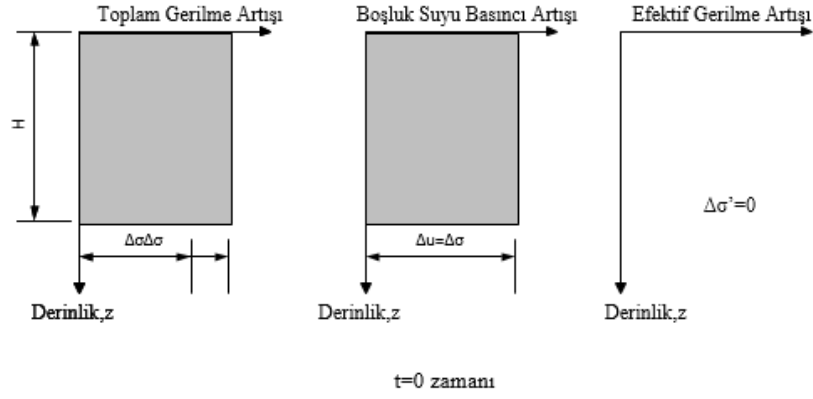
Malzeme	C_a/C_c
Kaya dolguları da içeren granüler zeminler	0.02 ± 0.01
Şist ve kıltaşı	0.03 ± 0.01
İnorganik killer ve siltler	0.04 ± 0.01
Organik killer ve siltler	0.05 ± 0.01
Turba ve bataklıklar	0.06 ± 0.01

2.2 KONSOLIDASYON SÜRECİ

%100 suya doymun ince daneli zeminlerin üzerine uygulanan sabit bir gerilme altında boşluklardaki suyun dışarıya çıkmasıyla oluşan oturmaya konsolidasyon oturması denir. %100 konsolidasyonun gerçekleşmesi süreci zeminin permeabilitesine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Konsolidasyon sürecinde uygulanan gerilme öncelikle boşluk suyu basıncı tarafından karşılanır. Suyun direnaji başladıktan sonra uygulanan gerilmenin bir kısmı boşluk suyu basıncı tarafından bir kısmı da efektif gerilme tarafından karşılanır (Şekil 2.6'daki yay modelinde anlatıldığı gibi). Bu durum uygulanan gerilmenin yalnızca efektif gerilme tarafından karşılanmasına kadar yani sistem dengeye gelene kadar devam eder (Çizelge 2.5). Sistemin dengeye geldiği süreye konsolidasyon süresi denir. Konsolidasyon sürecindeki gerilmelerin modellenmesi şekil 2.14'te verildiği gibidir.

Çizelge 2.5 Konsolidasyon sürecinde gerilme durumları (Sobhan and Das 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	$\Delta\sigma$



Şekil 2.14 Konsolidasyon sürecinde toplam gerilme, boşluk suyu basıncı ve efektif gerilmenin değişimi (Sobhan and Das 2014).

2.2.1 Konsolidasyon Derecesi

Bir zemin tabakasındaki z derinliğinde bir partikül için, toplam gerilme artışı altında konsolidasyon sürecinin gelişimi boşluk oranıyla eşitlik 2.13 ile açıklanabilir:

$$U_v = \frac{e_0 - e}{e_0 - e_1} \quad (2.13)$$

Bu eşitlikteki U_v z derinliğinde ve herhangi bir t zamanındaki konsolidasyon derecesi olarak ($0 \leq U_v \leq 1$) ve e_0 konsolidasyonun başlangıcındaki boşluk oranı, e_1 konsolidasyonun sonundaki boşluk oranı, e herhangi bir t zamanındaki boşluk oranı olarak tanımlanmaktadır. U_v değerinin 0 olması konsolidasyonun daha başlamadığı, U_v değerinin 1 olması ise konsolidasyonun tamamlandığı anlamına gelmektedir.

$e-\sigma'$ grafiğinin incelenen t zaman aralığında lineer olduğu düşünülürse, konsolidasyon derecesi eşitlik 2.14'teki gibi tanımlanabilir:

$$U_v = \frac{\sigma' - \sigma'_0}{\sigma'_1 - \sigma'_0} \quad (2.14)$$

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 (drenajsız durum), sadece konsolidasyon tamamlandığı zaman efektif gerilme σ_1' değerine ulaşır (drenajlı durum). Konsolidasyon süreci boyunca efektif gerilmedeki artış sayısal olarak artık boşluk suyu basıncındaki azalışa eşittir. u_i başlangıç boşluk suyu basıncı, σ' ve Δu herhangi bir t zamanındaki efektif gerilme ve artık boşluk suyu basıncı olmak üzere eşitlik 2.15 verilmiştir.

$$\sigma'_1 = \sigma'_0 + u_i = \sigma' + \Delta u \quad (2.15)$$

Eşitlik 2.14 ve eşitlik 2.15 birleştirilerek eşitlik 2.16 elde edilir.

$$U_v = \frac{u_i - \Delta u}{u_i} = 1 - \frac{\Delta u}{u_i} \quad (2.16)$$

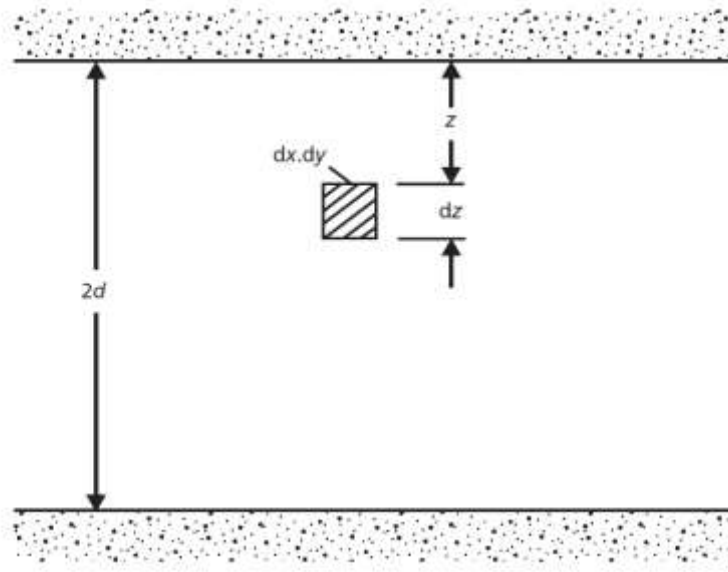
2.3 BİR BOYUTLU KONSOLİDASYON TEORİSİ (TS1900-2, ASTM D 2435 M-11)

Terzaghi (1943) herhangi bir t zamanında zeminlerin konsolidasyon derecesini belirlemek amacıyla analitik bir model geliştirmiştir. Bu teoriye göre:

- a. Zemin homojendir.
- b. Zemin suya %100 doygunudur.
- 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).

G maddesindeki kabule göre konsolidasyon süresince permeabilite katsayısı azaldığında boşluk oranı da azalır. $e-\sigma'$ ilişkisi non-lineer olduğu zaman hacimsel sıkışma katsayısı da konsolidasyon boyunca azalır. Ancak küçük gerilme artışlarında g maddesindeki kabuller mantıklıdır. Terzaghi teorisinin temel sınırlamaları h maddesinde yer almaktadır. Deneysel sonuçlar efektif gerilme ve boşluk oranı arasındaki ilişkinin zamandan bağımsız olmadığını gösterir.

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 2.15'te gösterildiği gibi $2d$ kalınlığında bir zemin tabakasının dx , dy ve dz boyutlarındaki bir parçasına $\Delta\sigma$ değerinde bir gerilme artışı uygulanır.



Şekil 2.15 Konsolide olan zemin tabakasının dx,dy,dz boyutlarındaki partikülü (Knappett and Craig 2012).

Darcy kanunu kullanılarak; partikülün akış hacmi eşitlik 2.17’de verildiği gibidir.

$$v_z = ki_z = -k \frac{\partial h}{\partial z} \quad (2.17)$$

Sabit bir z derinliğinde toplam yükteki herhangi bir değişiklik yalnızca boşluk suyu basıncına bağlıdır (Eşitlik 2.18).

$$v_z = \frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial(\Delta u)}{\partial z} \quad (2.18)$$

Süreklilik koşulu şu şekilde ifade edilebilir.(Eşitlik 2.19)

$$-\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2(\Delta u)}{\partial z^2} dx dy dz = \frac{dV}{dt} \quad (2.19)$$

Hacim değişimi oranı m_v olarak ifade edildiğinde; (Eşitlik 2.20)

$$\frac{dV}{dt} = m_v \frac{\partial \sigma'}{\partial t} dx dy dz \quad (2.20)$$

Toplam gerilme artışı zemin iskeletine yavaş yavaş aktarılır, efektif gerilme artarken boşluk suyu basıncı azalır. Bunun sonucunda hacim değişikliği eşitlik 2.21’ deki gibi açıklanabilir.

$$\frac{dV}{dt} = -m_v \frac{\partial(\Delta u)}{\partial t} dx dy dz \quad (2.21)$$

2.19 ve 2.20 eşitlikleri birleştirilerek eşitlik 2.22.a veya eşitlik 2.22.b elde edilir.

$$m_v \frac{\partial(\Delta u)}{\partial t} = \frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2(\Delta u)}{\partial z^2} \quad (2.22.a)$$

veya

$$\frac{\partial(\Delta u)}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2(\Delta u)}{\partial z^2} \quad (2.22.b)$$

Bu diferansiyel eşitliğin çözümü olarak eşitlik 2.23 verilmiştir.

$$C_v = \frac{k}{m_v \gamma_w} \quad (2.23)$$

Bu eşitlikteki C_v konsolidasyon katsayısıdır ve birimi $m^2/yıl$ 'dır. k ve m_v g maddesindeki kabule göre sabit olduğundan konsolidasyon süresince C_v de sabit kalır.

Eşitlik 2.22.a ve eşitlik 2.22.b diferansiyel eşitliklerini, Terzaghi'nin konsolidasyon teorisi ve uygun sınır şartlarında çözmek gerekir. Şekil 2.15'teki zemin üzerindeki toplam gerilme artışının ani uygulandığı kabul edilmektedir. Bu nedenle, $t=0$ 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.

Zemin tabakasına bitişik zeminlerin tüm sınırlardaki geçirgenliği kendisine kıyasla çok yüksek olduğu durumda alt ve üst sınırlarının drenaja izin verdiği kabul edilmektedir. Böylece su merkezden alt ve üst sınırlara doğru drene olur ve $2d$ kalınlığındaki zemin tabakasında drenaj boyu d kadar olmaktadır. Böylece $\Delta\sigma$ 'nın uygulanmasından sonraki herhangi bir zamanda sınır şartları; $z=0$ ve $z=2d$ için $\Delta u = 0$ ($t > 0$) olmaktadır.

t kadar bir zamana geçtikten sonra z derinliğindeki artık boşluk suyu basıncının eşitlik 2.22.a ve 2.22.b'deki çözümü;

$$\Delta u = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{d} \int_0^{2d} u_i \sin \frac{n\pi z}{2d} dz \right) \left(\sin \frac{n\pi z}{2d} \right) \exp \left(- \frac{n^2 \pi^2 c_v t}{4d^2} \right) \quad (2.24)$$

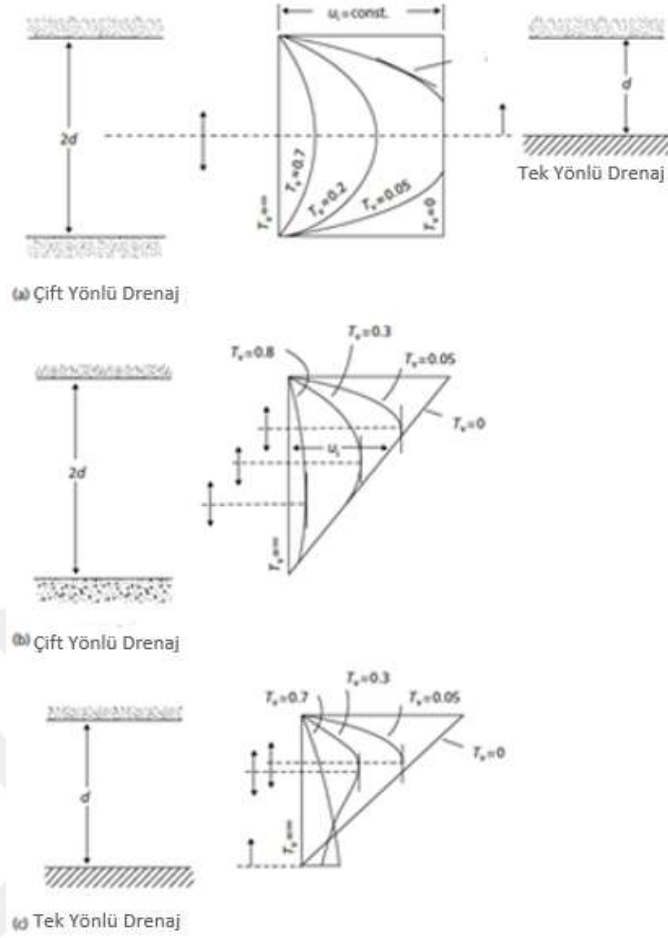
u_i =başlangıç artık boşluk suyu basıncı, z 'nin genel bir fonksiyonudur. u_i 'nin kil tabakası boyunca sabit olduğu özel durumlar için:

$$\Delta u = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2u_i}{n\pi} (1 - \cos n\pi) \left(\sin \frac{n\pi z}{2d} \right) \exp \left(- \frac{n^2 \pi^2 c_v t}{4d^2} \right) \quad (2.25)$$

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;

$$\Delta u = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2u_i}{M} \left(\sin \frac{Mz}{d} \right) \exp(-M^2 T_v) \quad (2.26)$$

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 (open layer) olarak adlandırılır. Zemin tabakasının sadece bir sınırında (alt veya üst sınır) drenaj varsa tek yönlü drenaj (half closed layer) olarak adlandırılır. Δu - z eğrilerinin örnekleri şekil 2.16'da verilmiştir. Şekil 2.16'nın (a) kısmında görüldüğü üzere u_i 'nin başlangıç dağılımı sabittir ve Δu - z grafiğinde zemin tabakasının merkezine göre simetriktir. Bu diagramın üstteki yarısı (d derinliğine kadar) aynı zamanda tek yönlü drenaja sahip zeminler için kullanılabilir. Şekil 2.16'nın (b) ve (c) kısımlarında u_i 'nin üçgensel dağılımında akım doğrultusu tabakanın belirli bölümlerinde değişir. (c) kısmında zeminin alt sınırı geçirimsizdir ve zamanla tabakanın alt kısmında şişme oluşur.



Şekil 2.16 Tek yönlü ve çift yönlü drenaja sahip zeminlerin Δu -z grafiği (Knappett and Craig 2012).

z derinliğindeki ve t zamanındaki konsolidasyon derecesi, eşitlik 2.26'daki Δu değeri eşitlik 2.16'da yerine yerleştirildiğinde eşitlik 2.27'deki gibi hesaplanabilir.

$$U_v = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M} \left(\sin \frac{Mz}{d} \right) \exp(-M^2 T_v) \quad (2.27)$$

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 2.28'de verildiği gibidir.

$$U_{av} = 1 - \frac{(1/2d) \int_0^{2d} \Delta u \, dz}{u_i} = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp(M^2 T_v) \quad (2.28)$$

Eşitlik 2.28'de verilen U_{av} - T_v ve derinlik arasındaki ilişki şekil 2.17'de verildiği gibidir. Eşitlik 2.29'da verilen ampirik eşitlikler de U_v - T_v arasındaki ilişkiyi belirtmektedir.

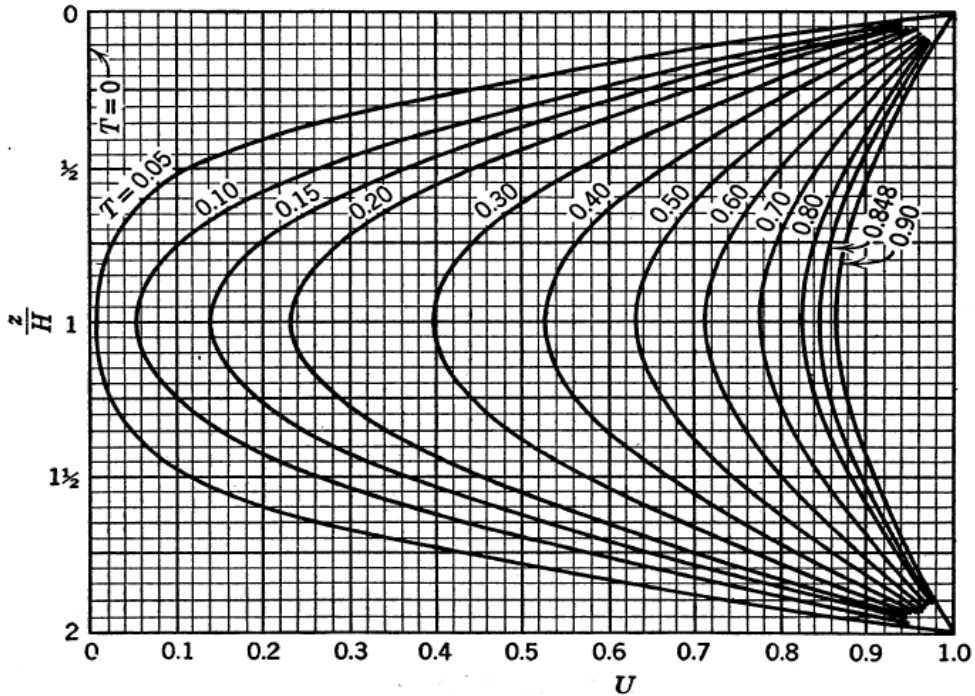
$$T_v = \begin{cases} \frac{\pi U_{av}^2}{4} & U_{av} < 0.60 \\ -0.933 \log(1 - U_{av}) - 0.085 & U_{av} > 0.60 \end{cases} \quad (2.29)$$

Eğer u_i sabit değilse ortalama konsolidasyon derecesi eşitlik 2.30'te verildiği gibi olur.

$$U_{av} = 1 - \frac{\int_0^{2d} \Delta u dz}{\int_0^{2d} u_i dz} \quad (2.30)$$

Eşitlik 2.30'da tek yönlü drenaj olması durumunda integrasyon limitleri 0 ve d olarak değiştirilmelidir.

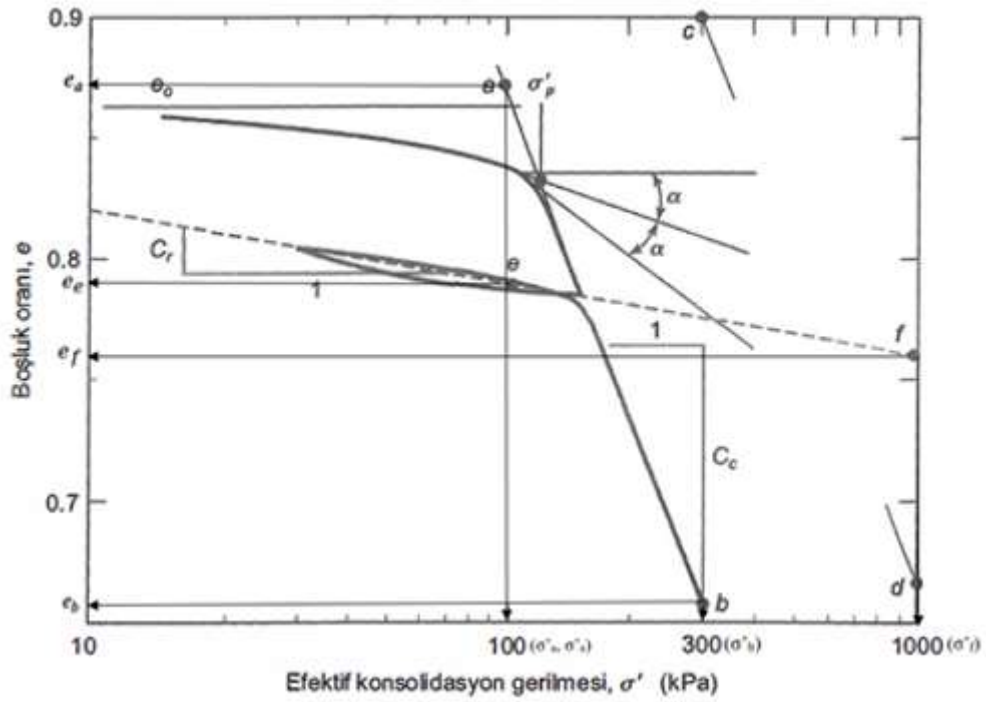
Şekil 2.17'de eşitlik 2.28 ve eşitlik 2.30 birleştirildiğinde elde edilen zaman faktörü ve derinliğe bağlı bir fonksiyon olan konsolidasyon derecesinin grafiği çift yönlü drenaj durumu için verilmiştir. Tek yönlü drenaj olması durumunda grafiğin yarısı kullanılmaktadır.



Şekil 2.17 Konsolidasyon derecesi ile zaman faktörü ve derinlik arasındaki ilişki (Taylor 1948).

2.4 KONSOLIDASYON KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Konsolidasyon deneyi sonrasında çizilen boşluk oranı ve efektif gerilme grafiği Şekil 2.19'da 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 2.18'de verilen grafiğin boşaltma-yeniden yükleme (unload-reload line) eğrisinin eğimi ise yeniden sıkışma indisi (C_r) değerini verir.



Şekil 2.18 Boşluk oranı-efektif gerilme grafiği - logaritmik eksenlerde (Holtz, Kovacs and Sheahan 2011).

Sıkışma indisi ve yeniden sıkışma indisini şekil 2.19'daki grafik ve eşitlikler 2.31 ve 2.32'den bulunabilir.

$$C_c = \frac{e_a - e_b}{\log\left(\frac{\sigma'_b}{\sigma'_a}\right)} \quad (2.31)$$

$$C_r = \frac{e_e - e_f}{\log\left(\frac{\sigma'_f}{\sigma'_e}\right)} \quad (2.32)$$

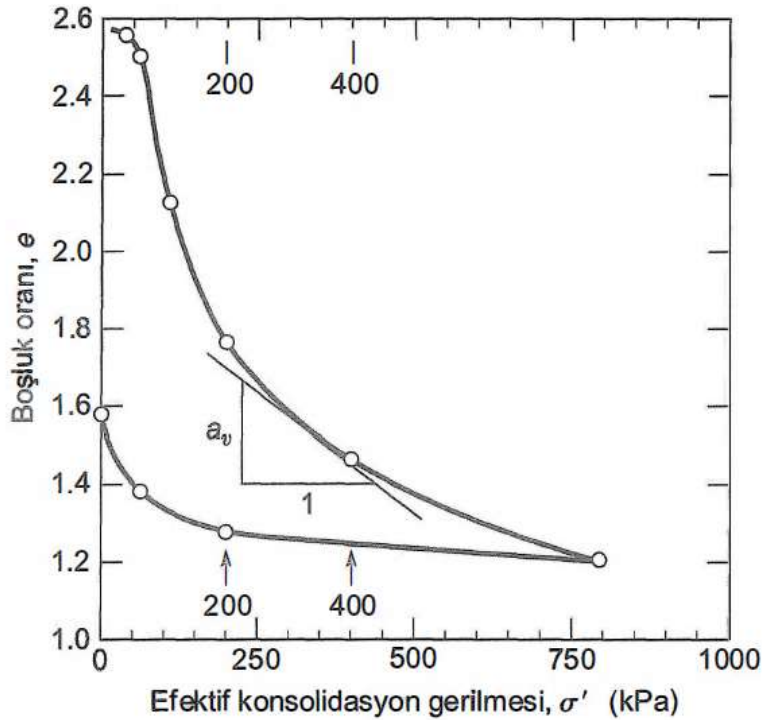
Hacimsel sıkışma katsayısı (m_v), efektif gerilmedeki birim artışa karşılık gelen birim hacim değişikliğidir ve birimi m^2/N 'dur. Hacimsel değişiklik boşluk oranı veya tabaka kalınlığıyla ifade edilebilir. σ'_0 ve σ'_1 efektif gerilme değerlerine karşılık gelen boşluk oranları e_0 ve e_1 (H_0 ve H_1) olması durumunda m_v değeri eşitlik 2.33'deki gibi olur.

$$m_v = \frac{1}{1+e_0} \left(\frac{e_0 - e_1}{\sigma'_{11} - \sigma'_{10}} \right) = \frac{1}{H_0} \left(\frac{H_0 - H_1}{\sigma'_{11} - \sigma'_{10}} \right) \quad (2.33)$$

Boşluk oranı efektif gerilme grafiği şekil 2.19'deki gibi logaritmik eksen kullanılmadan çizildiğinde sıkışma eğrisinin eğimi sıkışma katsayısı (a_v) olarak adlandırılır. Bu durumda a_v eşitlik 2.34'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 2.35 kullanılabilir. (σ'_f)

$$a_v = \frac{-de}{d\sigma'} \quad (2.34)$$

$$a_v = \frac{-\Delta e}{\Delta \sigma'} = \frac{e_0 - e_1}{\sigma'_{11} - \sigma'_{10}} \quad (2.35)$$



Şekil 2.19 Boşluk oranı efektif gerilme grafiği-logaritmik olmayan ekseninde (Holtz, Kovacs and Sheahan 2011).

2.5 KONSOLIDASYON HIZININ BELİRLENMESİ

Konsolidasyon hızının belirlenmesinde en önemli parametre konsolidasyon katsayısıdır. Konsolidasyon katsayısının bulunmasında kullanılan yöntemler aşağıda listelendiği gibidir. Bu yöntemlerden Logaritma-Zaman ve Karekök-Zaman Yöntemleri en yaygın olarak kullanılanlardır.

- a. Logaritma-zaman yöntemi (Casagrande yöntemi)
- b. Karekök-zaman yöntemi (Taylor yöntemi)
- c. Hyperbola Yöntemi
- d. Erken kademe (early stage) Log-t Yöntemi
- e. B. Sivaram and Prabhata, K. Swamee yöntemi – 1976
- f. Eulalio Juarez-Badillo yöntemi – 1986
- g. P.S.R. Narashima Raju, N.S. Pandian, T.S. Nagaraj yöntemi – 1995
- h. P.S.R. Narashima Raju, N.S. Pandian, T.S. Nagaraj yöntemi – 1997
- i. R. G. Robinson yöntemi - 1997
- j. A. Siridharan, H. B. Nagaraj yöntemi – 2004
- k. Mohammad Shukri Al-Zoubi yöntemi – 2008
- l. Arazi deneyleri ile konsolidasyon katsayısı C_v bulunması

2.5.1 Logaritma – Zaman (Casagrande) Yöntemi

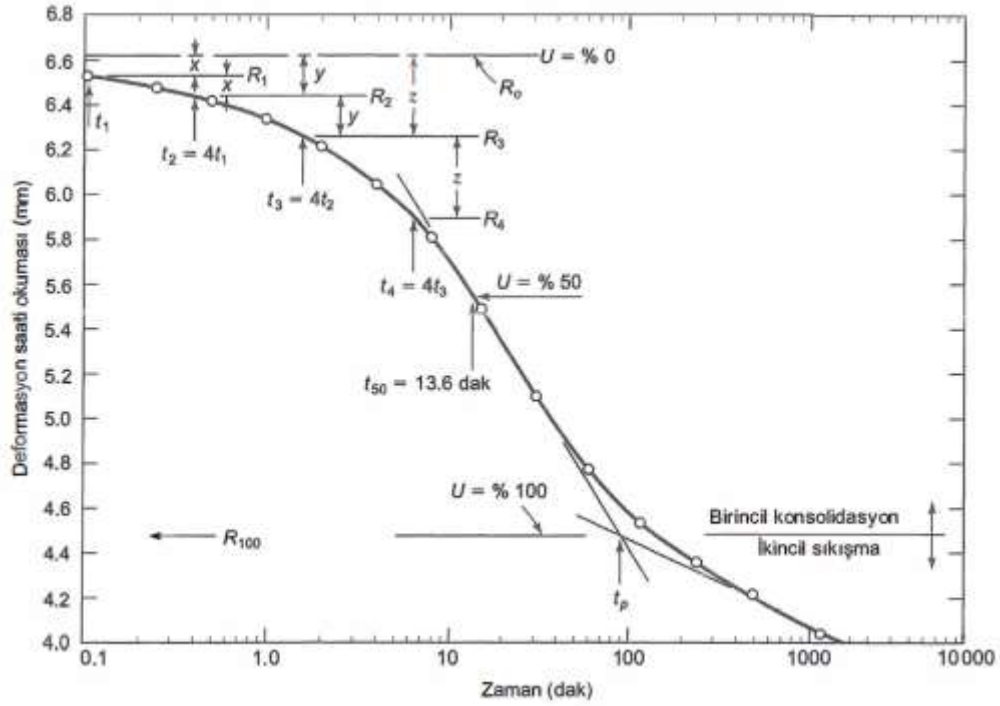
Laboratuvar deneylerinin artan yük kademeleri için, numunenin deformasyonuna karşılık zamanın logaritması alınarak çizilen grafik yardımıyla hesaplama yapılır (Şekil 2.20). Konsolidasyon katsayısı c_v 'nin bulunması için aşağıdaki adımlar sırasıyla takip edilmelidir.

- 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. Bu noktanın ordinat değeri %50 deformasyonu (R_{50}), apsisi ise t_{50} değerini verir.
- e. Ortalama %50 konsolidasyon derecesi için Eşitlik 2.29 veya Şekil 2.17 kullanılarak T_v değeri 0.197 bulunup Eşitlik 2.36'da yerine yerleştirildiğinde;

$$C_v = \frac{T_{v(50)} H_{dr}^2}{t_{50}} \quad (2.36)$$

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 2.20 Casagrande yöntemi ile konsolidasyon katsayısının bulunması (Holtz, Kovacs and Sheahan 2011).

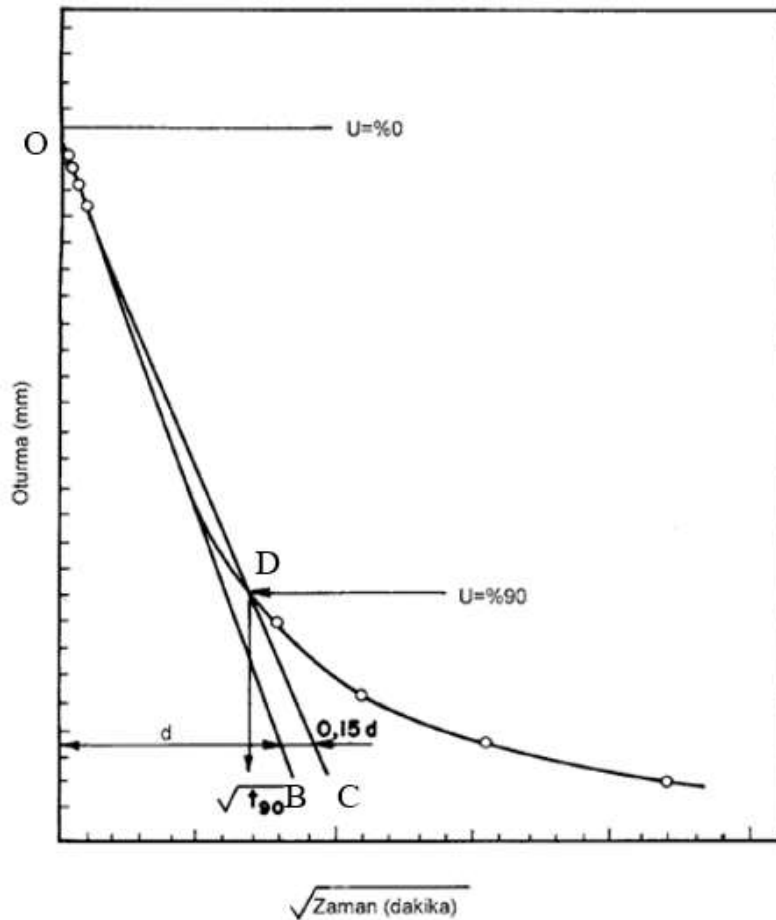
2.5.2 Karekök – Zaman (Taylor) Yöntemi

Karekök zaman yönteminde, deformasyona karşılık zamanın karekök'ü alınarak deformasyon-zaman grafiği çizilir (Şekil 2.21). Bu grafik üzerinde aşağıdaki adımlar gerçekleştirilerek C_v bulunur.

- Grafiğin doğrusal olan başlangıç kısmı uzatılarak OB doğrusu çizilir.
- OC doğrusunun uzunluğu OB doğrusunun uzunluğunun 1.15 katı olacak şekilde C noktası belirlenir.
- C noktasından O noktasına bir doğru çizilir. Bu doğrunun eğriyi kestiği D noktasının apsisi t_{90} değerini vermektedir.
- %90 ortalama konsolidasyon derecesi için eşitlik 2.29 veya şekil 2.17 kullanılarak T_v değeri 0.848 olarak bulunup eşitlik 2.37’de yerine yerleştirildiğinde;

$$C_v = \frac{T_{v(90)} H_{dr}^2}{t_{90}} \quad (2.37)$$

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 2.21 Taylor yöntemi ile konsolidasyon katsayısının bulunması (TS 1900-2 2006).

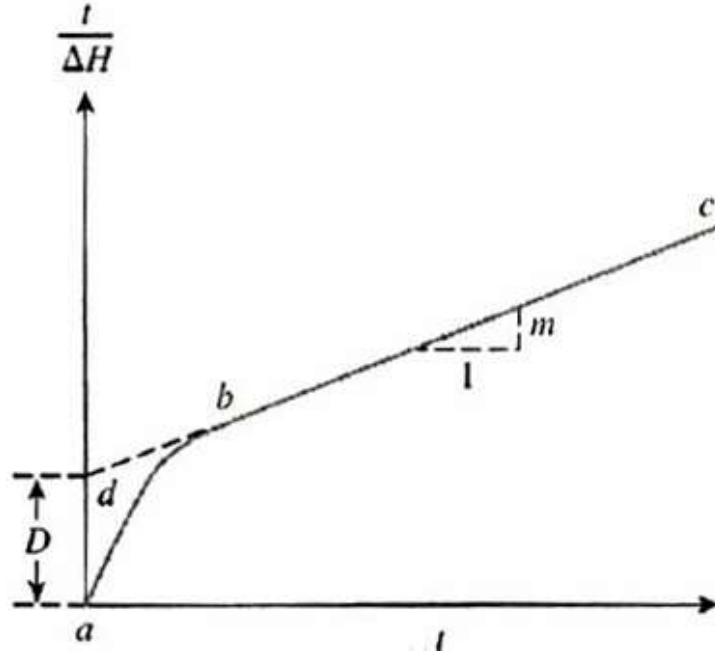
2.5.3 Hyperbola Yöntemi

Bu yöntemden aşağıdaki adımlar izlenerek C_v bulunur.

- Zaman (t) ve laboratuvar deneylerinden elde edilen deformasyon (ΔH) değerleri kaydedilir.
- $t/\Delta H$ değerine karşılık t grafiği çizilir (Şekil 2.22).
- Grafiğin lineer olan b-c doğrusu kısmı belirlenir ve b noktasından d noktasına kadar uzatılır ve D uzunluğu ölçülür.
- b-c doğrusunun eğimi (m) belirlenir.
- Eşitlik 2.38'den C_v hesaplanır.

$$c_v = 0.3 \left(\frac{mH_{dr}^2}{D} \right) \quad (2.38)$$

Not olarak D'nin birimi zaman/uzunluk, m'in birimi (zaman/uzunluk)/zaman=1/uzunluk ve c_v 'nin birimi (uzunluk)²/zaman olur. Hyperbola method oldukça kolay bir yöntemdir ve $U=60-90$ arasında iyi sonuçlar verir.



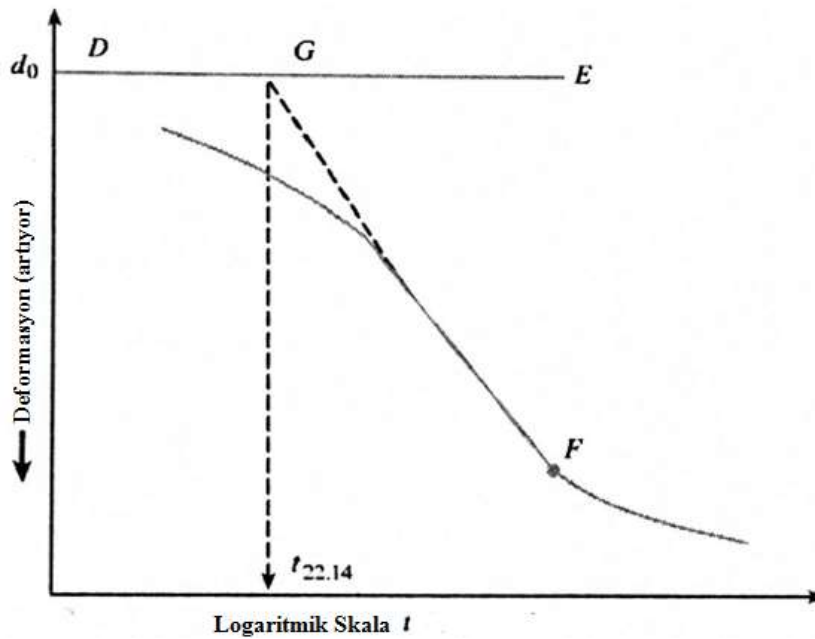
Şekil 2.22 Hyperbola yöntemi ile konsolidasyon katsayısının bulunması (Sobhan and Das 2014).

2.5.4 Erken Kademe (Early Stage) Log-t Yöntemi

Bu yöntemde şekil 2.23'te gösterildiği gibi; deformasyon-zamanın logaritması alınarak çizilen deformasyon zaman grafiği kullanılır. Bu yöntemde göre Casagrande yöntemindeki a ve b maddeleri uygulanarak d_0 bulunur. Bu değerden D,E doğrusu çizilir. Büküm noktasının (F noktası) tanjantı çizilir. Çizilen bu tanjant doğrusu D,E'ye kadar uzatılır(G noktası). %22.14 ortalama konsolidasyon derecesine karşılık gelen G noktasının zaman değeri ($t_{22.14}$) ve eşitlik 2.29 veya şekil 2.17 kullanılarak zaman faktörü $T_{v(22.14)}$ bulunur.

Eşitlik 2.39 kullanılarak c_v değeri bulunur.

$$c_v = \frac{0.038H^2 \dot{d}_r}{t_{22.14}} \quad (2.39)$$



Şekil 2.23 Erken kademe (early stage) log-t yöntemi ile konsolidasyon katsayısının bulunması (Sobhan and Das 2014).

Çoğunlukla Casagrande yöntemi ile bulunan c_v değerleri daha düşüktür. En yüksek değerleri ise erken kademe (Early Stage) log-t yöntemi vermektedir. Bunun başlıca nedeni bu yöntemin, konsolidasyon eğrisinin başlangıç kısımlarını kullanmasıdır. Eğrinin alt tarafları kullanıldığında; c_v hesaplanırken ikincil konsolidasyon da hesaba dahil olur.

Erken kademe log-t yöntemi yaygın olarak kullanılan Casagrande ve Taylor yöntemi ile kıyaslandığında her iki yöntemden de daha fazla değer vermektedir. Bu farklılığın sebebi üç yöntemde de farklı zaman ve zaman faktörlerinin kullanılmasıdır.

2.5.5 B. Sivaram and Prabhata, K. Swamee – 1976

Zamana bağlı oturma genel olarak Terzaghi bir boyutlu konsolidasyon teorisi kullanılarak hesaplanır. Bu yöntemde de Terzaghi'nin bir boyutlu konsolidasyon teorisi temel alınarak geliştirilen cebirsel eşitlikler ile konsolidasyon katsayısı c_v bulunmuştur. Bu yöntem kullanılırken herhangi bir grafik veya tablo gerektirmeden, ödometre deneyinden elde edilen okumalarla konsolidasyon katsayısı hesaplanır.

Terzaghi bir boyutlu konsolidasyon teorisine göre; Boyutsuz zaman faktörü;

$$T_v = C_v t H^{-2} \quad (2.40)$$

ile elde edilir. Burada H = efektif drenaj boyu, C_v = konsolidasyon katsayısı, t =zaman
Ödometre deneyinden elde edilen konsolidasyon sürecinin başlangıcındaki t_1 ve t_2 zamanlarına karşılık gelen okumalar R_1 ve R_2 , bunlara karşılık gelen boyutsuz zaman faktörü de T_1 ve T_2 ise;

$$T_1 \text{ veya } c_v t_1 / H^2 = \pi/4 [(R_1 - R_i) / (R_f - R_i)]^2 \quad (2.41)$$

$$T_2 \text{ veya } c_v t_2 / H^2 = \pi/4 [(R_2 - R_i) / (R_f - R_i)]^2 \quad (2.42)$$

elde edilir. Burada R_i = başlangıç ödometre okuması ve R_f = final ödometre okumasıdır. Eşitlikler 2.40 ve 2.41 birlikte çözülürse;

$$R_i = (R_1 - R_2 \sqrt{t_1/t_2}) / (1 - \sqrt{t_1/t_2}) \quad (2.43)$$

elde edilir. t_3 zamanına ait üçüncü ödometre okuması R_3 , boyutsuz zaman faktörü T_3 , ve

$$\text{eşitlik } T = \frac{\frac{\pi}{4} U^2}{(1-U^{5.6})^{0.357}} \text{ kullanılarak;}$$

$$T_3 \text{ veya } c_v t_3 / H^2 = \pi / 4 \frac{[(R_3 - R_i) / (R_f - R_i)]^2}{\{1 - [(R_3 - R_i) / (R_f - R_i)]^{5.6}\}^{0.357}} \quad (2.44)$$

elde edilir. Eşitlikler 2.41, 2.42 ve 2.43 kullanılarak;

$$c_v = \frac{\pi}{4} \left[\frac{R_1 - R_2}{R_i - R_f} \frac{H}{\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}} \right]^2 \quad (2.45)$$

elde edilir.

Bu yöntemle sadece başlangıç, final ve herhangi bir t zamanına ait ödometre okumaları kullanılarak 2.45 eşitliği sayesinde konsolidasyon katsayısı bulunmuş olur.

2.5.6 Eulalio Juarez-Badillo Yöntemi – 1986

Bu çalışmada suya doymun plastik zeminlerin bir boyutlu konsolidasyonu için genel non-lineer diferansiyel eşitlikler verilmiştir. Permeabilite ve konsolidasyon katsayısı değişkenleri için de diferansiyel eşitlikler verilmiştir. Bu çalışmanın amacı birincil konsolidasyon sürecinin anlaşılmasını sağlamaktır. Bir boyutlu konsolidasyon teorisinin çözülmesiyle hacimsel sıkışma katsayısı m_v aşağıdaki gibi bulunur.

$$m_v = \frac{\gamma}{\sigma'} \quad (2.46)$$

Burada; σ' =düşey efektif gerilme ve γ =lineer olmayan sıkışma katsayısıdır.

Benzer şekilde permeabilite katsayısı aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$k = k_1 \left(\frac{\sigma'}{\sigma'_{1}} \right)^{-\gamma\kappa} \quad (2.47)$$

Burada k = permeabilite katsayısı, σ'_{1} = birincil konsolidasyonun başındaki bir t zamanındaki efektif gerilmedir. Terzaghi teorisinden yola çıkılarak k ve m_v eşitlik 2.48'de yerine yerleştirilirse;

$$C_v = \frac{k}{m_v \gamma_w} = \frac{k_1 \sigma'_{11}}{\gamma_w \gamma} \left(\frac{\sigma'}{\sigma'_{11}} \right)^{1-\gamma\kappa} = C_{v1} \left(\frac{\sigma'}{\sigma'_{11}} \right)^\lambda \quad (2.48)$$

Burada C_{v1} = konsolidasyon sürecinin başlangıcındaki Terzaghi konsolidasyon katsayısı ve $\lambda = 1 - \gamma\kappa$ değerine eşittir.

2.5.7 P.S.R. Narashima Raju, N.S. Pandian, T.S. Nagaraj Yöntemi – 1995

Çoğunlukla inşaat alanları yumuşak ve yüksek sıkışabilirliğe sahip zeminlerden oluşmaktadır. Bu tür zeminler uzun zaman periyodunda büyük oturmalara sahip olurlar. Zamana bağlı oturmanın en önemli parametresi ise sıkışabilirlik katsayısıdır (C_v). C_v 'nin bulunması için kullanılan genel yol deneylerden elde edilen zaman-sıkışma verileri ve teorik zaman faktörü bağıntılarıyla elde edilir. Ayrıca Terzaghi bir boyutlu konsolidasyon teorisine göre C_v değeri hacimsel sıkışma katsayısı, permeabilite ve suyun birim hacim ağırlığının bir fonksiyonudur (Eşitlik 2.49).

$$C_v = \frac{k}{m_v \gamma_w} \quad (2.49)$$

Bu çalışmada üç farklı zemine ait konsolidasyon deneylerinden elde edilen boşluk oranı – efektif gerilme grafiği çizilirken boşluk oranı değerleri likit limitteki boşluk oranı e_L ile normalize edilmiştir (Şekil 2.24). Bu grafikten elde edilen konsolidasyon karakteristikleri (C_c , m_v , k) ile eşitlik 2.51 kullanılarak C_v katsayısı bulunmuştur.

$$C_c = \frac{-de}{d} \log p = 0.276 e_L \quad (2.50)$$

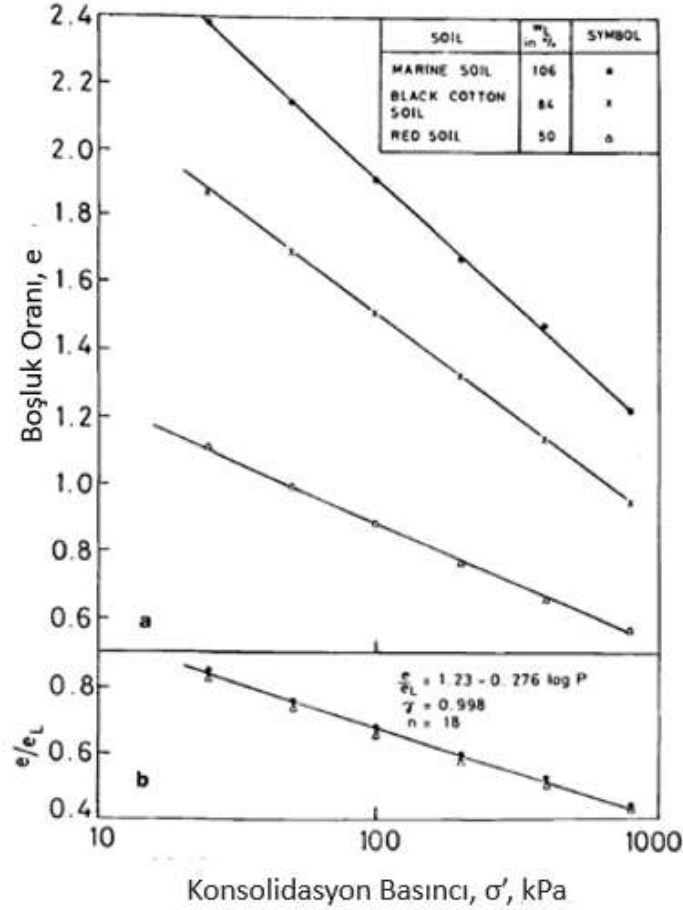
$$m_v = \frac{c_c}{2.3(1+e)} \frac{1}{p} = \frac{0.276 e_L}{2.3(1+e)} \frac{1}{\sigma'} \quad (2.51)$$

$$k = 1.253 \times 10^{-5} \sigma'^{-1.353} \quad (2.52)$$

Eşitlikler 2.51 ve 2.52 eşitlik 2.49'da yerine yerleştirildiğinde eşitlik 2.53'te görüldüğü üzere C_v değeri bulunmuş olur.

$$c_v = \frac{1+e_L(1.23-0.276 \log p)}{e_L} \times \frac{1}{\sigma'^{0.353}} \times 10^{-3} \quad (2.53)$$

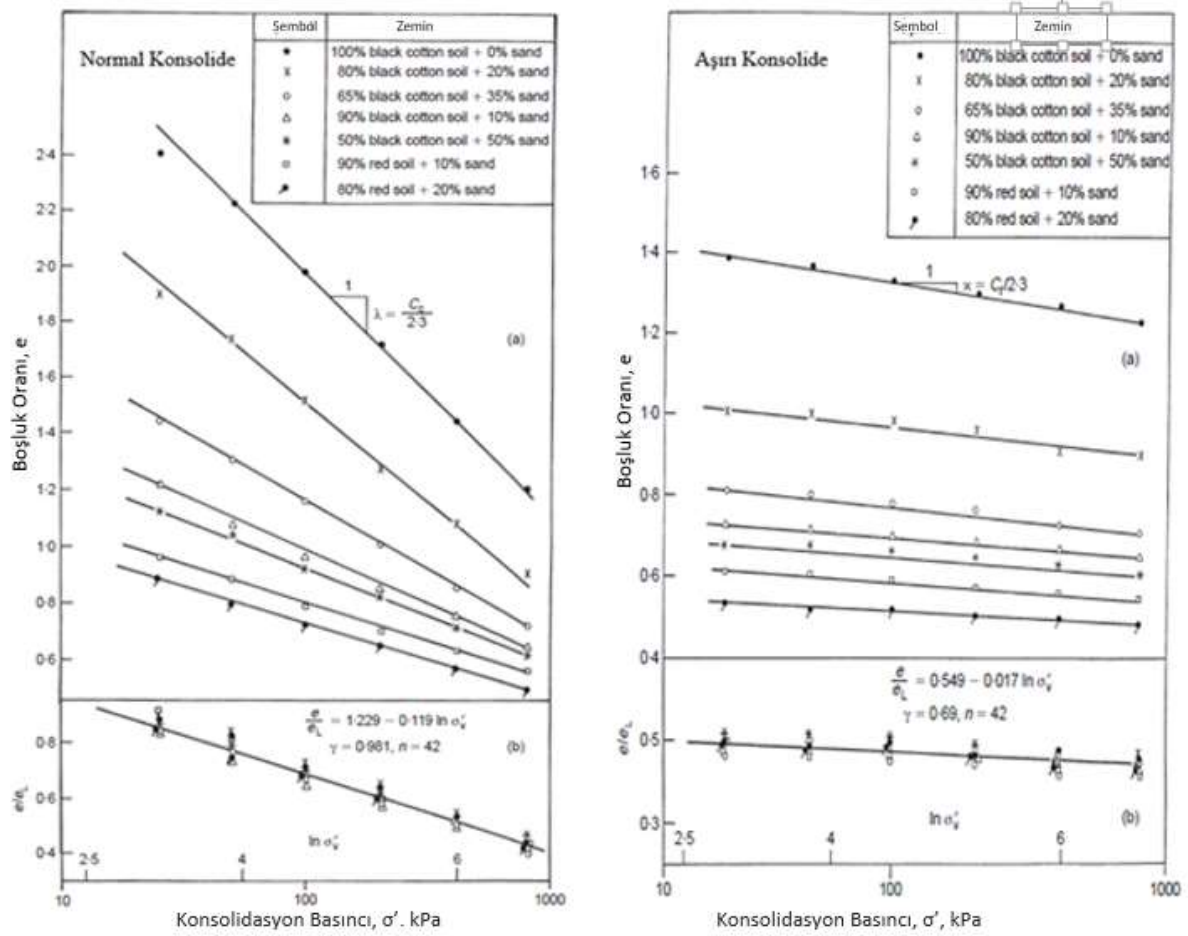
Bu eşitlikde; σ' = efektif örtü basıncı (kPa), e_L = likit limit durumundaki boşluk oranı, C_v = konsolidasyon katsayısıdır (cm^2/s).



Şekil 2.24 a) Boşluk oranı – konsolidasyon basıncı grafiği, b) Normalize edilmiş durum parametreleri – konsolidasyon basıncı grafiği (Narashima Raju, Pandian and Nagaraj 1995).

2.5.8 P.S.R. Narashima Raju, N.S. Pandian, T.S. Nagaraj Yöntemi – 1997

Bu çalışmada konsolidasyon katsayısı C_v permeabilite ve sıkışabilirlikten bağımsız olarak bulunmaktadır. Yedi farklı zemin için uygulanan konsolidasyon deneylerinin sonuçları aşırı konsolide ve normal konsolide olmaları durumuna göre ayrı ayrı likit limitteki boşluk oranı e_L ile normalize edilmiştir (Şekil 2.25). Bu grafiklerden elde edilen parametrelerle C_v , 2.53 Eşitliğinden farklı olarak efektif gerilme ve boşluk oranları değerlerine bağlı olarak elde edilmiştir (Eşitlik 2.54).



Şekil 2.25 Aşırı ve normal konsolide killer için a) Boşluk oranı – konsolidasyon basıncı grafiği, b) Normalize edilmiş durum parametreleri – konsolidasyon basıncı grafiği (Narashima Raju, Pandian and Nagaraj 1997).

$$c_v = \frac{1+e_L(1.229-0.102 \ln \sigma'_c-0.017 \ln \sigma'_v)}{e_L} \chi \frac{(3.964 \times 10^{-3})(\sigma'_c)^{0.827}}{(\sigma'_c)^{1.04}} \quad (2.54)$$

Bu eşitlikde C_v = konsolidasyon katsayısı cm^2/s , σ'_c '= ön konsolidasyon basıncı ve σ'_v '= konsolidasyon basıncıdır kPa.

2.5.9 R. G. Robnson Yöntemi – 1997

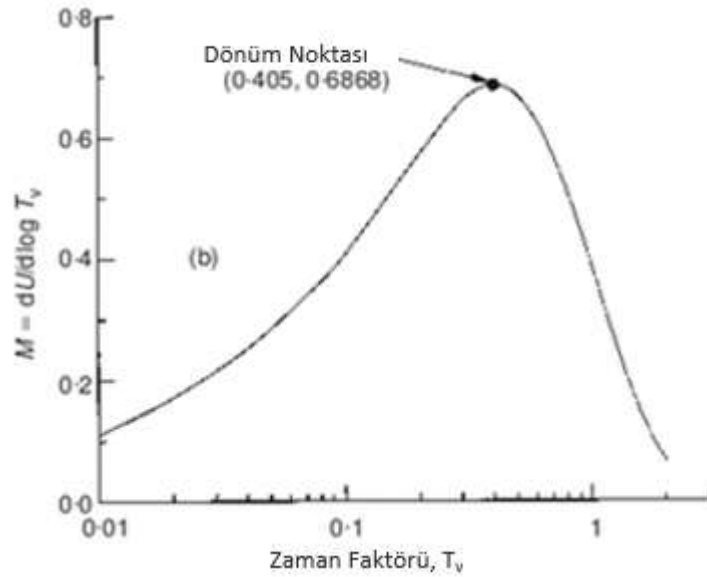
Bu çalışmada konsolidasyon katsayısı C_v bulunurken dönüm noktası yöntemi (inflection point method) kullanılır. Bu yöntemde Casagrande yöntemine benzer olarak zamanın logaritmasına karşılık çizilen sıkışma değerleri grafiğinden görsel tanımlamalar yapılır. Bu yöntemin en büyük avantajı birincil konsolidasyonun başlangıç ve bitişinin tanımlanmasına gerek

duyulmamasıdır. Dönüm noktası dikkatlice belirlendiğinde hesaplanan C_v Casagrande yönteminden elde edilen C_v kadar güvenilirdir. Dönüm noktası ortalama konsolidasyon derecesinin %70'ine denk gelmektedir ve bu nedenle birincil ve ikincil konsolidasyondan az etkilenmektedir.

Robinson (1997)' ye göre dönüm noktasını belirlemek için $dU/d\log T_v$ grafiğinin çizilmesi gerekmektedir. Bu grafiğin tepe noktasındaki T_v değeri dönüm noktasındaki T_{vi} değerini vermektedir. Robinson (1997) IL ödometre deneyinde C_v 'yi aşağıdaki gibi tanımlamıştır:

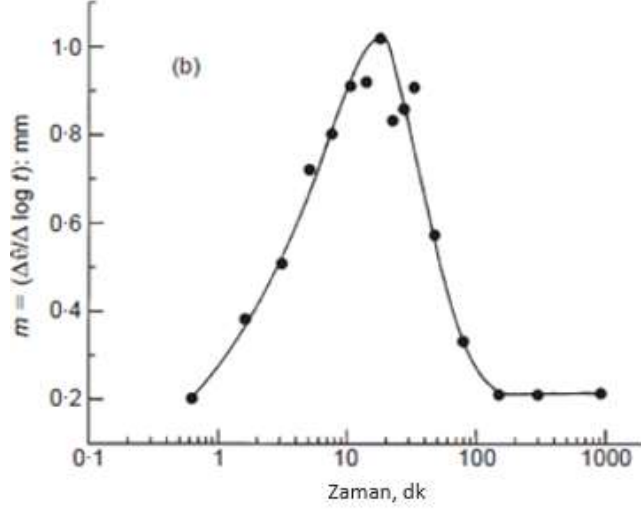
$$C_v = \frac{T_{vi}H^2}{t_i} \quad (2.55)$$

Burada; U = Konsolidasyon derecesi, T_v boyutsuz zaman faktörü, H = Maksimum drenaj boyu ve t = Zamanı ifade etmektedir. T_{vi} değeri şekil 2.26'dan 0.405 olarak elde edilmiştir.



Şekil 2.26 Dönüm noktasının grafiksel olarak belirlenmesi (Robinson 1997).

Benzer olarak t_i değerini bulmak için zamana karşılık $\Delta\delta/\Delta\log t$ grafiği çizilerek bu grafikteki dönüm noktasından t_i değeri bulunur ve eşitlik 2.55'de yerine yerleştirilir. Tipik bir $\Delta\delta/\Delta\log t$ grafiği şekil 2.27'de verilmiştir.



Şekil 2.27 $\Delta\delta/\Delta\log t$ grafiği (Robinson 1997).

2.5.10 A. Siridharan, H. B. Nagaraj Yöntemi – 2004

Sıkışabilir zeminlerde oturma değeri sıkışma katsayısı (C_c) veya hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) ile ilişkilidir. Bu parametreler, zemin etüt çalışmalarında ön yükleme tekniğinde büyük önem taşımaktadır. Bu da ancak konsolidasyon katsayısının (C_v) belirlenmesiyle başarılabilir. Konsolidasyon katsayısı C_v Terzaghi bir boyutlu konsolidasyon teorisine göre eşitlik 2.56'da verilmiştir. Bununla birlikte ileri tekniklerle de konsolidasyon katsayısı elde edilmiştir. Carrier (1985)'e göre C_v eşitlik 2.57'de verilmiştir.

$$C_v = \frac{k}{m_v \gamma_w} \quad (2.56)$$

Burada k = hidrolik iletkenlik, m_v =hacimsel değişim katsayısı, (m^2/kN), γ_w =suyun birim hacim ağırlığı, (kN/m^3)

$$C_v = \frac{9.09 \times 10^{-7} (1.192 + ACT^{-1})^{6.993} (4.135 I_L + 1)^{4.29}}{I_p (2.03 I_L + 1.192 + ACT^{-1})^{7.993}} \quad (2.57)$$

Burada; ACT = Aktivite, I_L = Likit Limit, I_p = Plastik Limit

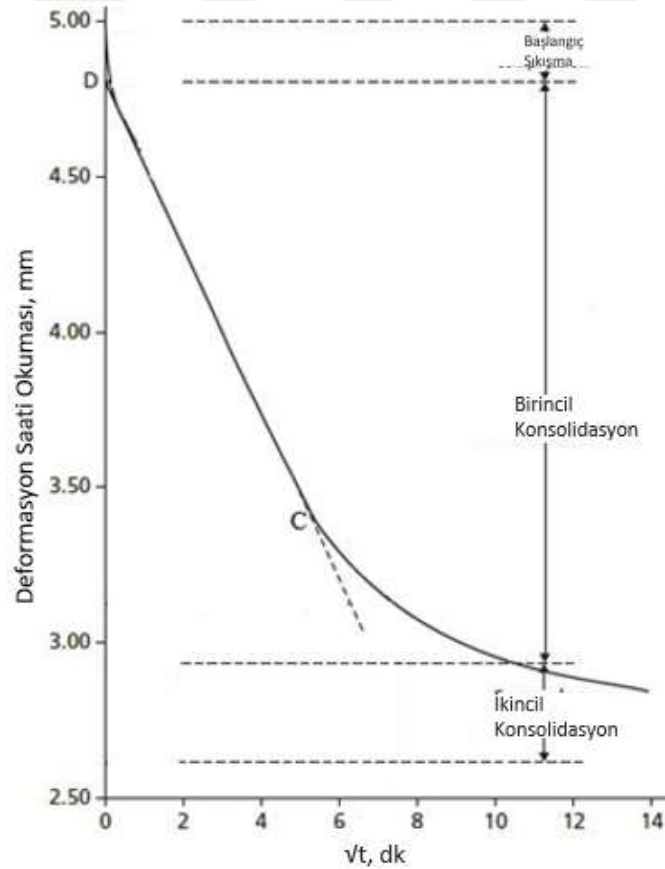
Raju (1985) normal konsolide zeminler için konsolidasyon katsayısını eşitlik 2.58'de verildiği gibi bulmuştur.

$$C_v = \frac{1+e_L(1.23-0.276 \log \sigma'_0)}{e_L} \times \frac{1}{\sigma'_0^{(0.353)}} \times 10^{-3} \quad (2.58)$$

Burada e_L = likit limitteki boşluk oranı, σ'_0 = efektif örtü basıncıdır (kPa).

2.5.11 Mohammad Shukri Al-Zoubi Yöntemi – 2008

Bu çalışmada Taylor yöntemindeki gibi zamanın karekökü alınarak deformasyon okumaları ile grafiği çizilir (Şekil 2.28). Eğrinin başlangıç kısmındaki lineer kısım kullanılır ancak eğimin 1.15 katı alınarak elde edilen doğru kullanılmamaktadır. $\delta t - \sqrt{t}$ grafiğinde lineer kısmın saptığı nokta yerine ($U=50\%$ olduğu nokta) birincil konsolidasyonun tamamlandığı (δ_p) nokta kullanılır. Bu yöntemde C_v bulunurken; $\delta t - \sqrt{t}$ eğrisinin başlangıç lineer kısmının eğimi m herhangi bir özel U değerinden bağımsız olarak kullanılır. Teorik olarak $0 \leq U \leq 52.6\%$ aralığında bu yöntem uygulanabilir.



Şekil 2.28 Karekök zaman ve deformasyon grafiği (Knappett and Craig 2012).

Bu yöntemde şekil 2.28'de verildiği gibi Taylor yöntemine benzer olarak çizilen $\delta t - \sqrt{t}$ eğrisi üzerindeki DC doğrusunun eğimi ve birincil konsolidasyonun bittiği noktadaki oturma miktarı belirlenerek konsolidasyon katsayısı C_v hesaplanır. Terzaghi (1943)'e göre, ortalama konsolidasyon derecesi %52.6'ya çıkana kadar;

$$U = M\sqrt{T} \quad (2.59)$$

Burada; $M=1.128$, U - T ilişkisinin başlangıç lineer kısmının eğimidir.

Benzer olarak; $\delta t - \sqrt{t}$ eğrisinin baştaki lineer kısmında ;

$$\delta_t = m\sqrt{t} \quad (2.60)$$

Burada; $m = \delta t - \sqrt{t}$ eğrisinin baştaki lineer kısmının eğimi, $\delta t = t$ süresi boyunca oluşan oturma, $d_t - d_0$, $d_0 = \%0$ konsolidasyondaki okuma, $d_t = t$ zamanındaki okumadır.

Terzaghi teorisine göre konsolidasyon zamanı t ;

$$t = \frac{TH_m^2}{c_v} \quad (2.61)$$

Eşitliği ile bulunur. Burada; T = zaman faktörü, H_m = maksimum drenaj boyu, C_v = düşey konsolidasyon katsayısıdır.

Bir diğer yandan otuma δt ;

$$\delta_t = U\delta_p \quad (2.62)$$

Burada; $\delta_p =$ birincil konsolidasyon sonundaki oturma (EOP) = $d_p - d_0$, $d_p =$ birincil konsolidasyon sonundaki okumadır.

Eşitlikler 1-4'e dayanarak eğim yöntemi (Slope Method) ile, C_v ;

$$C_v = \left(\frac{mH_m}{1.128\delta_p} \right)^2 \quad (2.63)$$

İle hesaplanır. Bu eşitlikte %0 ve %100 konsolidasyonun gerçekleştiği başlangıç ve bitiş okumalara ihtiyaç olduğundan (EOP δ_p 'nin hesaplanması için) eşitlik 2.63'te $\delta_p = 2m\sqrt{t_{50}}$ yerine yerleştirilirse konsolidasyon katsayısı C_v ;

$$C_v = \left(\frac{mH_m}{1.128(2m\sqrt{t_{50}})} \right)^2 = \frac{0.196H_m^2}{t_{50}} \quad (2.63)$$

eşitliği ile bulunur.

2.5.12 Arazi Deneyleri ile Konsolidasyon Katsayısının C_v Bulunması

Kohezyonlu zeminlerin akış ve konsolidasyon karakteristikleri konsolidasyon katsayısı C_v ve hidrolik iletkenlik k parametreleri kullanılarak hesaplanabilir. Terzaghi bir boyutlu konsolidasyon teorisinden yola çıkılarak konsolidasyon katsayısı C_v eşitlik 2.64'teki gibi hesaplanabilir.

$$C_v = \frac{kM}{\gamma_w} \quad (2.64)$$

Bu eşitlikte sıkıştırılmış modül (constrained modulus) M değerinin CPT deneyinden elde edilen sonuçlarla birlikte net koni direnci ($q_t - \sigma_0$) bağıntısı ile birlikte eşitlik 2.64 Eşitlik 2.65 gibi yazılabilir.

$$C_v = \frac{k(q_t - \sigma_0) \times 8.25}{\gamma_w} \quad (2.65)$$

Konsolidasyon katsayısı C_v yatay konsolidasyon katsayısı C_h kullanılarak da bulunabilir. Çizelge 2.6' da yatay konsolidasyon katsayısının farklı yöntemlerle bulunuşları özetlenmiştir.

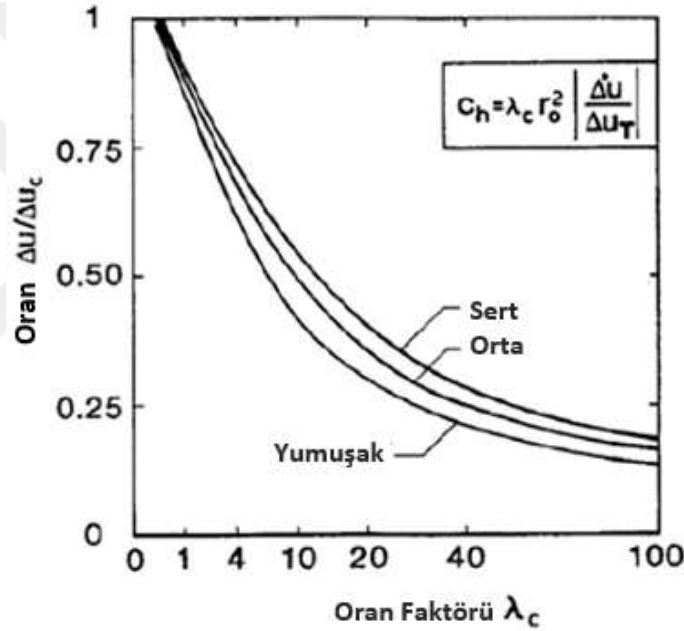
Çizelge 2.6 Yatay konsolidasyon katsayısının CPT sonuçlarıyla bulunuşu.

Yöntem adı	Yatay konsolidasyon katsayısı (C_h)
Cavity Expansion Method,1972,1975,1997	$C_{h(piez)} = \frac{T_{50} r_0^2}{t_{50}}$ <p>T_{50} =%50 kayıptaki zaman faktörü r_0 = penetrometrenin çapı t_{50} = %50 kayıp için geçen zaman</p>
Teh and Houlsby Method,1991	$C_{h(piez)} = \frac{T_{50}^* r_0^2}{t_{50}} \sqrt{I_r}$ <p>T^*=modifiye zaman faktörü (Çizelge 2.7' de verilmiştir.) t_{50} = %50 kayıp için geçen zaman I_r= Rijitlik indisi=G/s_u G= Kayma Modülü s_u= Drenajsız Kayma Mukavemeti r_0 = penetrometrenin çapı</p>
Teh Method,1987	$C_h = \left(\frac{m}{M_G}\right)^2 \sqrt{I_r} r_0^2$ <p>$m = (\Delta u / \Delta u_i) - \sqrt{t}$ grafiğinin eğimi M_G = Kayıp eğrisinin eğimi (Koni ucu için 1.63, Koni tabanı için 1.15, koni tabanından 5 yarıçap kadar üstte 0.62 değerindedir.) I_r= Rijitlik indisi=G/s_u r_0 = penetrometrenin çapı</p>
Sunneset et al Method-b,1982	$C_{h(piezo)} = \lambda_c r_0^2 \Delta u_t / \Delta u_i $ <p>r_0 = penetrometrenin çapı Δu_t = Kayıp Oranı Δu_i = Başlangıç Artık Boşluk Basıncı λ_c = Oran Faktörü (Şekil 2.30' da verilmiştir.)</p>

Teh ve Houlsby (1991) yöntemindeki modifiye zaman faktörü değerleri konsolidasyon derecesi ve CPT konisinin konumuna göre Çizelge 2.7'de verildiği gibidir. Sunneset ve diğerleri (1982) yöntemindeki oran faktörü değeri de sert, orta ve yumuşak zemin olması durumuna ve $\Delta u / \Delta u_c$ oranına bağlı olarak Şekil 2.29'da grafiksel olarak verilmiştir.

Çizelge 2.7 Modifiye zaman faktörünün belirlenmesi (Abu-Farsakh 2000).

Konsolidasyon Derecesi	Konum			
	Koni Ucu (u_1)	Koni tabanı (u_2)	Koni tabanının 5 yarıçap üstü	Koni tabanının 10 yarıçap üstü
20	0.014	0.038	0.294	0.378
30	0.032	0.078	0.503	0.662
40	0.064	0.142	0.756	0.995
50	0.118	0.245	1.110	1.458
60	0.226	0.439	1.650	2.139
70	0.463	0.804	2.430	3.238
80	1.040	1.060	4.100	5.240



Şekil 2.29 Oran faktörünün belirlenmesi (Abu - Farsakh 2000).

Boşluk basıncının kaybı normal konsolidasyon aralığından ziyade yeniden sıkışma aralığında (boşaltma) gerçekleştiğinden, Baligh ve Levadoux (1986) normal konsolide durumundaki yatay konsolidasyon katsayısı C_h ile $C_{h(piezo)}$ arasındaki bağıntıyı eşitlik 2.67'deki gibi önermiştir.

$$C_{h(NC)} = \frac{RR}{CR} C_{h(piezo)} \quad RR = \frac{c_r}{1+e_0} \quad CR = \frac{c_r}{1+e_0} \quad (2.66)$$

Burada; RR= yeniden sıkışma oranı, CR= sıkışma oranı, C_c= sıkışma indisi, C_r= yeniden sıkışma indisi, e₀= başlangıç boşluk oranıdır.

$$C_v = \frac{k_v}{k_h} C_{h(NC)} \quad (2.67)$$

Düşey konsolidasyon katsayısı C_v yatay konsolidasyon katsayısı C_{h(NC)} ile eşitlik 2.67'deki gibi bulunabilir.





BÖLÜM 3

GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 GİRİŞ

Bu çalışmada ateş tuğla yapımında kullanılan ince daneli zemin grubundaki düşük plastisiteli kil örneği kullanılmıştır. Kullanılan bu malzemenin tanımlama deneyleri yapılmış ve daha sonra konsolidasyon davranışları incelenmiştir. Konsolidasyon karakteristikleri belirlendikten sonra teorik hesabı içinde barındıran geoteknik yazılımı Settle 3D kullanılarak yapı temeli altındaki konsolidasyon oturmaları hesaplanmıştır.

3.2 ARAŞTIRMADA KULLANILAN MALZEME

Bu araştırmada kullanılan kil numunesi Zonguldak İli Çaycuma İlçesi Filyos Beldesi'nde bulunan ÇAYTAŞ Ateş Tuğla Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Fabrika ilk olarak 1974 yılında kurulmuş olup 1986 yılında ÇAYTAŞ Ateş Tuğla San Tic. A.Ş. adını almıştır.

Malzeme fabrikadan mineralojik yapısı korunarak öğütülmüş ve #200 elekten elendikten sonra paketlenerek B.E.Ü. İnşaat Mühendisliği Araştırma Laboratuvarına getirilmiştir. Numunenin fiziksel özelliklerini öğrenmek amacıyla özgül ağırlık, kıvam limitleri, standart kompaksiyon ve hidrometre deneyleri yapılmış olup, sonuçları çizelge 3.1'de verildiği gibidir.

Çizelge 3.1 Kil numunesinin tanımlama deney sonuçları.

Zemin Sınıfı (USCS)	Özgül Ağırlık (G_s)	Kil Oranı (%)	Silt Oranı (%)	Optimum Su İçeriği $W_{opt},\%$	Max. Kuru Yoğunluk $\gamma_{dmax}, g/cm^3$	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi, %
CL	2.60±0.03	70±15	30±15	17.91 ±	1.64±0.05	39±1.5	25±2.5	14±4

3.3 NUMUNELERİN HAZIRLANIŞI VE KONSOLİDASYON DENEYİNİN YAPILIŞI

İşlenebilirliği kolay olması açısından %22 su içeriğinde hazırlanan numuneler kompaksiyon moldunda sıkıştırılmıştır. Yaklaşık olarak 1.62 g/cm³ yoğunluğunda olan bu numunelerden konsolidasyon ringlerine örnekler alınarak deney setine yerleştirilmiştir. Daha sonra 50 kPa'lık bir gerilmeye maruz bırakılarak 24 saat su içinde bekletilip %100 doygun olması sağlanmıştır. Numunelerin şişme potansiyelleri de dikkate alınarak sistem farklı ön konsolidasyon basınçlarında yüklenmiş (100, 200, 300, 400, 500 ve 800 kPa), deformasyon duruncaya kadar beklenmiş ve hafıza kazanmaları sağlanmıştır. Daha sonra sistem 25 kPa'a boşaltılmıştır.

Bu şekilde yapılan 18 adet konsolidasyon deneyinden, üçlü gruplarda ayrı ayrı 100, 200, 300, 400, 500 ve 800 kPa'lık ön konsolidasyon basınçlarına sahip aşırı konsolide zeminler elde edilmesi sağlanmıştır. Aynı numuneler daha sonra 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 kPa gerilme değerleri altında tekrar yüklenmiş ve en son olarak da sistem gerilme kademesi dörtte bir oranında azaltılarak boşaltılmıştır (800, 200, 50 ve 12.5 kPa). Her gerilme artımlarında ve azaltımlarında 24 saat beklenmiştir. Konsolidasyon deneylerinin yapılmasında kullanılan deney ekipmanı Şekil 3.1'de verilmiştir.

Yapılan konsolidasyon deneylerinin sonucunda konsolidasyon katsayısı bulunurken ASTM D2435/D2435M-11 ve TS 1900-2'de önerilen Cassagrande ve Taylor yöntemleri kullanılmıştır.



Şekil 3.1 BEU İnşaat Mühendisliği Araştırma Laboratuvarındaki konsolidasyon deney seti

3.4 OTURMA HESABINDA SETTLE 3D’NİN KULLANIMI

3.4.1 Settle 3D Yazılımının Özellikleri

Settle 3D düşey yükler altındaki konsolidasyon oturmasını hesaplar. Kolaylıkla karmaşık zemin profilleri yaratılabilir ve sonuçlar üç boyutlu olarak gösterilebilir. Lineer ve non-lineer malzeme modelleri seçilebilir. Yeraltı suyu koşullarında yatay ve düşey yönde drenaj durumları girilebilir.

Dairesel, dikdörtgensel ve poligonal temel türleri üniform ve değişken yük dağılımlarıyla modellenebilir. Yüklemeler kademelendirilebilir ve herhangi bir derinliğe uygulanabilir. Zemin modeli üzerinde kazı yapılabilir ve kazı yapılan zemin üzerine herhangi bir yük yüklenebilir.

Oturma, gerilme ve boşluk suyu basınç değerleri 3 boyutlu hacimde hesaplanabilir ve sonuçlar yatay veya düşey bir düzlemde ya da herhangi bir hat üzerinde gösterilebilir. Oturmadan kaynaklanan deformasyon 3 boyutlu sunulabilir. İstenilen herhangi bir derinlikte veya noktada herhangi bir datanın grafiği çizilebilir. Sonuçlar rahatlıkla Excel programına aktarılabilir.

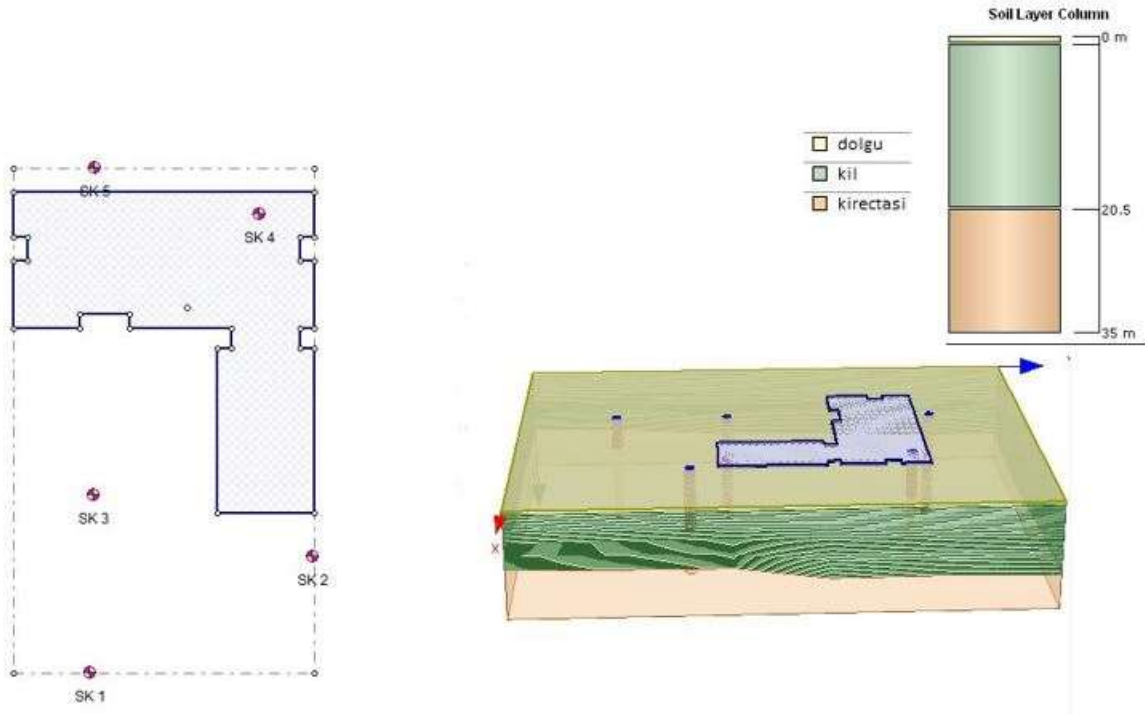
Oturma analizleri için gerekli zemin parametreleri istenildiği gibi girilebilir veya programın kendi içerisinde yer alan örnek zeminlerin malzeme parametreleri de seçilebilir.

3.4.2 Settle 3D Yazılımında Oturma Hesabı

Bu çalışmada bir yapı temeli altındaki zamana bağlı konsolidasyon oturmasının miktarını belirlemek amacıyla teorik formüllerle hesaplama yapan Settle 3D yazılımı kullanılmaktadır. Tanımlama ve konsolidasyon deneylerinden elde edilen zemin özellikleri programa dahil edilir. Arazideki zemin katmanları belirtilir. Belirtilen zemin katmanlarının üzerine uygulanacak olan yapı temelini geometrik şekli ve taban basıncı değerleri gerçekte uygulandığı gibi programda tanımlanır. Settle 3D’de oturma analizi hesaplamalarında gerilme dağılımı için kullanılan teoriler aşağıda verildiği gibidir ve bu çalışmada Boussinesq Teoremi kullanılmıştır.

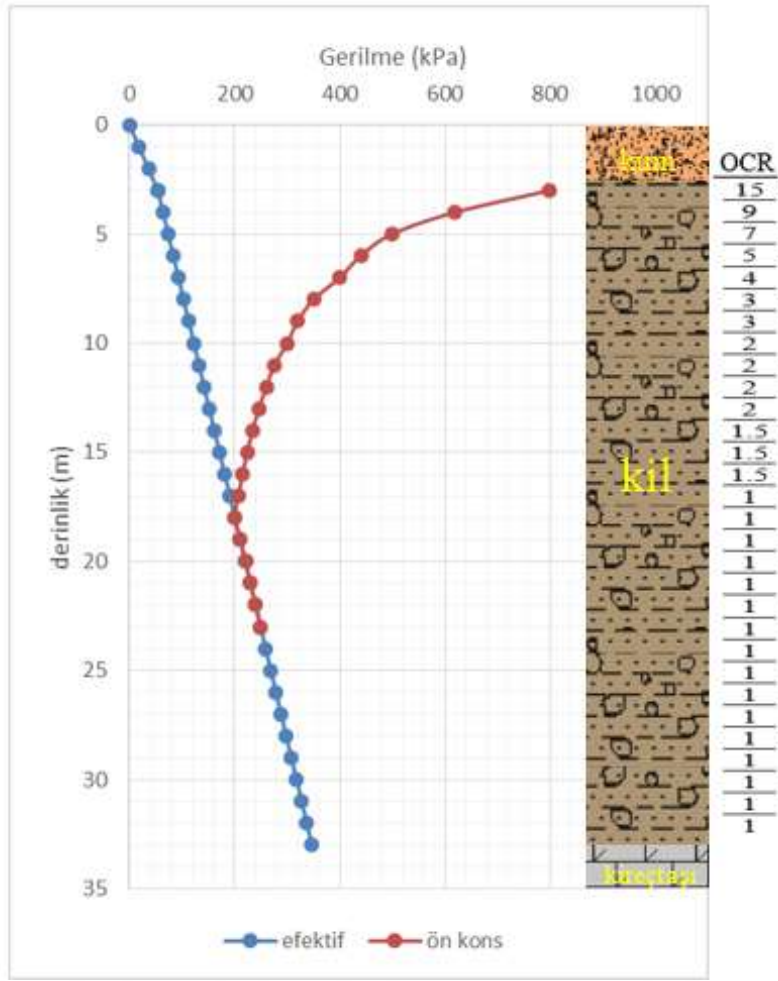
- a. Boussinesq Teoremi
- b. 2:1 Teoremi
- c. Multiple Layer Teoremi
- d. Westergaard Teoremi

Bu çalışmada oturma analizini yapmak için Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi Kampüsünde inşa edilecek olan İlahiyat Fakültesine ait derslik binasının temel geometrisi ve projedeki bina yükü ile laboratuvarında elde edilen zemin parametreleri “SETTLE 3D v:3.020” yazılımı kullanılarak kodlanmıştır. L tipi temel geometrisindeki 2411.36 m² taban alanlı 142.006 kPa taban basıncına sahip olan İlahiyat Fakültesi Binasına ait veriler ilgili proje ve zemin etüt raporlarından elde edilmiştir. Bina temeli altında 3 m kum dolgusundan sonra değişik yüksekliklerde kil ve kireç taşı tabakaları bulunmaktadır. Yer altı su seviyesi kil tabkalarının tamamında mevcuttur. Kil tabakasına ait veriler Çizelge 3.1’de özetlenen tanımlama deneylerinden ve konsolidasyon deneylerinden elde edilmiştir. Şekil 3.2’de temel geometrisi ve 3 boyutlu arazi modeli verilmiştir.



Şekil 3.2 BEÜ İlahiyat Fakültesi Derslik Binasına ait temel geometrisi ve üç boyutlu arazi modeli.

Pratikteki zemin etüt uygulamalarında konsolidasyon hesaplamaları yapılırken; kil tabakasının orta noktasından alınan tek bir numune konsolidasyon deneylerine tabi tutulur ve tüm kil tabakasının konsolidasyon karakteristiği bu deneyden elde edilen sonuçlar ile açıklanır. Ancak Bölüm 2’de anlatıldığı üzere arazideki ön konsolidasyon basıncı değeri derinlikle değişim göstermektedir. Bu nedenle yapılan çalışmada söz konusu zemin iki farklı durumda çözülmüştür. Birinci durumda kil tabakasına ait konsolidasyon değerleri sabit ve zemin normal konsolide alınarak, ikinci durumda ise konsolidasyon karakteristiklerinin (OCR, C_v , C_c , C_r ve e_0 değerleri) derinlikle yaptığı değişim baz alınarak hesaplamaları yapılmıştır. İkinci durumda kullanılmak üzere şekil 3.3’te de bu çalışmada kullanılan zemine ait arazideki efektif gerilme ve ön konsolidasyon basıncının derinlikle değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3.3 BEÜ İlahiyat Fakültesi Derslik Binasının temeli altındaki efektif gerilme ve ön konsolidasyon basıncının derinlikle değişmesi.

Gerilme dağılımı belirlendikten sonra Bölüm 2’de verilen 2.3, 2.4 ve 2.5 eşitlikleri ile zamana bağlı konsolidasyon oturması hesaplanır. Settle 3D programında oturma hesabı yapılırken gerekli olan ön konsolidasyon basıncı veya aşırı konsolide oranından herhangi biri tanımlanabilir. Bu çalışmada aşırı konsolide oranının oturma miktarı ve oturma süresine etkisi araştırıldığı için aşırı konsolide oranı değerlerinin girilmesi uygun görülmüştür. Bu çalışmada OCR=1 olması ve OCR=Değişken olması durumlarında Settle 3D programına tanımlanan zemin parametreleri çizelgeler 3.2’de ve 3.3’de verildiği gibidir.

Çizelge 3.2 OCR'nin değişken olması durumunda zemin parametreleri.

Derinlik m	Yoğunluk kN/m ³	OCR	c _v m ² /gün	m _v cm ² /kg	K m/gün	C _c	C _r	e ₀
4	19.58	15	0.0118	0.0153	0.00001807	0.1894	0.0592	0.4295
5	19.58	9	0.0118	0.0153	0.00001807	0.1894	0.0592	0.4295
6	19.58	7	0.0169	0.0175	0.00002954	0.2032	0.0611	0.4386
7	19.58	5	0.0143	0.0125	0.00001778	0.2047	0.0514	0.5392
8	19.58	4	0.0143	0.0125	0.00001778	0.2047	0.0514	0.5392
9	19.58	3	0.0143	0.0125	0.00001778	0.2047	0.0514	0.5392
10	19.58	3	0.0160	0.0125	0.00001999	0.2047	0.0437	0.5186
11	19.58	2	0.0160	0.0125	0.00001999	0.2047	0.0437	0.5186
12	19.58	2	0.0160	0.0125	0.00001999	0.2047	0.0437	0.5186
13	19.58	2	0.0160	0.0125	0.00001999	0.2047	0.0437	0.5186
14	19.58	2	0.0151	0.0115	0.00001735	0.2062	0.0376	0.5546
15	19.58	1.5	0.0151	0.0115	0.00001735	0.2062	0.0376	0.5546
16	19.58	1.5	0.0151	0.0115	0.00001735	0.2062	0.0376	0.5546
17	19.58	1.5	0.0151	0.0115	0.00001735	0.2062	0.0376	0.5546
18	19.58	1	0.0151	0.0115	0.00001735	0.2062	0.0376	0.5546
19	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
20	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
21	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
22	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
23	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
24	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
25	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
26	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
27	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
28	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
29	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
30	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
31	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
32	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
33	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546

Çizelge 3.3 OCR=1 olması durumunda zemin parametreleri.

Derinlik m	Yoğunluk kN/m ³	OCR	c _v m ² /gün	m _v cm ² /kg	K m/gün	C _c	C _r	e ₀
4	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
5	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
6	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
7	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
8	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
9	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
10	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
11	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
12	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
13	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
14	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
15	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
16	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
17	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
18	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
19	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
20	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
21	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
22	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
23	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
24	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
25	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
26	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
27	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
28	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
29	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
30	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
31	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
32	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546
33	19.58	1	0.0149	0.0122	0.00001819	0.2062	0.0376	0.5546

Çizelge 3.2 ve 3.3'te verilen parametreler seçilirken şekil 3.3'te verilen arazideki ön konsolidasyon basıncı, efektif gerilme ve gerilme artışı değerleri göz önünde bulundurularak; yapılan tanımlama deneyleri ve 18 adet konsolidasyon deney sonuçları kullanılmıştır.

BÖLÜM 4

KONSOLİDASYON DENEY SONUÇLARI VE SETTLE 3D İLE OTURMA ANALİZİ

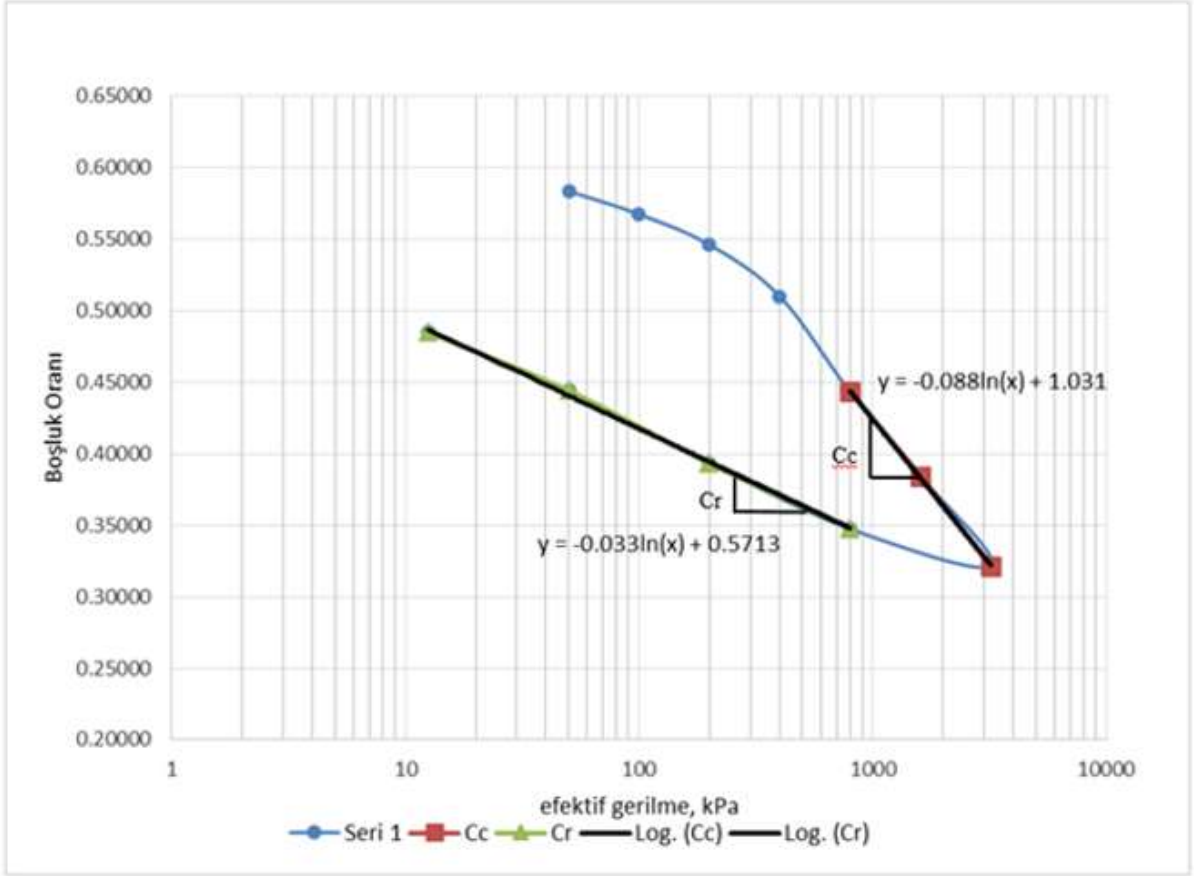
4.1 KONSOLİDASYON DENEY SONUÇLARI

Yapılan 18 adet konsolidasyon deneyinden, üçlü gruplarda ayrı ayrı 100, 200, 300, 400, 500 ve 800 kPa'lık ön konsolidasyon basınçlarına sahip aşırı konsolide zeminler elde edilmiştir. Konsolidasyon deneylerinden bu zeminlere ait konsolidasyon karakteristikleri (C_c , C_r , m_v , C_v) değerleri elde edilmiştir. Aynı zamanda yapılan tanımlama deneyleri ile başlangıç boşluk oranı (e_0) ve başlangıç su içeriği (w) değerleri elde edilmiştir.

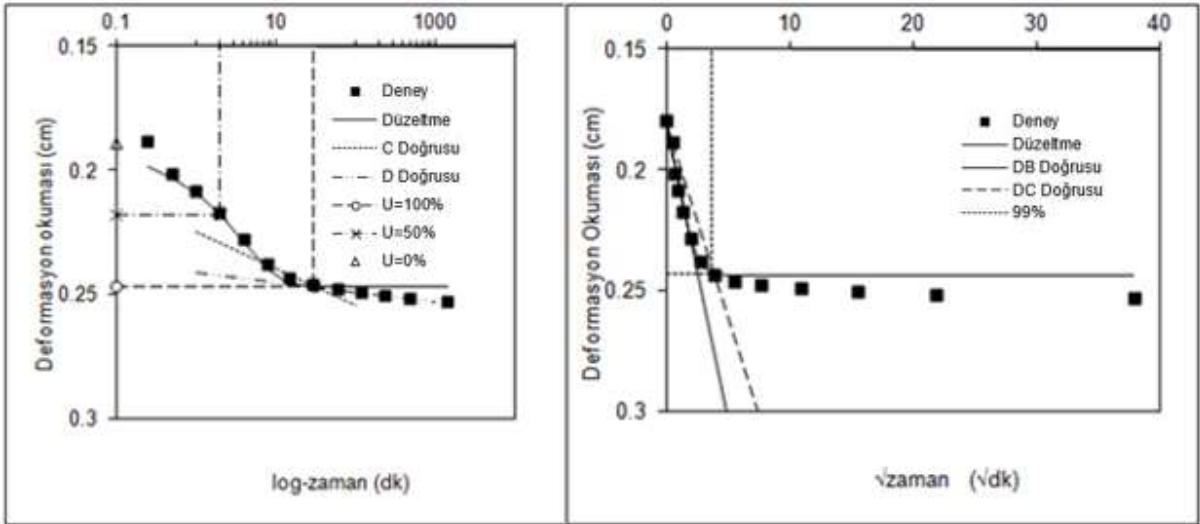
Konsolidasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar her bir ön konsolidasyon basıncı grubu için ayrı ayrı verilmiştir. Çizelge 4.1'de 100 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen konsolidasyon deney sonuçları özetlenmiştir. ASTM D2435 / D2435M-11 standardında önerilen Casagrande yöntemine ait grafiklerle (Şekil 2.19) en uyumlu boşluk oranı- $\log(\text{gerilme})$ (e - $\log\sigma$) grafiğini veren 3 numaralı deneye ait e - $\log\sigma$ grafiği Şekil 4.1'de sunulmuştur. 100 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip 3 numaralı deneye ait konsolidasyon katsayısı değerleri Taylor ve Casagrande yöntemlerine göre Şekil 4.2'de bulunmuştur. Aynı deneye ait hacimsel sıkışma katsayısının ve konsolidasyon katsayısının gerilmeyle değişim grafikleri verilmiştir (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4). Şekil 4.4 göz önünde bulundurulduğunda Casagrande yöntemiyle bulunan konsolidasyon katsayıları Taylor yöntemiyle bulunan konsolidasyon katsayılarından daha düşük değerdendirler. Ancak her iki yöntemle bulunan değerler de üzerindeki efektif gerilmeyle aynı eğilimle değişim göstermektedirler. 3 numaralı deneye ait konsolidasyon katsayısı değerleri efektif gerilme 100 kPa iken en düşük olup 200 kPa efektif gerilemede ise en yüksek değerleri vermektedirler.

Çizelge 4.1 100 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen deneyler için konsolidasyon karakteristikleri

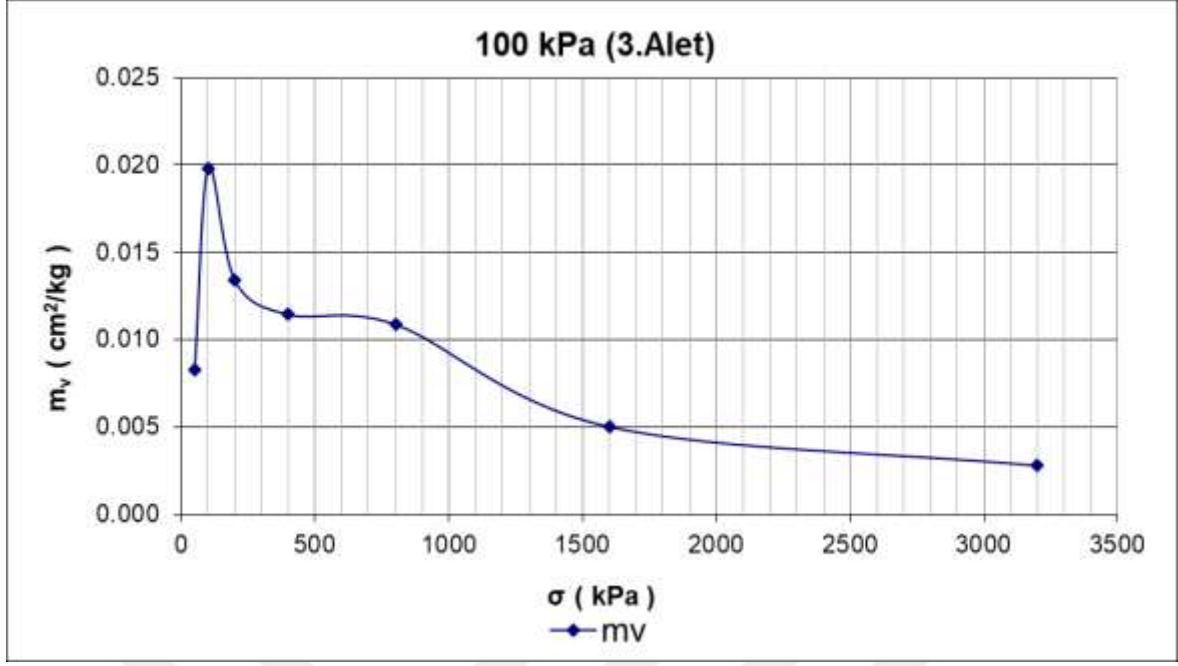
	C_c	σ	a_v	m_v	C_v (Taylor)	C_v (Casag.)	k (Taylor)
		kPa	cm ² /kg	cm ² /kg	m ² /gün	m ² /gün	m/gün
1. Deneysel 100 kPa	0.253	50	0.00584	0.00377	0.023658237	0.009025116	0.0000089
		100	0.02162	0.014	0.019650495	0.009118625	0.0000275
		200	0.03126	0.0204	0.015100185	0.005991199	0.0000308
	C_r	400	0.02054	0.01368	0.009596179	0.005567232	0.0000131
		800	0.01051	0.00721	0.013937154	0.008522042	0.0000100
		1600	0.01057	0.00746	0.007815484	0.008857686	0.0000058
	0.0759	3200	0.00404	0.00304	0.011531852	0.008209713	0.0000035
2. Deneysel 100 kPa	0.2185	50	0.00364	0.00229	0.024048567	0.01686164	0.0000055
		100	0.01344	0.00847	0.025132735	0.014819574	0.0000213
		200	0.0339	0.02146	0.020937964	0.010726113	0.0000449
	C_r	400	0.02375	0.01537	0.00660937	0.002954198	0.0000102
		800	0.02103	0.01405	0.01222164	0.010901337	0.0000172
		1600	0.00759	0.00538	0.012489899	0.0101606	0.0000067
	0.0667	3200	0.00429	0.00318	0.011963695	0.009543233	0.0000038
3. Deneysel 100 kPa	0.2024	50	0.0066	0.00416	0.016407027	0.012465758	0.0000068
		100	0.03138	0.01981	0.014989115	0.008514267	0.0000297
		200	0.02098	0.01339	0.017259255	0.01150695	0.0000231
	C_r	400	0.01768	0.01143	0.0147648	0.010371933	0.0000169
		800	0.01641	0.01087	0.013360911	0.009706455	0.0000145
		1600	0.00723	0.00501	0.013608491	0.010753635	0.0000068
	0.0759	3200	0.00385	0.00278	0.01432783	0.010388238	0.0000040



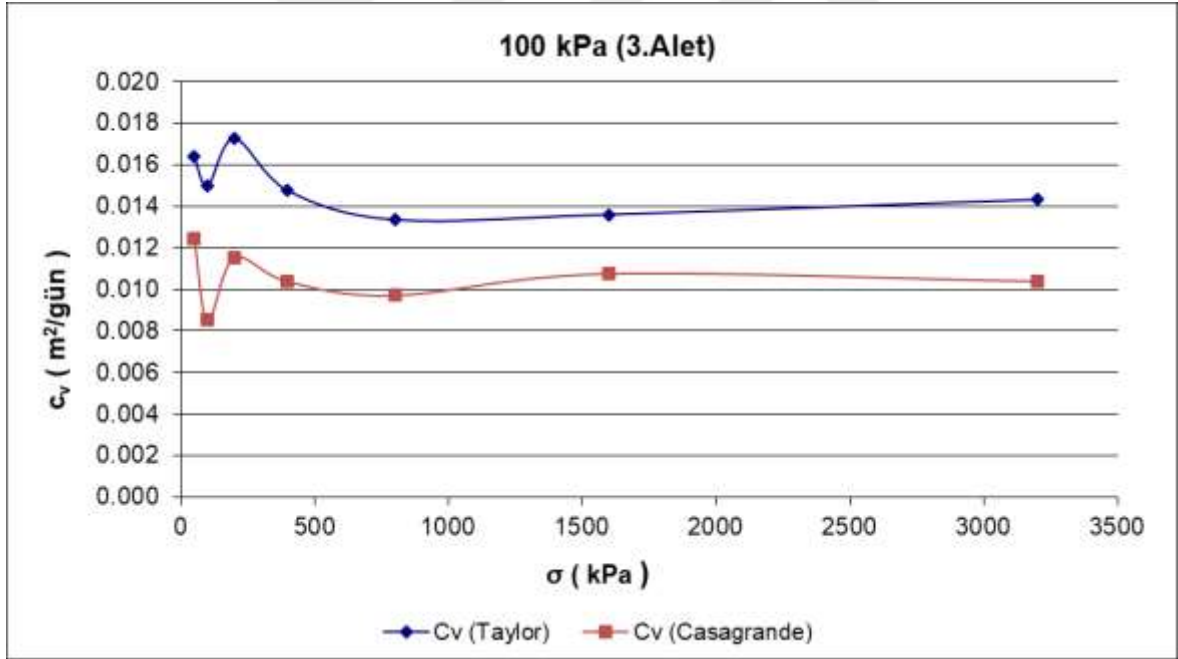
Şekil 4.1 100 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait e-log σ grafiği.



Şekil 4.2 100 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye Ait 1600 kPa yüklemde C_v 'nin Casagrande ve Taylor yöntemleriyle bulunması.



Şekil 4.3 100 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait m_v - σ grafiği.



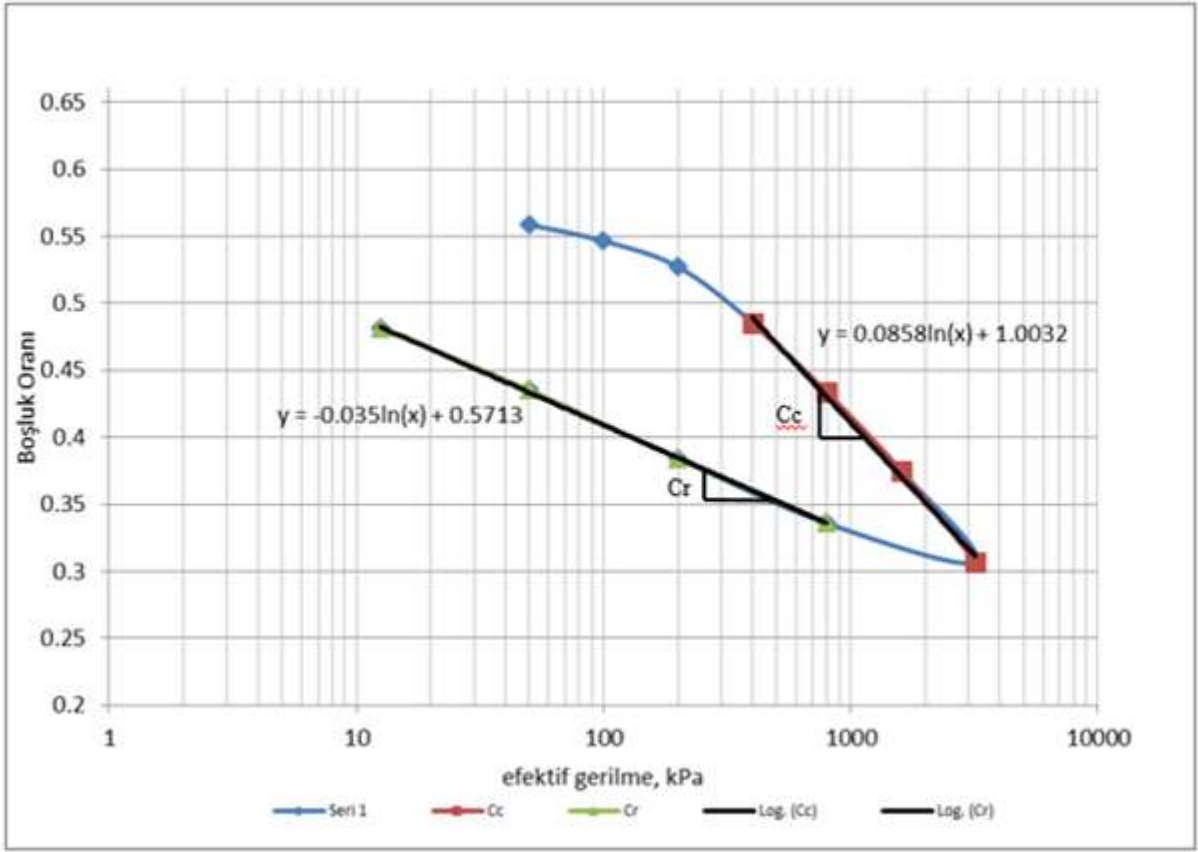
Şekil 4.4 100 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait C_v - σ grafiği.

Çizelge 4.2’de 200 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen konsolidasyon deney sonuçları özetlenmiştir. ASTM D2435 / D2435M-11 standardında önerilen Casagrande yöntemine ait grafikte (Şekil 2.19) en uyumlu boşluk oranı-log(gerilme) (e -log σ) grafiğini veren 5 numaralı deneye ait e -log σ grafiği Şekil 4.5’te sunulmuştur. 200 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip 5 numaralı deneye ait konsolidasyon katsayısı değerleri Taylor ve Casagrande yöntemlerine

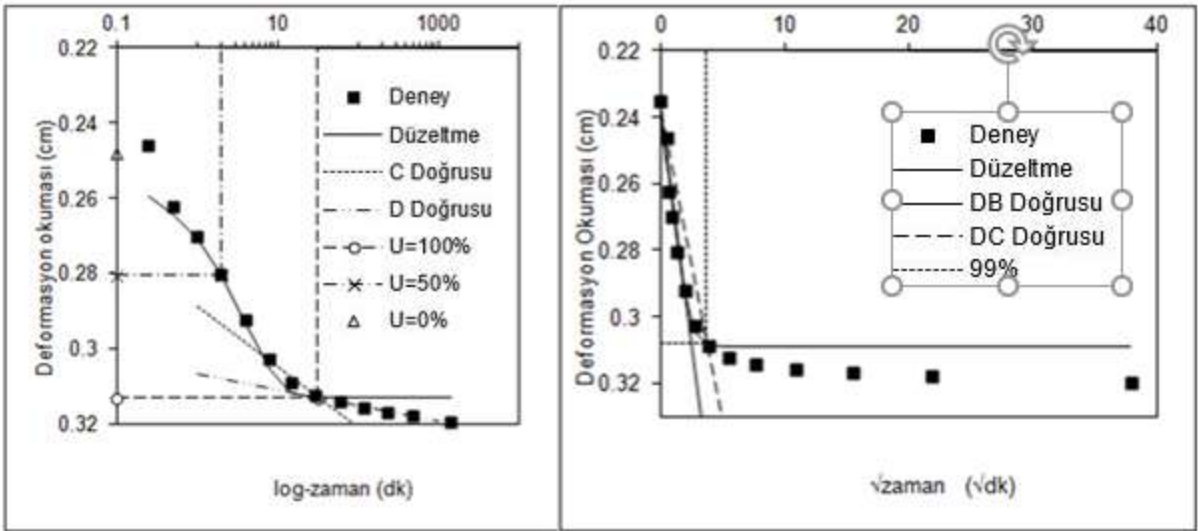
göre şekil 4.6'da bulunmuştur. Aynı deneye ait hacimsel sıkışma katsayısının ve konsolidasyon katsayısının gerilmeyle değişim grafikleri sırasıyla şekil 4.7 ve şekil 4.8'de verilmiştir. Şekil 4.8 göz önünde bulundurulduğunda Casagrande yöntemiyle bulunan konsolidasyon katsayıları Taylor yöntemiyle bulunan konsolidasyon katsayılarından daha düşük değerdendirler. Her iki yöntemle bulunan konsolidasyon katsayısı değerleri üzerindeki efektif gerilmeyle kısmen aynı eğilimle değişim göstermektedirler. 5 numaralı deneye ait Casagrande yöntemiyle bulunan konsolidasyon katsayısı değerleri efektif gerilme 400 kPa değerine kadar azalmakta iken Taylor yöntemiyle bulunan konsolidasyon katsayısı değerleri 800 kPa değerine kadar azalmaktadır. 400 kPa efektif gerilme değerinden sonra Casagrande yöntemiyle bulunan, 800 kPa efektif gerilmeden sonra da Taylor yöntemiyle bulunan konsolidasyon katsayısı değerleri artmaktadır.

Çizelge 4.2 200 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen deneyler için konsolidasyon karakteristikleri.

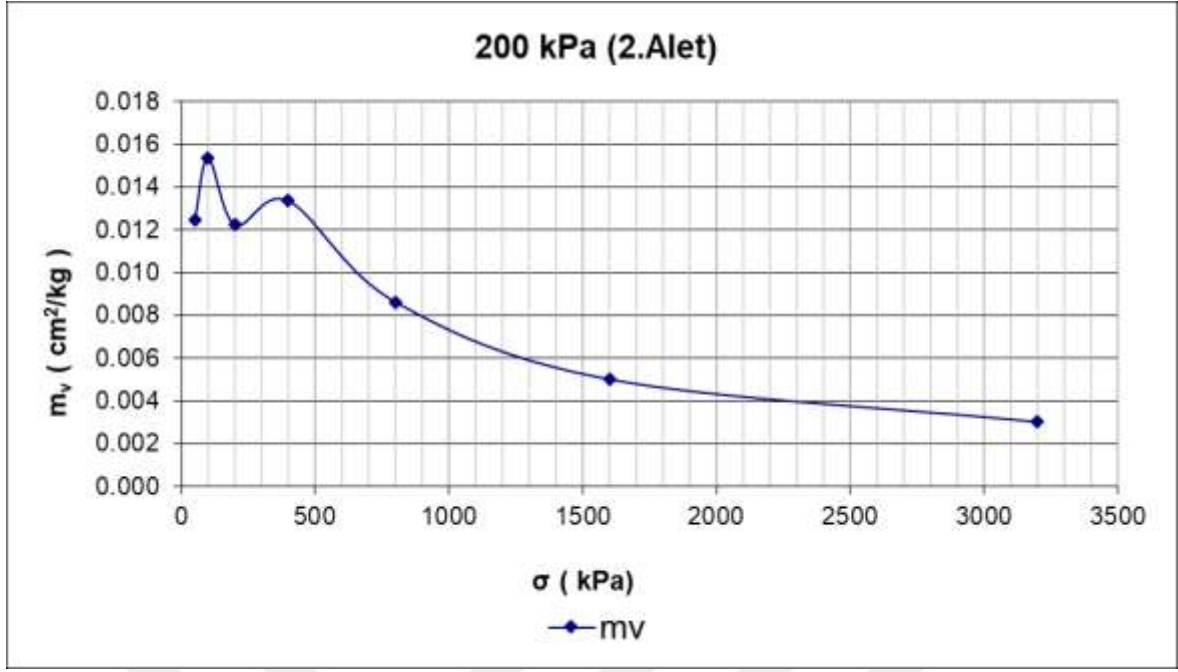
	C_c	σ	a_v	m_v	C_v (Taylor)	C_v (Casag.)	k (Taylor)		
		kPa	cm ² /kg	cm ² /kg	m ² /gün	m ² /gün	m/gün		
4. Deneysel 200 kPa	0.2001	50	0.00663	0.00424	0.018074363	0.008256652	0.0000077		
		100	0.02552	0.01636	0.016251267	0.008203811	0.0000266		
		200	0.02052	0.01326	0.014462295	0.007637419	0.0000192		
	0.0828	C_r	400	0.02122	0.0139	0.01211649	0.007474778	0.0000168	
			800	0.01303	0.00879	0.011702908	0.008584202	0.0000103	
		0.0828		1600	0.00739	0.00517	0.012258437	0.009487045	0.0000063
				3200	0.00396	0.00289	0.012770273	0.00967096	0.0000037
5. Deneysel 200 kPa	0.1932	50	0.00978	0.00625	0.018074363	0.008256652	0.0000113		
		100	0.02392	0.01535	0.016268086	0.008212309	0.0000250		
		200	0.01892	0.01224	0.014507726	0.00766144	0.0000178		
	0.0805	C_r	400	0.02041	0.01336	0.012465479	0.007496466	0.0000167	
			800	0.01282	0.00863	0.011780415	0.008641199	0.0000102	
		0.0805		1600	0.00719	0.00502	0.012370999	0.009574432	0.0000062
				3200	0.00416	0.00302	0.012831502	0.009717523	0.0000039
6. Deneysel 200 kPa	0.2254	50	0.00542	0.00353	0.024288912	0.0073994	0.0000086		
		100	0.02518	0.01641	0.025548978	0.011289298	0.0000419		
		200	0.01362	0.00895	0.016342977	0.008850871	0.0000146		
	0.0736	C_r	400	0.01427	0.00947	0.019979363	0.011696566	0.0000189	
			800	0.01775	0.01201	0.015746066	0.012187597	0.0000189	
		0.0736		1600	0.00835	0.00594	0.015044834	0.012391435	0.0000089
				3200	0.00391	0.00293	0.014629925	0.011902548	0.0000043



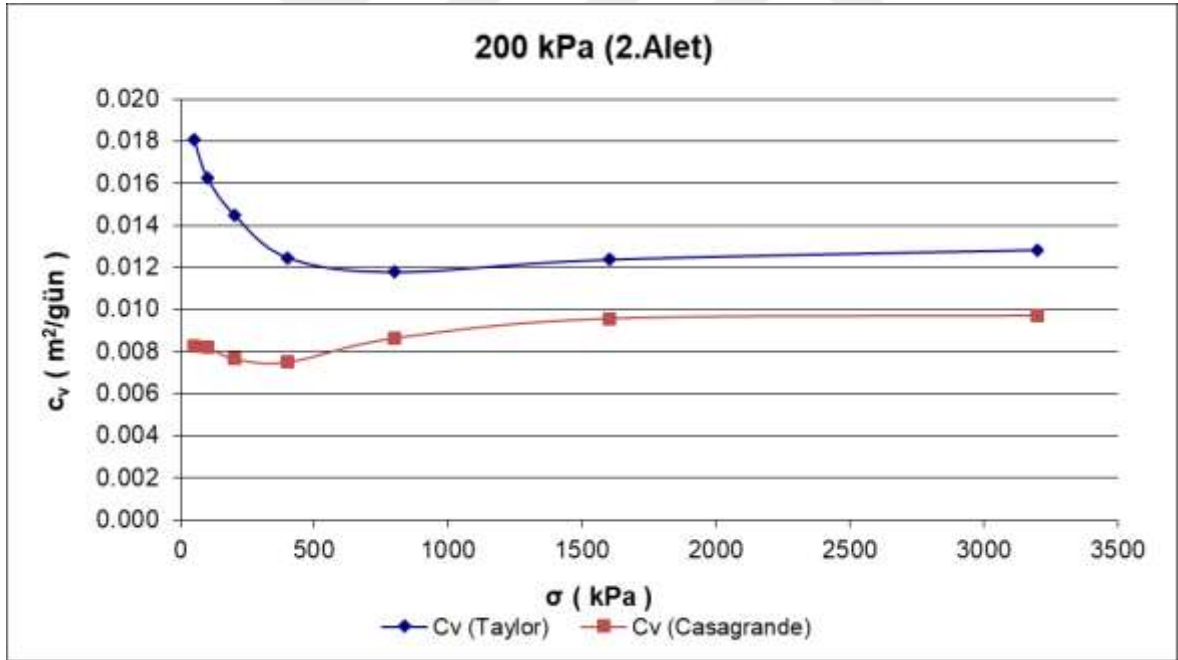
Şekil 4.5 200 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait e-log σ grafiği.



Şekil 4.6 200 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait 3200 kPa Yüklemede C_v 'nin Casagrande ve Taylor yöntemleriyle bulunması.



Şekil 4.7 200 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait m_v - σ grafiği.



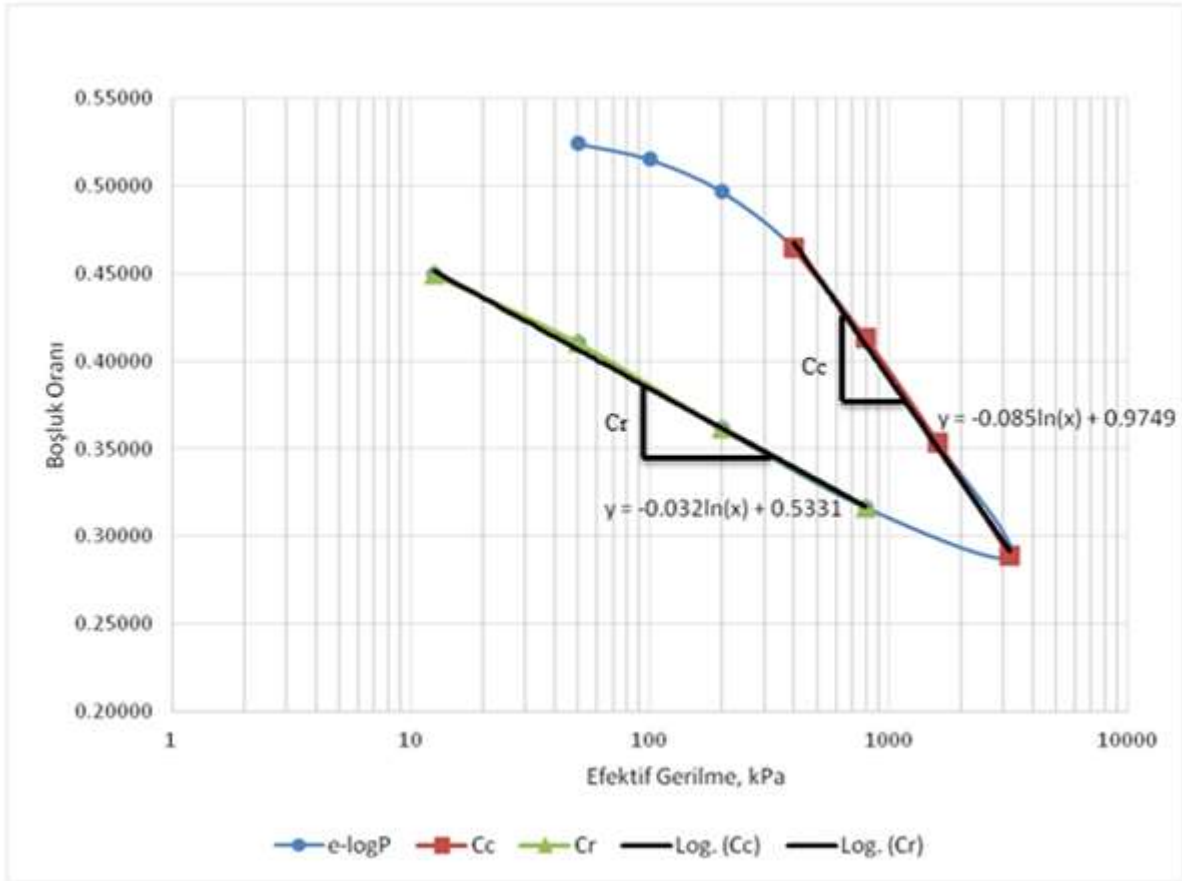
Şekil 4.8 200 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait C_v - σ grafiği.

Çizelge 4.3'te 300 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen konsolidasyon deney sonuçları özetlenmiştir. ASTM D2435 / D2435M-11 standardında önerilen Casagrande yöntemine ait grafikte (Şekil 2.19) en uyumlu boşluk oranı-log(gerilme) (e -log σ) grafiğini veren 7 numaralı deneye ait e -log σ grafiği şekil 4.9'da sunulmuştur. 300 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip

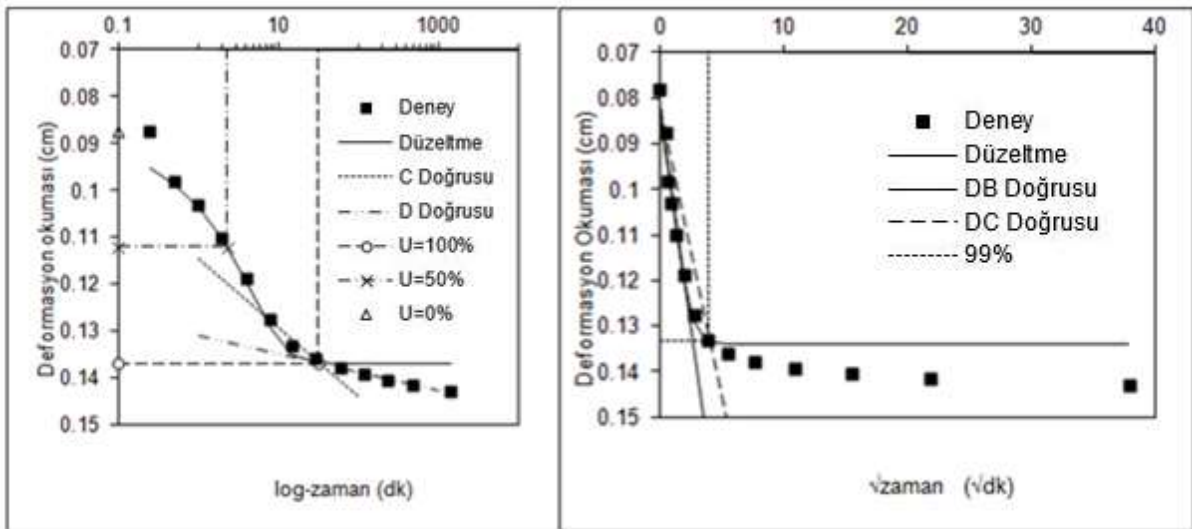
7 numaralı deneye ait konsolidasyon katsayısı değerleri Taylor ve Casagrande yöntemlerine göre şekil 4.10'da bulunmuştur. Aynı deneye ait hacimsel sıkışma katsayısının ve konsolidasyon katsayısının gerilmeyle değişim grafikleri sırasıyla şekil 4.11 ve şekil 4.12'de verilmiştir. Şekil 4.12 göz önünde bulundurulduğunda Casagrande yöntemiyle bulunan konsolidasyon katsayıları Taylor yöntemiyle bulunan konsolidasyon katsayılarından daha düşük değerdedirler. Her iki yöntemle bulunan konsolidasyon katsayısı değerleri üzerindeki efektif gerilmeyle aynı eğilimle değişim göstermektedirler. Her iki yöntemle elde edilen konsolidasyon katsayısı değerleri efektif gerilme 100 kPa değerinde azalmakta olup 300 kPa değerinden sonra neredeyse sabit kalmaktadır.

Çizelge 4.3 300 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen deneyler için konsolidasyon karakteristikleri.

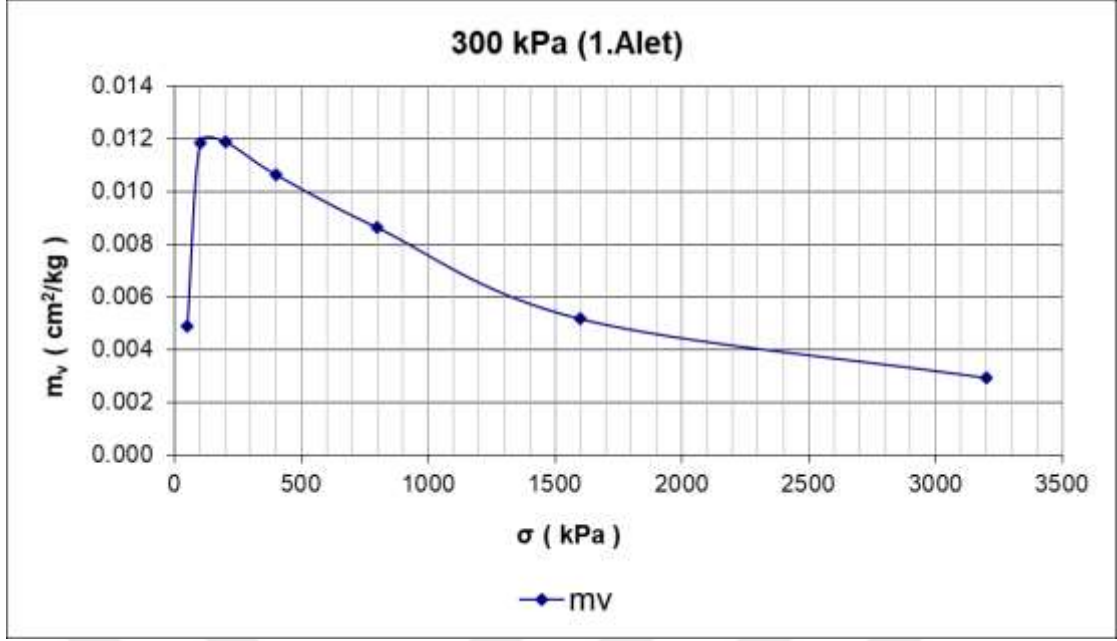
	C_c	σ	a_v	m_v	C_v (Taylor)	C_v (Casag.)	k (Taylor)	
		kPa	cm ² /kg	cm ² /kg	m ² /gün	m ² /gün	m/gün	
7. Deney 300 kPa	0.1955	50	0.00374	0.00489	0.011599099	0.009582813	0.0000028	
		100	0.01805	0.01184	0.007798979	0.007482477	0.0000092	
		200	0.01801	0.01189	0.012991365	0.009544484	0.0000154	
	0.0759	C_r	400	0.01594	0.01065	0.013201567	0.009525442	0.0000141
			800	0.01264	0.00863	0.012815339	0.009884621	0.0000111
		1600	0.00731	0.00517	0.012663075	0.009730515	0.0000065	
		3200	0.00397	0.00293	0.012953588	0.009680268	0.0000038	
8. Deney 300 kPa	0.2346	50	0.00552	0.00745	0.025730366	0.011343847	0.0000096	
		100	0.02235	0.01514	0.017862007	0.010043602	0.0000271	
		200	0.02042	0.01395	0.01725734	0.009978556	0.0000241	
	0.0759	C_r	400	0.02254	0.01561	0.013627494	0.008720292	0.0000213
			800	0.01694	0.01212	0.011677971	0.008819164	0.0000142
		1600	0.00838	0.00631	0.011874944	0.009162071	0.0000075	
		3200	0.0041	0.00326	0.012253114	0.009147836	0.0000040	
9. Deney 300 kPa	0.184	50	0.02236	0.01472	0.019426432	0.008782853	0.0000286	
		100	0.02068	0.01366	0.015354689	0.008759713	0.0000210	
		200	0.01757	0.01169	0.017699005	0.008637571	0.0000207	
	0.0759	C_r	400	0.01499	0.0101	0.013067945	0.009780157	0.0000132
			800	0.01208	0.0083	0.01191297	0.009384161	0.0000099
		1600	0.00664	0.00473	0.011952584	0.009903109	0.0000057	
		3200	0.0037	0.00273	0.012964983	0.010278474	0.0000035	



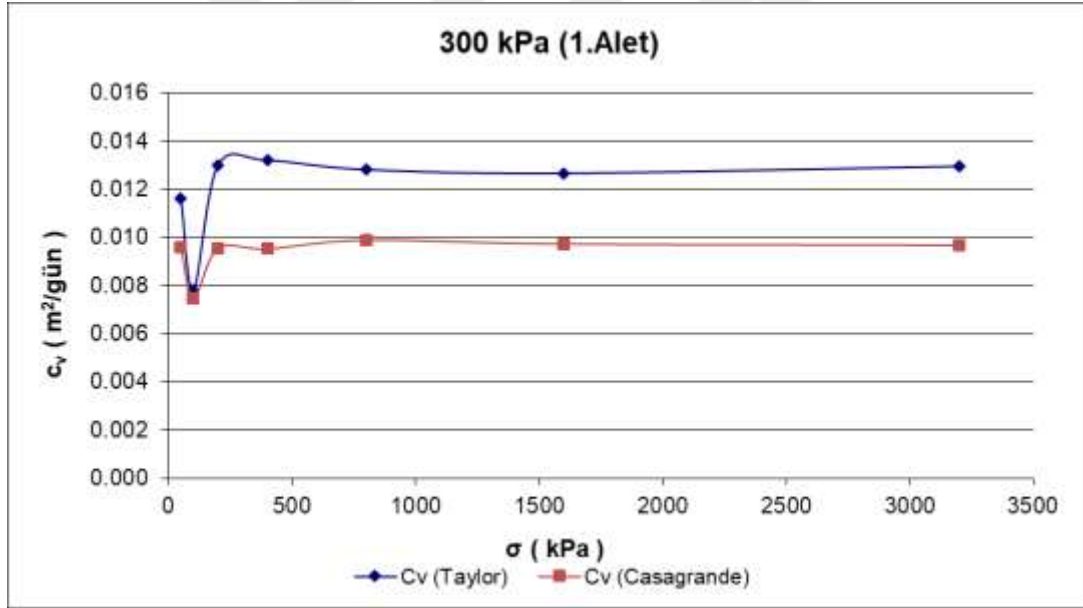
Şekil 4.9 300 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait e-log σ grafiği.



Şekil 4.10 300 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait 800 kPa yüklemde C_v 'nin Casagrande ve Taylor yöntemleriyle bulunması



Şekil 4.11 300 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $m_v - \sigma$ grafiği.



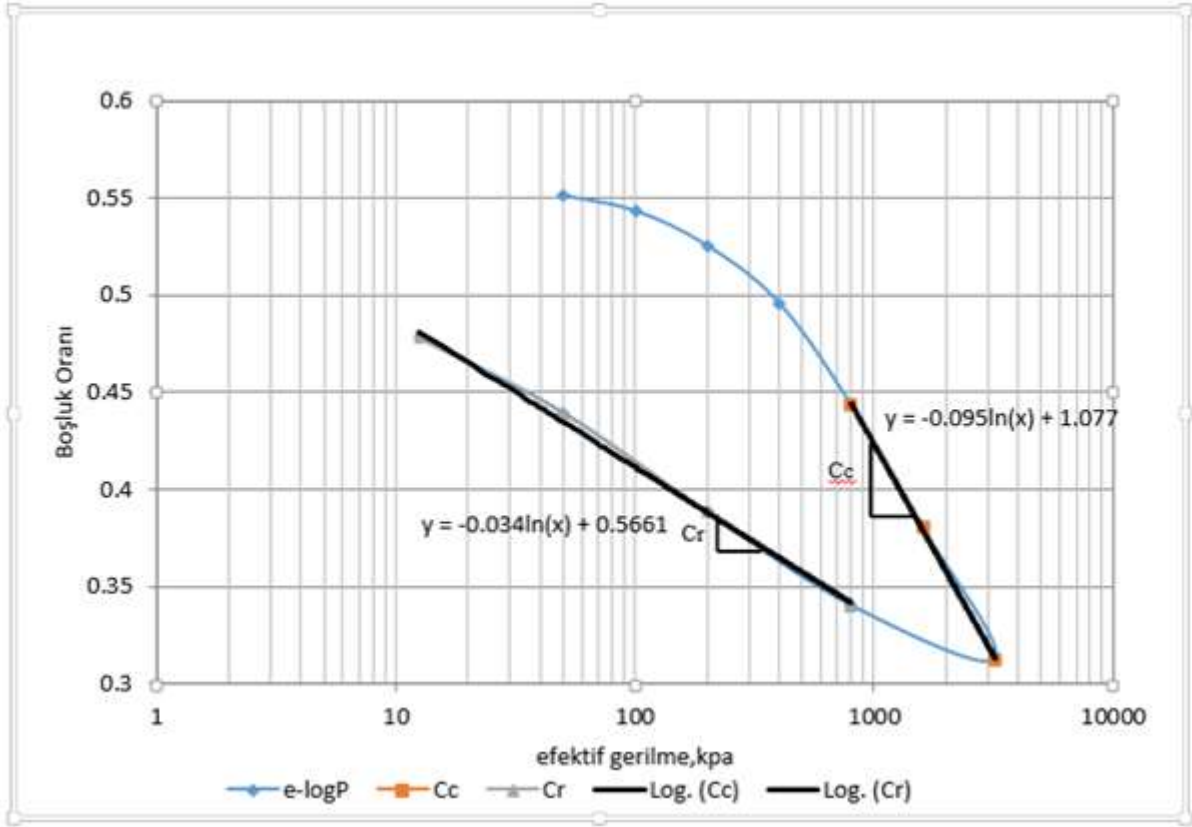
Şekil 4.12 300 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $C_v - \sigma$ grafiği.

Çizelge 4.4'te 400 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen konsolidasyon deney sonuçları özetlenmiştir. ASTM D2435 / D2435M-11 standardında önerilen Casagrande yöntemine ait grafikte (Şekil 2.19) en uyumlu boşluk oranı-log(gerilme) ($e - \log \sigma$) grafiğini veren 11 numaralı deneye ait $e - \log \sigma$ grafiği şekil 4.13'te sunulmuştur. 400 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip 11 numaralı deneye ait konsolidasyon katsayısı değerleri Taylor ve Casagrande yöntemlerine göre şekil 4.14'te bulunmuştur. Aynı deneye ait hacimsel sıkışma

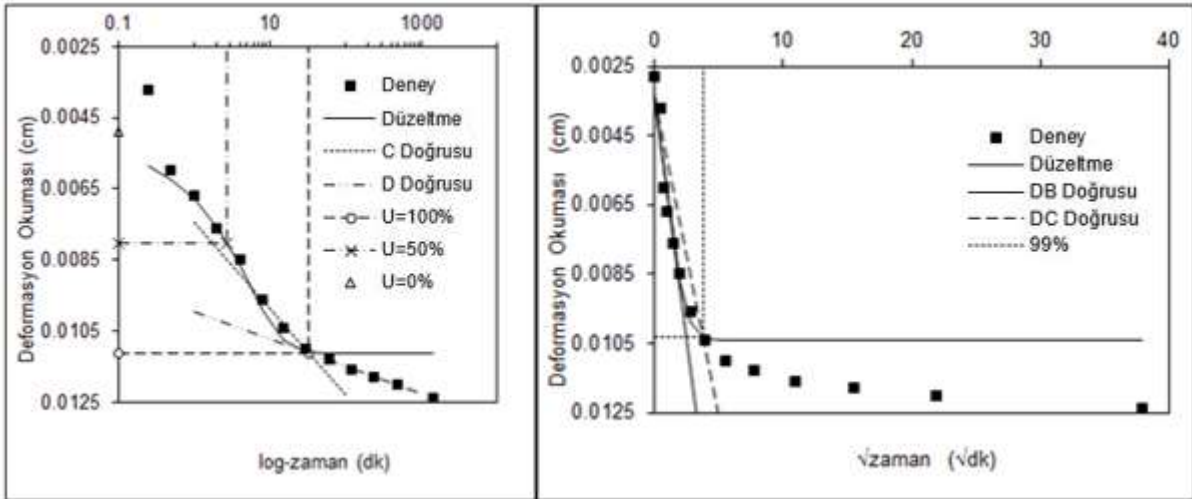
katsayısının ve konsolidasyon katsayısının gerilmeyle değişim grafikleri sırasıyla şekil 4.15 ve şekil 4.16'da verilmiştir. Şekil 4.16 göz önünde bulundurulduğunda Casagrande yöntemiyle bulunan konsolidasyon katsayıları Taylor yöntemiyle bulunan konsolidasyon katsayılarından daha düşük değerdendirler. Her iki yöntemle bulunan konsolidasyon katsayısı değerleri üzerindeki efektif gerilmeyle aynı eylemlerle değişim göstermektedirler. Her iki yöntemle elde edilen konsolidasyon katsayısı değerleri efektif gerilme 100 kPa değerinde iken azalmakta olup 400 kPa değerine kadar artıp daha sonra neredeyse sabit kalmaktadır.

Çizelge 4.4 400 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen deneyler için konsolidasyon karakteristikleri.

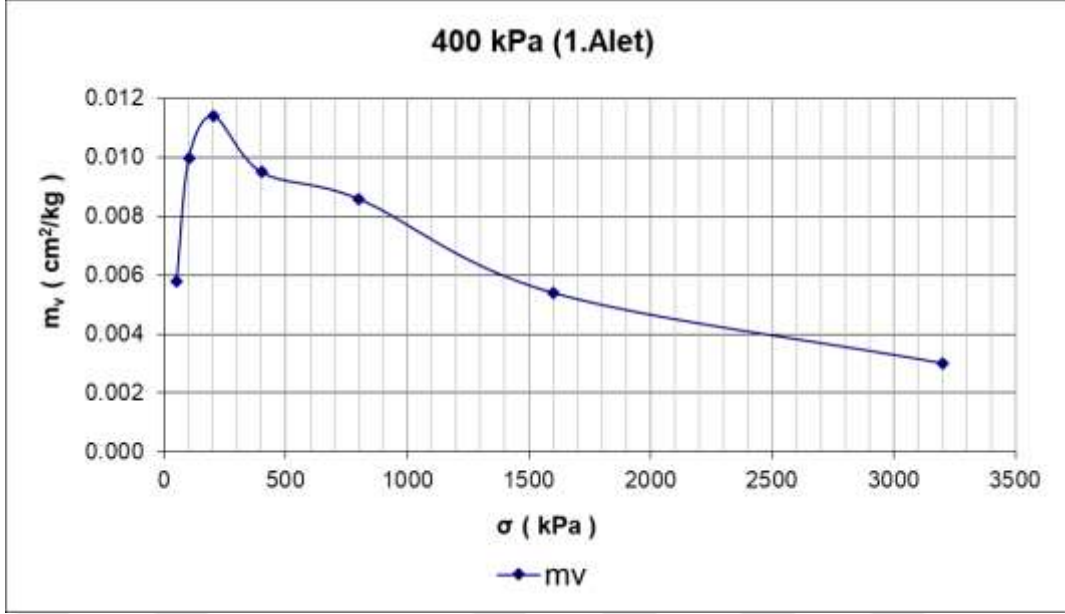
	C_c	σ	a_v	m_v	C_v (Taylor)	C_v (Casag.)	k (Taylor)
		kPa	cm ² /kg	cm ² /kg	m ² /gün	m ² /gün	m/gün
10. Deney 400 kPa	C_c	50	0.01629	0.01074	0.009627915	0.006305792	0.0000103
		100	0.02835	0.01875	0.013229004	0.006380402	0.0000248
		200	0.01969	0.01315	0.010014687	0.008310611	0.0000132
	C_r	400	0.01674	0.01133	0.01390301	0.008641058	0.0000158
		800	0.01562	0.01082	0.011767037	0.008198739	0.0000127
		1600	0.00708	0.00513	0.011941633	0.008245452	0.0000061
		3200	0.00424	0.00321	0.011906538	0.008461162	0.0000038
11. Deney 400 kPa	C_c	50	0.00901	0.0058	0.020659107	0.011162559	0.0000120
		100	0.01545	0.00996	0.015792947	0.00916068	0.0000157
		200	0.01758	0.01139	0.016496604	0.010720307	0.0000188
	C_r	400	0.01447	0.00948	0.016402976	0.010706132	0.0000156
		800	0.01283	0.00858	0.012896423	0.009672752	0.0000111
		1600	0.00779	0.00539	0.012930895	0.010381721	0.0000070
		3200	0.00416	0.00301	0.014469331	0.010099346	0.0000044
12. Deney 400 kPa	C_c	50	0.01401	0.00899	0.020889147	0.009266653	0.0000188
		100	0.02708	0.01741	0.014766357	0.009808195	0.0000257
		200	0.0198	0.01285	0.016290456	0.012087415	0.0000209
	C_r	400	0.01009	0.00664	0.023207316	0.017472632	0.0000154
		800	0.00777	0.00518	0.017809398	0.013043484	0.0000092
		1600	0.00675	0.0046	0.020081765	0.01510581	0.0000092
		3200	0.00358	0.00253	0.018516598	0.014592076	0.0000047



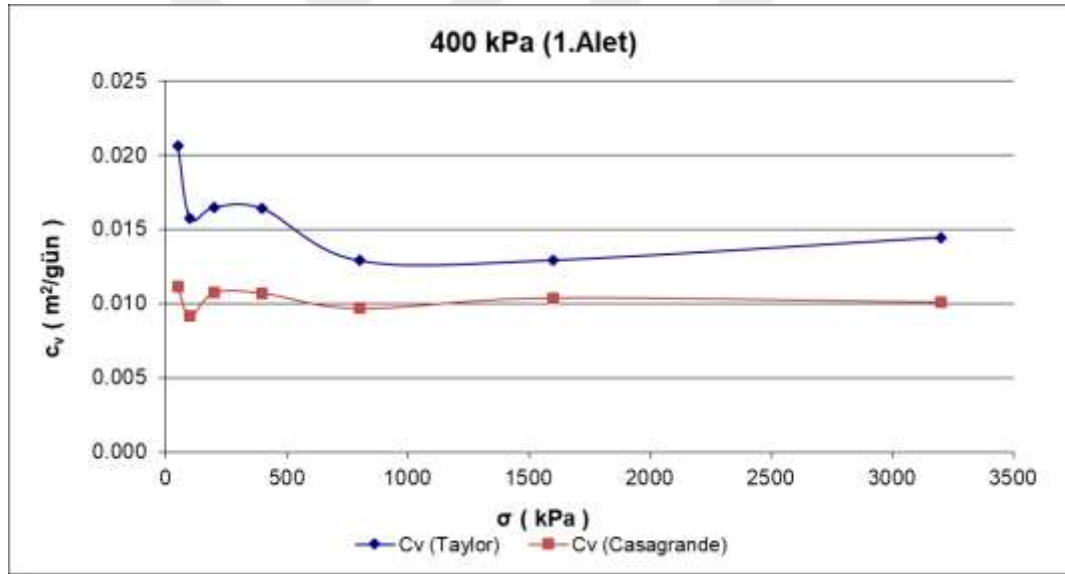
Şekil 4.13 400 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait e-log σ grafiği.



Şekil 4.14 400 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait 100 kPa yüklemde C_v 'nin Casagrande ve Taylor yöntemleriyle bulunması.



Şekil 4.15 400 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $m_v - \sigma$ grafiği.



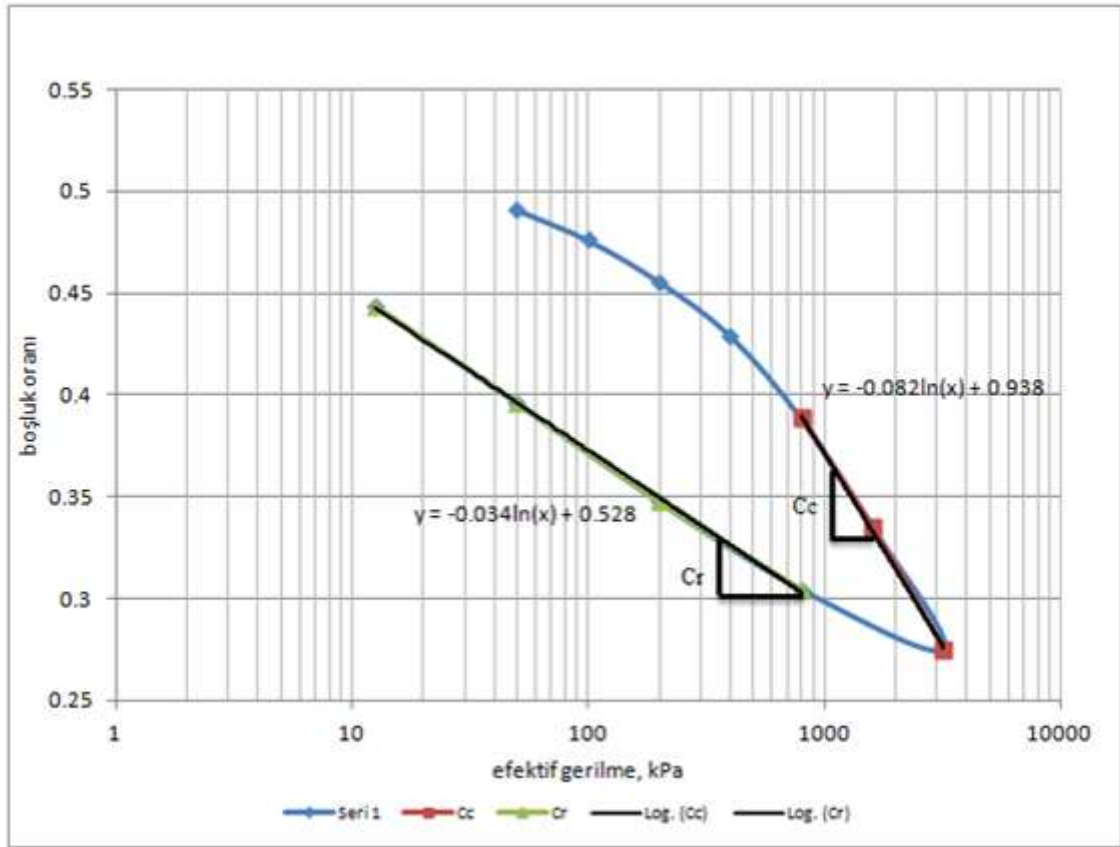
Şekil 4.16 400 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $C_v - \sigma$ grafiği.

Çizelge 4.5'te 500 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen konsolidasyon deney sonuçları özetlenmiştir. ASTM D2435 / D2435M-11 standardında önerilen Casagrande yöntemine ait grafikte (Şekil 2.19) en uyumlu boşluk oranı-log(gerilme) ($e - \log \sigma$) grafiğini veren 15 numaralı deneye ait $e - \log \sigma$ grafiği şekil 4.17'de sunulmuştur. 500 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip 15 numaralı deneye ait konsolidasyon katsayısı değerleri Taylor ve Casagrande yöntemlerine göre şekil 4.18'de bulunmuştur. Aynı deneye ait hacimsel sıkışma katsayısının ve konsolidasyon katsayısının gerilmeyle değişim grafikleri sırasıyla şekil 4.18

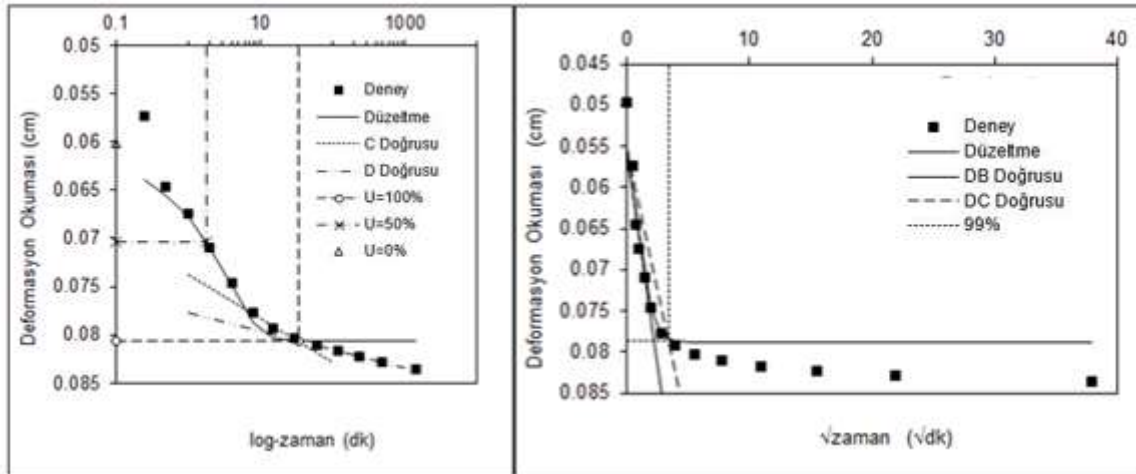
ve şekil 4.19’da verilmiştir. Şekil 4.19 göz önünde bulundurulduğunda Casagrande yöntemiyle bulunan konsolidasyon katsayıları Taylor yöntemiyle bulunan konsolidasyon katsayılarından daha düşük değerdendirler. Her iki yöntemle bulunan konsolidasyon katsayısı değerleri üzerindeki efektif gerilmeyle neredeyse aynı eyilimle değişim göstermektedirler. Casagrande yöntemiyle elde edilen konsolidasyon katsayısı değerleri 400 kPa efektif gerilme değerine kadar artmakta olup daha sonra sabit kalmaktadır. Taylor yöntemiyle bulunan konsolidasyon katsayısı değerleri ise 100 kPa değerinde artış gösterip 200 kPa değerinde düşüş göstermektedir. Daha sonra 800 kPa değerine kadar artmış sonrasında neredeyse sabit kalmıştır.

Çizelge 4.5 500 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen deneyler için konsolidasyon karakteristikleri

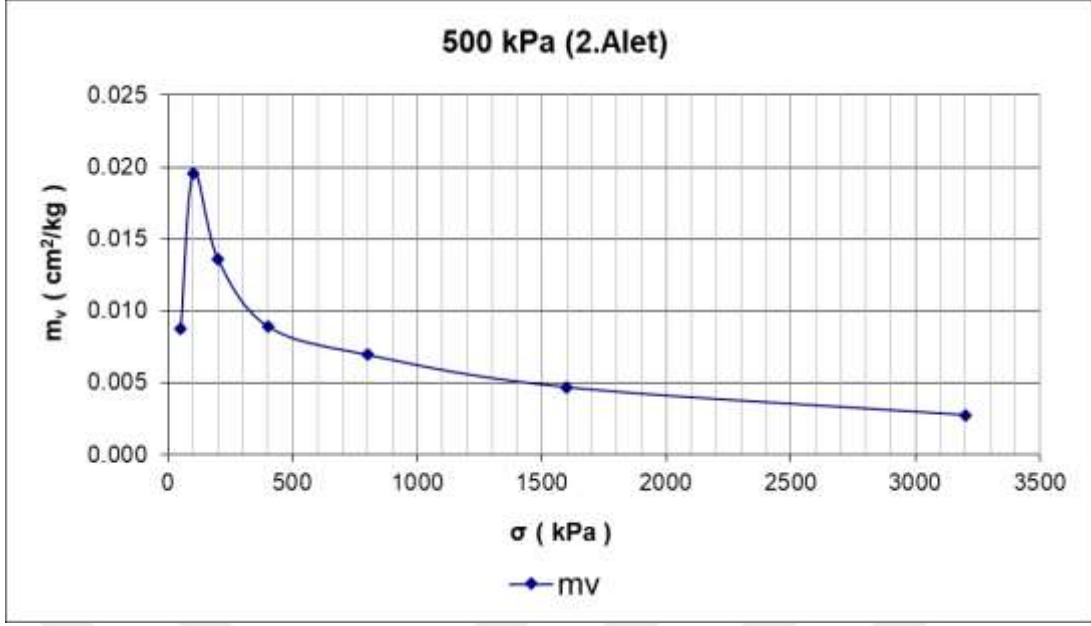
	C_c	σ	a_v	m_v	C_v (Taylor)	C_v (Casag.)	k (Taylor)	
		kPa	cm ² /kg	cm ² /kg	m ² /gün	m ² /gün	m/gün	
13. Deney 500 kPa	0.2093	50	0.00594	0.00414	0.019652951	0.012234589	0.0000081	
		100	0.02516	0.01757	0.016723935	0.009490023	0.0000294	
		200	0.02012	0.01418	0.016177821	0.010767726	0.0000229	
	0.0667	C_r	400	0.0137	0.00979	0.016528523	0.011736481	0.0000162
			800	0.01322	0.00965	0.012731145	0.009497154	0.0000123
		1600	0.00832	0.00632	0.013087655	0.009423374	0.0000083	
		3200	0.00408	0.00327	0.013020975	0.009376484	0.0000043	
14. Deney 500 kPa	0.2093	50	0.00938	0.00654	0.019672638	0.012301394	0.0000129	
		100	0.0247	0.01724	0.016746387	0.009502778	0.0000289	
		200	0.01966	0.01384	0.01621079	0.010789705	0.0000224	
	0.0736	C_r	400	0.01354	0.00967	0.016570398	0.011766278	0.0000160
			800	0.01315	0.00958	0.012770326	0.009526483	0.0000122
		1600	0.0083	0.00629	0.013133014	0.009456218	0.0000083	
		3200	0.00412	0.00329	0.012396066	0.009414664	0.0000041	
15. Deney 500 kPa	0.1886	50	0.01314	0.00879	0.013628835	0.00693464	0.0000120	
		100	0.02918	0.01957	0.018264716	0.009497936	0.0000357	
		200	0.02005	0.01358	0.0168958	0.012008763	0.0000230	
	0.0782	C_r	400	0.013	0.00893	0.018925158	0.0134331	0.0000169
			800	0.00994	0.00696	0.019178562	0.012841941	0.0000133
		1600	0.00654	0.00471	0.019685314	0.013515039	0.0000093	
		3200	0.0037	0.00277	0.017699234	0.013388651	0.0000049	



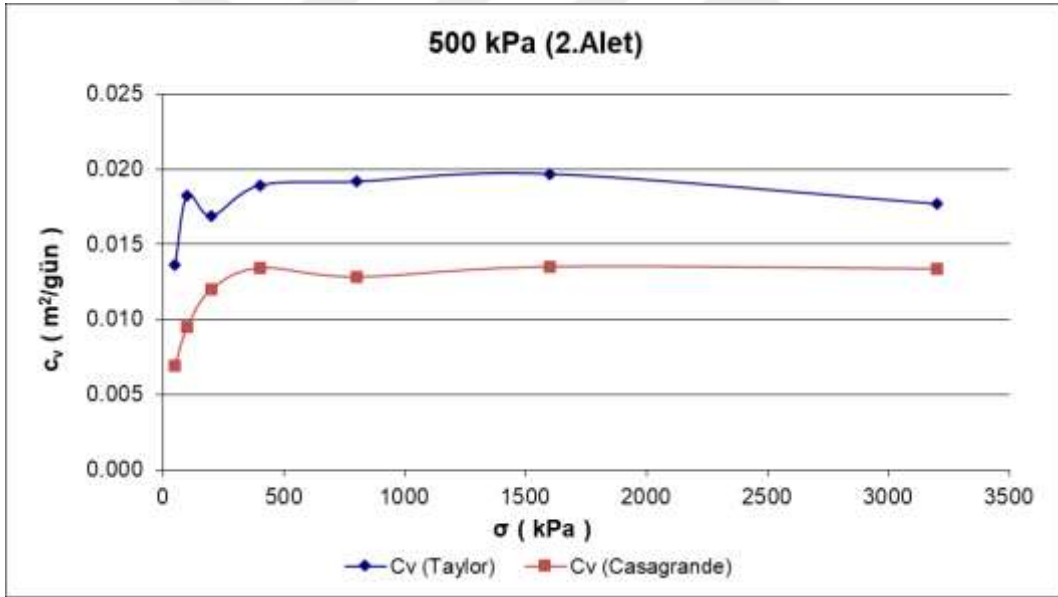
Şekil 4.17 500 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait e-logσ grafiği.



Şekil 4.18 500 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait 400 kPa yüklemde C_v 'nin Casagrande ve Taylor yöntemleriyle bulunması.



Şekil 4.19 500 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $m_v - \sigma$ grafiği.



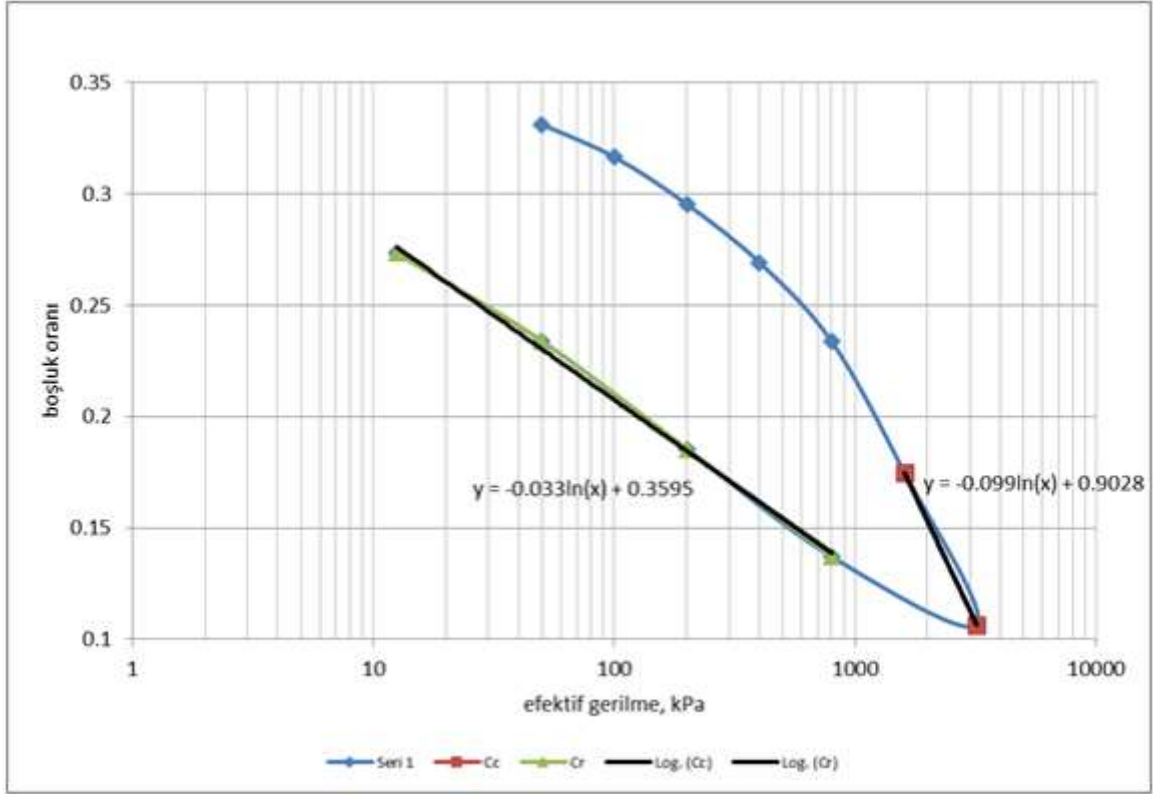
Şekil 4.20 500 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $C_v - \sigma$ grafiği.

Çizelge 4.6'da 800 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen konsolidasyon deney sonuçları özetlenmiştir. ASTM D2435 / D2435M-11 standardında önerilen Casagrande yöntemine ait grafikte (Şekil 2.19) en uyumlu boşluk oranı-log(gerilme) ($e - \log \sigma$) grafiğini veren 15 numaralı deneye ait $e - \log \sigma$ grafiği şekil 4.21'de sunulmuştur. 800 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip 16 numaralı deneye ait konsolidasyon katsayısı değerleri Taylor ve Casagrande yöntemlerine göre şekil 4.22'de bulunmuştur. Aynı deneye ait hacimsel sıkışma katsayısının ve konsolidasyon katsayısının gerilmeyle değişim grafikleri sırasıyla şekil 4.23

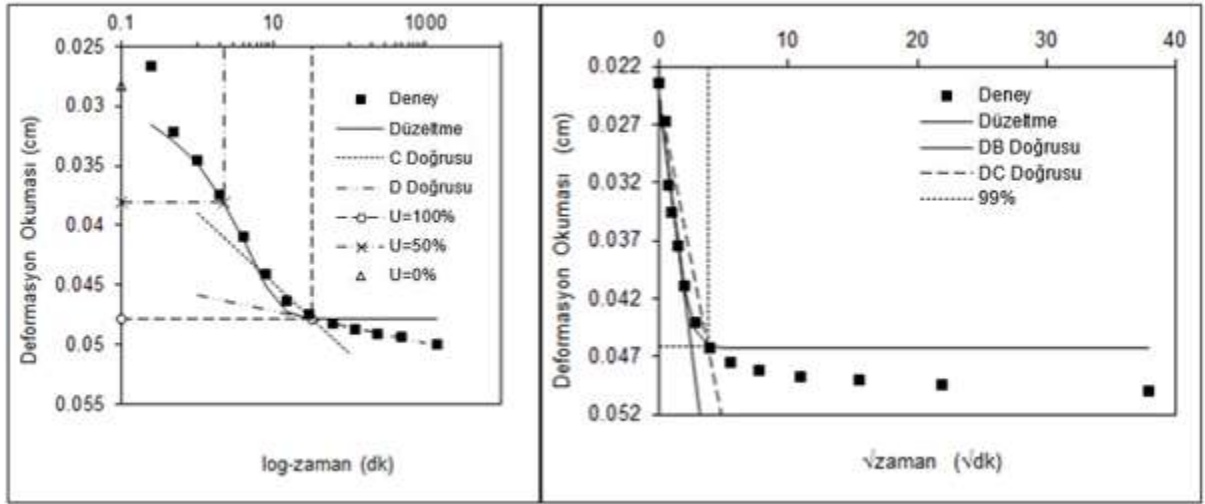
ve şekil 4.24'te verilmiştir. Şekil 4.24 göz önünde bulundurulduğunda Casagrande yöntemiyle bulunan konsolidasyon katsayıları Taylor yöntemiyle bulunan konsolidasyon katsayılarından daha düşük değerdedirler. Her iki yöntemle bulunan konsolidasyon katsayısı değerleri üzerindeki efektif gerilmeyle neredeyse aynı eğilimle değişim göstermektedirler. Her iki yöntemle bulunan konsolidasyon katsayısı değerleri 500 kPa değerine kadar artmakta olup 1600 kPa değerine kadar azalıp daha sonra sabit kalmaktadır.

Çizelge 4.6 800 kPa ön konsolidasyon basıncı verilen deneyler için konsolidasyon karakteristikleri

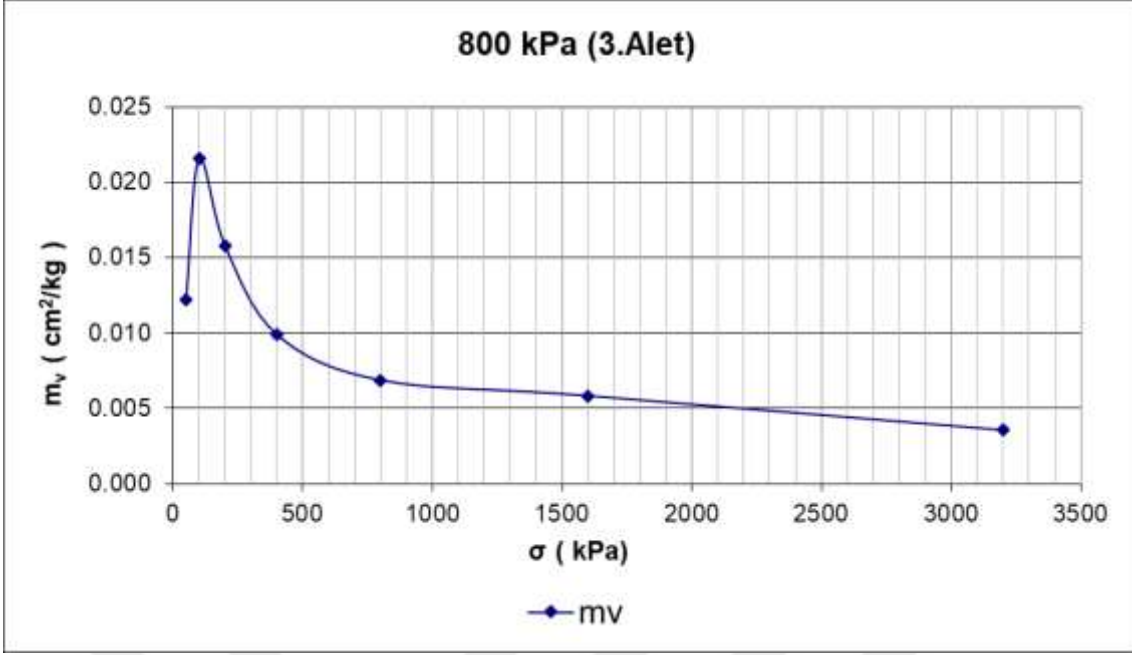
	C_c	σ	a_v	m_v	C_v (Taylor)	C_v (Casag.)	k (Taylor)
		kPa	cm ² /kg	cm ² /kg	m ² /gün	m ² /gün	m/gün
16. Deney 800 kPa	0.2277	50	0.01631	0.01221	0.009134285	0.007247329	0.0000112
		100	0.0287	0.02156	0.011240906	0.006916413	0.0000242
		200	0.02082	0.01581	0.011932734	0.008355618	0.0000189
	C_r	400	0.01284	0.00991	0.013384296	0.009664711	0.0000133
		800	0.00873	0.00688	0.013058942	0.009595642	0.0000090
	0.0672	1600	0.0072	0.00584	0.010890185	0.008101812	0.0000064
		3200	0.0042	0.00357	0.010968626	0.007691787	0.0000039
17. Deney 800 kPa	0.1909	50	0.01762	0.01195	0.014309334	0.010248595	0.0000171
		100	0.02581	0.01757	0.011689181	0.007089372	0.0000205
		200	0.01804	0.01239	0.010775083	0.010718514	0.0000133
	C_r	400	0.01107	0.0077	0.0141731	0.010242618	0.0000109
		800	0.00859	0.00607	0.013088097	0.010322671	0.0000079
	0.0759	1600	0.00657	0.00476	0.011307886	0.008903973	0.0000054
		3200	0.00374	0.00282	0.010474173	0.008856639	0.0000030
18. Deney 800 kPa	0.1656	50	0.01288	0.00871	0.014372728	0.009203334	0.0000125
		100	0.02469	0.01673	0.012478991	0.007742659	0.0000209
		200	0.01767	0.01207	0.012794883	0.009511366	0.0000154
	C_r	400	0.01063	0.00736	0.016094116	0.012509599	0.0000118
		800	0.00685	0.00481	0.020149807	0.014312231	0.0000097
	0.0667	1600	0.00548	0.00393	0.015467413	0.013823667	0.0000061
		3200	0.00335	0.00248	0.017644588	0.013563911	0.0000044



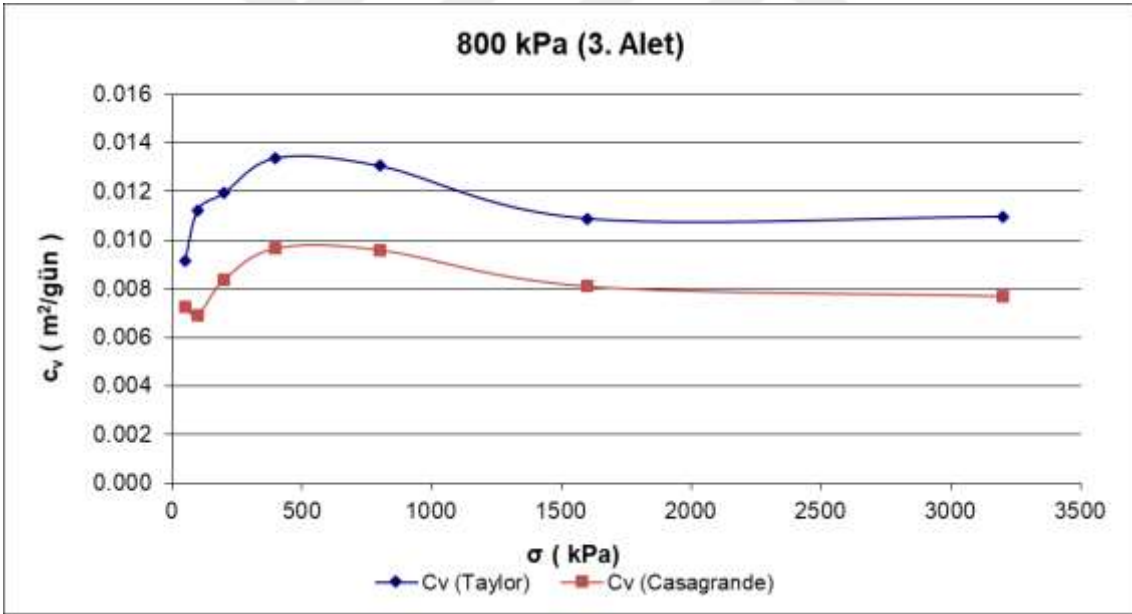
Şekil 4.21 800 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait e-log σ grafiği.



Şekil 4.22 800 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait 400 kPa yüklemde C_v 'nin Casagrande ve Taylor yöntemleriyle bulunması.



Şekil 4.23 800 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $m_v - \sigma$ grafiği.

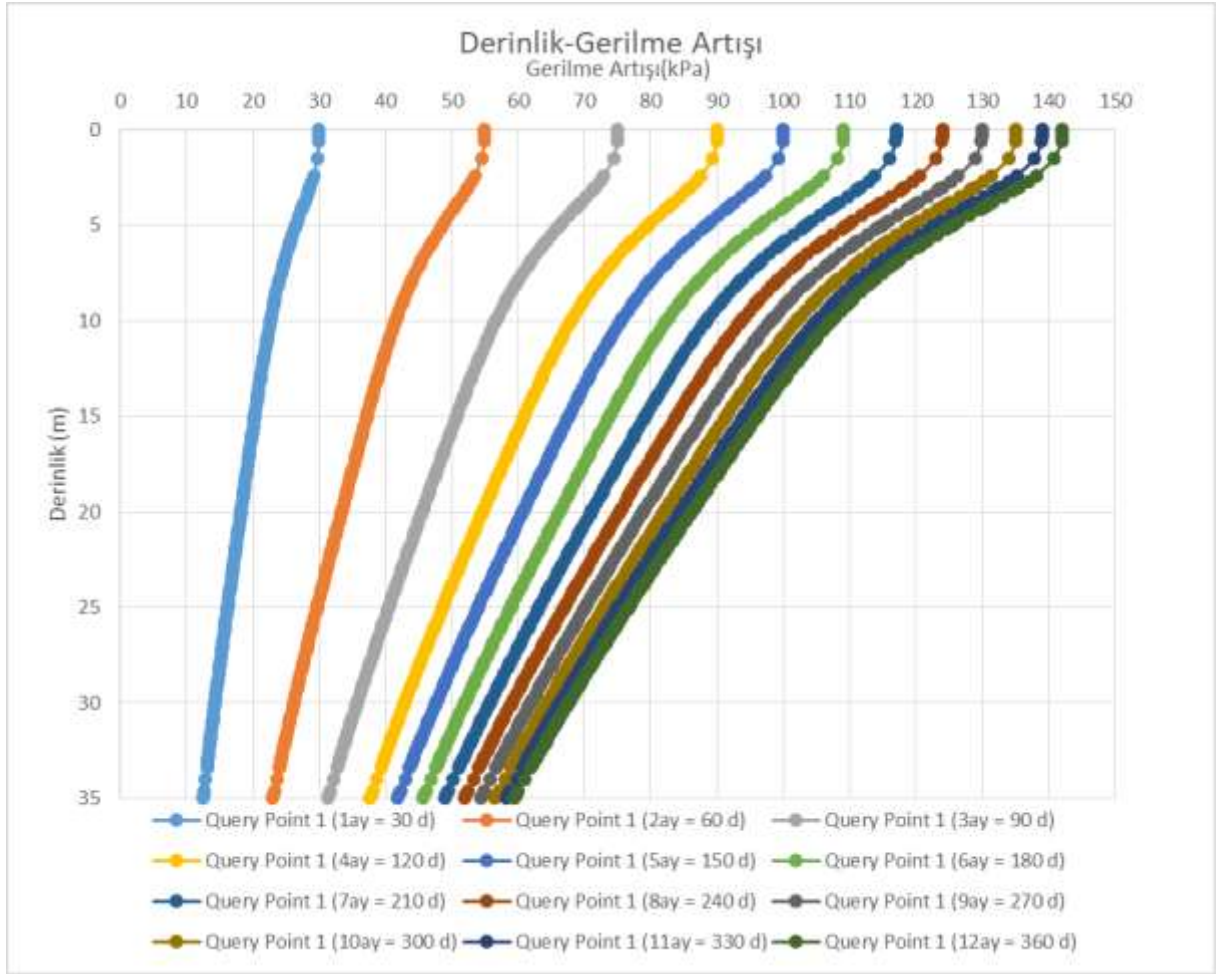


Şekil 4.24 800 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip deneye ait $C_v - \sigma$ grafiği.

4.2 SETTLE 3D İLE KONSOLİDASYON OTURMA ANALİZİ

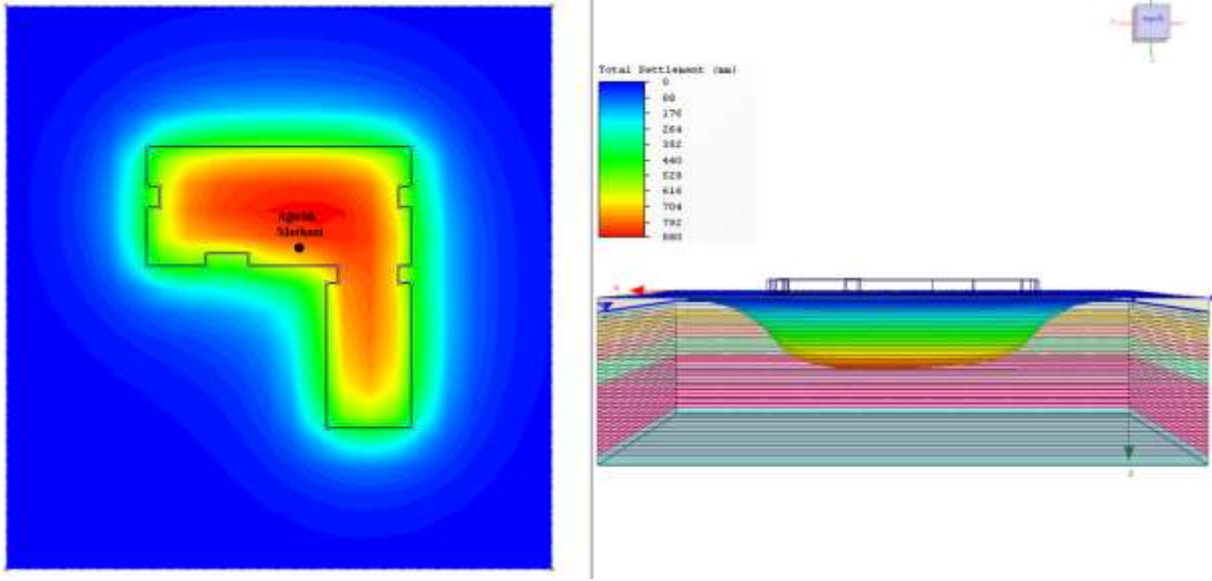
Bu çalışmada oturma analizi hesaplamaları, temelin geometrik şeklinin ağırlık merkezinde SETTLE 3D'nin menüsünde bulunan Boussinesq teoremi kullanılarak yapılmıştır. Temelden zemine aktarılan gerilme dağılımının ağırlık merkezindeki değerinin inşaat süresinin

başlangıcından tamamlandığı zamana kadar (bina inşaatının tamamlanması için gereken süre 1 yıl olarak ön görülmüştür) derinlikle değişimi şekil 4.25'te verilmiştir.



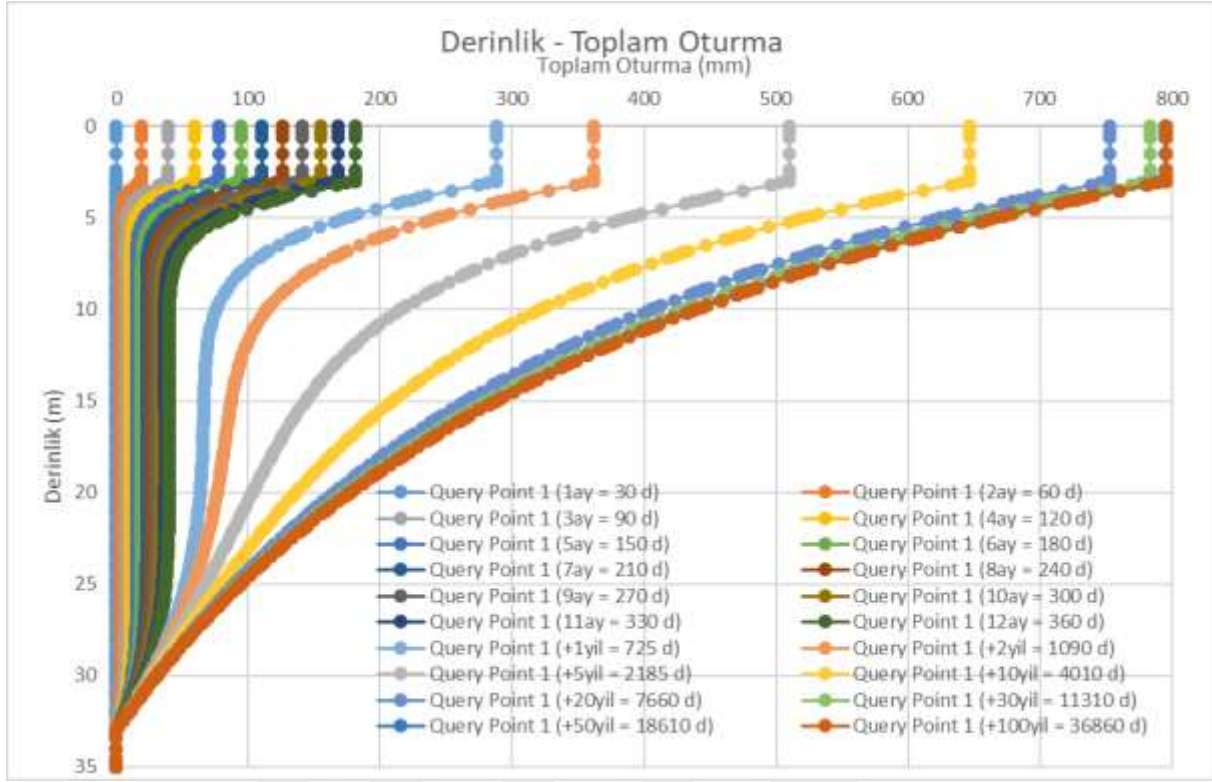
Şekil 4.25 BEÜ İlahiyat Fakültesi Derslik Binası temelinden zemine aktarılan gerilme dağılımının derinlikle değişimi.

Şekil 4.26'da Settle 3D programından elde edilen +100. yılın sonunda OCR=1 olması durumunda maksimum oturmanın üç boyutlu gösterimi ve plan üzerindeki oturma miktarları ile lejantı verilmiştir.



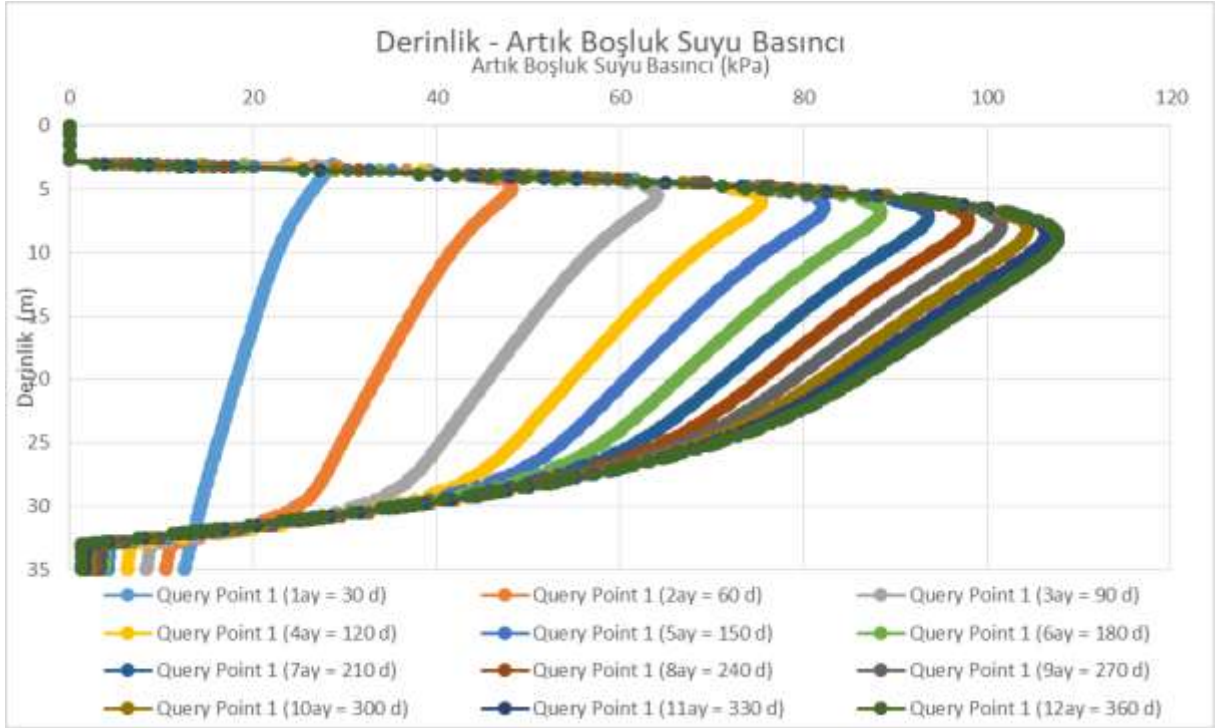
Şekil 4.26 BEÜ İlahiyat Fakültesi Derslik Binasının OCR=1 olması durumunda elde edilen plan görüntüsü ve oturma miktarları.

Şekil 4.27’de çalışma alanına ait bina temelini ağırlık merkezinin altındaki zamana bağlı toplam oturma değerlerinin (OCR=1) derinlikle değişimini vermektedir. Settle 3D programına ilk aşamada imalat sürecini kapsayan 1 senelik zaman diliminde binadan zemine aktarılan yük tamamlanmadığı için oturma miktarı 0-180.978 mm civarında değişmektedir. İmalat süreci tamamlandıktan sonraki ilk 20 yıllık dönem içerisinde oturma değerleri 753.15 mm mertebesindedir. Bu süreçten sonraki 10 yıllık dönemlerde oturma değeri artış oranı önceki yıllara oranla daha düşüktür. 50 yılda oturma miktarı 795.064 mm olup, 100. yılda ise 796.197 mm’dir. 100. Yıldan sonra oturma miktarında artış olmamaktadır.

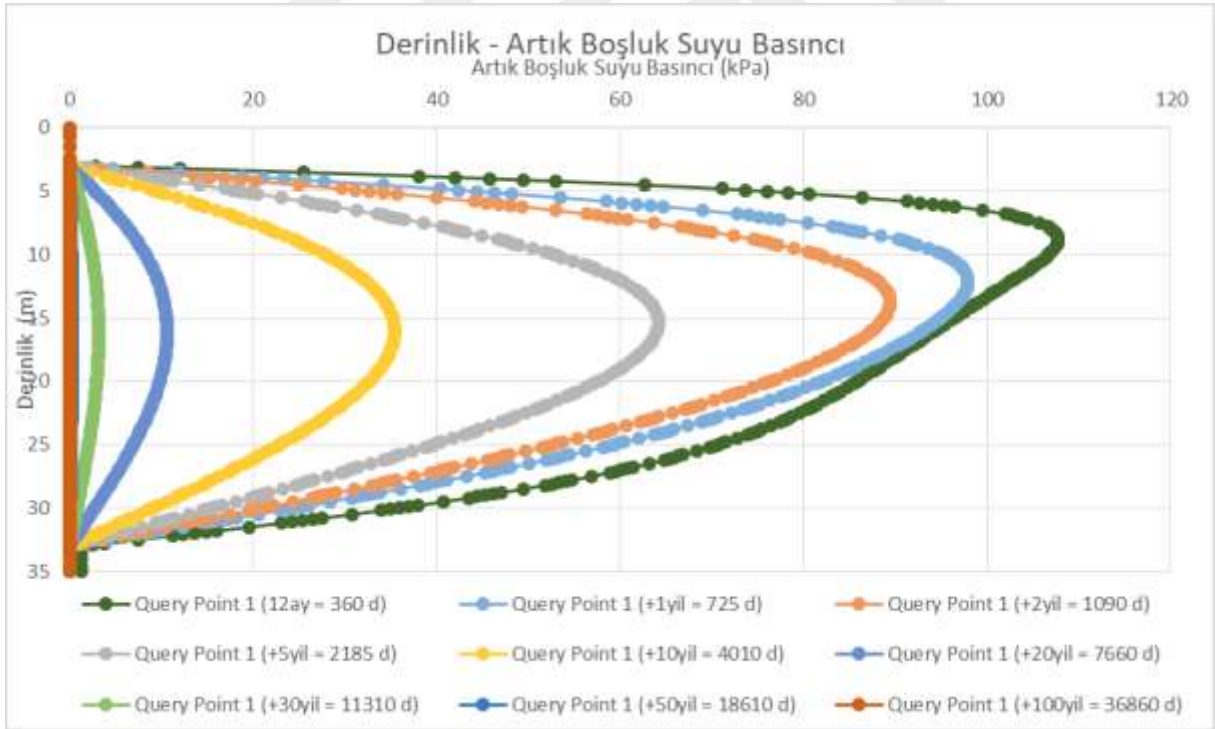


Şekil 4.27 OCR=1 olması durumunda derinliğe bağlı toplam oturma.

Şekil 4.28 ve 4.29’da çalışma alanına ait bina temelinin ağırlık merkezinin altındaki zamana bağlı artık boşluk suyu basıncının (OCR=1) derinlikle değişimini vermektedir. Konsolidasyon sürecinde sükkünetteki zemin üzerine bir yapı inşa edildiğinde yapıdan gelen yükü ilk olarak boşluk suyu basıncı karşılar. Daha sonra zamanla (suyun drenajı vasıtası ile) boşluk suyu basıncını karşıladığı yükü efektif gerilme taşımaya başlar. Dolayısıyla zemin boşluk oranı azalır, zemindeki efektif gerilme değeri artar. İnşaat süreci tamamlanana kadar geçen 1 yıllık sürede Şekil 4.23’te görüldüğü gibi yapıdan gelen yük arttığı için artık boşluk suyu basıncı değeri 28.596 kPa ile 107.733 kPa arasında değişmektedir. Yapıdan gelen yük tamamlandıktan sonra konsolidasyon süreci hız kazandığından dolayı artık boşluk suyu basıncı 100 sene inceleme periyodunun sonunda 107.733 kPa dan 0 kPa değerine düşmüştür. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda konsolidasyon sürecinin 100 yıldan sonra devam etmediği ifade edilmektedir.

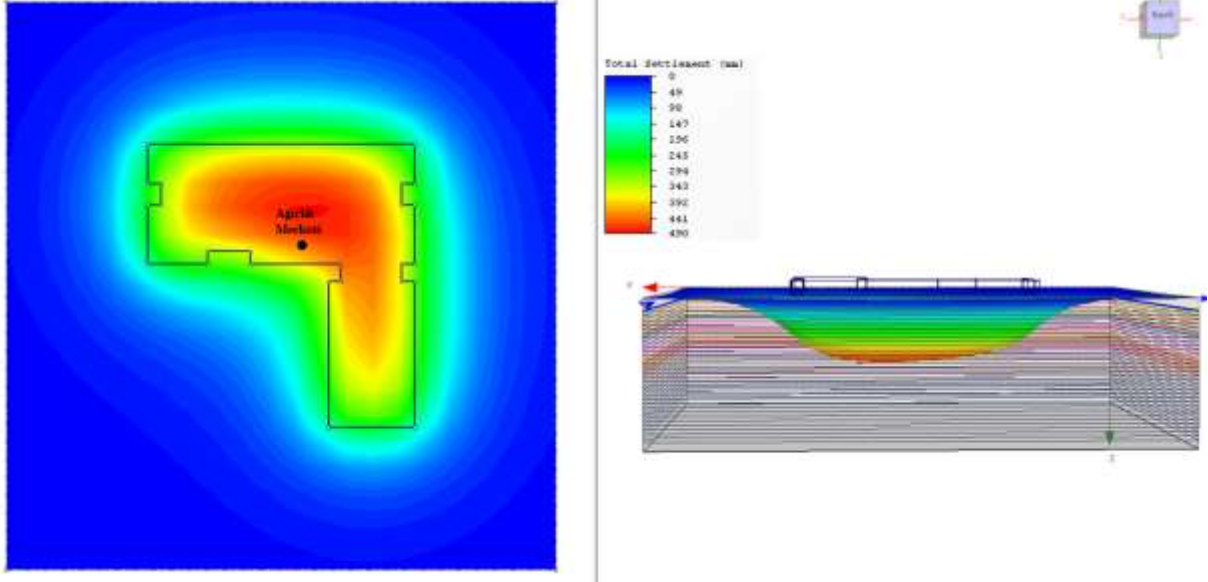


Şekil 4.28 OCR=1 olması durumunda derinliğe bağlı artık boşluk suyu basıncı (0-12 ay)



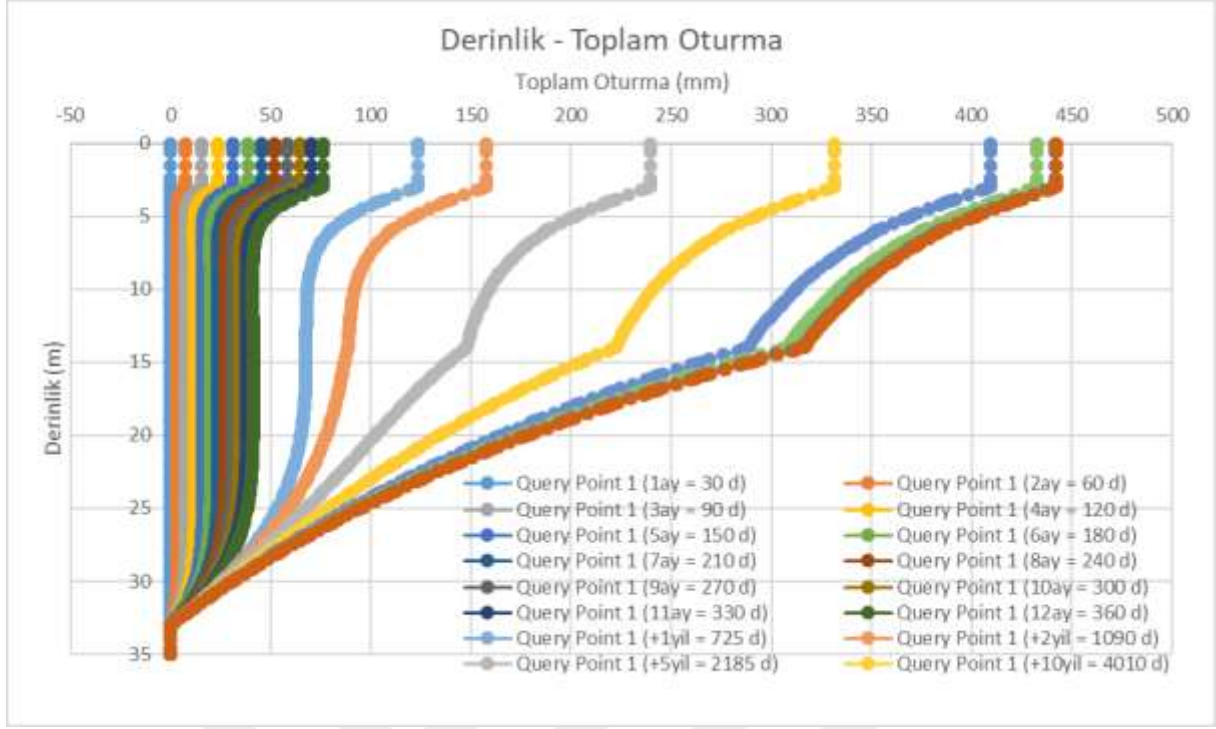
Şekil 4.29 OCR=1 olması durumunda derinliğe bağlı artık boşluk suyu basıncı (12 ay-+100 yıl)

Şekil 4.30'da Settle 3D programından elde edilen +100. yılın sonunda OCR'nin değişken olması durumunda maksimum oturmanın üç boyutlu gösterimi ve plan üzerindeki oturma miktarları ile lejantı verilmiştir.



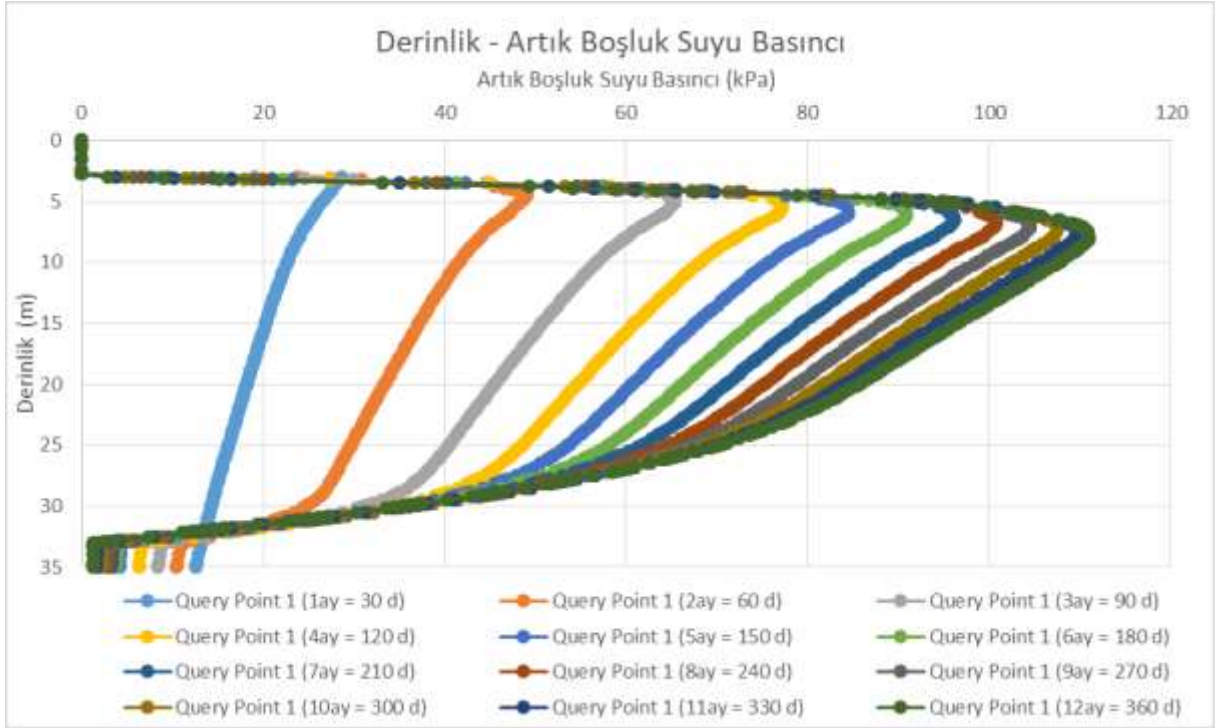
Şekil 4.30 BEÜ İlahiyat Fakültesi Derslik Binasının OCR derinlikle değişken olması durumunda elde edilen plan görüntüsü ve oturma miktarları.

Şekil 4.31'de çalışma alanına ait bina temelinin ağırlık merkezinin altındaki farklı aşırı konsolide oranına sahip zeminlerin zamana bağlı toplam oturma değerlerinin derinlikle değişimini verilmektedir. Settle 3D programına ilk aşamada imalat sürecini kapsayan 1 senelik zaman diliminde binadan zemine aktarılan yük tamamlanmadığı için oturma miktarı 0-76.164 mm civarında değişmektedir. İmalat süreci tamamlandıktan sonraki ilk 20 yıllık dönem içerisinde oturma değerleri 409.368 mm'ye ulaşmaktadır. Bu süreçten sonraki 10 yıllık dönemlerde oturma değeri artış oranı önceki yıllara oranla daha düşüktür. 50 yılda oturma miktarı 441.601 mm olup, 100. yılda ise 442.546 mm'dir. 100. Yıldan sonra oturma miktarında artış olmamaktadır.

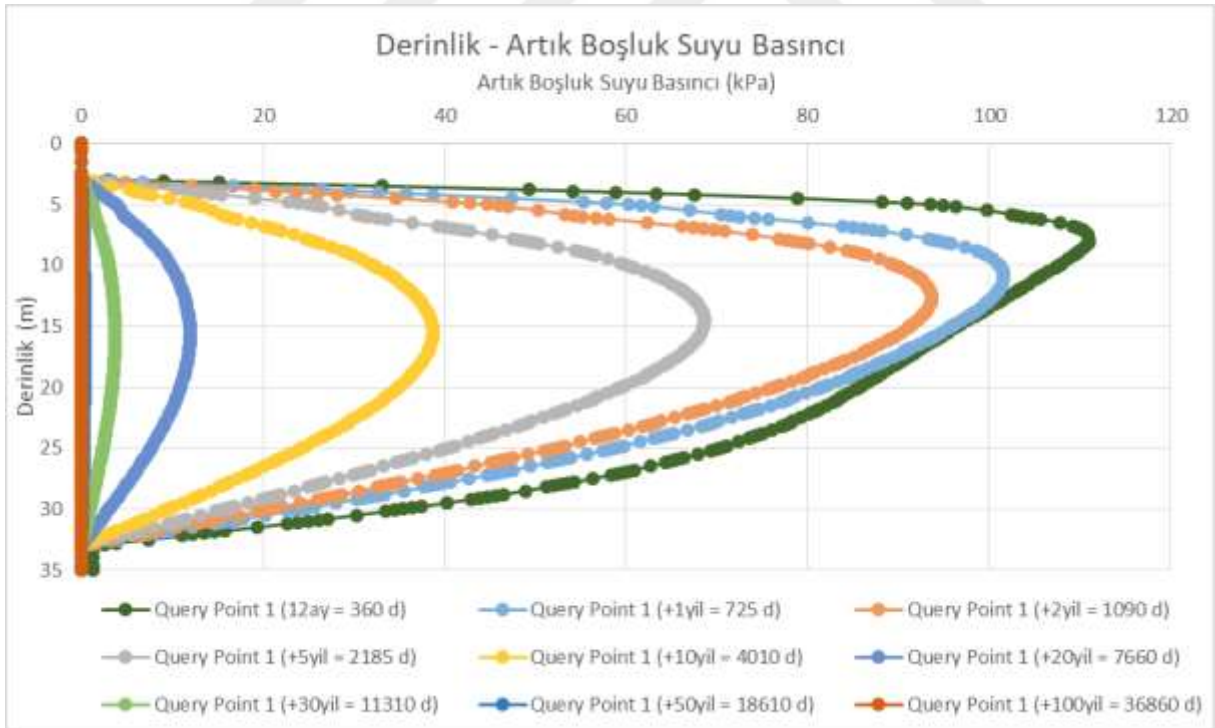


Şekil 4.31 OCR derinlikle değişken olması durumunda derinliğe bağlı toplam oturma.

Şekil 4.32 ve 4.33 çalışma alanına ait bina temelinin ağırlık merkezinin altındaki farklı aşırı konsolide oranına sahip zemin tabakasının zamana bağlı artık boşluk suyu basıncının derinlikle değişimini vermektedir. Konsolidasyon sürecinde sükûnetteki zemin üzerine bir yapı inşa edildiğinde yapıdan gelen yükü ilk olarak boşluk suyu basıncı karşılar. Daha sonra zamanla (suyun drenajı vasıtası ile) boşluk suyu basıncının karşıladığı yükü efektif gerilme taşımaya başlar. Dolayısıyla zemin boşluk oranı azalır, zemindeki efektif gerilme değeri artar. İnşaat süreci tamamlanana kadar geçen 1 yıllık sürede Şekil 4.26'da görüldüğü gibi yapıdan gelen yük arttığı için artık boşluk suyu basıncı değeri 28.596 kPa ile 110.022 kPa arasında değişmektedir. Yapıdan gelen yük tamamlandıktan sonra konsolidasyon süreci hız kazandığından dolayı artık boşluk suyu basıncı 100 senelik inceleme periyodunun sonunda 110.022 kPa dan 0 kPa değerine düşmüştür. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda konsolidasyon sürecinin 100 yıldan sonra devam etmediği ifade edilmektedir.

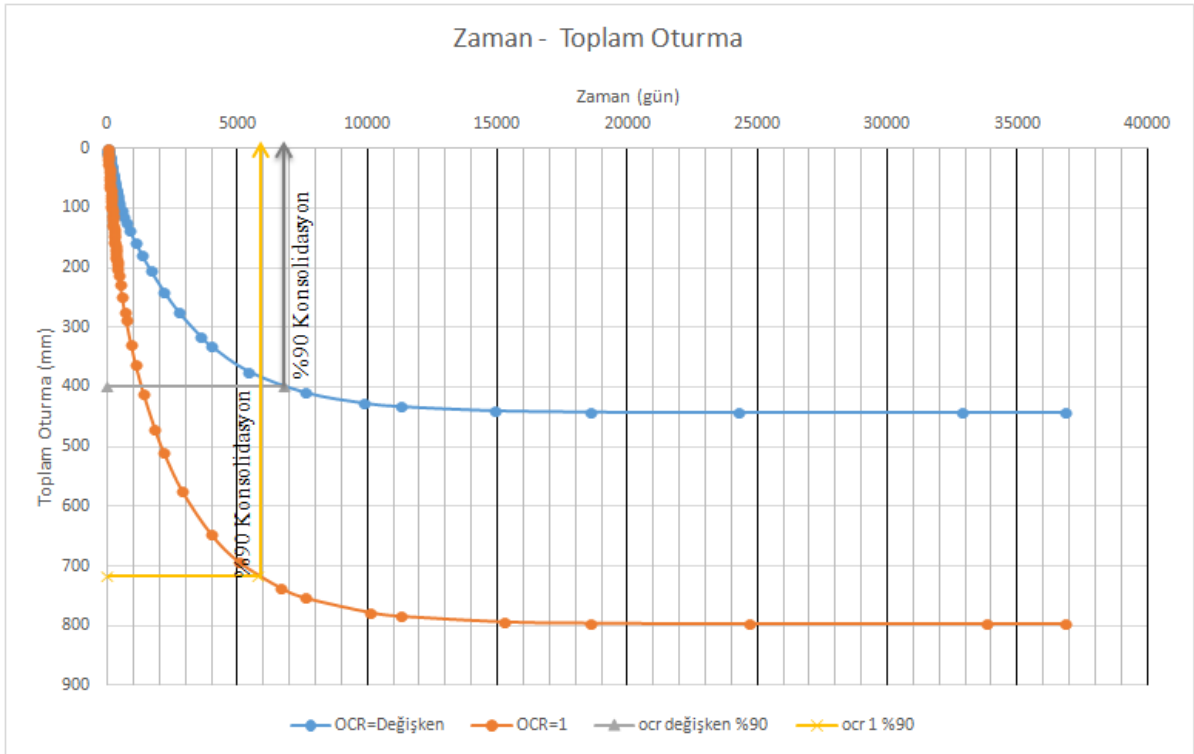


Şekil 4.32 OCR derinlikle değişken durumunda derinliğe bağlı artık boşluk suyu basıncı (0-12 ay).



Şekil 4.33 OCR derinlikle değişken durumunda derinliğe bağlı artık boşluk suyu basıncı (0-12 ay).

Şekil 4.34'te düşük plastisiteli zeminin normal konsolide ve farklı aşırı konsolide oranlarına sahip olması durumlarında zemin üzerine inşa edilen İlahiyat fakültesine ait derslik binasından kaynaklanan konsolidasyon oturmasının zamana bağlı değişimi verilmiştir. Konsolidasyon süreci tamamlandığında temel geometrisinin ağırlık merkezinin altında normal konsolide zemin 796.197 mm ve farklı aşırı konsolide oranlarına sahip zemin 442.546 mm oturma değerine sahiptir. Ayrıca %90 konsolidasyonun tamamlanması için geçen süre normal konsolide zemin için 5800 gün, farklı ön konsolidasyon basıncına sahip zemin için 6800 gündür.



Şekil 4.34 OCR derinlikle değişken ve OCR=1 olması durumunda zamana bağlı toplam oturma.



BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 SONUÇLAR

Yapı temelinin altında oluşan oturma miktarı ve oturmanın oluşum süresi arasındaki ilişkilerin incelenebilmesi için kil örnekleri laboratuvar şartlarında yeniden yapılandırılarak farklı ön konsolidasyon basıncına sahip olmaları sağlanmıştır. Oturma hesaplarında, literatürlerde genel kabul görmüş konsolidasyon oturma analiz tekniklerinden yararlanılmıştır. Konsolidasyon oturma analizi yapılırken BEÜ Farabi Kampüsünde yapılması planlanan İlahiyat Fakültesi Derslik Binası temel sistemi ve proje değerleri kullanılmıştır. Konsolidasyon oturma hesaplamaları için Çaytaş Refraktör bağlama kili saf halde alınmış ve laboratuvar şartlarında temel altı zeminin homojen ve aynı tip bir kil katmanı olarak kabul edilerek suya doygun düşük plastisiteli killi bir tabaka olarak oluşturulmuştur.

Zeminlere ön konsolidasyon basınç değerleri kazandırdıktan sonra yük boşaltılması yapılarak numunelerin aşırı konsolide olması sağlanmıştır. Deney seti daha sonra 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 kPa gerilme değerleri altında tekrar yüklenerek ve her yük aşamasında oturma miktarı ve oturma süresi hesapları için gerekli konsolidasyon sıkışma katsayısı (C_c), yeniden sıkışma katsayısı (C_r), her bir gerilme yüklemesinde numunenin hacimsel sıkışma katsayıları (m_v) ve konsolidasyon katsayısı (C_v) hesaplanmıştır.

Elde edilen deneysel veriler yardımı ile Settle3D yazılımı kullanılarak BEÜ Farabi Kampüsünde inşa edilecek olan İlahiyat Fakültesi derslik binasına ait L tipi temel geometrisine sahip temel sistemlerinde oturma analizleri 3 boyutlu olarak ve 2 farklı durumda ($OCR=1$ ve $OCR=$ derinlikle değişen) yapılmıştır. Ayrıca oturma - zaman ilişkileri de hesaplanmıştır. Böylelikle, aşırı konsolide oranı (OCR) değerinin derinlikle değişiminin, oturma değerlerini ve oturma sürelerini nasıl etkilediği incelenmiştir.

BEÜ İlahiyat Fakültesi derslik binası altında bulunan killi zemin tabakasının normal konsolide modellendiği oturma analizinde temel geometrisinin ağırlık merkezinin altında hesaplanan toplam konsolidasyon oturması 796.197mm'dir. Aynı temel geometrisi ve taban basıncı altında şekil 3.3'te verildiği gibi derinlikle aşırı konsolide oranının değiştiği zemin modelinde ise toplam konsolidasyon oturması %44 azalarak 442.546mm bulunmuştur. Ayrıca normal konsolide modellenmiş killi zeminin %90 konsolidasyon oturması için geçen süre 5800 gün bulunmuştur. Aşırı konsolide oranının derinlikle değişim gösterdiği modelde %90 konsolidasyon oturması için geçen süre %17 artarak 6800 gün olarak elde edilmiştir.

5.2 ÖNERİLER

Bu çalışmada, Ön konsolidasyon basıncının derinlikle değişiminin oturma ve zaman etkisi incelenmiştir. Ön konsolidasyon basınç hafıza değerleri oluşturulan kil örnekleri düşük plastisiteli kildir. Ayrıca numuneler kompaksiyon kalıbında standart kompaksiyon enerjisi ile sıkıştırılmıştır. Numunelerin bundan dolayı boşluk oranları düşük kalmıştır. Yüksek plastisiteli kil örnekleri ile bu çalışmanın devam ettirilmesinde fayda vardır.

Killi zemin tabakalarının OCR değerlerinin 1 'den fazla olması durumunda boşluk suyu parametrelerinin değişiminin tek yönlü ve çift yönlü drenaj durumları için ayrı ayrı incelenmesinde fayda vardır. Bu çalışmada çift yönlü drenaj durumu için bir çalışma yapılmıştır.

Aşırı konsolide durumu için yapılan oturma analizlerinde boşluk suyu parametrelerinin değişimi ve boşluk suyu basıncının değişime etkisi, yapılan araştırmalarda ispat edilmiştir. Bu konunun kendi başına detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.

Arazide her derinlikten örselenmemiş kil örnekleri alarak konsolidasyon deneyi yapmak oldukça zaman alıcı bir çalışmadır. Çokta pratik değildir bundan dolayı literatür çalışmasında bahsedildiği gibi Konik Penetrasyon Deneyi (CPT) arazide ön konsolidasyon basıncını ve konsolidasyon katsayısını (C_v) bulmak için kullanılması daha uygun görünmektedir. Bu deneyler vasıtası ile oturma zaman ilişkilerinin gerçek zemin tabakaları için incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abu-Farsakh M Y** (Ed.) (2004) *Evaluation of Consolidation Characteristics of Cohesive Soils From Piezocone Penetration Tests*. 736-99-0781, Louisiana Transportation Research Center, Baton Rouge, 106.
- Altundağ Y** (2016) Siltli Zeminlerin Konsolidasyon Karakteristikleri. *Yüksek Lisans*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Adı, Sakarya, 99.
- Al-Zoubi M S** (2008) Coefficient of Consolidation by the Slope Method. *Geotechnical Testing Journal*, 31: 526-530.
- ASTM** (2011) Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading. ASTM International.
- Baligh M M and Levadoux J N** (1986) Consolidation after Undrained Piezocone Penetration. *Journal of Geotechnical Engineering*, 112 (7): 727-745.
- Chen B S and Mayne P W** (Ed.) (1994) *Profiling the Overconsolidation Ratio of Clay by Piezocone Tests*. Report GIT-CEECEO-94-1, Georgia Tech Research Corporation and Georgia Institute Technology, Atlanta, 259.
- Çelik S and Tan O** (2005) Determination of Preconsolidation Pressure With Artificial Neural Network. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 22 (4): 217:231.
- Das B M** (1997) Concolidation 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.
- Göktürk O** (2004) Tabakalı Kohezyonlu Zeminlerde Statik Yükler Altında Toplam Oturma Analizi. *Yüksek Lisans*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Adı, Zonguldak, 153.
- Holtz R D, Kovacs W D and Sheahan T C** (2011) Compressibility of Soil. *An Introduction to Geotechnical Engineering*, 2nd edition, ISBN: 978-0-13-249634-6, Pearson, New Jersey, 345-403.
- Juarez-Badillo E** (1985) General Theory of Consolidation for Clays. *IV. ASTM Symposium on the Consolidation Behaviour of Soils*, 24 Ocak 1985, Ft. Lauderdale, Florida, 137-153.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Knappet J A, Craig R F** (2012) Consolidation. *Craig's Soil Mechanics*, 8th edition, ISBN: 978-0-415-56125-9, Spon Press, Oxon, 101-144.
- Kulhawy F H and Mayne P H** (1990) *Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design*. Electric Power Research Institute, California, 3.1-3.39 and 6.1-6.19.
- Larson R and Mulabdic M** (1991) *Piezococone Tests in Clay*. Swedish Geotechnical Institute, Report No:42, Linkoping, 240.
- Leroueil S, Demers D, LaRochelle P, Martel G and Virely D** (1995) Practical use of the Piezocone in Eastern Canada Clays. *CPT'95 International Symposium on Cone Penetration Testing*, 4-5 Ekim 1995, Linkoping, Sweden, 515-522.
- Mayne P W** (1991) Determination of OCR in Clays by Piezocone Tests using Cavity Expansion and Critical State Concept. *Soils and foundations*, 31 (2): 65-76.
- Mayne P W and Holts R D** (1988) Profiling Stress History from Piezocone Soundings. *Soils and foundations*, 28 (1): 48-51.
- Mayne P W and Kemper J B** (1988) Profiling OCR in Stiff Clays by CPT and SPT. *Geotechnical Testing Journal*, 11: 139-147.
- Mayne P W and Kulhawy F H** (1995) First Order Estimate of Yield Stresses in Clays by Cone and Piezocone. *CPT'95 International Symposium on Cone Penetration Testing*, 4-5 Ekim 1995, Linkoping, Sweden, 515-522.
- Mesri G, Feng T W and Shahien M** (1999) Coefficient of Consolidation by Inflection Point Method. *Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 125: 716-718.
- Nagaraj T S, Pandian N S and Raju P S R N** (1994) Stress-State-Permeability Relations For Overconsolidated Clays. *Geotechnique*, 44: 349-352.
- Özocak A ve Altundağ Y** (2016) Farklı Kil Oranına Sahip Siltli Zeminlerde Ön Konsolidasyon Basıncının Belirlenmesi. *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, 3-5 Kasım 2016, Antalya, Turkey, 789-798.
- Perloff W H and Baron W** (1976) Compressibility and Settlement of Cohesive Soils. *Soil Mechanics Principles and Applications*, 1st edition, ISBN: 0 471 06671 - 0, John Wiley and Sons, New York, 196-257.
- Powell J I, Quarterman R T and Lunne T** (1988) Interpretation and Use of the Piezocone Test in UK Clays. *Proceedings of the Geotechnology Conference on Penetration Testing in UK*, 6-8 Temmuz 1988, Birmingham, United Kingdom, 151-156.
- Raju P S R N, Pandian N S and Nagaraj T S** (1995) Analysis and Estimation of the Coefficient of Consolidation. *Geotechnical Testing Journal*, 18: 252-258.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Raju P S R N, Pandian N S and Nagaraj T S** (1997) Determination of the Coefficient of Consolidation From Independent Measurements of Permeability and Compressibility. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering*, 125: 224-229.
- Robinson R G** (1997) Consolidation Analysis by an Inflection Point Method. *Geotechnique*, 47(1): 199-200.
- Senneset K, Janbu K and Svano G** (1982) Strength and Deformation Parameters from Cone Penetration Tests. *2nd European Symposium on Penetration Testing*, 24-27 Mayıs 1982 Amsterdam, Netherlands, 2: 863-870.
- Sridharan A, Abraham B M and Jose B T** (1991) Improved Technique for Estimation of Preconsolidation Pressure. *Geotechnique*, 41: 263-268.
- Sridharan A and Nagaraj H B** (2004) Coefficient of Consolidation and its Correlation with Index Properties of Remolded Soils. *Geotechnical Testing Journal*, 27: 469-474.
- Sully J P, Campanella R G and Robertson P K** (1988) Overconsolidation Ratio of Clays from Penetration Pore Pressure. *Journal of Geotechnical Engineering*, 114 (2): 209-216.
- Swaram B and Swame P K** (1997) A Computational Method For Consolidation-Coefficient. *Soils and foundations*, 17: 48-51.
- Teh C I** (1987) An Analytical Study of the Cone Penetration Test. *D.Phil. Thesis*, Oxford University, Herford College, Oxford, 248.
- Teh C I and Houlsby G T** (1991) An Analytical Study of the Cone Penetration Test in Clay. *Geotechnique*, 41 (1): 17-34.
- Torstensson B A** (1977) The Pore Pressure Probe. *Norwegian Geotechnical Society Geotechnical Meeting*, Oslo, Norway, 34.1-34.15.
- Torstensson B A** (1975) Pore Pressure Sounding Instrument. *Asce Special Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties*, 1-4 Haziran 1975, North Carolina, United States, 48-54.
- TSE** (2006) İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.



BİBLİYOGRAFYA

- Bjerrum L** (1967) Engineerin Geology of Norwegian Normally Consolidated Marine Clays and Related to Settlements of Buildings. *Geotechnique*, 17 (2): 81-118.
- Bjerrum L** (1972) Embankments on Soft Ground. *Proceeding of the ASCE Specialty Conference on Performance of Earth and Earth-Supported Structures*, 11-14 Haziran 1972, Lafayette, Indiana, 2:1-54.
- Casagrande A and Fadum R E** (1944). Application of Soil Mechanicsin Designing Building Foundations. *Transactions, ASCE*, 109:467.
- Kenney T C** (1964) Sea Level Movements and the Geologic Histories of the Post-Glacial Marine Soils at Boston, Nicolet, Ottava and Oslo. *Geotechnique*, 16 (3): 203-230.
- Lambe T W** (1958a) The Structure of Compacted Clay. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 84 (SM2): 1654.1-1654.49
- Lambe T W** (1958b) Methods of Estimating Settlement. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 84 (SM2): 1655.1-1655.35
- Leonards G A and Altschaeffl A G** (1964) Compressibility of Clay. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 90 (SM5): 133-156
- Leonards G A and Ramirah B K** (1959) Time Effect in the Consolidation of Clay. Papers on Soils – 1959 Meeting, *ASTM Special Technical Publication*, No: 254, 116-130
- Lowe J III** (1974) New Concepts in Consolidation and Settlement Analysis. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 90 (SM5): 133-156



ÖZGEÇMİŞ

Dilek Cansu TURHAN 1991 yılında Zonguldak'ta doğdu. İlköğretim ve Lise öğrenimini Zonguldak'ta tamamladı. 2008 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne başladı ve 2013 yılında mezun oldu. 2014 yılı Şubat ayında Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği ABD (Geoteknik) yüksek lisans eğitimine başladı ardından 2014 yılı Haziran ayında Bülent Ecevit Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: Karadon Mah. T.T.K Lojmanları Sk. A Blok K:3 D:6 Kilimli/ZONGULDAK

Tel: (+90) 372 291 17 25

E-posta: dcansu.turhan@beun.edu.tr