

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÇİMENTO-KUMLU KİL KARIŞIM ORANLARININ MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hülya İNAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Ağustos 2019

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÇİMENTO-KUMLU KİL KARIŞIM ORANLARININ MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hülya İNAN
(Y1613.090020)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi KAVEH DEGHANIAN

Ağustos 2019



YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Çimento-Kumlu Kil Karışım Oranlarının Mekanik Özelliklerinin Araştırılması” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (02/08/2019)

Hülya İNAN





Aileme,





ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim boyunca, tez çalışmam süresince bana gösterdiği her türlü yardım, destek ve hoşgörüsünden, bilgi ve tecrübelerini paylaşmasından dolayı tez danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Kaveh DEHGHANIAN'a, laboratuvar deney çalışmalarımda bana her zaman yardımcı olan ve desteklerini eksik etmeyen laboratuvar hocalarım Emrah ÇALTILI, Hakan Murat SOYSAL, Beste KOÇAK DİNÇ'e ve üzerimde emeği olan tüm öğretim üyelerine teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Ağustos 2019

Hülya İNAN
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
ABSTRACT	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	2
1.2 Literatür Araştırması	2
2. ZEMİNLERİN KAYMA MUKAVEMETİ.....	7
2.1 Problemlı Zeminler Ve Zemin İyileştirme Yöntemleri.....	7
2.1.1 Kil Zeminlerin Katkı Maddeleri İle İyileştirilmesi.....	8
2.2 Zeminlerin Su Muhtevasının Tanımı	9
2.3 Mohr-Coulomb Göçme Hipotezi	9
2.4 Efektif Gerilmeler Ve Kayma Mukavemeti	10
2.5 Zeminlerin Kayma Mukavemetinin Tanımı.....	12
2.6 Kumların Kayma Mukavemeti.....	12
2.7 Killerin Kayma Mukavemeti.....	13
2.8 Zeminlerin Kayma Mukavemetinin Belirlenmesi.....	14
2.9 Üç Eksenli Basınç Deneyi.....	15
3. KONSOLİDASYON	17
3.1 Terzaghi'nin Konsolidasyon Teorisi	17
3.2 Konsolidasyon	17
3.2.1 Oturma	18
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	19
4.1 Deneylerde Kullanılan Malzeme Özellikleri.....	19
4.1.1 Kaolin Kil.....	19
4.1.1 Portland Çimentosu.....	20
4.1.1 Kum	20
4.2 Deney Programı.....	20
4.2.1 Tane Yoğunluğu Deneyi (Özgül Ağırlık Deneyi).....	21
4.2.2 Dane Çapı Dağılımı Deneyi (Elek Analizi Deneyi).....	24
4.2.3 Atterberg Deneyi (Kıvam Limitleri Deneyi)	29
4.2.3.1 Likit Limitin Çarpmalı Cihazla Tayini	29
4.2.3.2 Plastik Limitin Tayini Ve Plastisite İndisinin Bulunması Deneyi	30
4.2.4 Standart Proktor (Kompaksiyon) Deneyi.....	36
4.2.5 Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)	41
4.2.6 Tek Yönlü Konsolidasyon Deneyi.....	46

5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	51
5.1 Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)	51
5.2 Tek Yönlü Konsolidasyon Deneyi	72
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR	85
EKLER.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	117



KISALTMALAR

\circ	: Derece
τ	: Kayma gerilmesi
Φ	: Kayma mukavemeti açısı
c	: Kohezyon
C_c	: Derecelenme katsayısı
m_v	: Hacimsel sıkışma katsayısı
c_v	: Konsolidasyon katsayısı
e	: Boşluk oranı
W_L	: Likit limit
I_P	: Plastisite indisi
W_P	: Plastik limit
u	: Boşluk suyu basıncı
V	: Hacim
γ_s	: Dane birim hacim ağırlığı
σ_n	: Normal gerilme
τ_{mak}	: Maksimum kayma gerilmesi
G_s	: Zeminin dane birim hacim ağırlığı
CU	: Konsolidasyonlu-drenajsız
UU	: Konsolidasyonsuz-drenajsız
CD	: Konsolidasyonlu-drenajlı
W	: Su muhtevası
M_1	: Yoğunluk şişesinin ağırlığı
M_2	: Şişe ile kuru zeminin ağırlığı
M_3	: Şişe, zemin ve sıvının ağırlığı
M_4	: Şişenin sadece sıvı ile dolu ağırlığı
γ_L	: Kullanılan sıvının deney sıcaklığında yoğunluğu
γ_w	: Suyun deney sıcaklığında yoğunluğu



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : 1.Numune özgür ağırlık deneyi sonuçları	24
Çizelge 4.2 : 2.Numune özgür ağırlık deneyi sonuçları	24
Çizelge 4.3 : TS 14688-1' e göre malzeme aralıkları.....	24
Çizelge 4.4 : Yıkamalı eleme sonucu kum miktarı.	26
Çizelge 4.5 : Elek serisinden eleme sonucu elde edilen sonuçlar.....	27
Çizelge 4.6 : Likit limit 1.deney sonucu elde edilen veriler.....	32
Çizelge 4.7 : Likit limit 2.deney sonucu elde edilen veriler.....	32
Çizelge 4.8 : Likit limit 3.deney sonucu elde edilen veriler.....	32
Çizelge 4.9 : Plastik limit 1.deney sonucu elde edilen veriler.....	32
Çizelge 4.10 : Plastik limit 2.deney sonucu elde edilen veriler.....	32
Çizelge 4.11 : Plastik limit 3.deney sonucu elde edilen veriler.....	33
Çizelge 4.12 : 1.-2.-3. deney sonuçlarına göre plastisite indisi ve zemin grubu	36
Çizelge 4.13 : 1.-2.-3. deney sonuçlarına göre ortalama plastisite indisi ve zemin grubu.....	36
Çizelge 4.14: Deneyde kullanılması gereken kalıp ve eleklerin seçim kuralları.....	37
Çizelge 4.15: Kompaksiyon deneyi sonucu kuru birim hacim ağırlık değerleri	40
Çizelge 4.16: Kompaksiyon deneyi sonucu su muhtevası değerleri	40
Çizelge 5.1 : %70 kil + %30 kum karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları.....	52
Çizelge 5.2 : %67,5 kil + %27,5 kum + %5 çimento karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları.....	54
Çizelge 5.3 : %65 kil + %25 kum + %10 çimento karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları.....	55
Çizelge 5.4 : %62,5 kil + %22,5 kum + %15 çimento karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları.	57
Çizelge 5.5 : %60 kil + %20 kum + %20 çimento karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları.....	59
Çizelge 5.6 : Kumlu kil karışımının 5 farklı çimento yüzdesi ve w/ç oranına bağlı ortalama içsel sürtünme açısı değerleri.	61
Çizelge 5.7 : Kumlu kil karışımının 5 farklı çimento yüzdesi ve w/ç oranına bağlı ortalama kohezyon değerleri.	62
Çizelge 5.8 : 7 günlük %67,5 kil + %27,5 kum + %5 çimento karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları.....	64
Çizelge 5.9 : 7 günlük %65 kil + %25 kum + %10 çimento karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları.	66
Çizelge 5.10 : 7 günlük %62,5 kil + %22,5 kum + %15 çimento karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları.....	67
Çizelge 5.11 : 7 günlük %60 kil + %20 kum + %20 çimento karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları.	69

Çizelge 5.12 : 7 günlük kumlu kil karışımının 5 farklı çimento yüzdesi ve w/ç oranına bağlı ortalama içsel sürtünme açısı değerleri.	70
Çizelge 5.13 : 7 günlük kumlu kil karışımının 5 farklı çimento yüzdesi ve w/ç oranına bağlı ortalama kohezyon değerleri.	71
Çizelge 5.14 : Katkısız kumlu kil karışımı 1.halka konsolidasyon deney sonuçları.	72
Çizelge 5.15 : Katkısız kumlu kil karışımı 2.halka konsolidasyon deney sonuçları.	73
Çizelge 5.16 : Katkısız kumlu kil karışımı 3.halka konsolidasyon deney sonuçları.	73
Çizelge 5.17 : %5 çimento katkılı kumlu kil karışımı 1.halka konsolidasyon deney sonuçları.....	74
Çizelge 5.18 : %5 çimento katkılı kumlu kil karışımı 2.halka konsolidasyon deney sonuçları.....	74
Çizelge 5.19 : %5 çimento katkılı kumlu kil karışımı 3.halka konsolidasyon deney sonuçları.....	74
Çizelge 5.20 : %10 çimento katkılı kumlu kil karışımı 1.halka konsolidasyon deney sonuçları.....	75
Çizelge 5.21 : %10 çimento katkılı kumlu kil karışımı 2.halka konsolidasyon deney sonuçları.....	75
Çizelge 5.22 : %10 çimento katkılı kumlu kil karışımı 3.halka konsolidasyon deney sonuçları.....	76
Çizelge 5.23 : %15 çimento katkılı kumlu kil karışımı 1.halka konsolidasyon deney sonuçları.....	76
Çizelge 5.24 : %15 çimento katkılı kumlu kil karışımı 2.halka konsolidasyon deney sonuçları.....	77
Çizelge 5.25 : %15 çimento katkılı kumlu kil karışımı 3.halka konsolidasyon deney sonuçları.....	77
Çizelge 5.26 : %20 çimento katkılı kumlu kil karışımı 1.halka konsolidasyon deney sonuçları.....	78
Çizelge 5.27 : %20 çimento katkılı kumlu kil karışımı 2.halka konsolidasyon deney sonuçları.....	78
Çizelge 5.28 : %20 çimento katkılı kumlu kil karışımı 3.halka konsolidasyon deney sonuçları.....	78
Çizelge 5.29 : Çimento yüzdesine bağlı numune oturma miktarı değerleri.	79
Çizelge 5.30 : Çimento yüzdesine bağlı numune şişme miktarı değerleri.	80

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Coulomb göçme zarfı	10
Şekil 2.2 : Toplam ve efektif gerilme daireleri kırılma zarfları.....	11
Şekil 2.3 : Üç eksenli basınç deneyi	15
Şekil 4.1 : Kaolinitin şematik görünümü.....	19
Şekil 4.2 : Bağlı Yoğunluk Şişesinin Tartılması (M_0).....	21
Şekil 4.3 : Bağlı Yoğunluk Şişesinin + Kontrol Sıvısının Tartılması (M_1).....	21
Şekil 4.4 : Bağlı Yoğunluk Şişesi + Kuru Numunenin Tartılması (M_2).....	22
Şekil 4.5 : Bağlı Yoğunluk Şişesi + Kontrol Sıvısı + Kuru Numunenin Tartılması (M_3).....	22
Şekil 4.6 : Su Sıcaklığının Ölçülmesi.....	23
Şekil 4.7 : Numunenin hava kabarcıklarından arındırılması için vakumlanması.....	23
Şekil 4.8 : Elek Analizi Deneyi İçin Kum Malzemesi	25
Şekil 4.9 : Elek Analizi Deneyi İçin Kil Malzemesi	25
Şekil 4.10 : Elek analizi deneyinde kullanılan (a) elek serisi ve (b) eleme işlemi. ..	26
Şekil 4.11 : Elek analizi deneyinde yıkama + etüv + eleme işlemleri.....	26
Şekil 4.12 : Eleme sonucu elde edilen değerlerin grafikte gösterimi.	28
Şekil 4.13 : Likit limit deney numunelerinin desikatörde bekletilmesi.....	29
Şekil 4.14 : Likit limit deneyi yapım aşamaları.....	30
Şekil 4.15 : Plastik limit deneyi yapım aşamaları.	31
Şekil 4.16 : Likit limit ve plastik limitleri 1.deney sonuçlarına göre sınıflandırma grafığı.....	33
Şekil 4.17 : Likit limit ve plastik limitleri 2.deney sonuçlarına göre sınıflandırma grafığı.....	33
Şekil 4.18 : Likit limit ve plastik limitleri 3.deney sonuçlarına göre sınıflandırma grafığı.....	34
Şekil 4.19 : 1. deney sonucu likit limit değeri	34
Şekil 4.20 : 2. deney sonucu likit limit değeri	35
Şekil 4.21 : 3. deney sonucu likit limit değeri	35
Şekil 4.22 : Kompaksiyon deney numunesinin hazırlanması ve moltun tartılması...	37
Şekil 4.23 : Kompaksiyon deneyi yapım aşamaları.	39
Şekil 4.24 : Standart proktor deney sonuçlarının grafikte gösterimi.	41
Şekil 4.25 : Üç eksenli basınç deney numunelerinin hazırlanması.	42
Şekil 4.26 : Üç eksenli basınç deney numunesinin çapının, boyunun ve ağırlığının ölçülmesi.....	42
Şekil 4.27 : Deney numunesinin üç eksenli deney hücresine yerleştirilmesi.....	43
Şekil 4.28 : Numunenin bulunduğu üç eksenli deney hücresine su doldurulması. ...	43
Şekil 4.29 : Üç eksenli basınç deneyinin başlatılması.	44
Şekil 4.30 : Üç eksenli basınç deney sonu numunenin kırılması.	45
Şekil 4.31 : Konsolidasyon deney numunelerinin hazırlanması.....	46
Şekil 4.32 : Konsolidasyon deney numunelerinin disklere yerleştirilmesi.	47

Şekil 4.33 : Konsolidasyon deney okuma saatlerinin ayarlanması.	48
Şekil 4.34 : Konsolidasyon deneyi yükleme ve boşaltma aşamaları.	49
Şekil 4.35 : Konsolidasyon deney sonucu etüvden çıkan numuneler.	49
Şekil 5.1 : Katkısız (%0 çimento) 1.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	52
Şekil 5.2 : Katkısız (%0 çimento) 2.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	53
Şekil 5.3 : Katkısız (%0 çimento) 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	53
Şekil 5.4 : %5 çimento katkılı 1.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	54
Şekil 5.5 : %5 çimento katkılı 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	55
Şekil 5.6 : %10 çimento katkılı 1.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	56
Şekil 5.7 : %10 çimento katkılı 2.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	56
Şekil 5.8 : %10 çimento katkılı 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	57
Şekil 5.9 : %15 çimento katkılı 1.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	58
Şekil 5.10 : %15 çimento katkılı 2.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	58
Şekil 5.11 : %15 çimento katkılı 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	59
Şekil 5.12 : %20 çimento katkılı 1.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	60
Şekil 5.13 : %20 çimento katkılı 2.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	60
Şekil 5.14 : %20 çimento katkılı 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	61
Şekil 5.15 : Kumlu kil karışımının ortalama içsel sürtünme açısının 5 farklı çimento yüzdesine bağlı değişimi.	62
Şekil 5.16 : Sabit su muhtevasında farklı çimento yüzdelerine bağlı su/çimento oranlarının değişimi.	62
Şekil 5.17 : 7 günlük %5 çimento katkılı 1.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	64
Şekil 5.18 : 7 günlük %5 çimento katkılı 2.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	65
Şekil 5.19 : 7 günlük %5 çimento katkılı 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	65
Şekil 5.20 : 7 günlük %10 çimento katkılı 1.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	66
Şekil 5.21 : 7 günlük %10 çimento katkılı 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	67
Şekil 5.22 : 7 günlük %15 çimento katkılı 1.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	68
Şekil 5.23 : 7 günlük %15 çimento katkılı 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.	68

Şekil 5.24 : 7 günlük %20 çimento katkılı 2.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.....	69
Şekil 5.25 : 7 günlük %20 çimento katkılı 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri.....	70
Şekil 5.26 : 7 günlük kumlu kil karışımının ortalama içsel sürtünme açısının 5 farklı çimento yüzdesine bağlı değişimi.....	70
Şekil 5.27 : Sabit su muhtevasında farklı çimento yüzdelere bağlı su/çimento oranlarının değişimi.....	71
Şekil 5.28 : Çimento yüzdesine bağlı numune oturma miktarı değerlerinin grafikte gösterimi.....	79
Şekil 5.29 : Çimento yüzdesine bağlı numune oturma yüzdesi değerlerinin grafikte gösterimi.....	80
Şekil 5.30 : Çimento yüzdesine bağlı numune şişme yüzdesi değerlerinin grafikte gösterimi.....	80





ÇİMENTO-KUMLU KİL KARIŞIM ORANLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Zemin iyileştirme teknikleri arasında çimento en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Çimento vb. karışımlar, zeminin dayanımını artırmak, geçirimsizliğini azaltmak ve deformasyon (oturma ve şişme) davranışını azaltmak gibi iyileştirmelerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada %30 kum ve %70 kil karışımına farklı yüzdelerde çimento eklenerek bu karışım oranlarının mekanik özellikleri araştırılmıştır. Deneysel olarak, kaolin kil, portland çimentosu CEM-I (42.5) ve kum kullanılmıştır. İlk aşamada %70 oranında kaolin kil ve %30 oranında kum kullanılarak kumlu-kil karışımına, özgül ağırlık deneyi, elek analizi deneyi, kıvam limitleri deneyi ve kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada, çimentonun etkisini incelemek için, katkısız kumlu-kil karışımına, konsolidasyonsuz-drenajsız üç eksenli basınç deneyleri (UU) ve tek yönlü konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. İkinci aşamada %70 kaolin kil ve %30 kum oranlarından eşit miktarda düşürülerek, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento eklenerek hazırlanan karışıma, 50 kPa, 100 kPa ve 150 kPa olmak üzere üç farklı hücre basıncı kullanılarak UU deneyleri yapılmıştır. Üç eksenli basınç deneyleri aynı gün ve 7 günlük olarak çimento miktarına ve bekleme süresine göre iki farklı şekilde yapılmıştır. Bir sonraki aşamada aynı şekilde %70 kaolin kil ve %30 kum oranlarından eşit miktarda düşürülerek, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento eklenerek hazırlanan karışıma tek yönlü konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Üç eksenli basınç deneyleri sonucunda içsel sürtünme açısının çimentoya bağlı olarak belirli bir yüzdeye kadar arttığı daha sonra düştüğü görülmüştür. Tek yönlü konsolidasyon deneyleri sonucunda da eklenen çimento miktarlarına bağlı olarak zemin dayanımında artma olduğu ve deformasyonun (oturma ve şişme) giderek azalacağı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Kaolin kil, portland çimentosu, konsolidasyon deneyi, konsolidasyonsuz-drenajsız üç eksenli basınç deneyi, mekanik özellik*



INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT-SANDY CLAY MIXTURES

ABSTRACT

Cement is one of the most prevalent methods among soil improvement techniques. Cement and similar mixtures are used in soil improvements in order to increase the strength of the ground, reduction of the permeability and the deformation (settlement and swelling) behavior. In this study, mechanical properties of sand-clay-cement mixture is investigated by adding different percentages of cement to 30% sand and 70% clay mixture. Kaolin clay, Portland cement CEM-I (42.5) and sand were used in these experiments. In the first step, specific weight test, sieve analysis test, Atterberg limit and compaction tests were performed for sandy clay mixture using 70% kaolin clay and 30% sand. In this study, Unconsolidated-Undrained triaxial compression (UU) and oedometer tests were carried out on sandy-clay mixture to study the effect of this mixture in the absence of cement. In the second step, the mixture prepared by reducing the equal amount of 70% clay and 30% sand and adding 5%, 10%, 15% and 20% cement to the mixture. Then, the final mixture was used under three different cell pressures: 50 kPa, 100 kPa and 150 kPa in UU tests. Triaxial compressure tests were performed on samples prepared in the same day and after 7 days. Afterwards, odeometer consolidation experiments were carried out by adding 5%, 10%, 15% and 20% cement by reducing the amount of 70% clay and 30% sand equally. As a result of UU tests, it was found that the internal friction angle increased to a certain percentage depending on the cement ratio and then decreased. In consolidation tests, it was observed that the soil strength increased and the deformation (settlement and swelling) gradually decreased according to the amount of added cement percentage.

Keywords: *Kaolin clay, sand, portland cement, consolidation test, unconsolidated-undrained triaxial pressure test, Mechanical property*



1. GİRİŞ

İnşaat projelerinde yapıların taşıyıcı tabakasının temeller altındaki zemin olduğu bilinmektedir. Yapı temelleri altındaki zeminin her zaman projeye uygun özelliklerde olmadığı görülmekte ve bu durumlarda zemin iyileştirme yöntemlerine başvurulmaktadır.

Tarihte bilinen eski Venedik kentinde yapılan yapıların, Osmanlılar döneminde deniz kıyısında yapılan Yeni Cami ya da Haydarpaşa Tren İstasyonu gibi yapıların mevcut zemin şartlarının elverişsiz olmasından dolayı, ahşap kazıklar üzerine inşa edildiği bilinmektedir. Çin'de M.Ö. 600'lerde zemin içerisine açılan kuyuları sönmemiş kireçle doldurarak, eski Roma'da karayolları yapımında killi zeminleri puzolan ve kireçle stabilize ederek zemini iyileştirmişlerdir. Çimento katkısı ile zemin iyileştirme yöntemi Amerika'da eyalet karayollarınının 1920 tarihinde yaptıkları çalışmalara kadar uzanmaktadı. Endüstrinin zamanla gelişmesi Türkiye koşullarında da uygun hale getirmiştir çimento ile stabilizasyon.

İlk olarak 1920'li yıllarda Türkiye'de Karl Terzaghi tarafından geliştirilmeye başlanan ve günümüzde olabildiğince gelişmiş durumda olan zemin mekaniği bilim dalı inşaat mühendisliği bakımından oldukça büyük bir öneme sahiptir. Proje sahası zemin özellikleri mühendislik bakımından yapılacak uygulamaya elverişli olmayabilir. Bu tarz durumlarla karşılaşıldığında, proje sahası değiştirilme olanağı yoksa zemin mekaniği, zeminlerin mühendislik davranışını geliştirme ve iyileştirme bakımından yol gösterici birçok çözüm sunmaktadır. Bu çözümler zemin iyileştirme yöntemleri adı altında incelenebilir (Kılıç 2008).

Zemin özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılacak yöntemler mekanik, hidrolik, fiziksel ve kimyasal ve ekleme- çıkarma yöntemlerine ayrılabilir (Önalp 2007, Mitchell 1981).

Zemin iyileştirme yöntemleri uygulanarak, zeminin kayma dayanımını arttırmak, önemli yükler altında zemin davranışını iyileştirmek, oturma ve şişmeyi azaltmak ve zeminden su sızıntısını azaltmak hedeflenir.

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada kumlu kil karışımına farklı yüzdelerde portland çimentosu eklenerek malzemelerin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Farklı yüzdelerdeki çimento miktarlarına bağlı olarak yapılan konsolidasyonsuz-drenajsız üç eksenli basınç ve tek yönlü konsolidasyon deneylerine bağlı olarak kayma gerilmeleri, içsel sürtünme açıları, zemin oturma ve şişme değerleri karşılaştırılmıştır.

Birinci aşamada %70 oranında İstanbul Şile bölgesinden alınan kaolin kil ve %30 oranında kum kullanılarak özgül ağırlık deneyi, elek analizi deneyi, kıvam limitleri deneyi ve kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Elde edilen verilerle optimum su muhtevası değerine göre hazırlanan numuneler üzerine 3 set konsolidasyonsuz-drenajsız üç eksenli basınç deneyi ve 3 set tek yönlü konsolidasyon deneyleri yapılmıştır.

İkinci aşamada %70 kaolin kil ve %30 kum oranlarından eşit miktarda düşürülerek %5, %10, %15 ve %20 oranlarında portland çimentosu eklenerek hazırlanan numunelere 3'er set konsolidasyonsuz-drenajsız üç eksenli basınç (UU) ve tek yönlü konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. %5, %10, %15 ve %20 oranlarında portland çimentosu eklenerek 3.aşama olarak 7 gün bekletilen numunelere 3'er set konsolidasyonsuz-drenajsız üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.

Çimentolu karışım oranları aşağıdaki gibidir:

%67,5 kil + %27,5 kum karışımına %5 oranında portland çimentosu eklenmiştir.

%65 kil + %25 kum karışımına %10 oranında portland çimentosu eklenmiştir.

%62,5 kil + %22,5 kum karışımına %15 oranında portland çimentosu eklenmiştir.

%60 kil + %20 kum karışımına %20 oranında portland çimentosu eklenmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Ünverdi (2006) çalışmalarında çakıllı kil zeminler üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Çalışmalarında kullandığı karışımlarda, yüksek plastisiteli kil, ince büyüklükte yuvarlak dere çakılı ve kırmataş çakıl kullanılmıştır. Kil ve çakılların birtakım geoteknik özellikleri belirlendikten sonra, standart ve modifiye proktor deneyleri yapılmıştır. Bu yöntemle, optimum su muhtevası ve maksimum kuru yoğunlukta hazırlanan numuneler üstünde konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli

basınç deneyleri yapılmıştır. Elde edilen değerlerle kayma dayanımı deneyleri yapılacak numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler, üç eksenli basınç deneyinde 0,5 mm/dakika yükleme hızıyla ve 0,5 kgf/cm², 1,0 kgf/cm², 2,0 kgf/cm² çevre basınçlarında drenajsız kayma deneyi yapılmış ve gerekli değişkenler belirlenmiştir. Deneysel çalışmanın sonunda, kohezyonun numunelerdeki çakıl oranı arttıkça azaldığını ve içsel sürtünme açısının ise çakıl oranı arttıkça arttığı görülmüştür. Çakıl oranındaki artış ile içsel sürtünme açısı arasındaki artışın doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Böylece kayma dayanımı artmış ve kohezyon değeri azalmıştır. Çakılın tane çapına, karışımdaki yüzdelik oranına ve sıkıştırma yöntemine göre değerlendirme yapıldığında kırmataş çakıl-kil karışımının kayma dayanımı, dere çakılı-kil karışımından daha yüksek çıkmıştır. Sebebi ise dere çakılının yuvarlak ve yarı yuvarlak olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Bayoğlu (1995) tarafından kum ve kil karışımlarının kayma dayanımı ve sıkışabilirlik özellikleri üzerine yapılan çalışmada, hiç silt ve kil içermeyen kumdan, kum yüzdesi sıfır olan silt-kil karışımlarının geniş dane dağılımı incelenmiştir. Karışımlardaki ince malzeme oranı temel alınarak, oranlardaki değişiminin, kayma dayanımına, sıkışmayla oturma özelliklerine tesirine bakılmıştır. %5, %15, %35, %50, %75 ve %100 oranlarındaki ince malzemeyle 6 farklı karışım üzerinde yapılan drenajlı direkt kesme deneyleri sonuçlarına göre %50'lere kadar kayma dayanımı açıları genel olarak 30-38 derece değerleri arasında değişmekte ve yüzdelik oranın artmasıyla birlikte küçük miktarda bir düşme görülmektedir. %50'den sonraki açısal değerlerdeki düşme çok bariz 10 derece düzeyine kadar düşebilmektedir. %35, %50, %75, %100 oranında ince malzeme bulunduran zeminlerde yapılan drenajsız üç eksenli basınç deneyleri sonuçlarında da kayma dayanımı açıları değerleri yakın çıkıp ince malzeme oranından bağımsız bir davranış gösterdiği sonucuna varılmıştır.

İkizler vd (2008) çalışmalarında yüksek şişme potansiyeli olan bentonitin içerisinde farklı miktarlarda karıştırılan çimento, uçucu kül ve kumun dane dağılımları, özgül yoğunlukları, Atterberg limitleri, maksimum kuru yoğunlukları, optimum su muhtevaları ve şişme basınçları belirlenerek katkı miktarlarının bu özellikler üzerindeki tesirleri incelemişlerdir.

Wasti ve Alyanak (1968), killi kumlar üzerine yapmış oldukları çalışmalarda, kil oranının düşmesi sonucu birtek boşlukların dolacağını ve maksimum poroziteye ulaşacağını; yapıda oluşan değişikliklerden dolayı da kilin plastik ve likit limiti

dikkate alınmayıp kil malzemesinin sıkışabilirliği ve kilin kuma dönüşme davranışının görüldüğü sonucuna varmışlardır.

Ölmez vd (2008) zeminin kayma düzlemi üzerindeki tesirini, ince malzeme miktarını ele alarak araştırmışlardır. Çalışma boyunca üç set deney yapılmıştır. İlk setteki deneylerde drenajsız üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Bu serideki karışımlar, su muhtevası önceden belirlenmiş kaolinle birlikte kumun eşit olarak karıştırılmasıyla yapılmıştır. Deney çalışmalarında kullanılan numuneler, önceden hazırlanmış homojen zemin karışımının bir kutu içinde su altına bırakılmayacak şekilde konsolide edilmesi sonucunda elde edilmiştir. İkinci set olarak drenajsız üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Bu serideki deney numuneleri, tekrar önceki kısımda olduğu gibi deney öncesi hazırlanmıştır. Üçüncü set olarak ise drenajlı direk kesme deneyleri yapılmıştır. Bu kısımda ise deney numuneleri konsolide edilmeden öyelece direk kesme kutusu içinde hazırlanmıştır. Kesme deneyi başlamadan deney numuneleri konsolide olmak üzere biraz bekletilip sonrasında deney başlatılmıştır. %20 kum ve %80 kaolin kil karışımının eşik noktası olduğu görülmüştür. İnce malzeme miktarı bu eşik noktasını geçecek boyutta arttırıldığında drenajlı ve drenajsız kayma gerilmelerinde değişimler olduğunun farkına varılmıştır.

Çanakçı ve Güllü (2007) çalışmalarında, plastisiteli kile %5, 15, 30, 50, 70 oranlarında düşük kötü derecelenmiş kum katılarak, içsel sürtünme açısı değişimlerini sabit su muhtevasında yapılan deneylerle tetkik etmişlerdir. Kum oranlarına göre içsel sürtünme açısının değiştiği görülmüştür. Plastik limit seviyesindeki saf kilin içsel sürtünme açısı 30° iken, %15 kumda 8° ve %70 oranındaki kumda ise 40° olduğu görülmüştür denmektedir.

Başer vd (2010) yaptıkları çalışmalarda, mermer endüstrisinin atıkları olan kireçtaşı tozu ve mermer tozu atığı kullanılarak şişen zeminlerin iyileştirilmesi sağlanmıştır. Bu zemin karışımı kaolin kil ve bentonit ile hazırlanmıştır. %0- %30 arasındaki oranlarda olmak üzere kireçtaşı tozu atığı ve mermer tozu atığı şişen zemine konulmuştur. Bu numunelere dane dağılımı, kıvam limitleri, kimyasal ve mineralojik bileşim, şişme yüzdesi ve şişme hızı deneyleri yapılmıştır. Katkı oranının artmasıyla şişme hızında artma ve şişme yüzdesinde düşme olduğu görülmüştür. Şişme üstündeki kür süresi etkilerine bakmak için 7 ve 28 gün bekletilip o şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir. Kür süresinin olumlu etkileri olduğu görülmüş, şişme hızında artma şişme yüzdesinde düşme olmuştur sonucuna varmışlardır.

Güven'in (2007) yaptığı çalışmada, yüksek plastisiteli kilin kayma parametrelerine ve mekanik özelliklerine, ince, orta kum ve kaba kum eklenerek gözlemler yapılmıştır. Kumların kil içerisindeki miktarlarının artmasıyla kohezyon değeri %25 oranında kum ekleninceye kadar artmış, kohezyonun kum miktarının artmasıyla düştüğü gözlemlenmiştir. Kum miktarının artması yüksek plastisiteli kilde, kuru birim hacim ağırlık değerini arttırmış ve optimum su muhtevası değerini de düşürdüğü görülmüştür.

Kılıç (2008) çalışmalarında, İngiltere'de üç farklı bölgede yer alan West Ashling, Hamble ve Emsworth killerin geoteknik özellikleri incelenerek, bu killerin çimento ile stabilizasyonu deneysel olarak araştırılmıştır. Çimento ile iyileştirmenin incelenen killerin mukavemeti üzerindeki etkisini inceleyebilmek amacıyla laboratuarda katkısız ve %6, %10 ve %15 çimento eklenerek hazırlanmış çimento katkılı numuneler üzerinde veyn ve üç eksenli basınç deneyleri, %20 ve %25 çimento katkılı numunelerde ise 7, 14 ve 28 günlük bekleme süreleri sonunda serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Çimento katkılı kil numuneler üzerinde laboratuarda üç farklı hücre basıncı altında gerçekleştirilen üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin de artan çimento yüzdesi ile birlikte arttığı görülmüştür. Bununla birlikte çimentonun drenajsız kayma mukavemetinde gösterdiği arttırıcı etki, West Ashling ve Hamble bölgelerinden alınan numuneler üzerinde yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçlarından açık olarak gözlenirken; Emsworth bölgesinden alınan zemin örnekleri üzerinde gerçekleştirilen deneylerde %6 çimento katkısının mukavemet değerini arttırdığı buna karşılık %10 çimento ve %15 çimento ilavesinin mukavemet değerini azalttığı veya en azından olumlu etkilemediği tespit edilmiştir.

Kaniraj ve Havanagi (1999) çimento ile uçucu kül stabilizasyonu ile ilgili bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada Hindistan Delhi'deki Raghat uçucu külü ve Almanya Bochum yakınlarındaki Baumineral uçucu külü uygun zeminlerle karıştırılmıştır. Yamuna kumu ve silt, Rajghat uçucu külü ile ve Rhine kumu Baumineral uçucu külüyle karıştırılmıştır. %3-%9 oranlarında çimento katkısı zemin uçucu kül karışımına eklenmiştir. Optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde hazırlanan silindirik şeklindeki numuneler deney süresince külenmiştir. Kür zamanının, uçucu kül muhtevasının ve çimento muhtevasının sonucu kompaksiyon mukavemeti bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar literatürdeki

çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak serbest basınç değeri ve sekant modülündeki artışın hiperbolik olduğu görülmüştür. Buradaki artış miktarının katkı maddelerine bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Uçucu kül miktarının artmasıyla azaldığı ve çimento miktarındaki artışla arttığı görülmüştür. Burada çimento uçucu küle göre daha fazla bir tesir göstermiştir. Zemin-kül karışımındaki çimento miktarına ve kür zamanına bağlı olarak su muhtevası değeri değişmiştir. Çimento miktarının artması su muhtevasını düşürmüş ve çimento miktarı kür süresinden daha çok etkilidir denilmiştir.

Yılmaz (2012) çalışmasında, değişik iki kil numunesine ağırlıkça artan oranlarda öğütülmüş kum ekleyerek, şişme basıncı ve konsolidasyon parametrelerini belirlemiştir. Deney sonuçlarına göre şişme basıncı ve hacimsel sıkışma katsayısının kum oranına bağlı olarak kumun artmasıyla azaldığı, konsolidasyon katsayısı ve geçirimsizlik katsayısının ise bu artmaya bağlı olarak arttığı görülmüştür. Bunun sonucunda da sabit gerilme altında zeminin yapacağı konsolidasyon oturmasının ve konsolidasyon süresinin azaldığı sonucuna varılmıştır denilmektedir.

Adıyaman (2005) yeni deney sistemi ve klasik konsolidasyon deney yöntemini karşılaştırabilmek için ilk önce zemin özellikleri belirlenen bir kil numunesini laboratuvar koşullarında, belirli ön konsolidasyon basıncı değerlerinde, Rowe hücresi kullanarak hazırlamıştır. Hazırlanmış olduğu numunelerle farklı çaplarda klasik konsolidasyon deneyleri yapmıştır. Deney sonuçlarına göre 75 mm çapla çalışılan numunelerdeki oturmanın 50 mm çaplı numunelerdeki oturmadan daha çok olduğu sonucuna varmıştır.

2. ZEMİNLERİN KAYMA MUKAVEMETİ

2.1 Problemlı Zeminler ve Zemin İyileştirme Yöntemleri

İnşaat mühendisliği alanında yapılan proje ve saha çalışmalarında, zemin şartlarının tercih edilecek olan mühendislik tasarımları ve yapım yöntemlerinin üstünde önemli etkileri vardır. Zemin koşulları bazı inşaat sahalarında projenin uygulanmasını belirleyecek boyutlarda sorunlarla karşılaşmasına sebebiyet verebilmektedir. Böyle durumlarda proje sahasında arazi zemin koşullarını iyileştirecek mühendislik uygulamaları mevcuttur. Zemin iyileştirmesi, özellikleri belirlenmiş proje sahasının, uygun görülen mühendislik uygulamasına göre kimyasal, fiziksel ve biyolojik yöntemlerle zeminin iyileştirilmesi belirlenebilir. (Özaydın 2012).

Zemin iyileştirme yöntemleri, mekanik yöntemler- değişik kompaksiyon (sıkıştırma) tekniklerinin uygulanması, hidrolik yöntemler- zemin suyunun çıkarılması, kontrolü ve yönlendirilmesi, fiziksel ve kimyasal yöntemler- ısıtma/dondurma, katkı malzemeleri eklenmesi, enjeksiyon teknikleri, ekleme ve sınırlama olarak sayılabilir. (Özaydın 2012).

Mekanik iyileştirmede, zemin yoğunluğunun kısa süreli mekanik kuvvetlerin etkisi ile artırılması hedeflenmektedir. Yüzeydeki zemin tabakalarının statik, titreşimli veya darbeli silindir ya da titreşimli tabakalarla sıkıştırılması, zeminlerin derinde titreşimle sıkıştırılması mekanik iyileştirme yöntemlerini oluşturmaktadır. Ayrıca patlatma ile sıkıştırma, sıkıştırma kazıkları ile zeminin sıkıştırılması bu grup içinde sayılabilir (Yıldırım 2004).

Hidrolik iyileştirme drenler ve kuyular yardımı ile boşluk suyu basıncının düşürülerek kayma dayanımını artırmayı amaçlayan iyileştirme yöntemidir. Kaba daneli zeminlerde kuyu veya hendeklerden pompalama ile yeraltı suyu seviyesinin indirilmesi, ince daneli zeminlerde düşey drenlerin yardımı ile de ön yükleme yapılması, elektrikselsel yüklerle boşluk suyunun uzaklaştırılması türünden iyileştirmeler bu grup altında toplanabilir. Geosentetiklerin geleneksel tekniklere katkısı bu alanda büyük olmuştur. Diyafram duvarlar, palplanş duvarlar ve

geomebranlar, keson ve tünelde basınçlı hava kullanılarak zemin suyunun uzaklaştırılması teknikleri bu grup içinde sayılabilir (Yıldırım 2004).

Fiziksel ve kimyasal iyileştirme; yüzeysel zemin tabakalarında katkıların fiziksel olarak karışımı, katkıların derinlerde kolonlar teşkil edecek şekilde karıştırılması yolu ile yapılabilir. Doğal zeminler, endüstriyel artık ürünleri veya atıklar, birbiriyle veya zeminle reaksiyona giren çimento ve kimyasallar katkı maddelerini oluşturur. Katkı maddeleri zemin boşluklarına veya yapı elemanı ile zemin arasındaki boşluğa basınçla verilirse bu uygulama enjeksiyon adını alır. Isıtma ve dondurma yolu ile yapılan iyileştirmeler ile son yıllarda yurdumuzda geniş uygulama alanı bulan jet grout kolonu uygulaması bu grup içerisinde sayılabilir (Kumbasar 1999).

Ekleme-sınırlama ile iyileştirmede fiberler, şeritler, donatılar ve hasırların zemine yerleştirilmesi ile zemin kütlesi dayanımı arttırılmaktadır. Benzer şekilde zemin çivileri ve ankraj yerleştirilecek zeminin donatılandırılması ekleme ile yapılan iyileştirmedir (Kumbasar 1999).

2.1.1 Kil Zeminlerin Katkı Maddeleri İle İyileştirilmesi

Katkı maddelerinin kullanılmasıyla yapılan zemin iyileştirme yöntemlerinde, kullanılacak katkı maddesinin kolay bulunacak ucuz malzeme olmasına dikkat edilmesi gerekir. Katkı maddelerini; kum, çimento, kireç, çimento- kireç karışımı, uçucu kül – kireç uçucu kül, karışımı, bitüm, tuz ve bazı kimyasal bileşikler olarak sıralayabiliriz. (Batman 2015).

Katkı maddeleri ile zemin iyileştirmede hedef, zemin dayanımını arttırmak, geçirimsizliğini azaltmak ve deformasyon (oturma ve şişme) davranışını azaltmaktır. Zemine çimento veya kirecin eklenmesi likit limit, plastisite indisi, şişme ve oturma özelliklerini düşürür ve zeminde iyileştirme gösterir. Yüksek kalsiyumlu sönmüş kireç veya dolomitik kireç 1-1,5 m derinliklerdeki zemin iyileştirmelerinde uygulanabilir. 4-5 m gibi derinliklerde de basınçlı kireç karışımı veya kireç-uçucu kül karışımı enjeksiyonu, şişen zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılan bir diğer yöntemdir (Das 1995).

İkizler vd (2012) tarafından yapılan çalışmada şişen bir zeminin şişmeyen bir zeminle karıştırılması, şişen zeminlerin iyileştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamada kullanılan katkı maddelerinden en ucuz ve etkili

olan katkı maddesi kumdur. Şişme özelliklerini iyileştirmek için yapılan çalışmalarda kullanılan kum miktarı %20 ile %80 arasında değişmektedir. Bu yöntemle etkili sonuçlar alınmıştır.

2.2 Zeminlerin Su Muhtevasının Tanımı

Su, zemin direncini zemin taneleri arasında bağlayıcı ve kaydırıcı etki yaparak etkilemektedir (Topp 2002). Su muhtevası killi zeminlerde kayma mukavemetini etkileyen önemli etmenlerden birini oluşturmaktadır. Mevsim değişimleri gibi çeşitli nedenlerden dolayı zemindeki su muhtevasının değişmesine neden olmakta ve bu da zeminlerde göçme olmasına sebep olmaktadır. Zemin göçmesi, yer kayması gibi sorunların nedeni ani ve fazla olan yağışlar sonucu suyun artmasıyla malzemenin mekanik özelliklerindeki değişimdir (Blahova 2013).

Su muhtevası değişiminin, kayma mukavemetine tesiri belirlenip potansiyel değişimler göz ardı edilmemelidir. Ghosh (2013) çalışmasında, su muhtevası arttıkça kil daneleri birbirinden daha çok uzaklaştığı için çoğu geoteknik göçmenin kayma göçmesinden oluştuğunu ve kohezyonun azaldığını öne sürmüştür.

Genellikle su muhtevası optimum su muhtevasına ulaşıncaya kadar kohezyon artar, optimum su muhtevasından sonraki su içeriklerinde ise kohezyon azalır, içsel sürtünme açısı ise artan su muhtevası ile azalarak optimum su muhtevası dolayında sabit bir değere yaklaşır (Zumrawi , Mohammed 2016).

Kayabalı ve diğerleri (2015) çalışmalarında su muhtevasının drenajsız kayma mukavemetine etkisini incelemişler ve likit limit kıvamındaki drenajsız kayma mukavemeti ile plastik limit kıvamındaki drenajsız kayma mukavemeti arasında belli bir bağıntı olduğunu yalnız bunun sabit olmadığını, plastikliğin artması ile aralarındaki oranında büyüdüğünü belirtmişlerdir.

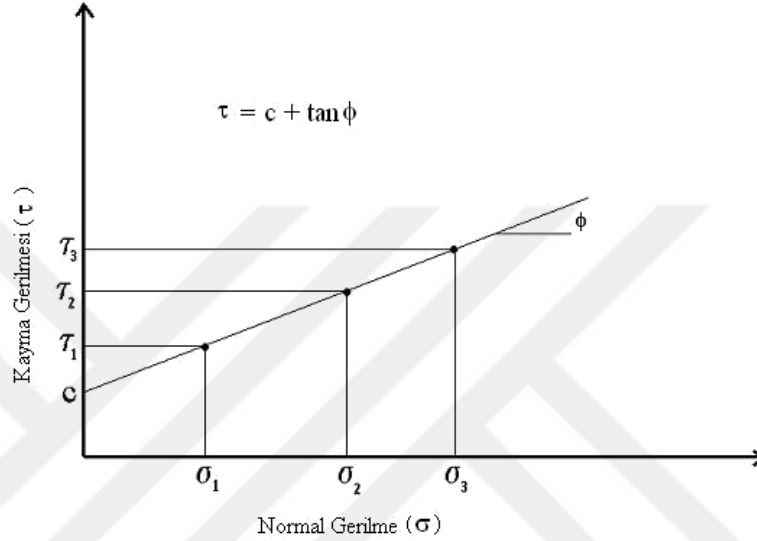
2.3 Mohr – Coulomb Göçme Hipotezi

Göçmeye sebep olan normal gerilme ve kayma gerilmesinin ortak etkilerini inceleyen birden fazla hipotez geliştirilmiştir. Bu hipotezlerden en yalını, bilineni ve diğerlerine göre daha çok kullanılan hipotez Mohr-Coulomb göçme hipotezidir (Özaydın 2010).

Mohr-Coulomb göçme ölçütüne göre zeminlerin kayma direnci;

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanır. Bu ifadeye göre, kayma direncini iki bileşenden meydana gelmiştir. Bileşenlerden bir tanesi normal gerilmeye bağlı ($\sigma \tan \phi$), bir değeri de (c) normal gerilmeden bağımsızdır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Coulomb göçme zarfı (Özaydın 2010)

Zeminlerin kayma direncinin muhtemel bir göçme düzlemi süresince kaymaya karşı oluşan sürtünmeden dolayı olduğu görülmektedir. Bu direnç, o düzlem boyunca meydana çıkan sürtünmeden kaynaklanmaktadır.

Şekil 2.1'de bulunan bağıntıda birinci terimin (ϕ) zeminin kayma mukavemeti açısını, ikinci terimin ise ($\sigma \times \tan \phi$) sürtünme direncini göstermektedir. Kayma mukavemeti açısı (ϕ) dane yüzeylerinin birbiriyle sürtünmesinden oluşan direnci ve daneler arası hareketine mâni olan kilitleme tesirini içeren toplam direnci göstermektedir. Diğer bir kayma mukavemeti parametresi (c) ise kohezyon olarak tarif edilebilir (Yılmaz 2006).

2.4 Efektif Gerilmeler ve Kayma Mukavemeti

İnşaat mühendisliğinde stabilite sorunlarının çözümlerinin nasıl bir yaklaşımla yapılacağına zeminin türü, yükleme hızı ve drenaj koşullarına göre karar verilir.

Yüksek geçirimsizliğe sahip olduğu için iri daneli zeminlerde drenajlı durumun baskın olduğu kabul edilir (Uysal 2014).

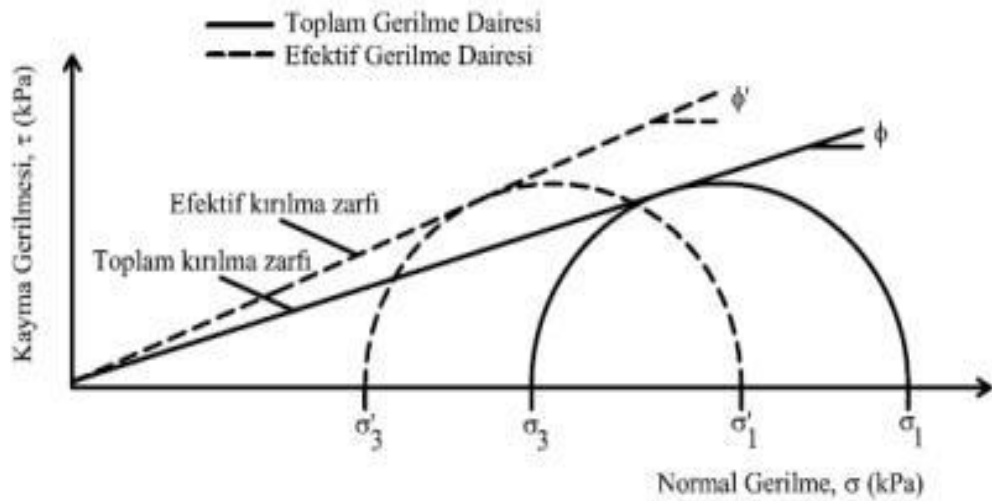
Mühendislik uygulamalarında suya doygun killerin yükleme sırasında boşluk suyu basıncının sönmülmesi ya da konsolidasyonun oluşması için zamanın yetersiz olduğu durumlar için, yüklemelerin mümkün olduğunca hızlı olduğu ciddi tasarım durumlarında drenajsız kayma mukavemeti, kullanılmaktadır.

Zeminlerin kayma direncinin bulunmasında boşluk suyu basıncının önemi büyüktür. Zeminin efektif ve toplam gerilme cinsinden anlatılan kayma mukavemetleri arasında önemli farklar görülebilmektedir. Mohr-Coulomb göçme kriterine bağlı olarak kayma mukavemetinin ifade eden bağıntı efektif gerilmeler türünden yazılırsa;

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \quad (2.2)$$

olarak ifade edilmektedir. Bu eşitlikte, $(\sigma - u = \sigma')$ göçme düzlemine etkiyen efektif gerilmeyi, c' ve ϕ' efektif gerilmeler türünden kayma mukavemeti parametrelerini belirtmektedir.

Mohr gerilme dairelerini, toplam gerilmeler türüyle beraber efektif gerilmeler türünden de çizmek mümkün olmaktadır. Şekil 2.2'de toplam ve efektif gerilme daireleri ve bu dairelere teğet olan göçme zarfları gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Toplam ve efektif gerilme daireleri kırılma zarfları (Özaydın 2010)

2.5 Zeminlerin Kayma Mukavemetinin Tanımı

Zeminlerde göçme olabilmesi için, muhtemel bir kayma düzlemi boyunca kayma mukavemetinin aşılması gerekmektedir. Genel olarak göçme belli bir kayma düzlemi üstünde etki eden normal ve kayma gerilmelerinin birlikte etkisiyle meydana gelmektedir. Zemin kayma mukavemeti ise, göçme meydana gelmeden gösterebileceği en büyük kayma gerilmesi olarak ifade edilebilir (Yılmaz 2006).

Kayma direncini arazi deneylerinde arazi koşullarına bağlı olup zamanla değişim gösterebilir. Laboratuvar deneylerinde elde edilen değerler laboratuvar şartlarına bağlıdır.

Kayma mukavemeti, değişik kategorilerde incelenebilir. Bunlar, drenajsız şartlar altında olan yumuşak kohezyonlu zeminlerin kayma mukavemeti, aşırı konsolide killer gibi büyük yer değiştirme hareketleri ile yavaş yer değiştirme hızı gerektiren zeminlerin zamana bağlı uzun ya da daimi drenajlı kayma mukavemeti, zamandan ayrı, serbest drenaja sahip kohezyonsuz zeminlerin (çakıl, kum gibi) kayma direncii ve kohezyonlu zeminlerin kayma esnasında drenaja mücadele eden, mümkün olduğunca yavaş bir yer değiştirme hızına bağlı olarak drenajlı kayma direncii incelenebilir.

Zeminin seçilen kırılma kriterine göre kayma mukavemeti tanımı yapılabilmesi için kayma mukavemeti açısı (ϕ), kohezyonu (c), bunu sağlayacak gerilmelerle boy kısalması bağıntısı ve makaslama sırasında oluşan boşluk suyu basınçlarının bilinmelidir. ϕ ve c 'ye zeminin kayma direnci parametreleri denir (Önalp 2002).

2.6 Kumların Kayma Mukavemeti

İri taneli şekilde belirtilen yani kohezyonsuz kum zeminlerdeki en bariz özellik yerçekiminin (kitle kuvvetlerinin) baskınlığıdır. Sürtüme kum zeminlerde en baskın olanıdır ve kohezyon parametresi sıfır olarak alınmaktadır. Bu sebeple kayma mukavemeti bağıntısı kum zeminler için;

$$\tau = c + \sigma \times \tan\phi \quad (2.3)$$

olduğunu düşünmek doğru bir yaklaşım olmaktadır. Bunun sebebi, kum zeminlerde yüksek permeabilite değeri olduğu için yükleme esnasında boşluk suyunun kolaylıkla zeminden çıkabilmesidir. Boşluk suyu basıncı böylece herhangi bir artış göstermemektedir. Kum zeminlerin arazi yüklemeleri altındaki davranışlarına bakılırken drenajlı kayma direnci açısının bulunması yeterli olmaktadır. Laboratuvar da deneylerinden kesme kutusu ya da üç eksenli basınç deneyleriyle de kayma direnci açısı bulunmaktadır (Uysal 2014).

Yuvarlak danelerden meydana gelen zeminlerdeki kayma direnci, köşeli tanelilerden biraz daha düşük olmaktadır bu sebeple tane tipi kayma mukavemeti açısını etkiler. İyi derecelenmiş zeminlerin kayma mukavemeti açısı üniform kumların sahip olduğu kayma mukavemeti açısından daha büyük değerdedir bu nedenle dane çapı dağılımı kayma mukavemeti açısını etkiler.

Kum zeminlerde birim hacim ağırlık değerinin azalması ve boşluk oranı değerinin artması, kayma direnci değeri azalmaktadır. Danelerin mineral yapısı taneler arası sürtünmeyi etkilemekle beraber çoğu kumlar için oldukça az bir miktarda değiştiği kabul edilmektedir bu da kayma mukavemeti açısını etkiler. Kayma mukavemeti açısı değerini, zeminlerin kuru veya su altında olması çok az da olsa etkilemektedir (Özaydın 2010).

Kayma mukavemeti açısı bu faktörlere bağlıdır. Bunlar gözönünde bulundurularak yapılacak laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen kayma direnci açısının doğru olabilmesi için deney numunesi ile arazi sıklığının aynı olması gerekmektedir. Çünkü sıklık derecesi, boşluk oranına yani yoğunluğa bağlıdır. Bunun nedenle, kayma mukavemeti açısı, sıklık derecesine bağlı olarak değişmektedir (Özaydın 2010)

2.7 Killerin Kayma Mukavemeti

Killi zeminlerdeki kayma mukavemetinin kumlu zeminlere göre arazideki koşullar altında geçerli olacak şekilde belirlenmesi daha karmaşık ve zor bir problem olmaktadır. Kumların yüksek geçirimsizliğe sahip olması ve killerde jeolojik geçmiş etkilerinin daha etkili olması kayma direnci bakımından killeri kumlardan ayıran en bariz özelliklerdir. Killerin kayma direnci, başlangıçtaki gerilme haline ve gerilme tarihçesine bağlı kayma gerilmelerinin olduğu anda geçerli yükleme ve drenaj koşulları, suya doygunluk derecesi, tane boyutlarının mikroskobik boyutlara sahip olmasına bağlıdır. Gevşek kumlarla normal yüklenmiş killerin, sıkı kumlarla da aşırı

konsolide killerin gerilme-deformasyon, boşluk suyu basıncı-hacim değişimi bağıntılarında paralellik ve ciddi durumlarında tamamiyle benzer olduğu görülmektedir (Özaydın 2000).

Kilin su muhtevası, kıvamı, dane boyutu ve şekli, kilin absorbe ettiği su miktarı, efektif gerilme düzeyi, çimentolanma, kil yüzdesi, daneler arası çekme veya itme, gevreklik, ortamın anizotropluğu, kesilme hızı, alınmış numunenin kalitesi, kullanılan ölçüm teknikleri, mineraloji gibi faktörler killerin kayma mukavemetini önemli derecede etkilemektedir. Killerin ölçülecek kayma direnci fiziksel, fiziko-kimyasal ve gerilme özellikleriyle birlikte, ölçüme dayalı faktörlere dayalıdır (Güven 2007).

Boşluk suyu basınçlarının aşırı yükselmesi ya da düşmesi toplam ve efektif gerilmeler arasında önemli farklar ortaya çıkardığı görülmüştür kumlarda. Bu nedenle ölçülecek kayma mukavemeti parametrelerinin toplam ve efektif gerilmelere bağlı anlatımı killerde kumlara göre daha çok önemlidir (Önalp 2002).

2.8 Zeminlerin Kayma Mukavemetinin Belirlenmesi

Zemindeki gerilme-şekil değiştirme davranışlarını ve kayma mukavemetlerini belirlemek amacıyla, zeminden alınan numuneler üstünde birçok laboratuvar deney yöntemi geliştirilmiştir. Zeminin arazide yüklenmeden önce yerindeki başlangıç durumunu yansıtan konsolidasyon basıncı, boşluk oranı, su muhtevası, suya doygunluk derecesi gibi faktörlerden, arazi yükleme türünden, hızından ve drenaj şartları gibi faktörlerin hepsinden kayma mukavemeti etkilenmektedir. Zeminlerdeki kayma direncini bulmak için yapılan birçok laboratuvar ve arazi deney sistemi geliştirilmiştir (Uysal 2014).

Zeminlerin kayma mukavemetini bulmak için yapılan arazi deneylerinin başında SPT, CPT ve arazi veyn deneyleri sayılabilir. Laboratuvar deneylerinden, kesme kutusu deneyi, serbest basınç deneyi, üç eksenli basınç deneyi, basit kesme, halka kesme ve laboratuvar veyn deneyleri sayılabilir. Bunlardan en çok kullanılan deneyler; serbest basınç, kesme kutusu ve üç eksenli basınç deneyleridir.

Arazi şartlarını en iyi şekilde modellediği için üç eksenli basınç deneyi, kayma mukavemetini bulmayı sağlayan deney yöntemleri içerisinde en gerçekçi olanıdır. Bu deney yöntemi ile üç farklı deney yapılabilmektedir. Konsolidasyonsuz-drenajsız deneylerde zemin suyunun, hücre basıncı uygulanması sırasında ve eksenel

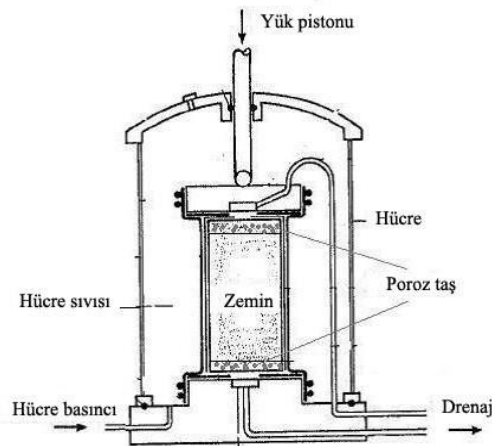
yükleme sırasında numuneden dışarı çıkmasına müsaade edilmemektedir.

Konsolidasyonlu-drenajsız deneylerde, ilk aşamada hidrostatik basınç altında numunenin konsolide olmasına izin verdikten sonra, ikinci aşamada drenajsız durumda aksel yüklemeye yapılmaktadır. Konsolidasyonlu-drenajlı deneylerde, her iki aşama için de drenaja izin verilmektedir. Bu yöntemle boşluk suyu basıncı ve hacim değişiklikleri, drenaj koşulları, konsolidasyon, yüklemeye şartları ve suya doygunluk denetlenebilmektedir. Bu deneylerde göçme zarfı, elde edilen mohr daireleri ile oluşturulur. Dairelere çizilen teğet vasıtasıyla kayma direncinin denklemi elde edilir (Yılmaz 2006).

2.9 Üç eksenli basınç deneyi

Üç eksenli basınç deneyi arazi koşullarını laboratuvarında en benzer şekilde modellediği için kayma direncini bulmayı sağlayan deney yöntemleri içinde en gerçekçi olanıdır. Bu deneyde zemin numunesinin arazi gerilmeleri altındaki konsolidasyonu sağlanabilmekte ve suya doygunluk aşaması kontrol edilebilmektedir. Bu deneyde, bir hücre içine yerleştirilen silindirik şeklindeki zemin numunesi ve hücreye verilen basınç yardımıyla zemin numunesine hidrostatik basınç uygulanmaktadır. Numune bir lastik kılıf içine alınarak zeminin hücreyi dolduran suyla temas etmesini önleyerek, numune içine ve dışına farklı basınçlar uygulanmasını sağlamaktadır. Numune üst başlığına bir piston ile aksel gerilme uygulanmakta, numune alt ve üst başlıklarına bağlı ince kanallar yardımıyla da deney esnasında drenaj durumu kontrol altına alınmaktadır (Bayın 2011).

Deney düzeni Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Üç eksenli basınç deneyi (Önalp, 2007)



3. KONSOLIDASYON

3.1 Terzaghi'nin Konsolidasyon Teorisi

Zemin taşıma gücünün yerinde belirlenmesinde arazi için geliştirilen plaka yükleme deneyi yapılmakta yalnız, aynı durumu laboratuvarda arazi koşullarına uygun şartlar altında incelemeye yarayan bir deney yöntemi bulunamamıştır. Zemindeki deformasyon davranışını (oturma ve şişme) belirlemek amacıyla zemin mekaniğinde yapılan laboratuvar deneylerinden ödometre deney sistemiyle, belirli bir çapa sahip numunenin yanıl hareketi engellenerek düşey doğrultuda yüklemek ve numunenin tek boyutlu konsolidasyon davranışını incelemek mümkündür. Terzaghi (1925), bir boyutlu konsolidasyon teorisi için varsayımlar yapmıştır (Holtz ve Kovacs 1981).

Konsolidasyon teorisinde iki yönlü drenaj söz konusudur. Kil tabakası homojen ve suya doygundur. Hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) ve permeabilite katsayısı (k), ilgili gerilme aralığı boyunca sabittir. Darcy yasası geçerlidir. Zemin tabakasının sıkışması, sadece boşluklardan suyun çıkması nedeniyle oluşan, hacimdeki değişiklikten dolaydır. Deformasyon sadece yük uygulama doğrultusunda ortaya çıkar ve deformasyonlar küçüktür.

Bu varsayımlar altında bir diferansiyel zemin elemanından dışarı akan suyun hacmi göz önüne alınır, elemandaki su akışının sürekliliği dikkate alınarak konsolidasyon denklemi elde edilebilir. Su sıkışmaz bir akışkan kabul edildiğinden; elemandaki hacim değişimi, elemana giren su miktarı ile elemandan çıkan su miktarı arasındaki farka eşittir (Holtz ve Kovacs 1981).

3.2 Konsolidasyon

Bir temel sisteminde üç şartın sağlanması gerekir. Taşıma gücü şartı; üstünde yük bulunan temelin, zeminde kırılma meydana getirmemesi ve bu tip olaylar karşısında emniyetli olmalıdır. Oturma koşulu; temeller aracılığıyla yüklenen zeminde, çok ya da az bir oturma görülür. Genel manada oturma, zemine üstündeki yüklerden dolayı, taneler arası boşlukların azalması nedeniyle, kısa ya da uzun süreli hacim azalması,

sıkışma olarak tanımlanır. Yani zeminde oluşan düşey yer değiştirme olayıdır. Yapı tasarımında ekonomik olması göz önünde bulundurularak ekonomiklik şartı sağlanmalıdır (Uzuner 2007).

3.2.1 Oturma

Zemin özellikleri, yükleme şekli, zemin tipi gibi faktörler bir temelin ya da yapının oturmasına neden olmaktadır. Bir temel, rijit ya da fleksibl olabilir. Temel cisine bağlı olarak; gömülme derinliği, temel şekli ve temel aralığı değişebilir. Temel zeminine geçen yükler hareketli ya da aşamalı ya da sürekli olabilmektedir.

Yapı çeşidine bağlı olarak, yükleme şekli farklılık gösterir. Yapı inşasından kaynaklanıyorsa zemine gelecek yükleme, kalıcı yüklemedir. Şayet bir depolama tankında ya da su deposundaydı yükleme, tanktaki sıvının veya suyun seviyesine bağlı değişmektedir. Bu yüklemeyle temel zeminine geçiş yapan yük hareketlidir. Benzer olay, rezervuardaki su seviyesi değişimine göre baraj temel zemininde de geçerlidir.

Temelin, zeminde kırılma oluşmamasına ve kırılmaya karşı emniyetli olması yeterli olmaz. Ayrıca, oluşabilecek oturmaların, yapıya zarar vermemesi gerekir. Yani, oturmanın veya oturma farklarının, belli oturma değerlerini aşmaması gerekir. Kabul edilebilir oturma değerleri aşıldığı takdirde, yapılarda çatlaklar, ağır hasarlar, hatta yıkılmalar bile olabilir. Yapılarda bulunan hasar ya da göçme sebeplerinin başında, oturmalar, özellikle de farklı oturmalar gelmektedir (Adıyaman 2005).

Oturma olayına, çeşitli nedenler yol açar. Zeminin yüklenmesi, yer altı su seviyesinin düşmesi, daneli zeminlerde oluşan titreşimler, bitişik kazılar sebebiyle, mevcut temelin altındaki zemin durumunun bozulması, yeraltındaki boşluk, mağara, tünel, galeri v.b. çökmesi, yeraltı su akımlarının sebep olduğu erozyon, toprak kayması, temel elemanlarının zarar görmesi, don olayı kabarma, zeminde oluşabilecek kimyasal olaylar, killi zeminlerde, hızlı büyüyen ağaçlar vb., kohezyonsuz zeminlerde, oturma, kısa zamanda gerçekleşir. Yük temele uygulandığı gibi oturma kısa zamanda olur (Adıyaman 2005).

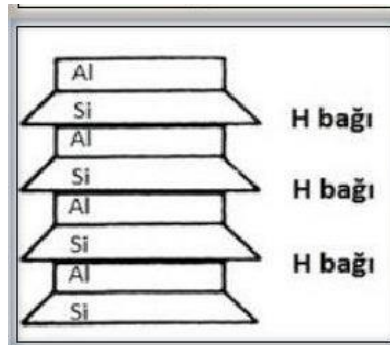
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Deneysel Kullanılan Malzeme Özellikleri

4.1.1 Kaolin Kil

Killer tane boyutu 0.02 mmden küçük ince taneli tortular olup; toprağımsı, belirli miktarda su katıldığında plastikliği artan, alüminyum ve silis içeriği yüksek minerallerdir. Minerolojik özelliklerine göre killer; kaolin grubu, smektit grubu, mika grubu, klorit grubu ve illit grubudur. Bu çalışmada kaolin kil grubu kullanılmıştır.

Kaolin, mika ve feldispat içeriği yüksek magmatik kayalarda ve asidik ($\text{pH} < 7$) ortamda kolayca oluşur. Kaolinitin temel yapısı üst üste gelmiş birer alümina: silika tabakasından oluştuğundan bu mineral ortamda alüminanın bol, buna karşın silikanın az olduğu durumlarda daha rahat oluşur. Böyle ortam ise elektrolit içeriği ve pH'nın düşük ve magnezyum, kalsiyum ve demir gibi iyonların suyla sistem dışına yıkıldığı durumlarda sağlanır. Yağışın sürekli olması kaolin (K) gelişimini önemli ölçüde artırmaktadır. Kaolinitin yapısal formülü $(\text{OH})_8 \text{Si}_4 \text{Al}_{14} \text{O}_{10}$ 'dur. Kaolinit başlıca iki şekilde oluşurlar; Smektitin bulunduğu ortama yeterli miktarda Mg^{++} gelirse brusitin içerdiği aratabaka suyunun yerini bir katyon olarak klorite dönüşüm sağlanır. Magmatik ve başkalaşım kayadaki biyotit ayrışmaya uğrayarak trioktahedral klorit ve klorit-vermikülit karışık tabakalı mineralini oluşturur.



Şekil 4.1: Kaolinitin şematik görünümü (Başer, 2009)

4.1.2 Portland Çimentosu

Çimento, içerisinde kalker, kil ve alçıtaşı bulunan hidrolik bir bağlayıcıdır. Çimentonun bağlayıcı özelliğini gösterebilmesi için kesinlikle suya ihtiyaç vardır. Çimento, su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Kırılmış kalker, kil ve gerekiyorsa demir cevheri veya kum katılarak öğütülüp toz haline getirilir. Toz haline getirilen malzeme 1400-1500°C'de döner fırınlarda pişirilir. Bunun sonucunda elde edilen ürüne "klinker" denir. Sonrasında klinkere belirli bir miktarda alçı taşı eklenip (%4-5) oranında, çok ince toz haline getirilerek Portland Çimentosu elde edilir (Tumluer 2006). Portland çimentosu genellikle gri renkli toz halinde maddedir.

CEM I sınıfındaki klinkerin sadece kalsiyum sülfat ve minör bileşen olarak ağırlıkça en fazla %0-5 arası mineral katkı ile ezilmesi neticesinde elde edilen Portland Çimentoları mevcuttur.

Çimento tipleri dayanım sınıflarına göre de alt gruplara ayrılırlar. Çimentonun dayanımı 32.5, 42.5 ve 52.5 sayılarından birisi ile belirtilir. Bu çalışmada CEM I (42.5) dayanımlı çimento kullanılmıştır.

4.1.3 Kum

Kum, silisli kütlelerin, kayaların, doğal etkenlerle parçalanarak ufalanmasından ya da kayaların parçalanmasıyla oluşan malzemedir. Çapı 0,02-2 mm arasındadır.

4.2 Deney Programı

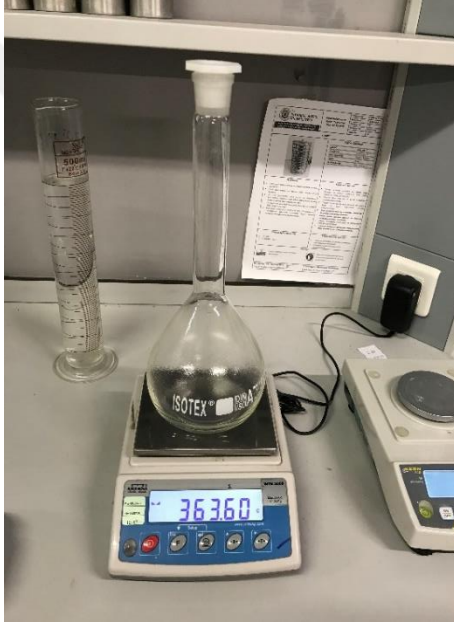
Birinci aşamada yapılan deneyler:

1. Tane Yoğunluğu Deneyi (Özgül Ağırlık Deneyi)
2. Dane Çapı Dağılımı (Granülometri) Deneyi (Elek Analizi Deneyi)
3. Atterberg Deneyi (Kıvam Limitleri Deneyi)
4. Standart Proktor (Kompaksiyon) Deneyi
5. İkinci aşama aşamada yapılan deneyler:
6. Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)
7. Tek Yönlü Konsolidasyon Deneyi

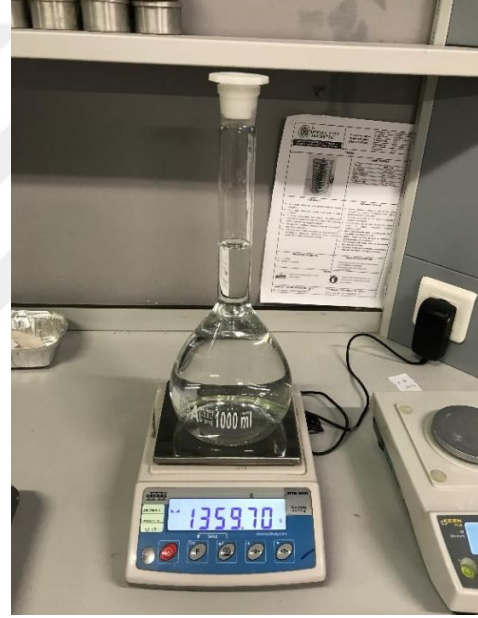
4.2.1 Tane Yoğunluğu Deneyi (Özgül Ağırlık Deneyi)

Özgül ağırlık deneyi TS 1900-1'e göre gerçekleştirilmiştir. Amaç ince taneli olan kumlu kil malzemesinin bağıl yoğunluğunun ölçülmesidir. Deney iki defa tekrarlanmıştır.

Bağıl yoğunluk şişesi $105\pm 10^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki etüvde kurutulur, desikatörde soğutulur ve 0.001 g hassasiyetinde tartılır (M_1). Elde edilen numune tekrar $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki etüvde kurutulur ve soğumaya bırakıldığı desikatörden alınan numunenin en az 10 g kütlesi bağıl yoğunluk şişesine alınır.

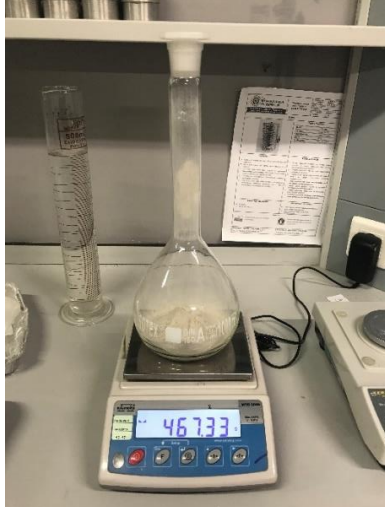


Şekil 4.2: Bağıl Yoğunluk Şişesinin Tartılması (M_0)

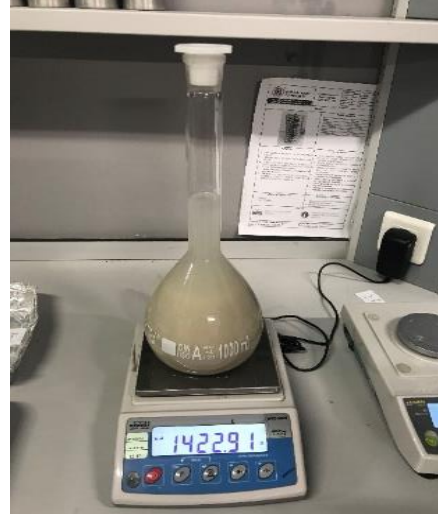


Şekil 4.3: Bağıl Yoğunluk Şişesinin+Kontrol Sıvısının Tartılması (M_1)

Şişe + şişenin kapağı + zemin üçü birlikte 0.001 g hassasiyetle tartılır (M_2). Şişe içerisindeki numuneyi kaplayacak miktarda, havası alınmış damıtık su eklenir. Daha sonra şişe, içinde bulunan su ve numuneye beraber vakum nem alıcı kaba konularak 760 mm eşdeğer civa basıncına düşürülür.



Şekil 4.4: Bağlı Yoğunluk Şişesi+Kuru Numunenin Tartılması (M_2)



Şekil 4.5: Bağlı Yoğ. Şişesi+Kontrol Sıvısı+Kuru Numunenin Tartılması (M_3)

Bu işlem sırasında zemin içindeki hava kabarcıklarının şiddetli köpürmemesine dikkat edilmelidir. Hacim şişesi, numunedeki hava çıkışı sonlanana kadar desikatörde bekletilir. Vakumlama işlemi bitince desikatörün kapağı açılır. Şişenin içerisindeki numune cam bir çubukla dikkatlice karıştırılır ve şişe çalkalanır. Cam çubuğun şişeden çıkarılmadan önce, cam çubuk üzerine yapışmış zemin taneleri havası alınmış damıtık suyla yıkanır. Desikatörün konup kapağı kapatılır ve yeniden vakum uygulanarak hava kabarcıklarından arındırılır. Hacim şişesi desikatörden çıkarılıp havası alınmış damıtık su ile doldurulup kapağı kapatılarak, kadar su banyosu içerisine yatırılır. Yaklaşık olarak 1 saat banyonun sıcaklığına ($20\pm 1^\circ\text{C}$) gelene kadar bekletilir. Şişe içerisindeki sıvıda gözle görülür bir azalma olursa, işaret çizgisine gelinceye kadar hacim şişesi doldurulup kılcal borusundan taşacak seviyeye kadar havası alınmış damıtık su ilave edilir ve kapak kapatılır. Şişe kapağı kapalı şekilde banyodan çıkarılır ve şişenin dışı güzelce kurulandıktan sonra 0.001 g hassasiyetle tartılır (M_3). Şişenin içindekiler boşaltılır, şişe temizlenir ve deney sıvısı ya da havası alınmış damıtık su ile işaret çizgisine kadar doldurulur, kapağı kapatılır ve su banyosunda 1 saat süreyle deney için seçilmiş sıcaklığına erişene kadar bekletilir. Şişe banyodan çıkarılır ve dış yüzeyi kurulandıktan sonra 0.001 g hassasiyetle tartılır (M_4). Buna göre ikinci numune üzerinde de aynı işlemler tekrarlanıp bu şekilde iki özgül ağırlık değeri bulunmuş olur.



Şekil 4.6: Su Sıcaklığının Ölçülmesi



Şekil 4.7: Numunenin Hava Kabarcıklarından Arındırılması İçin Vakumlanması

Elde edilen iki değerin ortalaması, zemin tanelerinin bağıl yoğunluğu olarak kabul edilir. (TS 1900-1).

1. numune = 109,74 gram (%30 kum + %70 kil)
2. numune = 109,90 gram (%30 kum + %70 kil)

Hesaplamalar:

Zemin tanelerinin özgül ağırlığı (G_s) aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$G_s = \frac{\gamma_L (M_2 - M_1)}{\gamma_w [(M_4 - M_1) - (M_3 - M_2)]} \quad (4.1)$$

Burada;

- M_1 : Yoğunluk şişesinin ağırlığı (g)
- M_2 : Şişe ile kuru zeminin ağırlığı (g)
- M_3 : Şişe, zemin ve sıvının ağırlığı (g)
- M_4 : Şişenin sadece sıvı ile dolu ağırlığı (g)
- γ_L : Kullanılan sıvının deney sıcaklığında yoğunluğu (g/cm^3)
- γ_w : Suyun deney sıcaklığında yoğunluğu (g/cm^3)

Çizelge 4.1: 1.Numune özgür ağırlık deneyi sonuçları

1. NUMUNE	
Piknometrenin kütlesi , m_0 (gr)	363,500
Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi , m_1 (gr)	1359,430
Kuru Numune ile Birlikte Piknometrenin Kütlesi, m_2 (gr)	467,540
Kuru Numune ve Kontrol Sıvısı ile Dolu Piknometrenin Kütlesi , m_3 (gr)	1423,62
Deney Numunesinin Kuru Kütlesi (m_4)= (m_2-m_0) (gr)	104,04
Kontrol Sıvısının m_1 kütlesinin belirlendiği sıcak. yoğunluğu (p_{L1})	0,99802
Kontrol Sıvısının m_3 kütlesinin belirlendiği sıcak. yoğunluğu (p_{L3})	0,99802
Zemn Danelerin Yoğ. (Mg/m^3) $P_s=((m_4)/((m_1-m_0)/p_{L1}-(m_3-m_2)/p_{L3}))*10^9$	2,606

Çizelge 4.2: 2.Numune özgür ağırlık deneyi sonuçları

2. NUMUNE	
Piknometrenin kütlesi , m_0 (gr)	363,430
Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi , m_1 (gr)	1359,700
Kuru Numune ile Birlikte Piknometrenin Kütlesi, m_2 (gr)	467,330
Kuru Numune ve Kontrol Sıvısı ile Dolu Piknometrenin Kütlesi , m_3 (gr)	1422,91
Deney Numunesinin Kuru Kütlesi (m_4)= (m_2-m_0) (gr)	103,90
Kontrol Sıvısının m_1 kütlesinin belirlendiği sıcak. yoğunluğu (p_{L1})	0,99802
Kontrol Sıvısının m_3 kütlesinin belirlendiği sıcak. yoğunluğu (p_{L3})	0,99802
Zemn Danelerin Yoğ. (Mg/m^3) $P_s=((m_4)/((m_1-m_0)/p_{L1}-(m_3-m_2)/p_{L3}))*10^9$	2,548

$$G_s = (G_{s1} + G_{s2}) / 2 = (2,606 + 2,548) / 2 = 2,577 \text{ (Mg/m}^3\text{)} \quad (4.2)$$

Kil + kum karışım oranının özgül ağırlığı 2,58 Mg/m³ olarak belirlenmiştir.

4.2.2 Dane Çapı Dağılımı (Granülometri) Deneyi (Elek Analizi Deneyi)

Bu metot, bir zeminde ince kum boyutunda ve daha iri danelerin dane çapı dağılımının belirlenmesi ile ilgili olup; zemindeki kil ve siltin toplam miktarı da bu deney sonuçlarından hesaplanır (TS 1900-1).

Çizelge 4.3: TS 14688-1' e göre malzeme aralıkları

çakıl	$2,0 < tb \leq 63$	TS 14688-1
kum	$0,063 < tb \leq 2,0$	
silt	$0,002 < tb \leq 0,063$	
kil	$tb \leq 0,002$	

Deneyde, 500,72 g (%30 kum + %70 kil) kum + kil numunesi kullanılmıştır.

Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna (TS 1900-1)'e uygun olarak elde edilen $105\pm 10^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde kurutulmuş numune, toplam ağırlığının %0,1' ne eşit bir duyarlılıkla tartılır.



Şekil 4.8: Elek Analizi Deneyi İçin Kum Malzemesi



Şekil 4.9: Elek Analizi Deneyi İçin Kil Malzemesi

Etüvde kurumuş malzemenin 75 mm' lik elekten geçen bölümü uygun ağırlıkta bir numune elde edilene kadar yarılama metoduyla azaltılır. Elekten geçemeyen iri taneler üzerindeki ince malzeme temizlenene kadar tel veya benzeri sert bir fırça ile fırçalanır. Temizlenen bu iri taneler yumuşak yapılı ise temizleme işlemi sırasında kendi yapılarından parça kopmamasına özen gösterilmelidir. Elde edilen numune 0.01 g hassasiyetle tartılır ve bulunan değer kaydedilir.

Yarılama/çeyrekleme metodu ile elde edilmiş numune, geniş bir kaba boşaltılarak üzerini örtecek şekilde su konur ve bekletilir (2-24 saat). Numuneyi örtmekte kullanılan suyun her bir litresi için 2 g sodyum heksametafosfat (NaPO_3) katılır. Heksametafosfat numunenin ayrışması için katılır.

Zeminin tümüyle ıslanması için; en az 1 saat süreyle ara sıra karıştırılır. Daha sonra üstüne 2 mm'lik bir elek takılmış kum-ince malzeme sınırını veren $75\mu\text{m}$ elekten süzülür ve geçen malzeme dökülür. Elekten geçen su hemen hemen duru olana kadar yıkama işlemi sürdürülür. Eleklerde kalan malzemelerin hepsi tepsilere boşaltılarak $105\pm 10^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta etüvde konularak kurumaya bırakılır.

Etüvde kurutulan malzeme hazırlama işlemi sırasında iki kısma ayrılır. Bir kısım 10 numaralı (2,00 mm) eleğin üzerinde tutulu bulunan danecikleri içerirken diğer kısım yalnızca 10 numaralı eleğin içinden geçenleri içerir. Numune gerekli bir elek

serisinden kuru olarak eleme yapılır. Her elekte üstünde kalan malzeme miktarı tartılır. Deneylerde kullanılan eleklerde kalan malzeme ağırlıklarının toplamının toplam ağırlıktan çıkarılması ile kum-ince malzeme sınırını veren elekten geçen malzemenin miktarı, elde edilmiş olur.



(a)

(b)

Şekil 4.10: Elek analizi deneyinde kullanılan; (a) elek serisi ve (b) eleme işlemi



(a)

(b)

(c)

Şekil 4.11: Elek analizi deneyinde yıkama+etüv+eleme işlemleri

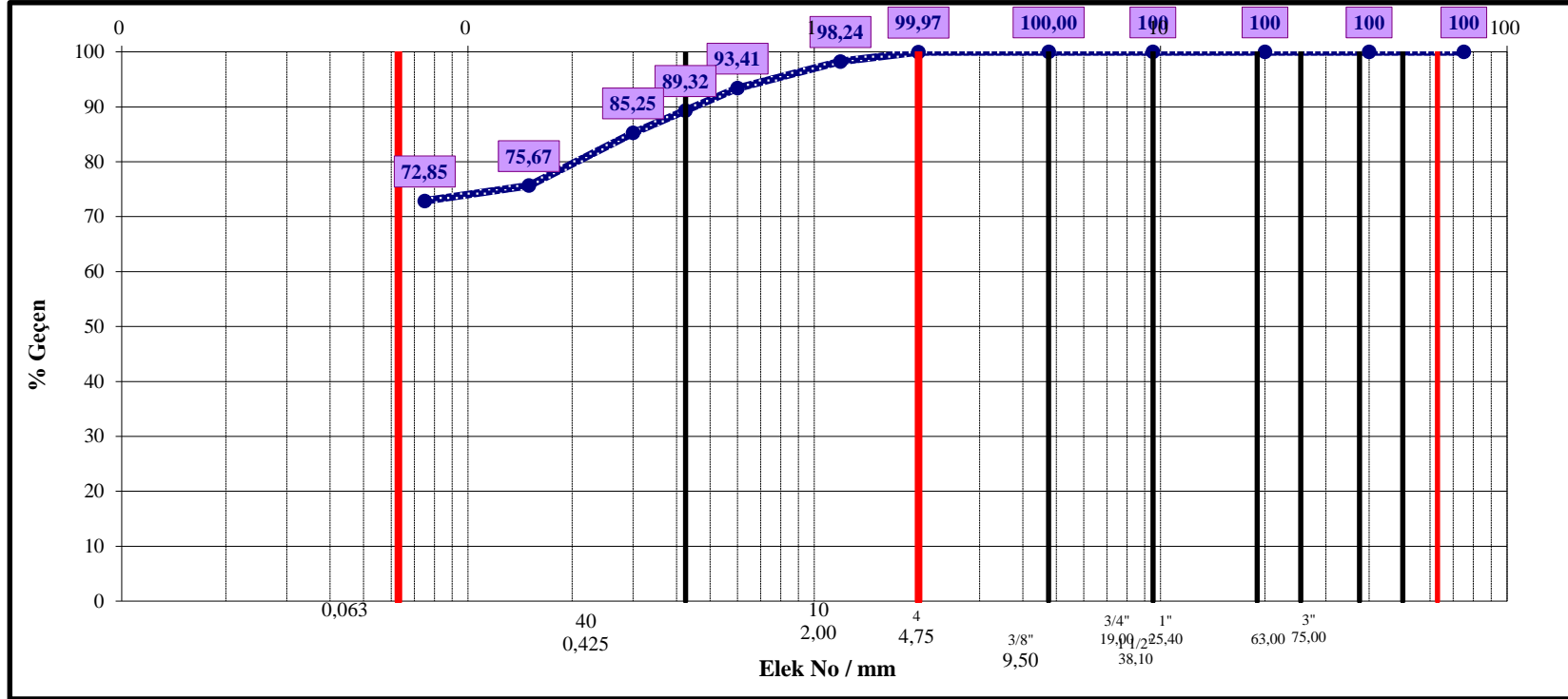
Hesaplamalar:

Çizelge 4.4: Yıkamalı eleme sonucu kum miktarı

Kuru Numune Ağırlığı	500,72	Kum + Kil
Yıkamadan Sonraki Kuru Numune Ağırlığı	140,34	Kum

Çizelge 4.5: Elek serisinden eleme sonucu elde edilen sonuçlar

ELEK NO	ELEKTE KALAN (gr)	TOPLAM KALAN (gr)	TOPLAM GEÇEN (gr)	TOPLAM GEÇEN (%)	ELEK AÇIKLIĞI (mm)
1,5"	0,00	0,00	500,7	100	40
	0,00	0,00	500,7	100	20
	0,00	0,00	500,7	100	9,5
4	0,00	0,00	500,72	100,00	4,75
10	0,16	0,16	500,56	99,97	2
	8,65	8,81	491,91	98,24	1,19
	24,18	32,99	467,73	93,41	0,600
40	20,50	53,49	447,23	89,32	0,425
	20,38	73,87	426,85	85,25	0,300
	47,96	121,83	378,89	75,67	0,150
#200	14,10	135,93	364,79	72,85	0,075
PAN	2,57				



Şekil 4.12: Eleme sonucu elde edilen değerlerin grafikte gösterimi

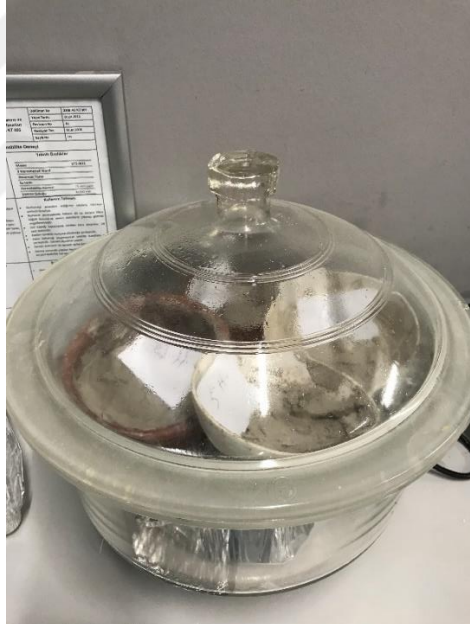
Grafik sonucu kum miktarı 27,18 (%), kil miktarı 72,82 (%) olarak elde edilmiştir.

4.2.3 Atterberg Deneyi (Kıvam Limitleri Deneyi)

4.2.3.1 Likit Limitin Çarpmalı Cihazla Tayini

Likit limit, zeminin likit limit deneyiyle ölçülen, plastik durumdan akıcı duruma geçtiği andaki su muhtevasıdır. Bu deneyde Casagrande likit limit aletinde 25 vuruşa denk gelen 13 mm'lik kapanma likit limiti vermektedir (TS 1900-1, 2006).

Elenmiş numune iyice karıştırılır. Bu malzeme üzerine yavaş yavaş saf su eklenerek zemin homojen ve macun kıvamına gelene dek derin bir porselen kap içinde spatula ile karıştırılır. Daha sonra bu macun kıvamındaki zemin desikatör içerisine 24 saat boyunca suyun zemin içerisinde tamamen yayılması için dinlendirilmeye bırakılır.



Şekil 4.13: Likit limit deney numunelerinin desikatörde bekletilmesi

Kürünü tamamlamış olan numune desikatörden alınarak tekrar spatula ile iyice karıştırılır. Bir miktar daha damıtık su ilave edilir ve karıştırılır. Hazırlanan bu macun kıvamındaki zeminden bir parça alınarak likit limit aletinin yarım küre kapağı içine en büyük yüksekliği 1 cm olacak şekilde sıvanır. Yerleştirme sırasında pirinç kabın tabana oturmasına ve numune içinde hava kabarcıkları kalmamasına özen gösterilir. Oluk açma bıçağı kullanılarak zemin belirgin bir biçimde iki eşit kısma bölünür.

Yatay kol döndürülerek zeminin iki parçasının oluk tabanında 13 mm boyunca birleşmesini sağlayacak darbe sayısı saptanır. Oluk tabanındaki kapanma zeminin kayması biçiminde değil, zeminin akarak kapanması ile olmalıdır. Kapanan bölgeden yaklaşık 10 g numune spatula ile alınır ve su içeriği tayini için metal kabayerleştirilir ve etüve konulur.

Pirinç kabın içerisindeki numune tamamen alınarak önceki porselen kabına konulur. Pirinç kap tamamen temizlenir ve kurularak bir sonraki deneye hazır hale getirilir. Aynı numune kullanılıp su içeriği sürekli artırılarak benzer işlemler toplam olarak en az beş defa uygulanır. Başlangıçta seçilen su ve deney sırasında eklenen su ölçüleri, elde edilen düşüş sayılarının 10 ilâ 50 arasında aynı aralıklarda dağılacak şekilde (ilk işlemde oluk 25-35 darbe ile kapanacak şekilde) ayarlanmalıdır. Deney, numunenin su muhtevası artırılarak yani kurudan daha yaşa doğru gidecek şekilde yapılır. Her deney sonrasında spatula ve oluk açma bıçağı ve pirinç kap temizlenip aynı şekilde devam edilir.



(a)



(b)

Şekil 4.14: Likit limit deneyi yapım aşamaları

4.2.3.2 Plastik Limitin Tayini ve Plastiside İndisinin Bulunması Deneyi

Plastik limit ise kurumakta olan bir zeminin plastik limit deneyiyle ölçülen, plastiklik özelliğini yitirdiği andaki su muhtevasıdır.

Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması yöntemine (TS 1900-1) uygun olarak elde edilmiş 425 milimikron elekten geçen malzemedan yaklaşık 20 g dolayında bir numune alınır. Açıkta kurutulmuş zemin, homojen bir kıvam alınca ve elle sıkıldığı zaman kolayca yuvarlak bir şekil alacak plastik olana kadar cam plaka üzerinde damıtık suyla iyice karıştırılıp yoğrulur. Hazırlanmış numune yaklaşık olarak iki eşit parçaya bölünür.

Küre şeklindeki numune silindirik bir makarna şeklini alana değin cam plaka ile el ayası arasında (elinin ileri geri hareketi dakikada 80-90 hareket yapacak şekilde) yuvarlanır. Numunenin çapının tam 3 mm' ye indiği anda (3 mm çapındaki metal çubuk karşılaştırma amacıyla kullanılabilir), yuvarlanan zeminde çatlayıp dağılmalar görülene kadar işleme devam edilir. Metal çubuk ile çapın belirlenmesi için numuneyle karşılaştırma işlemi yapılır. Bu işlemde yuvarlama hızı ve basıncı daima aynı kalmalıdır. Zemin çubukları 3 mm çapında silindir şeklinde çubuklar haline gelmeden çatlamalar oluşursa numune üzerine çok az miktarda damıtık su ilave edilerek yoğrulur ve aynı işlem tekrarlanır.

İşlem sonunda numunenin parçaları alınıp numune kabına konup su muhtevası ölçülür. Bütün bu işlemler aynı numune üzerinde iki kez daha yinelenerek, iki su içeriği belirlemesi daha yapılır. Bu şekilde en az üç deney yapılır. Bulunan bu üç su içeriği değerinin ortalaması zeminin plastik limitidir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.15: Plastik limit deneyi yapım aşamaları

Hesaplamalar:

Bu deneylerden daha doğru ve kesin bir sonuç alabilmek için likit limit ve palastik limit deneyleri 3 defa tekrarlanıp çıkan sonuçların ortalaması alınmıştır.

Çizelge 4.6: Likit limit 1.deney sonucu elde edilen veriler

LİKİT LİMİT					
Kap No	Kap Ağırlığı (gr)	K+ Islak Zemin (gr)	Kap+ Kuru Zemin (gr)	Su Muhtevası (%)	Vuruş Sayısı
B4	29,99	45,63	40,10	54,61	17
B5	31,04	50,26	43,69	51,91	21
B7	28,03	40,08	36,02	50,68	28
B10	28,04	42,80	37,88	49,88	35
B9	29,10	45,37	40,13	47,50	38

Çizelge 4.7: Likit limit 2.deney sonucu elde edilen veriler

LİKİT LİMİT					
Kap No	Kap Ağırlığı (gr)	K+ Islak Zemin (gr)	Kap+ Kuru Zemin (gr)	Su Muhtevası (%)	Vuruş Sayısı
B5	31,02	46,62	41,50	48,90	36
A5	23,76	44,50	37,22	54,10	13
B6	30,29	51,37	44,33	50,12	27
B11	29,65	46,52	41,20	46,10	43
B7	27,96	50,46	43,06	48,97	30

Çizelge 4.8: Likit limit 3.deney sonucu elde edilen veriler

LİKİT LİMİT					
Kap No	Kap Ağırlığı (gr)	K+ Islak Zemin (gr)	Kap+ Kuru Zemin (gr)	Su Muhtevası (%)	Vuruş Sayısı
L12	69,25	96,07	86,79	52,92	26
L11	56,25	83,66	74,21	52,62	35
L10	55,25	83,98	73,88	54,21	20
L9	56,63	84,40	74,88	52,16	33
L8	53,35	79,23	70,15	54,05	21

Çizelge 4.9: Plastik limit 1.deney sonucu elde edilen veriler

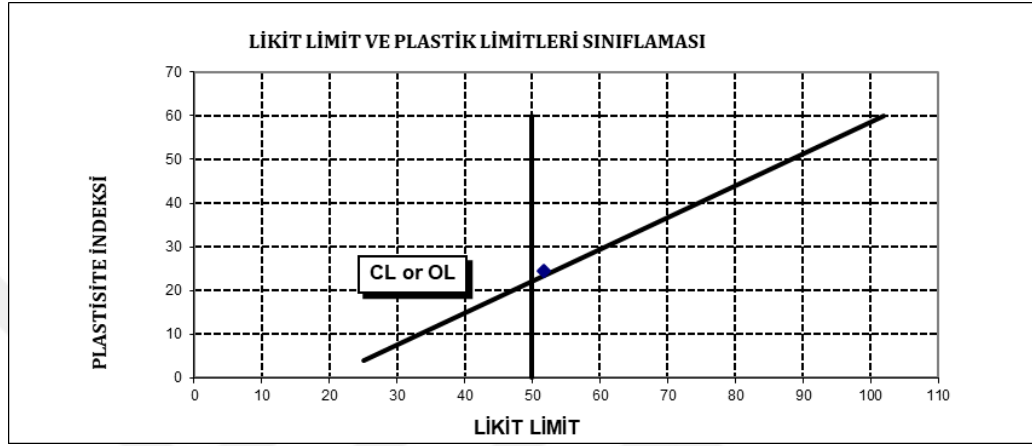
PLASTİK LİMİT				
Kap No	Kap Ağırlığı (gr)	K+ Islak Zemin (gr)	Kap+ Kuru Zemin (gr)	Plastik Limit
L9	29,66	42,35	39,49	29,06
L2	32,27	43,63	41,39	24,49
L11	29,15	41,88	39,11	27,73

Çizelge 4.10: Plastik limit 2.deney sonucu elde edilen veriler

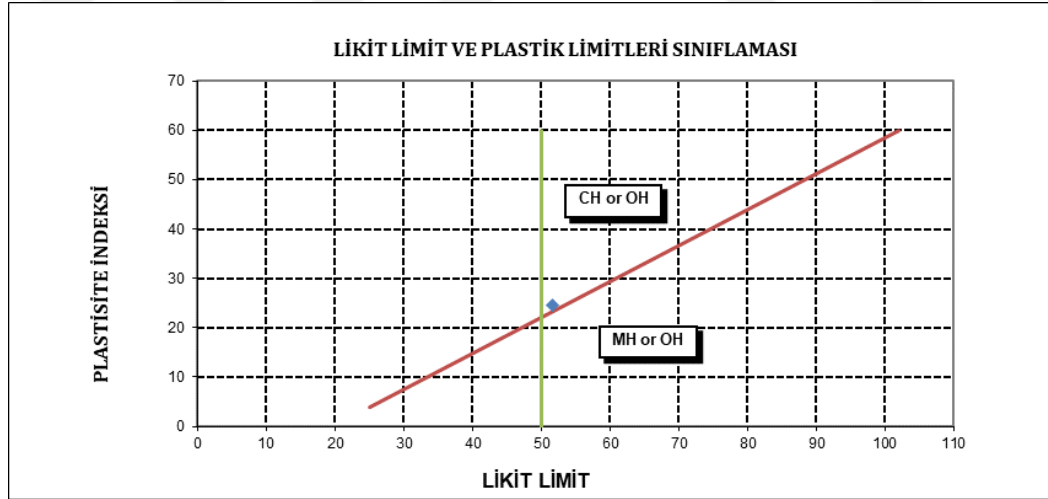
PLASTİK LİMİT				
Kap No	Kap Ağırlığı (gr)	K+ Islak Zemin (gr)	Kap+ Kuru Zemin (gr)	Plastik Limit
B8	32,25	43,67	41,40	24,78
B12	31,71	43,15	40,99	23,28
B13	29,16	40,80	38,50	24,57

Çizelge 4.11: Plastik limit 3.deney sonucu elde edilen veriler

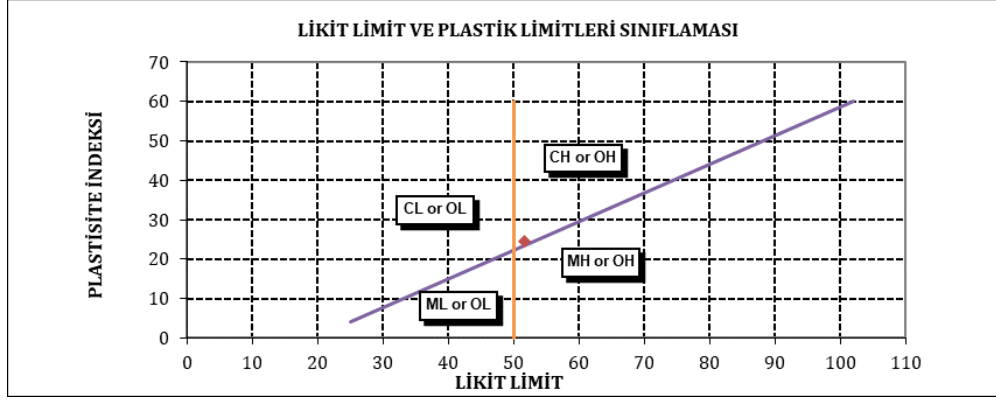
PLASTİK LİMİT				
Kap No	Kap Ağırlığı (gr)	K+ Islak Zemin (gr)	Kap+ Kuru Zemin (gr)	Plastik Limit
L6	57,84	84,37	78,95	25,68
L5	54,01	85,25	79,12	24,41
L4	60,05	86,11	80,78	25,71



Şekil 4.16: Likit limit ve plastik limitleri 1.deney sonuçlarına göre sınıflandırma grafiği

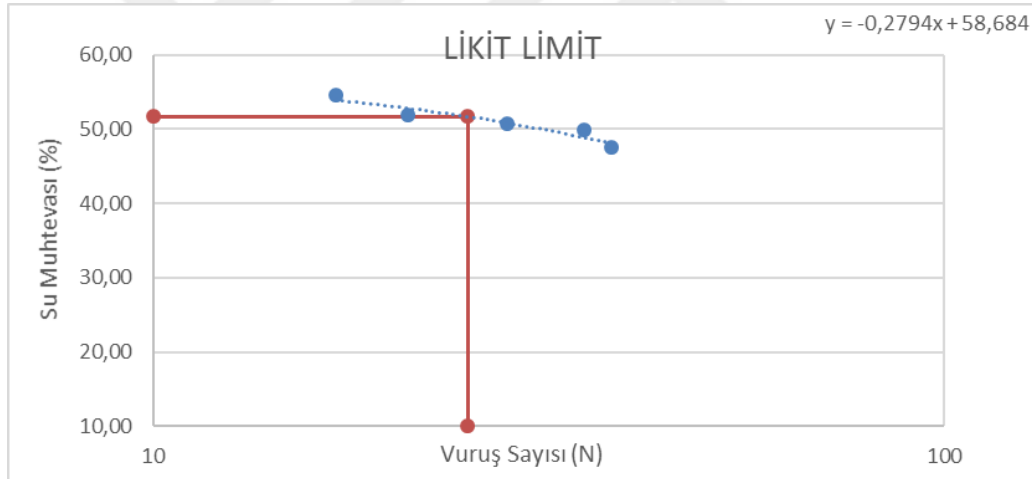


Şekil 4.17: Likit limit ve plastik limitleri 2.deney sonuçlarına göre sınıflandırma grafiği

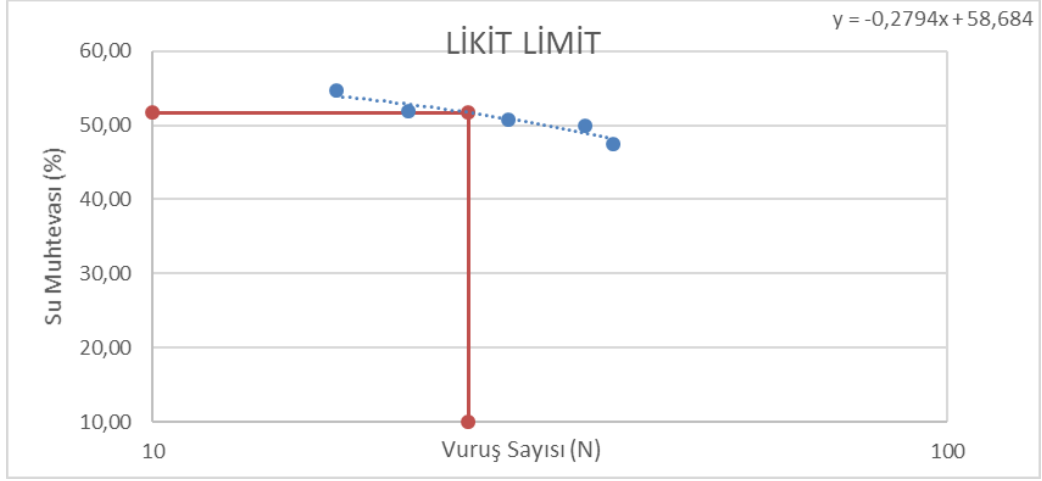


Şekil 4.18: Likit limit ve plastik limitleri 3.deney sonuçlarına göre sınıflandırma grafiği

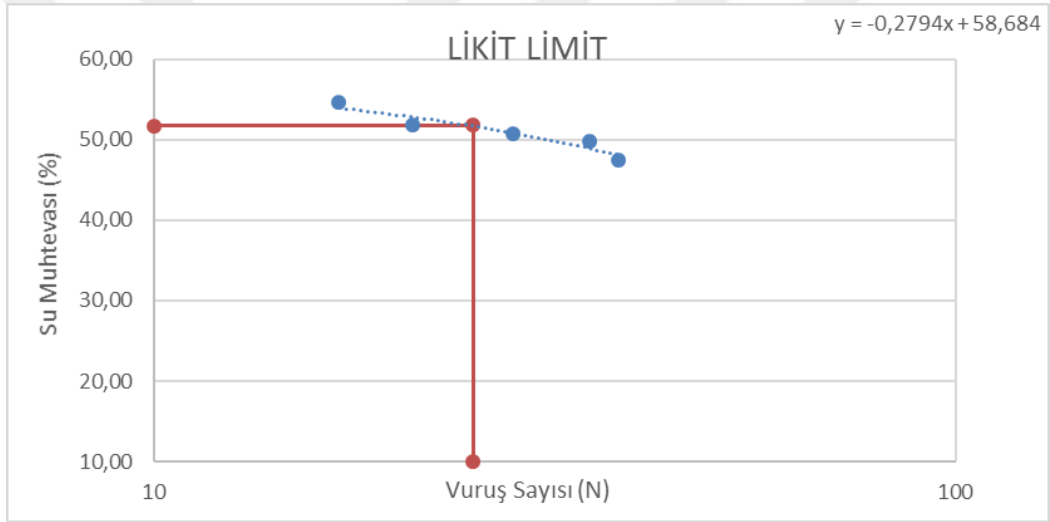
Grafiklerde görüldüğü gibi 3 deneyde de likit limit ve plastik limit birleşim noktasının CH bölgesinde olduğu görülmüştür. Aşağıda son olarak 25 vuruşa denk gelen optimum su muhtevasının likit limit değerini veren grafikleri çizilmiştir.



Şekil 4.19: 1. deney sonucu likit limit değeri



Şekil 4.20: 2. deney sonucu likit limit değeri



Şekil 4.21: 3. deney sonucu likit limit değeri

Tablo ve grafiklerden alınan verilere göre plastisite indisi aşağıdaki hesaplanmıştır;

Plastisite indisi (PI) = Likit limit (LL)- Plastik limit (PL)

$$I_p = w_L - w_p \quad (4.3)$$

Çizelge 4.12: 1.-2.-3. deney sonuçlarına göre plastisite indisi ve zemin grubu

SONUÇLAR-1		SONUÇLAR-2		SONUÇLAR-3	
LİKİT LİMİT	51,70	LİKİT LİMİT	50,86	LİKİT LİMİT	53,44
PLAS. LİMİT	27,09	PLAS. LİMİT	24,21	PLAS. LİMİT	25,27
Ip:	24,61	Ip:	26,65	Ip:	28,17
ZEM.GRUBU	CH	ZEM.GRUBU	CH	ZEM.GRUBU	CH

Çizelge 4.13: 1.-2.-3. deney sonuçlarına göre ortalama plastisite indisi ve zemin grubu

ORTALAMA SONUÇLAR	
LİKİT LİMİT	52,00
PLAS. LİMİT	25,52
Ip:	26,47
ZEM.GRUBU	CH

Deney sonucunda alınan değerlerin ortalamasına göre zemin grubu yüksek plastisiteli kil (CH) olarak belirlenmiştir.

4.2.4 Standart Proktor (Kompaksiyon) Deneyi

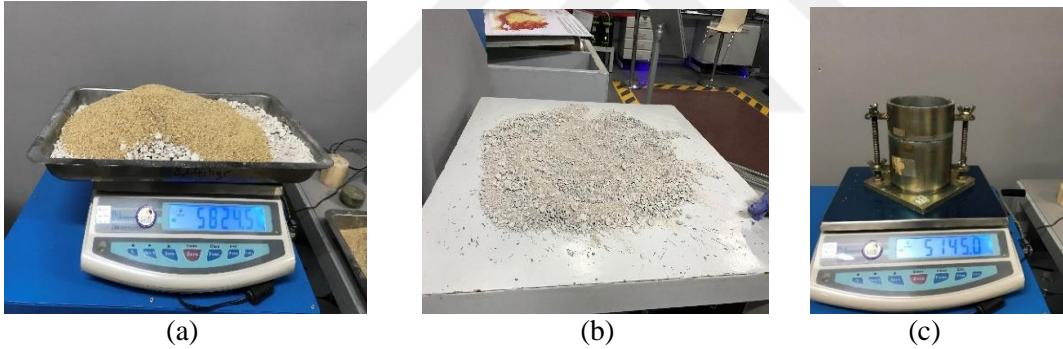
Bu deneyde, belirli bir metotla sıkıştırılmış zemindeki maksimum kuru birim hacim ağırlığı veren su muhtevası bulunmuştur. Optimum su muhtevası belirli bir mekanik enerji uygulayarak sıkıştırılan zeminde, maksimum kuru birim hacim ağırlığı sağlayan su muhtevasıdır. Maksimum kuru birim hacim ağırlık, optimum su muhtevasındaki bir zemine belirli bir sıkıştırma enerjisi uygulanarak elde edilen kuru birim ağırlıktır (TS 1900-1, 2006).

Çizelge 4.14: Deneyde kullanılması gereken kalıp ve eleklerin seçim kuralları (TS 1900-1).

	Kullanım şartı	Kullanılan malzeme	Kalıp (iç boyutları)	Tabaka sayısı	Her tabakaya vuruş sayısı
A	% 20 ve daha az malzeme 4,75 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	4,75 mm'lik elekten geçen	Çapı: 105,0 mm Boy: 115,5 mm	Üç	25
B	% 20 ve daha fazla malzeme 4,75 mm'lik elekte kalıyor ve % 20 ve daha az malzeme 9,5 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	9,5 mm'lik elekten geçen	Çapı: 105,0 mm Boy: 115,5 mm	Üç	25
C	% 20'den daha fazla malzeme 9,5 mm'lik elekte kalıyor ve % 30 ve daha az malzeme 20 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	20 mm'lik elekten geçen	Çapı: 152,4 mm Boy: 115,5 mm	Üç	56

Kullanılan zemin A sınıfına girmekte (TS 1900-1, 2006).

Deneyde %70 oranında kil + %30 oranında kum olmak üzere toplam 5000 kg numune hazırlanır. Boş mola ve alt tablası birlikte 1 g duyarlılıkta tartılır.



Şekil 4.22: Kompaksiyon deney numunesinin hazırlanması ve mola tartılması

Hazırlanmış numune geniş tavaya serilir ve avuç içine alındığında ve sıkıldığında dağılmayacak duruma gelinceye kadar saf su ile homojen bir şekilde karıştırılır. Gerekliğinde zemin numuneleri nem odasında kür için belli bir süre bekletilirler. Kompaksiyon mola (kalıp) sert bir yüzeye konur. Zemin numunesi mümkün olduğu kadar birbirine eşit ağırlıkta üç tabaka halinde kompaksiyon silindirinin içine serilir. Mola içine konduğunda 5-7 cm yükseklikte bir tabaka oluşturacak ölçüde malzeme alınır ve üst ucuna yakası takılmış mola içine konur. Mola içindeki malzemenin yüzeyi hafifçe bastırılarak düzeltilir.

Her bir tabaka 305 mm serbest düşüş yapan tokmakla 25 darbe uygulanarak sıkıştırılır. Her tabakada darbelerin düzgün dağılmasına, tokmağın düşey olarak tutulmasına ve kılavuz tüpünün tokmağın serbest düşüşünü engelleyecek biçimde, zeminle tıkanmamasına özen gösterilmelidir. Tokmakla yapılan vuruşlar seri olarak yapılıp ve 25 vuruş yaklaşık olarak 35 sn'de tamamlanır. Sıkıştırılmış bu tabakanın üstü bıçak ya da ıspatula ile hafifçe çizilir. Yeterli ölçüde malzeme molta konarak aynı işlem tekrarlanır.

Sonuçta molt içinde sıkıştırılmış bu üç eşit tabakanın toplam yüksekliği molt yüksekliğinden fazla olmalıdır. Son tabaka sıkıştırıldıktan sonra moltun üst yükleme halkası (yaka) çıkartılır. İlave yaka çıkarıldığında sıkıştırılmış haldeki son tabakanın silindirik kaptan yukarıya taşan kısmı 6 mm'yi geçmemeli. Düzgün bir çelik cetvel ve bıçak kullanılarak fazla olan sıkıştırılmış numune kesilir. Molt alt tabladan çıkarılır. Metal bir tepsiye yerleştirir. Numune ve molt birlikte 1 g duyarlıklılı terazide tartılır ve yazılır. Numune, molttan numune çıkarma aygıtına takılarak çıkarılır ve büyükçe bir metal kaba konur. Su içeriği belirlemesi için yaklaşık 100 g numune alınır ve sıkıştırılmış silindirik numunenin su muhtevası olarak kaydedilir. Molttan çıkarılan numune parçalanır, elle ovalayarak ilgili elekten geçecek şekilde ufalanır, tavada kalan önceki malzeme ile karıştırılır.

Yukarıda anlatılan sıkıştırma yöntemi aynen ve her defa malzemenin su içeriği %4 oranında kademe kademe arttırılarak beş kez yani malzeme en son durumda iyice ıslak ve çamurumsu bir duruma gelinceye dek uygulanır. İlk adımda numune miktarının %4' ü kadar su katılmıştır. Sırasıyla %8, %12, %16 ve %20 oranında su katılmıştır. %20 de optimum su muhtevasına ulaşılmıştır. Kalıp+sıkıştırılmış numune ağırlığının azalmaya başlaması halinde maksimum kuru birim hacim ağırlığa ulaşılmış demektir.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.23: Kompaksiyon deneyi yapım aşamaları

Hesaplamalar:

$$\gamma_n = \frac{w_2 - w_1}{V} \times 9.81 \text{ (kN/m}^3\text{)} \quad (4.4)$$

Burada;

W_1 : Kalıp ve tabanın ağırlığı (g)

W_2 : Kalıp, tabanı ve sıkıştırılmış zemin ağırlığı (g)

V : Silindirik kompaksiyon kalıbın iç hacmi (cm^3) (genellikle $V \cong 943 \text{ cm}^3$)

$$\gamma_k = \frac{100 \gamma}{100 + w} \text{ (kN/m}^3\text{)} \quad (4.5)$$

Çizelge 4.15: Kompaksiyon deneyi sonucu kuru birim hacim ağırlık değerleri

Kap No	Kuru Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³) (γ_k)				
	1	2	3	4	5
Kalıp + Numune Ağırlığı (g)	3396,3	3575,6	3638	3542	3516
Sıkıştırılmış Numune Ağırlığı (g)	1558,8	1738,1	1800,5	1704,5	1678,5
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	1,651	1,841	1,907	1,806	1,778
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	1,568	1,609	1,618	1,569	1,497

$$\gamma_k = \frac{\left(1 - \frac{V_a}{100}\right)}{\frac{1}{G_s} + \frac{w}{100}} \quad (4.6)$$

eşitliğinden yararlanılır.

Burada;

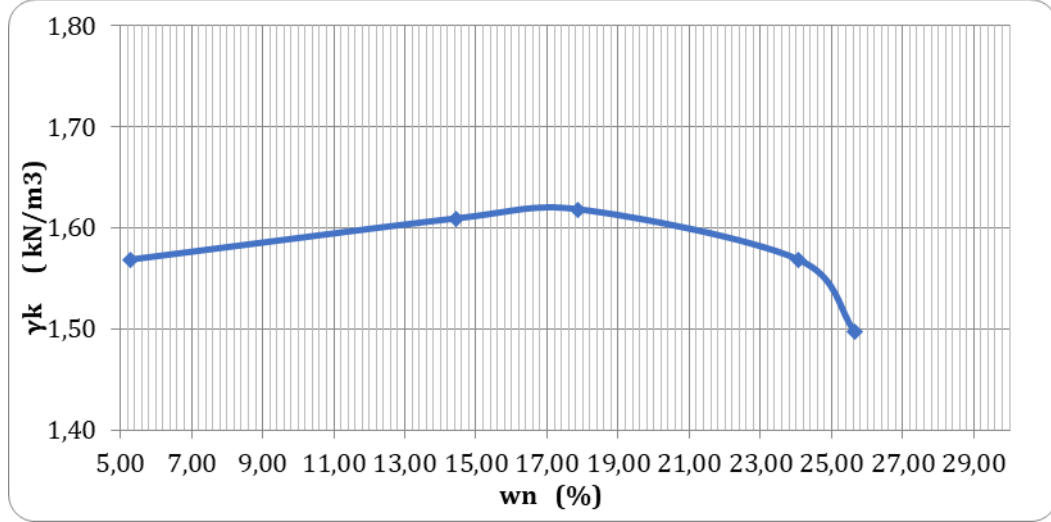
w : Numunenin su içeriği (%)

V_a : Hava boşluğu yüzdesi,

G_s : Zemin danelerinin bağıl yoğunluğu,

Çizelge 4.16: Kompaksiyon deneyi sonucu su muhtevası değerleri

Kap No	Su Muhtevası (%) (w _n)				
	1	2	3	4	5
Yaş Numune + Kap (g)	166,18	190,62	138,4	173,56	156,64
Kuru Numune + Kap (g)	160,46	173,31	125,32	151,54	136,49
Su Ağırlığı (g)	5,72	17,31	13,08	22,02	20,15
Kap Ağırlığı (g)	52,11	53,33	52,11	60	57,96
Su Muhtevası (%)	5,28	14,43	17,87	24,06	25,66



Şekil 4.24: Standart proktor deney sonuçlarının grafikte gösterimi

Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (γ_k) = 1,62 gr/cm³

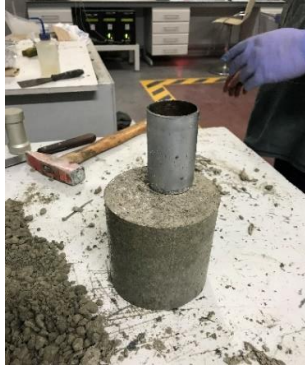
Optimum Su Muhtevası (w_n) = 17,9 (%) değerleri bulunmuştur.

Laboratuvar koşulları göz önünde bulundurularak deneylerde kullanılan su muhtevası değeri 20 (%) olarak kabul edilmiştir.

4.2.5 Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)

Bu deneyde, suya doymun kohezyonlu zeminin basınç dayanımının üç eksenli basınç cihazında; hücre basıncı 50, 100 ve 150 kPa tutularak ve su muhtevasının değişmesi önlenerek ölçülmüştür. 1.aşamada %70 kil ve %30 kum karıştırılarak 3 set deney yapılmıştır. 2.aşamada %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento eklenerek 20 set deney yapılmıştır. Bunlardan 11 seti aynı gün 9 seti de 7 gün bekletildikten sonra yapılmıştır. Eklenen çimento oranı kil ve kum oranından eşit miktarda malzeme düşürülerek eklenmiştir.

Bu deney, çapı yüksekliğinin iki katı dolayında olan silindirik deney numuneleri üzerinde yapılır. Deney numunesi hazırlamada amaç zeminin yapısını ve su muhtevasını değişikliğe uğratmadan silindir biçiminde uçları düz ve eksene dik bir numune elde etmektir. Numuneler standart proktor deneyi yapılarak hazırlanır.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



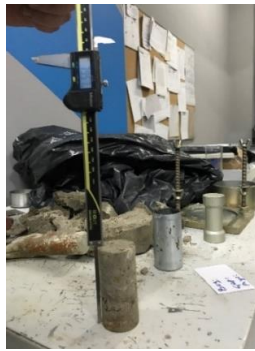
(f)

Şekil 4.25: Üç eksenli basınç deney numunelerinin hazırlanması

Hazırlanan numunenin çapı, boyu ve ağırlığı ölçülerek deney hücresinin bulunduğu yerleştirme platformuna alınır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.26: Üç eksenli basınç deney numunesinin çapının, boyunun ve ağırlığının ölçülmesi

Sırasıyla önce poros taş hücre tabanına yerleştirilir. Hücre tabanındaki poros taşın üzerine numune konur ve numunenin tavanına tekrar poros taş koyulur. En son üst metal başlık takılır. Kauçuk kılıf (mebran) üstten numuneye geçirilir ve lastik halkalar her iki uca takılır. Plexyglas hücre (üç eksenli hücresi) aletteki yerine yerleştirilir. Sabitleme çubukları kapaktaki yerlerine takılır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.27: Deneysel numunesinin üç eksenli deneysel hücresine yerleştirilmesi

Havasız alınmış saf su numunenin bulunduğu hücre içerisine hortumlar yardımı ile doldurulur. Bu işlemi yaparken üstte hava vanası açık tutulacaktır. Üst kapaktan su çıkışı gözlemlendiğinde hortumlarda hava kalmadığından emin olunacaktır ve daha sonra hortumlar soket yuvalarından çıkarılacaktır.



(a)

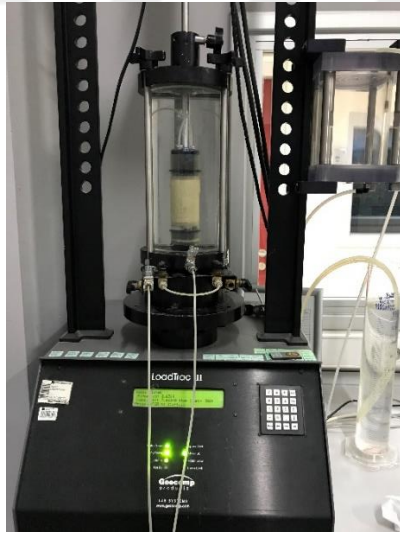


(b)

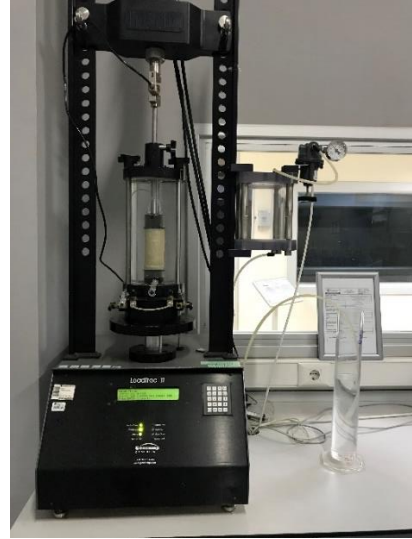
Şekil 4.28: Numunenin bulunduğu üç eksenli deneysel hücresine su doldurulması

Geocomp cihazı (Üç eksenli hücre basınç deneyi aleti) off konumundan on konumuna getirilir. Bilgisayarda ilgili program açılarak daha önce yapılmış olan herhangi bir UU deney dosyası çağırılır. Açılan pencereden deneye ait tüm bilgiler (numune boyutları, ağırlıkları, numunenin ait olduğu yer, deney tarihi, yükleme hızı ...vb) bilgiler girilir. Havası alınmış su haznesi pompa ayar düğmeleri yardımı ile doldurularak çevre basıncı veren hortum bağlantısı yapıp ekrana çevre basıncı değeri girilir. Çevre basıncı bilgisayar ekranından veya yan basınç ünitesinden hücre içerisine verilir. Yanal (çevre) deney basınçları 50 kpa, 100 kpa ve 150 kpa olarak girilir.

Cihazın üst kısmında bulunan ve numuneye verilen yükü algılayan (yaklaştırma veya kavrama bölümü) cihazın monitöründen piston yönlendirmeleri tuşları kullanılarak aşağı ve yukarı şeklinde seçilerek kavrama işleminin tamamlanması sağlanır. Deneye start verilmeden önce kalibrasyon ayarları (yük, çevre basıncı, numune basıncı, yer değiştirme,) programın açılan bölümünden yapılır. Deneye ait tüm veri girişleri kontrol edilir. Ve cihaz üst kısmında bulunan yaklaştırma vanası gevşetilmek suretiyle deney başlatılır.



(a)

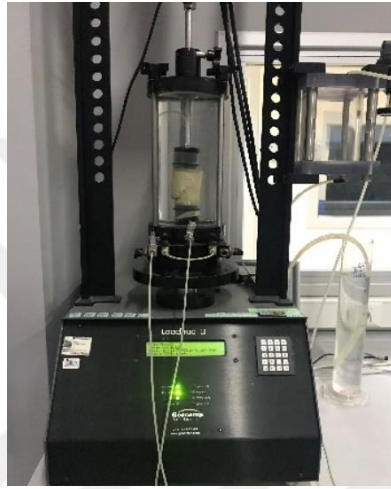


(b)

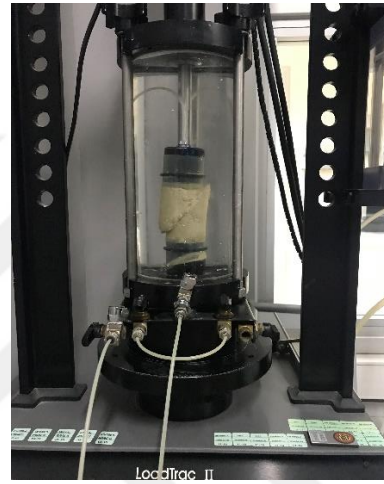
Şekil 4.29: Üç eksenli basınç deneyinin başlatılması

Hazırlanan deney numunesi üzerine program bundan sonra yüklemeye başlar ve gerilme birim boy değişimi bağıntısını belirlemeye yetecek sayıda yük göstergesi okuması ve bunlara karşılık olan kısalma okumaları alınır.

Deney, maksimum aksel gerilme değeri aşılan veya birim boy değişimi %20'ye ulaşıncaya kadar sürdürülür. Aksel yükte düşme olması numunenin kırıldığını gösterir. Deney bitiminde bilgisayar programı otomatik olarak sonlandırır. Ve ekrana “test finished” uyarısı verir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.30: Üç eksenli basınç deney sonu numunenin kırılması

Bu aşamadan sonra cihazın alt kısmında bulunan piston yönerge düğmeleri yardımı ile hücre deney platformundan alınarak hücre içerisindeki su boşaltılır. Hücre

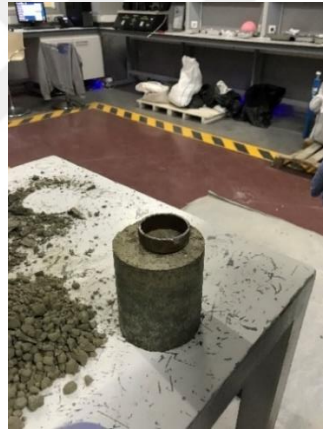
sabitlenme çubukları gevşetilerek numune membrandan çıkarılır. Test sonrası numunenin su muhtevası tayini için numune etüve konur.

4.2.6 Tek Yönlü Konsolidasyon Deneyi

Bu deney, yanal deformasyonu önlenmiş olan suya doymuş zemin numunesinin alt ve üst yüzeyinden drenajı sağlanarak düşey ve eksenel bir basınç altında sıkışma miktarı ve hızının ölçülmesini kapsar (TS 1900-1, 2006).

Uygun boyutlarda bir konsolidasyon halkası ile bir saat camı veya metal tepsi iyice temizlenir, kurulur ve 0.1 g duyarlıkta ayrı ayrı tartılır. Halkanın içi silikon gresiyle hafifçe yağlanır. Numunenin tüpten taşan bölümü, ince bir piyano teli veya zemberek teli testeresi veya ince bir bıçakla tüpün ağzıyla bir düzeyde kesilir.

Deney numunesi standart proktor deneyi yapılarak hazırlanır.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.31: Konsolidasyon deney numunelerinin hazırlanması

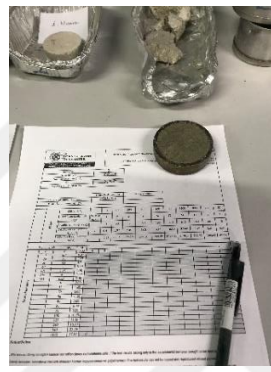
Konsolidasyon numunesinin kalınlığı ölçülür ve halka ile içindeki numune bir saat camı (veya metal tepsi) üzerine konup, vakit kaybetmeden tartılır.

Deneye başlamadan önce poröz taşlar 20-30 dakika damıtık su içinde tutularak doymun hale getirilir ve zemin numunesinden su emmesi önlenir. Yükleme halkası poröz taşın üzerine yerleştirilir.

Numunenin alt ve üst yüzeyine yerleştirilecek gözenekli diskler uygun geçirgenlik ve sağlamlıkta olmalı alt ve üst yüzeylerinin düz olmasına özen gösterilmelidir. Halkadaki numune ile gözenekli disk arasına süzgeç kâğıdı konulmalıdır.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.32: Konsolidasyon deney numunelerinin disklere yerleştirilmesi

Deney okuma saatleri düşey oturmaları veya şişme miktarını ölçebilecek biçimde yükleme halkasının üzerine yerleştirilir. Zemin numunesi doymun durumda deneye tabi tutulacaksa hücre üstteki gözenekli diskin üst yüzeyini aşan bir düzeye kadar damıtık su ile doldurulur.



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.33: Konsolidasyon deney okuma saatlerinin ayarlanması

Numune üzerinde konsolidasyon denemesine geçilir. Deney süresince yükleme sırası 12,5;25;50;100;200;400;800;1600;3200 kpa ($3200 \text{ kpa}=32 \text{ kgf/cm}^2$) dizisini takip etmelidir. Uygulanacak ilk basınç, zeminin türüne bağlı olup numunenin şişmesini önleyebilecek düzeyde olmalıdır. İlk basınç numuneye hissettirilir hissettirilmez kronometre çalıştırılır ve belirli süreler sonunda gösterge okumaları alınır ve kaydedilir. Bunlar 0;6;18;30 saniye ve 1dk; 2,25dk; 4dk; 6,25dk; 9dk; 16dk; 25dk; 36dk; 49dk; 64dk; 81dk; 100dk; 121 dakikalar, 4.saat, 9.saat ve 24.saat tir.

Basınç, deney sırasında elde edilen eğriden, zeminin birincil sıkışması sona erdiği görülene kadar değiştirilmez; Bunun için genellikle 24 saatlik bir süre uygun ve yeterlidir. Bu 24 saatlik sürenin sonunda gösterge ve kronometre okumaları alınır ve aynı süre içinde odanın en yüksek ve en düşük sıcaklıkları kaydedilir. Bundan sonra, numune üzerine etkiyen basıncı, yukarıda verilen dizideki bir üst değere arttıracak biçimde bir ağırlık eklenir ve okuma alma işlemi tekrarlanır. İlk basınç 1kg ağırlıkla başlandı. Sırasıyla 2, 4, 8, 16, 32 ve 64 kg' a kadar çıkartıldı. Yani bir önceki basıncın 2 katı olacak şekilde yapıldı (TS 1900-1, 2006).

Uygulanmış en yüksek konsolidasyon basıncı (64 kg) altındaki gösterge okumaları tamamlandıktan sonra, yükler yükleme kademelerine uygun olarak 24 saat arayla boşaltılır. Boşaltma işlemine 64 kgla başlanıp 16, 4 ve 1 kg' a kadar devam edildi. Yani boşaltma, bir önceki basıncın dörtte biri olmak üzere yapıldı. Her yük boşaltmalarında okumalar alınarak kaydedilir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.34: Konsolidasyon deneyi yükleme ve boşaltma aşamaları



Şekil 4.35: Konsolidasyon deney sonucu etülden çıkan numuneler



5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, çimento ile iyileştirmenin %30 kum ve %70 kaolin kil'den oluşan kumlu kil numunelerinin özgül ağırlık, elek analizi, kıvam limitleri ve kompaksiyon deneyleri ile mekanik özellikleri belirlendikten sonra, çimento katkısının mukavemet özelliklerine etkisini belirleyebilmek amacı ile laboratuvarında kuru ağırlığına %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento eklenerek hazırlanan numuneler üzerinde üç eksenli basınç ve konsolidasyon deneyleri uygulanmıştır. %0, %5, %10, %15 ve %20 çimento katkılı numunelerde 3'er set üç eksenli basınç ve konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. 15 set toplamda 45 adet üç eksenli basınç deneyi, 5 set toplamda 15 adet konsolidasyon deneyi yapılmıştır. %5, %10, %15, %20 çimento katkılı olarak elde edilen numunelerde 7 gün bekletildikten sonra üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. 7 günlük çimento katkılı numunelerde 12 set 36 adet üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

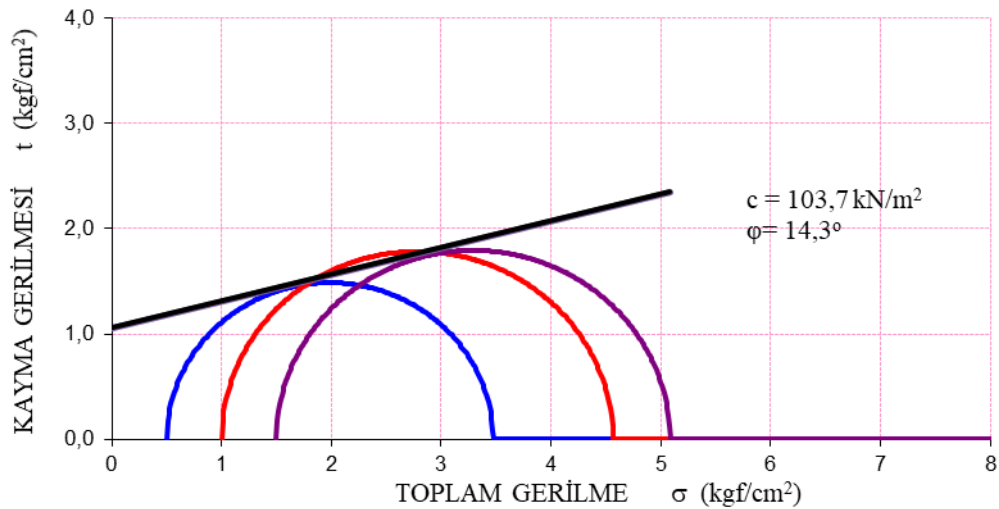
5.1 Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)

%0, %5, %10, %15 ve %20 çimento katkısının, kumlu killerin mukavemet özelliklerine etkisini belirlemek amacı ile İstanbul Aydın Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda 50 kPa, 100kPa ve 150 kPa olmak üzere üç farklı hücre basıncı kullanılarak konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) üç eksenli basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneyin yapım aşamaları bir önceki bölümde anlatılmıştır. Bu kısımda deney sonuçları anlatılmaktadır. Üç eksenli basınç deneylerinin %0, %5, %10, %15 ve %20 çimento katkılı numunelerin deney sonuçları Çizelge 5.1-5.5'de ve mohr daireleri Şekil 5.1-5.14'de verilmiştir.

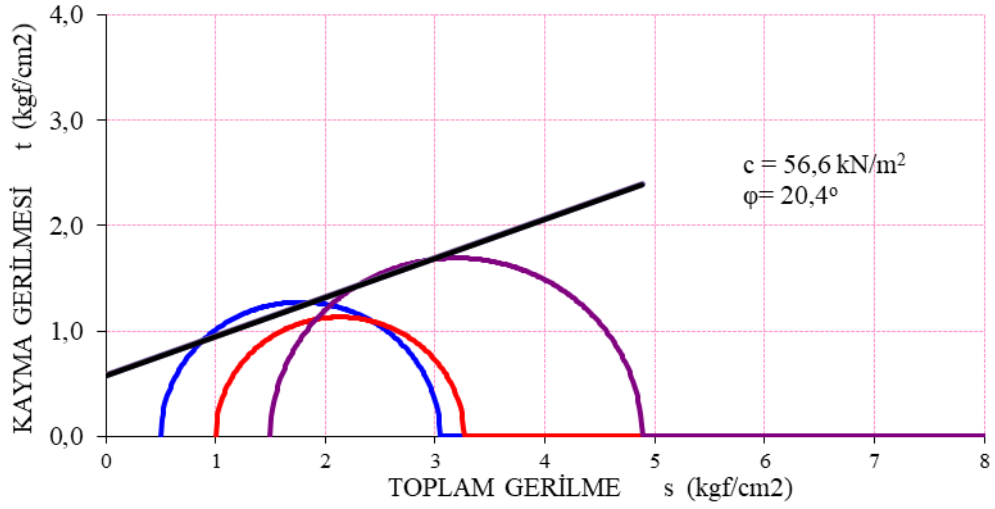
Çizelge 5.1: %70 kil + %30 kum karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları

%70 KİL+%30 KUM									
NUMUNE BİLGİLERİ	1.SET			2.SET			3.SET		
	1.Numune	2.Numune	3.Numune	1.Numune	2.Numune	3.Numune	1.Numune	2.Numune	3.Numune
Çap (cm) (D ₀)	3,786	3,773	3,769	3,768	3,763	3,789	3,752	3,785	3,783
Yükseklik (cm) (H ₀)	7,642	7,994	7,842	7,923	7,623	7,627	7,616	7,536	7,474
Ağırlık (gr) (W ₀)	150,53	161,62	168,956	164,876	158,298	163,109	162,288	165,829	164,033
Yenilmekteki Gerilme %	6,82	13,9	17,9	12,5	16,8	19,8	9,71	15,7	14,4
Su Muht (Deney Öncesi) (%)	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99
Su Muht (Deney Sonrası) (%)	19,96	19,96	19,98	19,96	19,95	19,91	19,91	19,93	19,97
Çevre Basıncı (kgf/cm ²) (σ ₃) Dev.	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
Gerilme(kgf/cm ²) (σ ₁ -σ ₃)	2,972	3,564	3,584	2,545	2,262	3,383	1,582	2,503	2,622
İçsel Sürtünme Açısı (φ)		14,3			20,4			20,9	
Kohezyon (c)		103,7			56,6			38	
Ortalama İçsel Sürtünme Açısı(φ _{ort})					18,53				
Ortalama Kohezyon (c _{ort})					66,10				

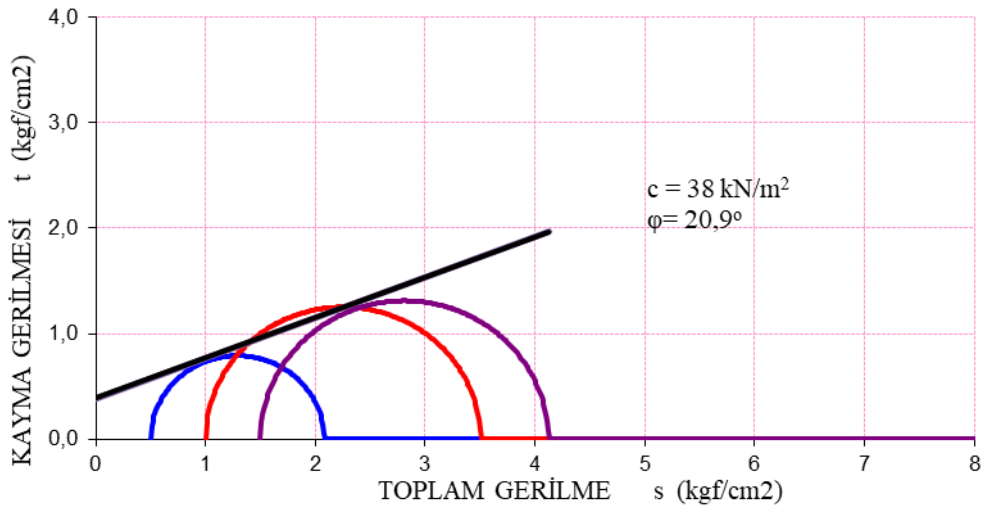
Yukarıdaki Çizelge 5.1’de verilen katkısız numune karışım oranlarının üç eksenli basınç deneyleri sonucu elde edilen değerler verilmiştir. Deneylerden daha doğru sonuç alabilmek için 3 set üç eksenli basınç deneyi (UU) yapılmıştır. Yapılan bu deneylerin sonucunda elde edilen içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinin ortalaması alınmıştır.



Şekil 5.1: Katkısız (%0 çimento) 1.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri



Şekil 5.2: Katkısız (%0 çimento) 2.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri



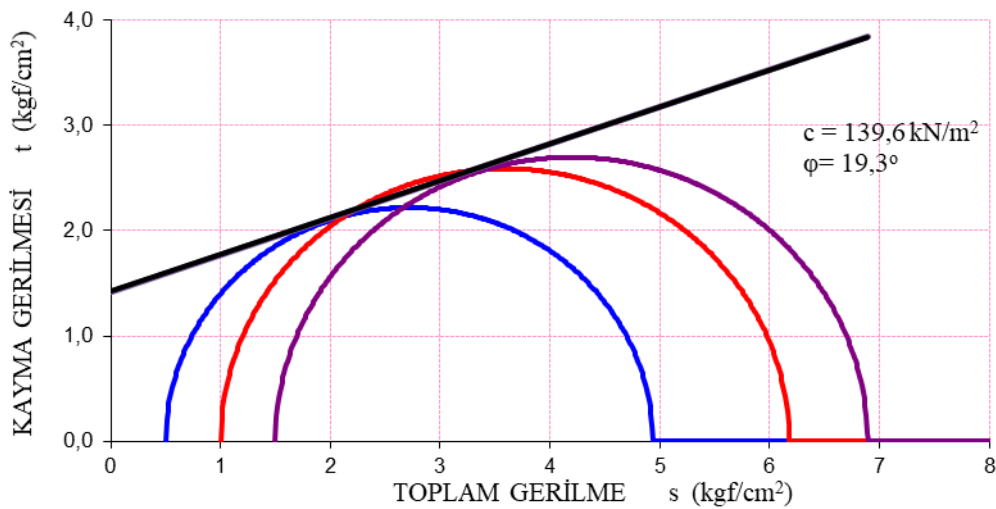
Şekil 5.3: Katkısız (%0 çimento) 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri

Yukarıdaki Şekil 5.1-5.3'de katkısız numuneden yapılan üç eksenli basınç deneylerinden 1.set, 2.set ve 3.set deney sonucu elde edilen mohr daireleri verilmiştir.

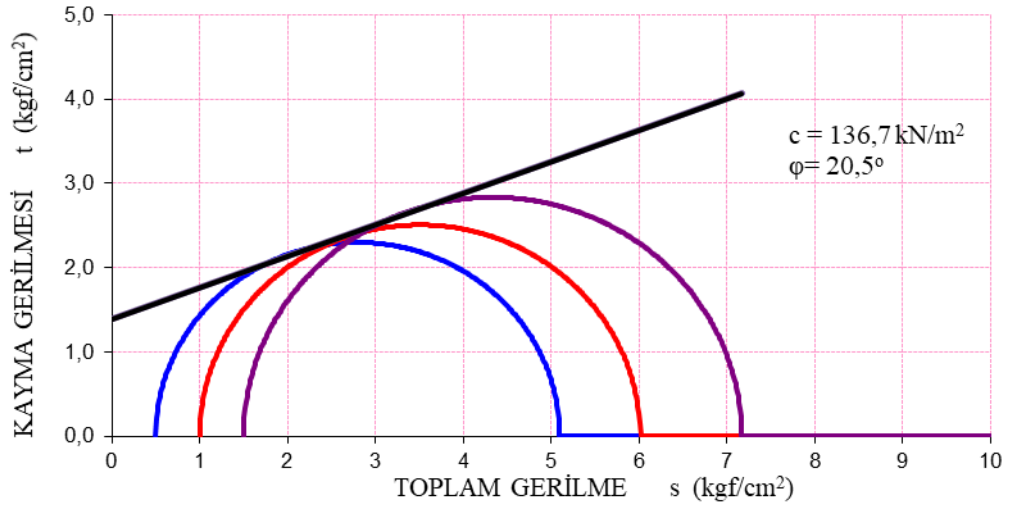
Çizelge 5.2: %67,5 kil + %27,5 kum + %5 çimento karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları

%67,5 KİL +%27,5 KUM +%5 ÇİMENTO							
		1.SET			3.SET		
NUMUNE BİLGİLERİ		1.Numune	2.Numune	3.Numune	1.Numune	2.Numune	3.Numune
Çap (cm)	(D ₀)	3,78	3,789	3,777	3,779	3,772	3,786
Yükseklik (cm)	(H ₀)	8,063	7,939	7,908	7,739	8,001	8,012
Ağırlık (gr)	(W ₀)	175,827	173,482	176,527	175,4	174,949	174,339
Yenilmedeki Gerilme %		7,7	11,7	7,28	8,57	9,49	6,67
Su Muht (Deney Öncesi) (%)		19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99
Su Muht (Deney Sonrası) (%)		19,82	19,88	19,87	19,84	19,83	19,87
Çevre Basıncı (kgf/cm ²) (σ ₃)		0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
Dev. Gerilme(kgf/cm ²) (σ ₁ -σ ₃)		4,435	5,175	5,391	4,599	5,015	5,669
İçsel Sürtünme Açısı (φ)			19,3			20,5	
Kohezyon (c)			139,6			136,7	
Ortalama İçsel Sürtünme Açısı (φ _{ort})				19,9			
Ortalama Kohezyon (c _{ort})				138,15			

Yukarıdaki Çizelge 5.2’de verilen %5 çimento katkılı numune karışım oranlarının üç eksenli basınç deneyleri sonucu elde edilen değerler verilmiştir. Numune karışım oranındaki su/çimento (20/5) oranı 4’dür. Deneylerden daha doğru sonuç alabilmek için 3 set üç eksenli basınç deneyi (UU) yapılmıştır. 2.set deneylerinde deneysel hatalardan dolayı doğru sonuç alınmadığı için 2.setin deneyleri alınmamıştır. Yapılan bu deneylerin sonucunda 1.setin ve 3.setin deneylerinden elde edilen içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinin ortalaması alınmıştır.



Şekil 5.4: %5 çimento katkılı 1.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri



Şekil 5.5: %5 çimento katkılı 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri

Yukarıdaki Şekil 5.4-5.5’de %5 çimento katkılı numuneden yapılan üç eksenli basınç deneylerinden 1.set ve 3.set deney sonucu elde edilen mohr daireleri verilmiştir.

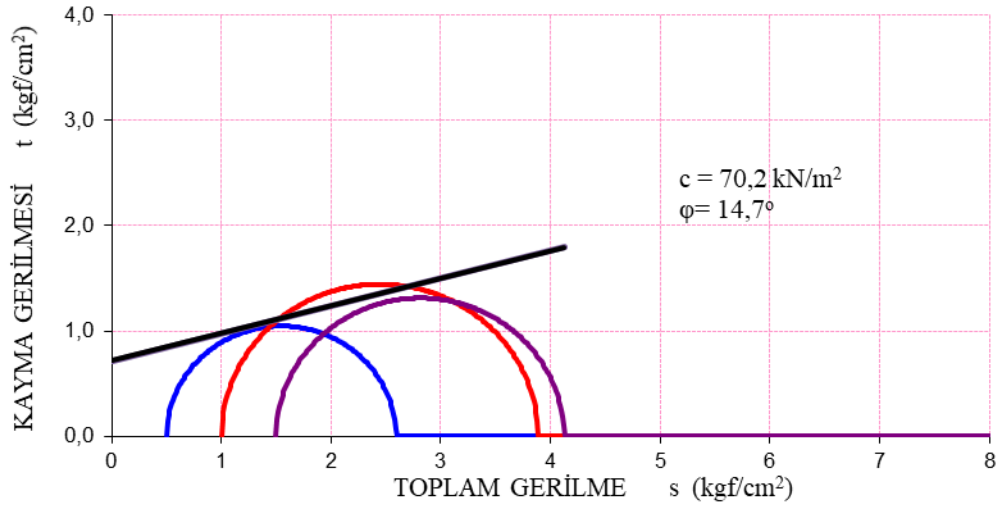
Çizelge 5.3: %65 kil + %25 kum + %10 çimento karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları

%65 KİL +%25 KUM +%10 ÇİMENTO									
NUMUNE BİLGİLERİ	1.SET			2.SET			3.SET		
	1.Numune	2.Numune	3.Numune	1.Numune	2.Numune	3.Numune	1.Numune	2.Numune	3.Numune
Çap (cm) (D_0)	3,768	3,789	3,795	3,765	3,781	3,782	3,78	3,772	3,772
Yükseklik (cm) (H_0)	8,013	7,84	7,919	7,934	8,023	7,593	7,662	7,966	7,983
Ağırlık (gr) (W_0)	166,871	175,154	174,875	174,96	175,032	169,914	164,942	173,784	170,063
Yenilmekteki Gerilme %	20	7,53	9,38	12,3	12,3	9,3	4	8,68	6,6
Su Muht (Deney Öncesi) (%)	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98
Su Muht (Deney Sonrası) (%)	19,83	19,81	19,85	19,88	19,85	19,83	19,81	19,80	19,83
Çevre Basıncı (σ_3) (kgf/cm ²)	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
Dev. Gerilme(kgf/cm ²) ($\sigma_1 - \sigma_3$)	2,092	2,888	2,624	2,372	3,487	3,755	2,778	4,079	4,307
İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)		14,7			24,9			26,8	
Kohezyon (c)		70,2			54,8			62,9	
Ortalama İçsel Sürtünme Açısı (ϕ_{ort})					22,13				
Ortalama Kohezyon (c_{ort})					62,63				

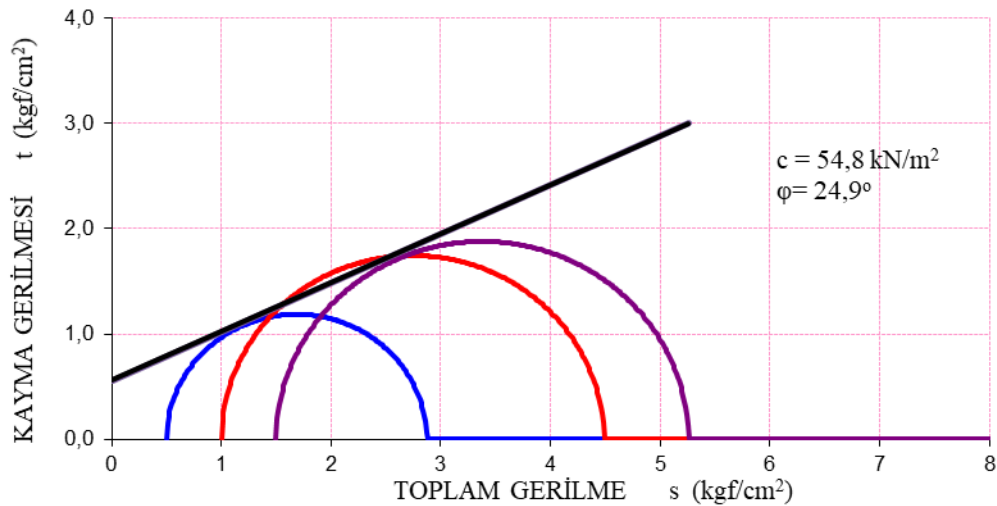
Yukarıdaki Çizelge 5.3’de %10 çimento katkılı numune karışım oranlarının üç eksenli basınç deneyleri sonucu elde edilen değerler verilmiştir. Numune karışım

oranındaki su/çimento (20/10) oranı 2'dir. Deneylelerden daha doğru sonuç alabilmek için 3 set üç eksenli basınç deneyi (UU) yapılmıştır. Yapılan bu deneylerin sonucunda 1.set, 2.set ve 3.setin deneylerinden elde edilen içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinin ortalaması alınmıştır.

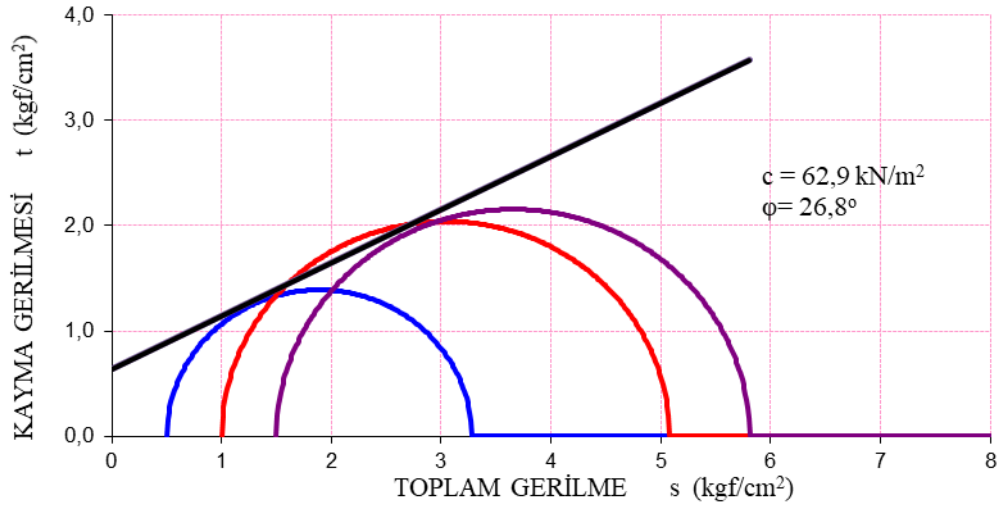
Aşağıdaki Şekil 5.6-5.8'de %10 çimento katkılı numunedan yapılan üç eksenli basınç deneylerinden 1.set ve 3.set deney sonucu elde edilen mohr daireleri verilmiştir.



Şekil 5.6: %10 çimento katkılı 1.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri



Şekil 5.7: %10 çimento katkılı 2.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri



Şekil 5.8: %10 çimento katkılı 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri

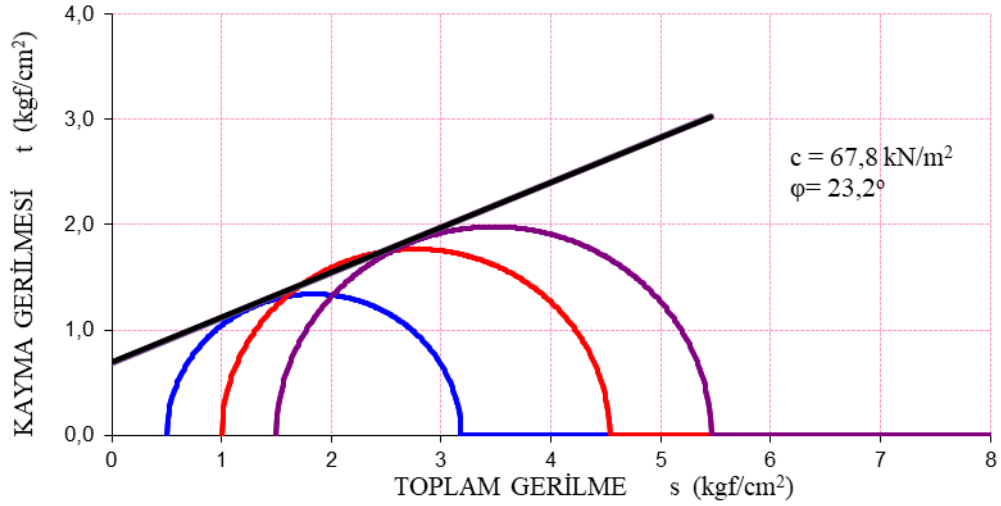
Çizelge 5.4: %62,5 kil + %22,5 kum + %15 çimento karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları

NUMUNE BİLGİLERİ	%62,5 KİL +%22,5 KUM +%15 ÇİMENTO								
	1.SET			2.SET			3.SET		
	1.Numun e	2.Numun e	3.Numun e	1.Numun e	2.Numun e	3.Numun e	1.Numun e	2.Numun e	3.Numun e
Çap (cm) (D ₀)	3,756	3,752	3,771	3,765	3,765	3,781	3,758	3,755	3,733
Yükseklik (cm) (H ₀)	7,941	7,521	8,063	7,97	8,032	7,976	8,091	8,042	8,042
Ağırlık (gr) (W ₀)	175,58	169,939	172,647	173,256	172,661	174,63	173,407	175,52	174,69
Yenilmedeki Gerilme %	9,51	7,37	14,6	10,5	13,1	11	14	10,2	15,6
Su Muht (Deney Öncesi) (%)	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99
Su Muht (Deney Sonrası) (%)	19,77	19,79	19,8	19,79	19,76	19,77	19,77	19,79	19,8
Çevre Basıncı (kgf/cm ²) (σ ₃) Dev.	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
Gerilme(kgf/cm ²) (σ ₁ -σ ₃)	2,68	3,534	3,957	2,079	3,064	3,695	2,026	1,827	2,509
İçsel Sürtünme Açısı (φ)		23,2			26,7			13,1	
Kohezyon (c)		67,8			39,9			59,7	
Ortalama İçsel Sürtünme Açısı(φ _{ort})					21				
Ortalama Kohezyon (c _{ort})					55,8				

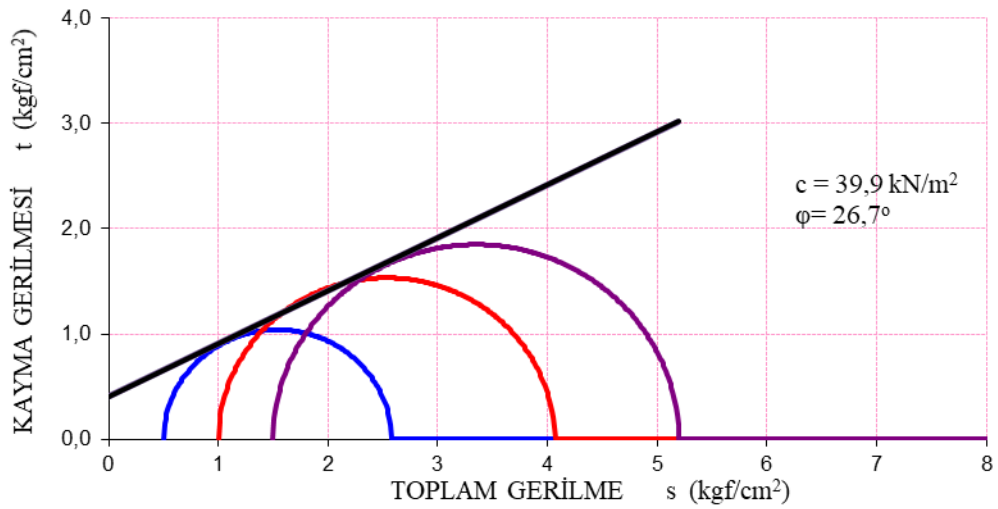
Yukarıdaki Çizelge 5.4’de verilen %15 çimento katkılı numune karışım oranlarının üç eksenli basınç deneyleri sonucu elde edilen değerler verilmiştir. Numune karışım oranındaki su/çimento (20/15) oranı 1,33’dür. Deneylerden daha doğru sonuç alabilmek için 3 set üç eksenli basınç deneyi (UU) yapılmıştır. Yapılan bu deneylerin sonucunda 1.set, 2.set ve 3.setin deneylerinden elde edilen içsel sürtünme açısı ve

kohezyon değerlerinin ortalaması alınmıştır.

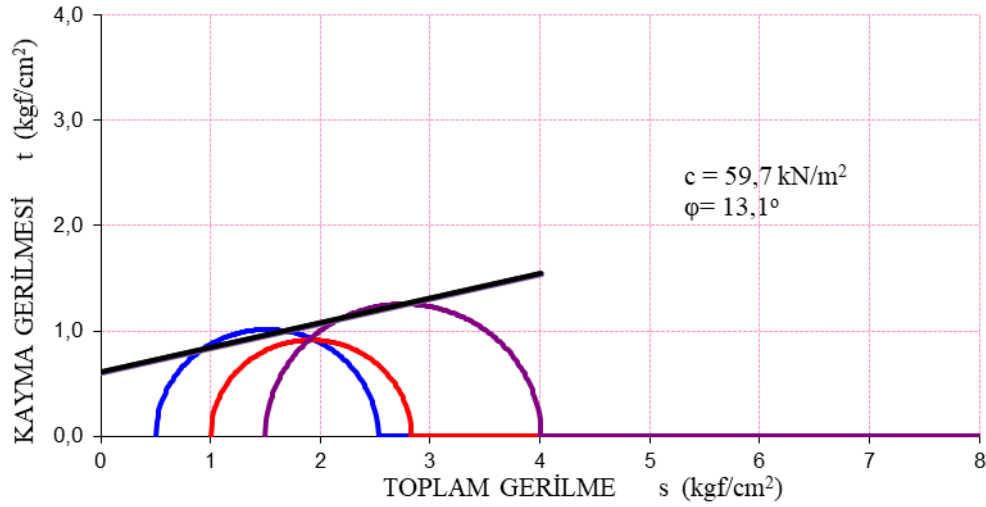
Aşağıdaki Şekil 5.9-5.11'de %15 imento katkılı numuneden yapılan  eksenli basınç deneylerinden 1.set, 2.set ve 3.set deney sonucu elde edilen mohr daireleri verilmiştir.



Şekil 5.9: %15 imento katkılı 1.set  eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri



Şekil 5.10: %15 imento katkılı 2.set  eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri



Şekil 5.11: %15 çimento katkılı 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri

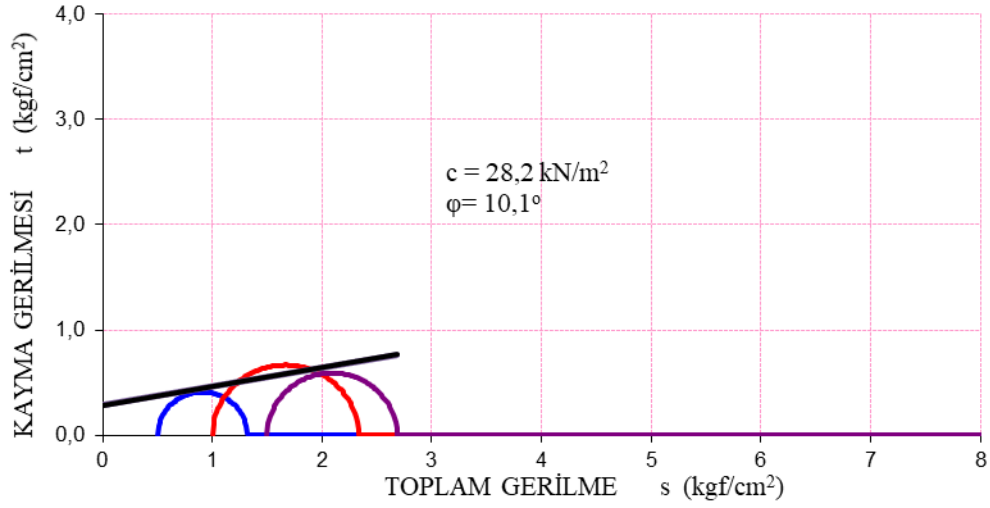
Çizelge 5.5: %60 kil + %20 kum + %20 çimento karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları

%60 KİL +%20 KUM +%20 ÇİMENTO									
NUMUNE BİLGİLERİ	1.SET			2.SET			3.SET		
	1.Numune	2.Numune	3.Numune	1.Numune	2.Numune	3.Numune	1.Numune	2.Numune	3.Numune
Çap (cm)									
(D ₀)	3,775	3,78	3,791	3,786	3,783	3,752	3,766	3,759	3,749
Yükseklik (cm)									
(H ₀)	7,927	7,668	7,723	7,555	7,572	7,581	7,57	7,569	7,596
Ağırlık (gr)									
(W ₀)	156,85	168,141	165,207	163,267	169,957	167,53	166,688	168,641	166,324
Yenilmedeki Gerilme %	9,63	19,6	5,29	6,11	8,3	13,7	2,96	1,16	2,6
Su Muht (Deney Öncesi)									
(%)	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98
Su Muht (Deney Sonrası) (%)	19,71	19,73	19,71	19,73	19,73	19,74	19,73	19,73	19,71
Çevre Basıncı (kgf/cm ²)									
(σ ₃)	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
Dev. Gerilme(kgf/cm ²)									
(σ ₁ -σ ₃)	0,8202	1,332	1,183	1,716	1,966	2,9	1,609	1,116	2,302
İçsel Sürtünme Açısı (φ)		10,1			22,4			20	
Kohezyon (c)		28,2			31,5			21,7	
Ortalama İçsel Sürtünme Açısı (φ _{ort})					17,5				
Ortalama Kohezyon (c _{ort})					27,13				

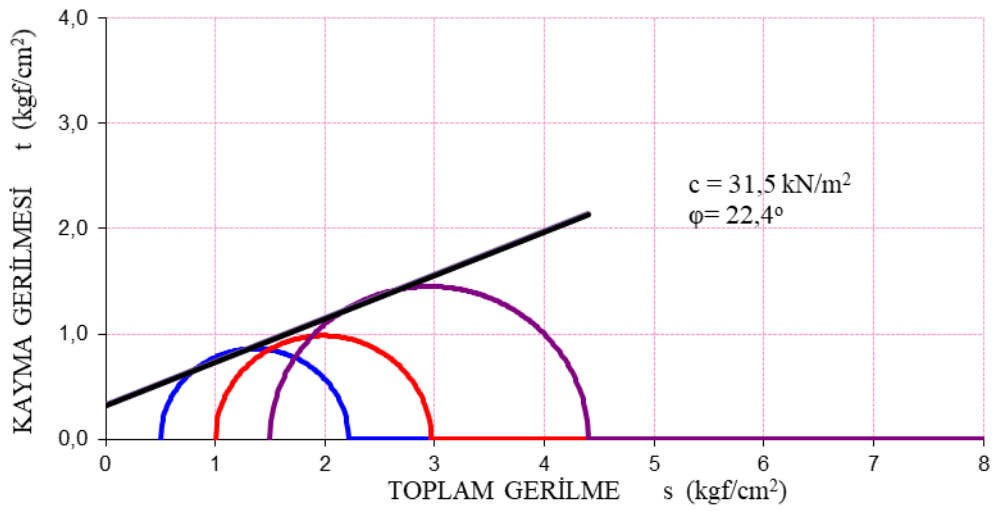
Yukarıdaki Çizelge 5.5’de verilen %20 çimento katkılı numune karışım oranlarının üç eksenli basınç deneyleri sonucu elde edilen değerler verilmiştir. Numune karışım oranındaki su/çimento (20/20) oranı 1’dir. Deneylerden daha doğru sonuç alabilmek için 3 set üç eksenli basınç deneyi (UU) yapılmıştır. Yapılan bu deneylerin sonucunda 1.set, 2.set ve 3.setin deneylerinden elde edilen içsel sürtünme açısı ve

kohezyon değerlerinin ortalaması alınmıştır.

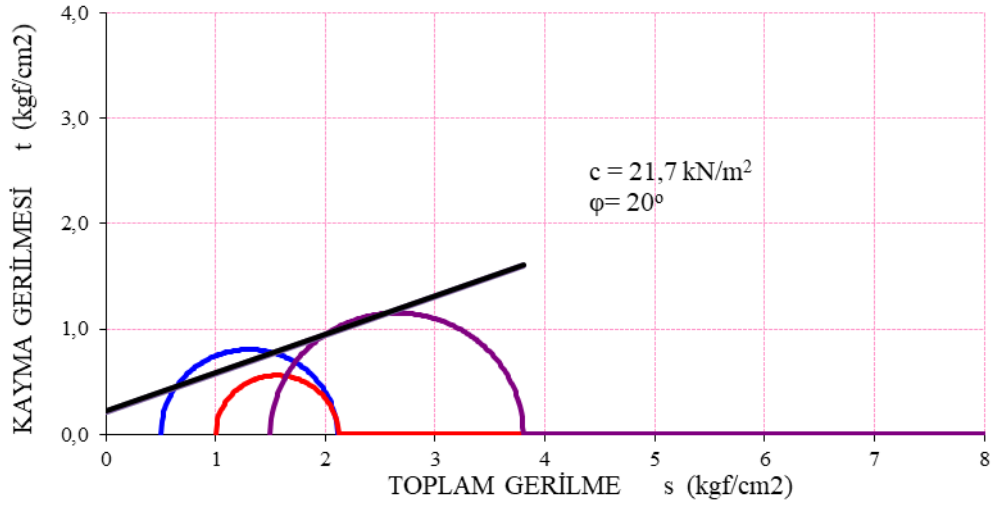
Aşağıdaki şekil 5.12-5.14'de %20 imento katkılı numuneden yapılan  eksenli basınç deneylerinden 1.set, 2.set ve 3.set deney sonucu elde edilen mohr daireleri verilmiştir.



şekil 5.12: %20 imento katkılı 1.set  eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri



şekil 5.13: %20 imento katkılı 2.set  eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri



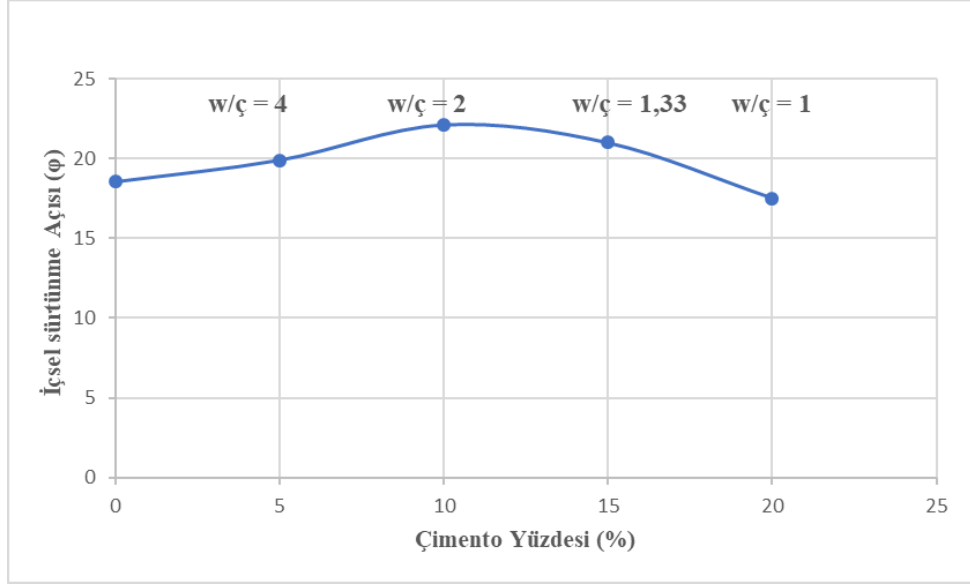
Şekil 5.14: %20 çimento katkılı 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri

Kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerlerinin yukarıdaki şekillerden de görüldüğü gibi çimento katkı miktarı arttıkça bu değerlerin birbirine yaklaştığı görülmüştür. Özellikle %20 çimento katkılı numune deney sonuçlarında kohezyon değerinin düştüğü ve kayma gerilmesini düşürdüğü görülmüştür. %5 çimento katkılı deney sonuçlarına göre de kayma gerilmesinin arttığı görülmektedir. Sonuçlar çimento katkısının belirli yüzdelere kadarki artışının mukavemeti arttırırken sonrasındaki artış miktarının mukavemeti düşürdüğünü göstermektedir.

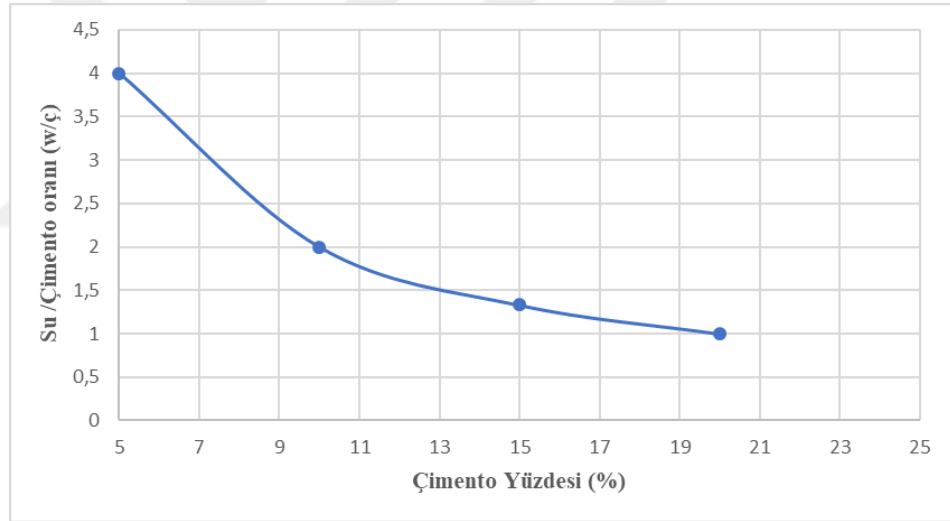
Aşağıdaki Çizelge 5.6'da kumlu kil karışımının 5 farklı çimento yüzdesine ve optimum su muhtevsındaki su/çimento (w/ζ) oranına bağlı ortalama içsel sürtünme açısı değerleri ve ortalama kohezyon değerleri verilmiştir. Bu değerlere bağlı içsel sürtünme açısı değerlerindeki değişim incelenmiştir. İçsel sürtünme açısının %10'a kadarki çimento katkısında arttığı, %15 ve %20 oranındaki çimento katkısında giderek azaldığını görülmüştür.

Çizelge 5.6: Kumlu kil karışımının 5 farklı çimento yüzdesi ve w/ζ oranına bağlı ortalama içsel sürtünme açısı değerleri

Çimento Yüzdesi (w/ζ Oranı)	Ortalama İçsel Sürtünme Açısı (ϕ_{ort})
0 → ($w/\zeta = -$)	18,53
5 → ($w/\zeta = 4$)	19,9
10 → ($w/\zeta = 2$)	22,13
15 → ($w/\zeta = 1,33$)	21
20 → ($w/\zeta = 1$)	17,5



Şekil 5.15: Kumlu kil karışımının içsel sürtünme açısının 5 farklı çimento yüzdesine bağlı değişimi



Şekil 5.16: Sabit su muhtevasında farklı çimento yüzdelere bağlı su/çimento oranlarının değişimi

Çizelge 5.7: Kumlu kil karışımının 5 farklı çimento yüzdesi ve w/ç oranına bağlı ortalama kohezyon değerleri

Çimento Yüzdesi (w/ç Oranı)	Ortalama Kohezyon (c_{ort})
0 → (w/ç = -)	66,10
5 → (w/ç = 4)	138,15
10 → (w/ç = 2)	62,63
15 → (w/ç = 1,33)	55,80
20 → (w/ç = 1)	27,13

Ortalama drenajsız kayma mukavemeti değerleri aşağıdaki gibidir.

- %0 imento → 220,0 kN/m^2 Ortalama Drenajsız Kayma Mukavemeti
- %5 imento → 355,8 kN/m^2 Ortalama Drenajsız Kayma Mukavemeti
- %10 imento → 172,2 kN/m^2 Ortalama Drenajsız Kayma Mukavemeti
- %15 imento → 125,5 kN/m^2 Ortalama Drenajsız Kayma Mukavemeti
- %20 imento → 69,7 kN/m^2 Ortalama Drenajsız Kayma Mukavemeti

Yukarıdaki Şekil 5.15’de içsel sürtünme değerinin pik yaptığı değere %10 imento katkısında ulaştığı, %15 ve %20 de bu değerin giderek azaldığını görüyoruz. Çimento yüzdesinin artması sabit su mutevasında w/ oranını da düşürmüştür. w/ oranı sabit olmadığı için %15 imento katkısından sonra hidrasyon değiştiğinden mukavemeti düşürmüştür. Sabit su muhtevastaki w/ oranının giderek azalmasından dolayı hidartasyon sağlanamamıştır ve dayanım düşmüştür.

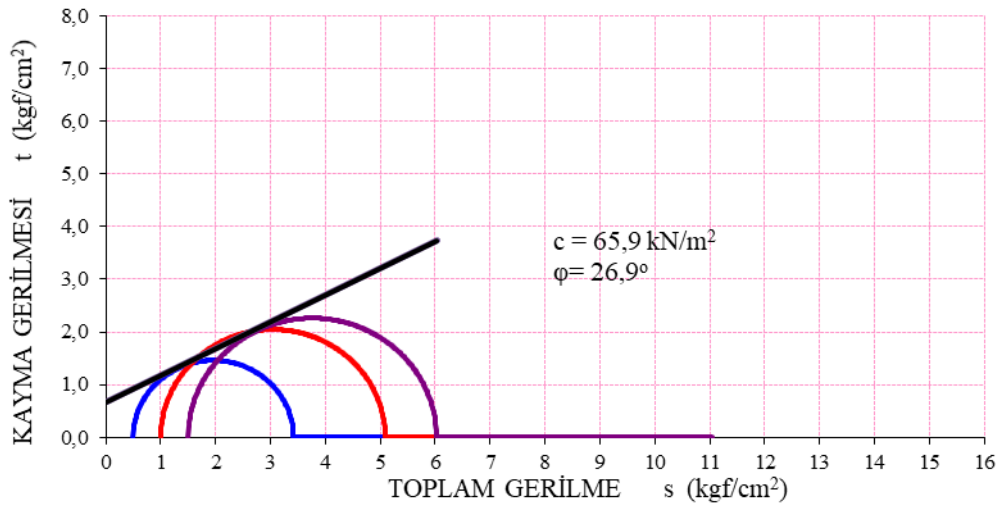
Çimentonun 7 günlük kr süresi sonucu kumlu kil zemin numunelerin mukavemet özelliklerine etkisini araştırmak için üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır. %5, %10, %15 ve %20 imento katkılı 7 günlük numunelerin 50 kPa, 100 kPa ve 150 kPa olmak üzere üç farklı hücre basıncı kullanılarak konsolidasyonsuz-drenajsız (UU)  eksenli basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Böylece imento katkısının, katkı oranına ve bekleme süresine bağlı olarak mukavemet özelliklerine etkisi incelenmiştir. Deney sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Aşağıdaki izelge 5.8’de verilen 7 günlük %5 imento katkılı numune karışım oranlarının üç eksenli basınç deneyleri sonucu elde edilen değerler verilmiştir. Yapılan bu deneylerin sonucunda 1.set, 2.set ve 3.setin deneylerinden elde edilen içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinin ortalaması alınmıştır.

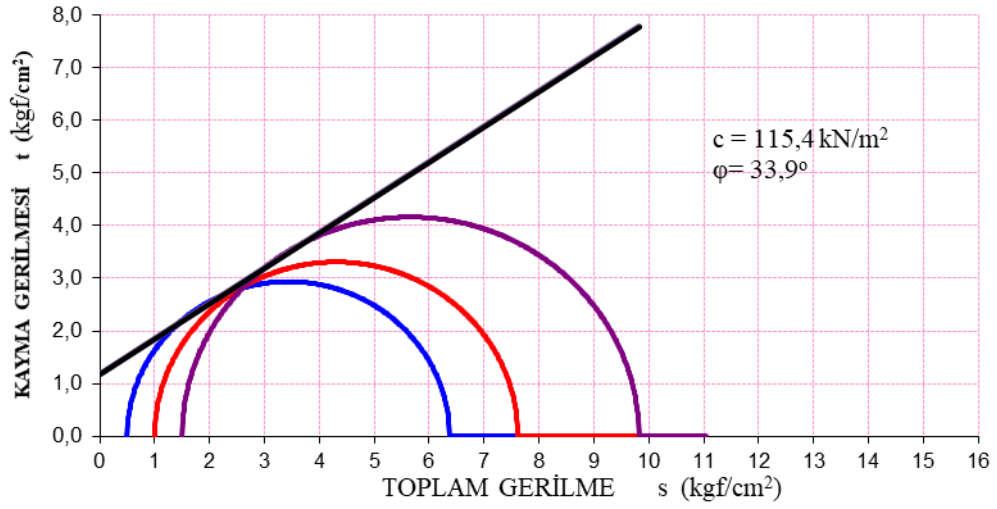
Çizelge 5.8: 7 günlük %67,5 kil + %27,5 kum + %5 çimento karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları

7 GÜNLÜK %67,5 KİL + %27,5 KUM +%5 ÇİMENTO									
NUMUNE BİLGİLERİ	1.SET			2.SET			3.SET		
	1.Numune	2.Numune	3.Numune	1.Numune	2.Numune	3.Numune	1.Numune	2.Numune	3.Numune
Çap (cm)									
(D ₀)	3,776	3,781	3,786	3,802	3,842	3,772	3,795	3,772	3,803
Yükseklik (cm)									
(H ₀)	7,642	7,624	76,03	7,438	7,571	7,566	7,555	7,596	7,575
Ağırlık (gr)									
(W ₀)	162,768	165,802	164,915	168,872	166,551	169,594	164,335	163,47	166,955
Yenilmedeki Gerilme %	1,08	1,35	3,45	3	2,54	2,92	0,857	1,21	3,33
Su Muht (Deney Öncesi) (%)	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99
Su Muht (Deney Sonrası) (%)	19,86	19,89	19,87	19,85	19,82	19,83	19,88	19,89	19,90
Çevre Basıncı (kgf/cm ²) (σ ₃)	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
Dev. Gerilme(kgf/cm ²) (σ ₁ -σ ₃)	2,92	4,09	4,524	5,87	6,616	8,32	3,029	5,628	6,502
İçsel Sürtünme Açısı (φ)		26,9			33,9			40,3	
Kohezyon (c)		65,9			115,4			31,8	
Ortalama İçsel Sürtünme Açısı (φ _{ort})					33,70				
Ortalama Kohezyon (C _{ort})					71,03				

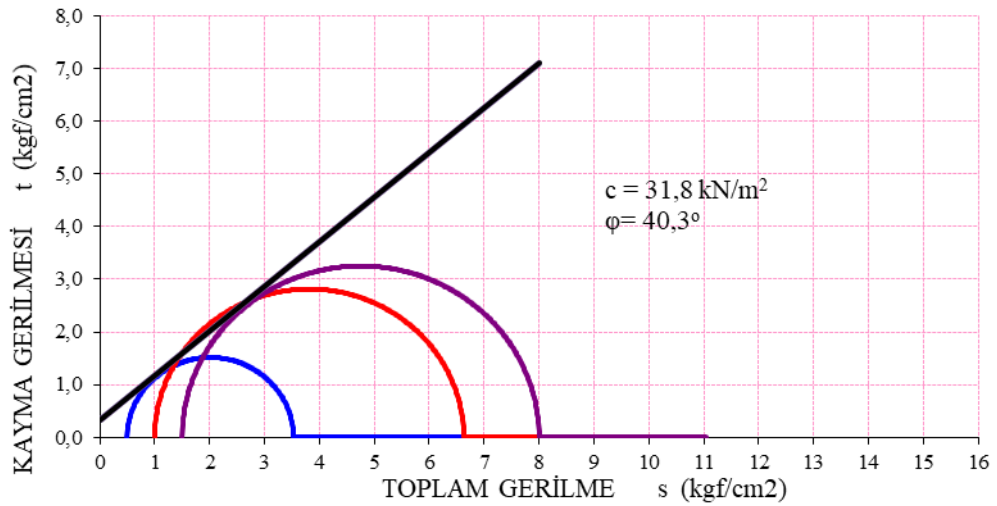
Aşağıdaki Şekil 5.17-5.19’de 7 günlük %5 çimento katkılı numuneden yapılan üç eksenli basınç deneylerinden 1.set, 2.set ve 3.set deney sonucu elde edilen mohr daireleri verilmiştir.



Şekil 5.17: 7 günlük %5 çimento katkılı 1.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri



Şekil 5.18: 7 günlük %5 çimento katkılı 2.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri



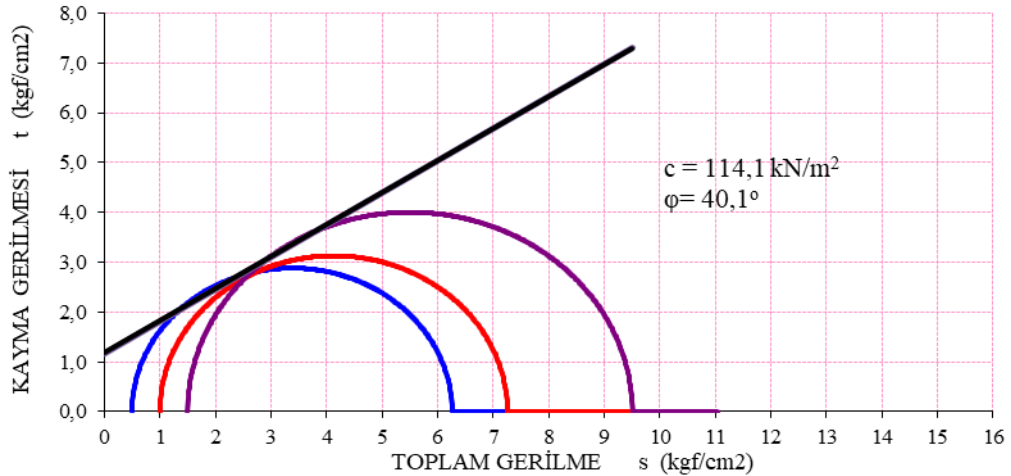
Şekil 5.19: 7 günlük %5 çimento katkılı 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri

Aşağıdaki Çizelge 5.9'da verilen 7 günlük %10 çimento katkılı numune karışım oranlarının üç eksenli basınç deneyleri sonucu elde edilen değerler verilmiştir. 2.set deneylerinde deneysel hatalardan dolayı doğru sonuç alınmadığı için 2.setin deneyleri alınmamıştır. Yapılan bu deneylerin sonucunda 1.set ve 3.setin deneylerinden elde edilen içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinin ortalaması alınmıştır.

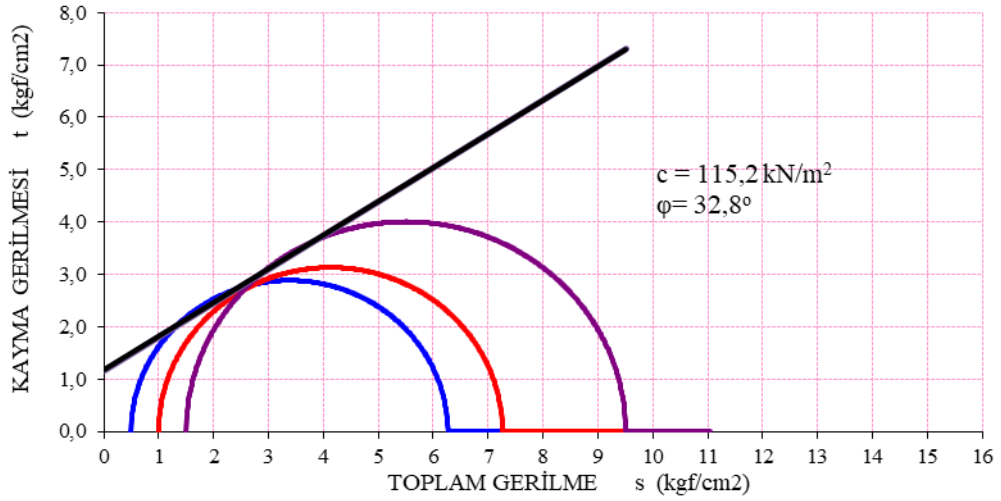
Çizelge 5.9: 7 günlük %65 kil + %25 kum + %10 çimento karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları

7 GÜNLÜK %65 KİL +%25 KUM +%10 ÇİMENTO							
		1.SET			3.SET		
NUMUNE BİLGİLERİ		1.Numune	2.Numune	3.Numune	1.Numune	2.Numune	3.Numune
Çap (cm)	(D ₀)	3,742	3,777	3,771	3,811	3,768	3,793
Yükseklik (cm)	(H ₀)	7,85	7,879	7,774	7,507	7,547	7,649
Ağırlık (gr)	(W ₀)	174,096	172,222	176,28	167,562	161,732	167,94
Yenilmedeki Gerilme %		2,04	2,76	2,04	2,48	4,28	1,98
Su Muht (Deney Öncesi) (%)		19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98
Su Muht (Deney Sonrası) (%)		19,79	19,81	19,82	19,81	19,78	19,83
Çevre Basıncı (kgf/cm ²) (σ ₃)		0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
Dev. Gerilme(kgf/cm ²) (σ ₁ -σ ₃)		8,894	7,021	9,997	5,763	6,258	8,005
İçsel Sürtünme Açısı (φ)			40,1			32,8	
Kohezyon (c)			114,1			115,2	
Ortalama İçsel Sürtünme Açısı (φ _{ort})					36,45		
Ortalama Kohezyon (c _{ort})					114,65		

Aşağıdaki Şekil 5.20-5.21’de 7 günlük %10 çimento katkılı numuneden yapılan üç eksenli basınç deneylerinden 1.set ve 3.set deney sonucu elde edilen mohr daireleri verilmiştir.



Şekil 5.20: 7 günlük %10 çimento katkılı 1.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri



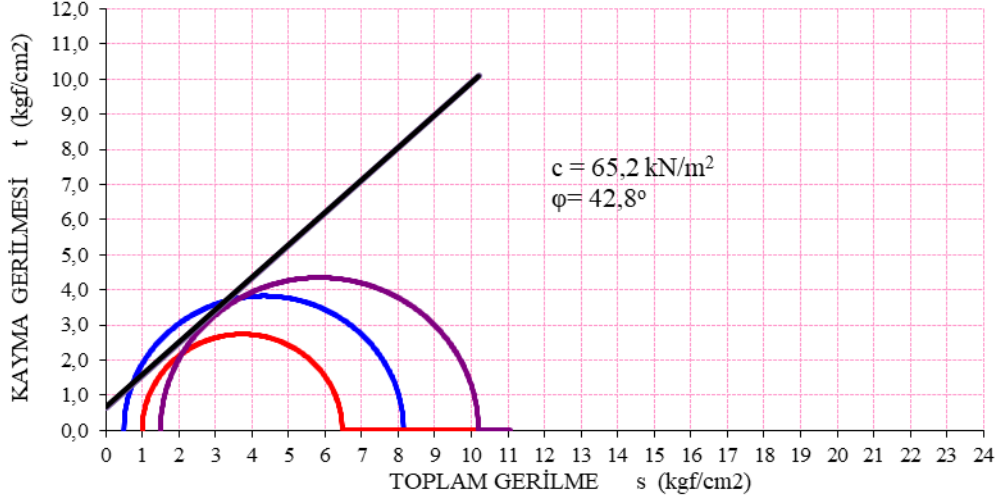
Şekil 5.21: 7 günlük %10 çimento katkılı 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri

Aşağıdaki Çizelge 5.10'da verilen 7 günlük %15 çimento katkılı numune karışım oranlarının üç eksenli basınç deneyleri sonucu elde edilen değerler verilmiştir. 2.set deneylerinde deneysel hatalardan dolayı doğru sonuç alınamadığı için 2.setin deneyleri alınmamıştır. Yapılan bu deneylerin sonucunda 1.set ve 3.setin deneylerinden elde edilen içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinin ortalaması alınmıştır.

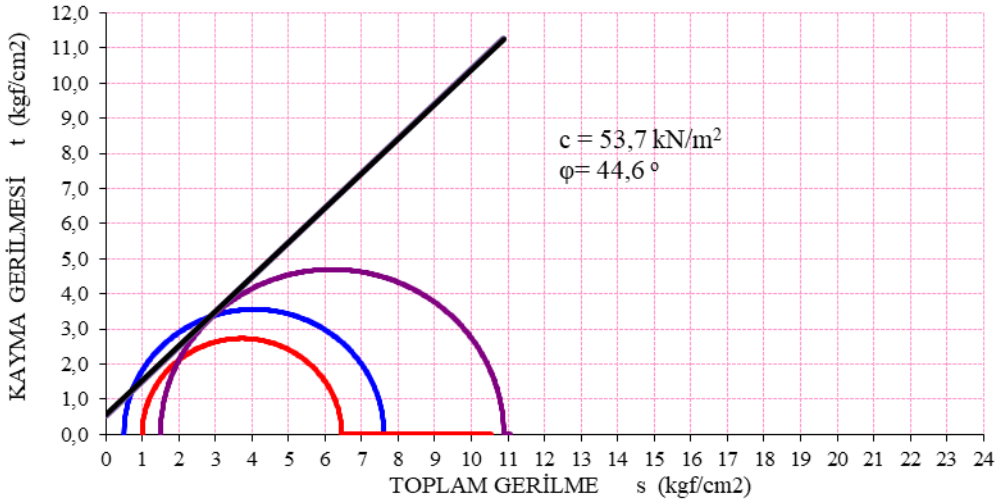
Çizelge 5.10: 7 günlük %62,5 kil + %22,5 kum + %15 çimento karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları

7 GÜNLÜK %62,5 KİL +%22,5 KUM +%15 ÇİMENTO							
		1.SET			3.SET		
NUMUNE BİLGİLERİ		1.Numune	2.Numune	3.Numune	1.Numune	2.Numune	3.Numune
Çap (cm)	(D ₀)	3,781	3,701	3,78	3,79	3,744	3,779
Yükseklik (cm)	(H ₀)	7,52	7,549	7,588	7,551	7,579	7,528
Ağırlık (gr)	(W ₀)	167,384	166,574	169,129	167,011	163,525	167,31
Yenilmedeki Gerilme %		1,45	1,71	1,34	1,35	1,01	2,27
Su Muht (Deney Öncesi) (%)		19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99
Su Muht (Deney Sonrası) (%)		19,74	19,75	19,74	19,73	19,74	19,72
Çevre Basıncı (kgf/cm ²) (σ ₃)		0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
Dev. Gerilme(kgf/cm ²) (σ ₁ -σ ₃)		7,647	5,473	8,692	7,111	5,458	9,385
İçsel Sürtünme Açısı (φ)			42,8			44,6	
Kohezyon (c)			65,2			53,7	
Ortalama İçsel Sürtünme Açısı (φ _{ort})					43,7		
Ortalama Kohezyon (c _{ort})					59,45		

Aşağıdaki Şekil 5.22-5.23'de 7 günlük %15 çimento katkıli numuneden yapılan üç eksenli basınç deneylerinden 1.set ve 3.set deney sonucu elde edilen mohr daireleri verilmiştir.



Şekil 5.22: 7 günlük %15 çimento katkıli 1.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri



Şekil 5.23: 7 günlük %15 çimento katkıli 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri

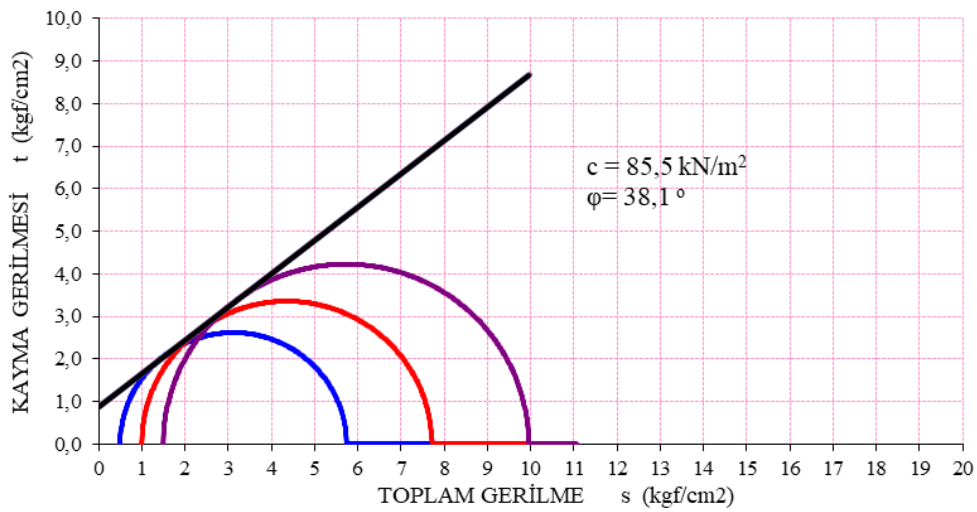
Aşağıdaki Çizelge 5.11'de verilen 7 günlük %20 çimento katkıli numune karışım oranlarının üç eksenli basınç deneyleri sonucu elde edilen değerler verilmiştir. 1.set deneylerinde deneysel hatalardan dolayı doğru sonuç alınmadığı için 2.setin deneyleri alınmamıştır. Yapılan bu deneylerin sonucunda 2.set ve 3.setin

deneylerinden elde edilen içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinin ortalaması alınmıştır.

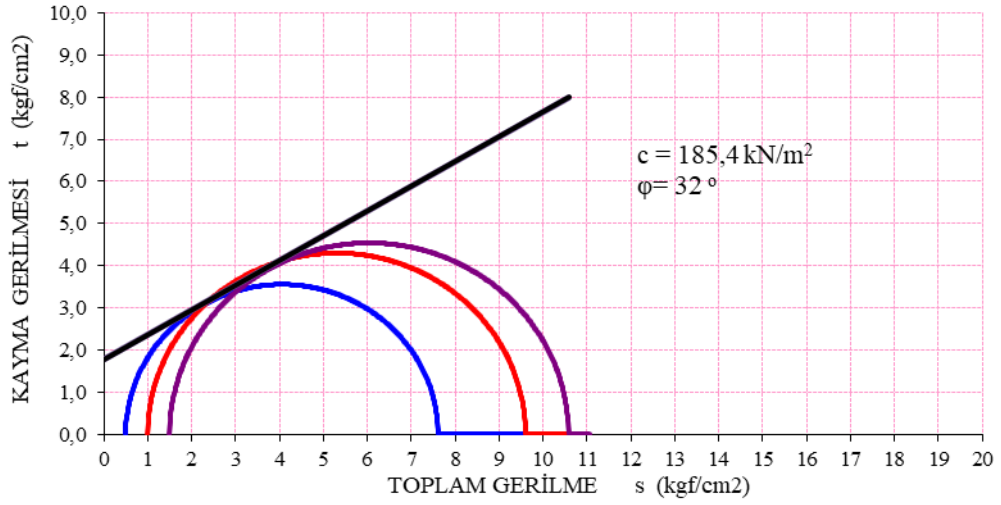
Çizelge 5.11: 7 günlük %60 kil + %20 kum + %20 çimento karışımından yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları

7 GÜNLÜK %60 KİL +%20 KUM +%20 ÇİMENTO							
		2.SET			3.SET		
NUMUNE BİLGİLERİ		1.Numune	2.Numune	3.Numune	1.Numune	2.Numune	3.Numune
Çap (cm)	(D ₀)	3,782	3,772	3,762	3,769	3,777	3,749
Yükseklik (cm)	(H ₀)	7,572	7,581	7,582	7,581	7,581	7,583
Ağırlık (gr)	(W ₀)	168,619	168,84	167,546	170,261	167,472	165,083
Yenilmedeki Gerilme %		1,54	1,26	1,27	1,11	2,6	4,34
Su Muht (Deney Öncesi) (%)		19,98	19,98	19,98	19,98	19,98	19,98
Su Muht (Deney Sonrası) (%)		19,71	19,72	19,72	19,74	19,73	19,73
Çevre Basıncı (kgf/cm ²) (σ ₃)		0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
Dev. Gerilme(kgf/cm ²)(σ ₁ -σ ₃)		5,238	6,713	8,453	8,001	10,19	9,062
İçsel Sürtünme Açısı (φ)			38,1			32	
Kohezyon (c)			85,5			185,4	
Ortalama İçsel Sürtünme Açısı (φ _{ort})					35,05		
Ortalama Kohezyon (c _{ort})					135,45		

Aşağıdaki Şekil 5.24-5.25'de 7 günlük %20 çimento katkılı numuneden yapılan üç eksenli basınç deneylerinden 2.set ve 3.set deney sonucu elde edilen mohr daireleri verilmiştir.



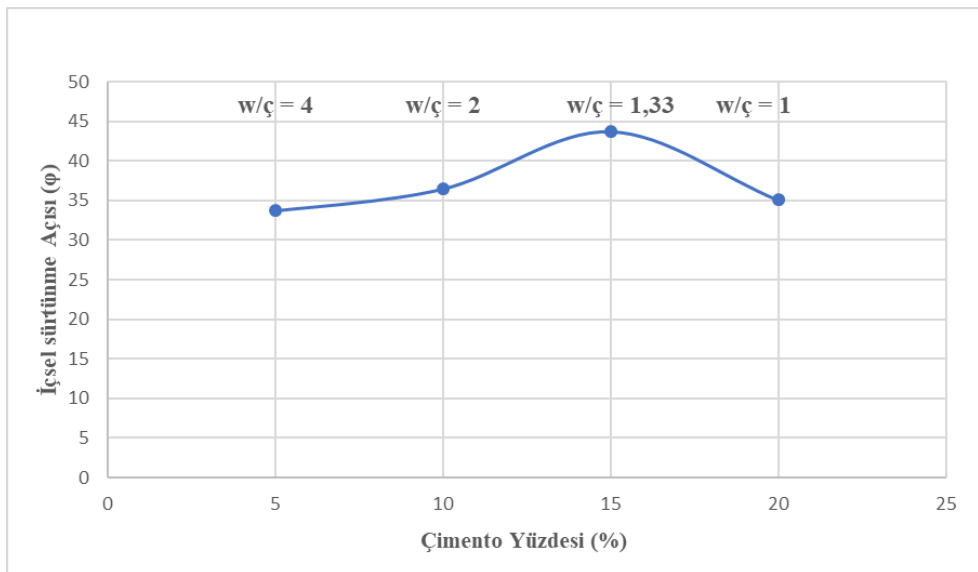
Şekil 5.24: 7 günlük %20 çimento katkılı 2.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri



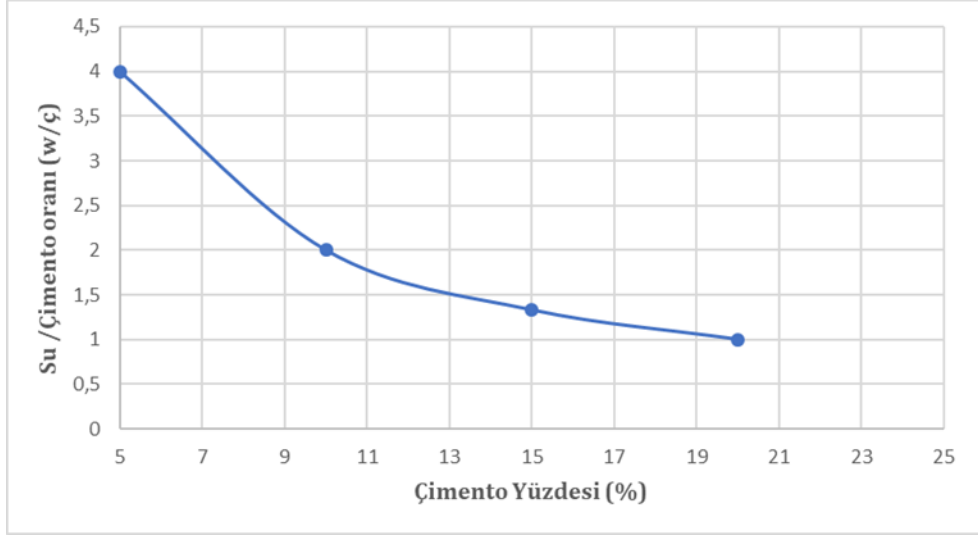
Şekil 5.25: 7 günlük %20 çimento katkılı 3.set üç eksenli basınç deneyinden elde edilen mohr daireleri

Çizelge 5.12: 7 günlük kumlu kil karışımının 5 farklı çimento yüzdesi ve w/ç oranına bağlı ortalama içsel sürtünme açısı değerleri

Çimento Yüzdesi (%) → w/ç Oranı	Ortalama İçsel Sürtünme Açısı (ϕ_{ort})
0 → (w/ç = -)	-
5 → (w/ç = 4)	33,7
10 → (w/ç = 2)	36,45
15 → (w/ç = 1,33)	43,7
20 → (w/ç = 1)	35,05



Şekil 5.26: 7 günlük kumlu kil karışımının ortalama içsel sürtünme açısının 5 farklı çimento yüzdesine bağlı değişimi



Şekil 5.27: Sabit su muhtevasında farklı çimento yüzdelere bağlı su/çimento oranlarının değişimi

Çizelge 5.13: 7 günlük kumlu kil karışımının 5 farklı çimento yüzdesi ve w/ç oranına bağlı ortalama kohezyon değerleri

Çimento Yüzdesi (w/ç Oranı)	Ortalama Kohezyon (c_{ort})
0 → (w/ç = -)	-
5 → (w/ç = 4)	71,03
10 → (w/ç = 2)	114,65
15 → (w/ç = 1,33)	59,45
20 → (w/ç = 1)	135,45

Ortalama drenajsız kayma mukavemeti değerleri aşağıdaki gibidir.

- %5 çimento → 324,1 kN/m^2 Ortalama Drenajsız Kayma Mukavemeti
- %10 çimento → 789,5 kN/m^2 Ortalama Drenajsız Kayma Mukavemeti
- %15 çimento → 664,6 kN/m^2 Ortalama Drenajsız Kayma Mukavemeti
- %20 çimento → 690,3 kN/m^2 Ortalama Drenajsız Kayma Mukavemeti

Yukarıdaki Çizelge 5.12-5.13'te 7 günlük kumlu kil karışımının optimum su muhtevasında 5 farklı çimento yüzdesine bağlı içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri verilmiştir. Bu yüzdelere göre 7 günlük bekleme süresine bağlı içsel sürtünme açısı değerlerindeki değişim incelenmiştir. İçsel sürtünme açısı değerinin aynı gün yapılan numunelerde %10'a kadarki çimento katkısında arttığı görülürken, 7 günlük numunelerde ise %15'e kadarki çimento katkısında arttığı görülmüştür.

%20 oranındaki çimento katkısında da azalmıştır. Sabit su muhtevsındaki w/ç oranının giderek azalmasından dolayı hidartasyon sağlanamamıştır ve dayanım düşmüştür.

5.2 Tek Yönlü Konsolidasyon Deneyi

Bir önceki bölümde konsolidasyon deney yapımı anlatılmıştır. Bir önceki bölümde de anlatıldığı gibi konsolidasyon deneyi 5 set olmak üzere toplam 15 adet yapılmıştır. 1.aşamada %70 kil ve %30 kum karıştırılarak 1 set toplamda 3 deney yapılmıştır. 2.aşamada %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento eklenerek 4 set toplamda 20 deney yapılmıştır. Eklenen çimento oranı kil ve kum oranından eşit miktarda malzeme düşürülerek eklenmiştir.

Konsolidasyon deneylerinde ilk basınç 1kg ağırlıkla başlanmıştır. Sırasıyla 2, 4, 8, 16, 32 ve 64 kg' a kadar çıkartılmıştır. Yani bir önceki basıncın 2 katı olacak şekilde yapılmıştır. Yükler yükleme kademelerine uygun olarak 24 saatte bir yüklemeyle yapılmıştır. Uygulanmış en yüksek konsolidasyon basıncı (64 kg) altındaki gösterge okumaları tamamlandıktan sonra, yükler yükleme kademelerine uygun olarak 24 saat arayla boşaltılmıştır. Boşaltma işlemine 64 kg'la başlanıp 16, 4 ve 1 kg' a kadar devam edilmiştir. Yani boşaltma, bir önceki basıncın dörtte biri olmak üzere yapılmıştır. Her yük boşaltmalarında okumalar alınarak kaydedilmiştir.

5 set,15 adet konsolidasyon deneylerinin hesap sonuçlarının verildiği tablolar aşağıda gösterilmiştir. Tablolarda boşluk oranı (e), sıkışma katsayısı (m_v), konsolidasyon katsayısı (c_v), oturma zamanını veren t_{90} ve oturma miktarı (H) değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.14: Katkisız kumlu kil karışımı 1.halka konsolidasyon deney sonuçları

%70 KİL + %30 KUM 1.HALKA												
Yük	Basınç, σ		H	H_0	e	e ortalama	Δe	$\Delta \sigma$	$a=\Delta e/\Delta \sigma$	m_v	t_{90} (dk)	C_v (*)
kg	kg/cm ²	kPa	mm	mm	-	e ort	-	kpa	m ² /kN	m ² /kN	dk	(mm ² /dk)
0	0	0	20,00	12,925	0,547	0,547	0	0	0	0		
1	0,52	51	20,60	12,925	0,594	0,571	-0,046	51	-0,000914	-0,000302	12,25	0,07444187
2	1,04	102	20,50	12,925	0,586	0,590	0,008	51	0,000152	0,000050	12,25	0,07358293
4	2,07	203	20,17	12,925	0,561	0,573	0,026	102	0,000251	0,000166	12,25	0,07198586
8	4,14	406	19,66	12,925	0,521	0,541	0,039	203	0,000194	0,000261	12,25	0,06941499
16	8,28	813	19,07	12,925	0,475	0,498	0,046	406	0,000112	0,000311	12,25	0,06613597
32	16,6	1625	18,45	12,925	0,427	0,451	0,048	813	0,000059	0,000337	12,25	0,06247099
64	33,1	3251	17,73	12,925	0,372	0,400	0,056	1625	0,000034	0,000406	12,25	0,05836693
16	8,28	813	18,65	12,925	0,443	0,407	0,071	2438	0,000029	0,000516	12,25	0,05836693
4	2,07	203	18,95	12,925	0,466	0,455	0,023	610	0,000038	0,000163	12,25	0,06070350
1	0,52	51	19,41	12,925	0,502	0,484	0,036	152	0,000234	0,000245	12,25	0,06293191

Çizelge 5.15: Katkısız kumlu kil karışımı 2.halka konsolidasyon deney sonuçları

%70 KİL + %30 KUM 2.HALKA												
Yük	Basınç, σ'		H	H ₀	e	e ortalama	Δe	$\Delta \sigma$	$a=\Delta e/\Delta \sigma$	m_v	t_{90} (dk)	C_v (*)
kg	kg/cm ²	kPa	mm	mm	-	e ort	-	kpa	m ² /kN	m ² /kN	dk	(mm ² /dk)
0	0	0	20,00	13,090	0,528	0,528	0	0	0	0		
1	0,52	51	20,59	13,090	0,573	0,550	-0,045	51	-0,000887	-0,000297	-	0,10166593
2	1,04	102	20,43	13,090	0,561	0,567	0,012	51	0,000241	0,000080	9,00	0,09998462
4	2,07	203	20,05	13,090	0,532	0,546	0,029	102	0,000286	0,000192	9,00	0,09732129
8	4,14	406	19,61	13,090	0,498	0,515	0,034	203	0,000165	0,000226	9,00	0,09392213
16	8,28	813	19,09	13,090	0,458	0,478	0,040	406	0,000098	0,000274	9,00	0,08983719
32	16,6	1625	18,16	13,090	0,387	0,423	0,071	813	0,000087	0,000510	9,00	0,08364963
64	33,1	3251	17,37	13,090	0,327	0,357	0,060	1625	0,000037	0,000454	9,00	0,07723232
16	8,28	813	17,45	13,090	0,333	0,330	0,006	2438	0,000002	0,000045	9,00	0,07723232
4	2,07	203	18,03	13,090	0,377	0,355	0,045	610	0,000073	0,000335	9,00	0,07550443
1	0,52	51	18,54	13,090	0,416	0,397	0,039	152	0,000256	0,000285	9,00	0,07821231

Çizelge 5.16: Katkısız kumlu kil karışımı 3.halka konsolidasyon deney sonuçları

%70 KİL + %30 KUM 3.HALKA												
Yük	Basınç, σ'		H	H ₀	e	e ortalama	Δe	$\Delta \sigma$	$a=\Delta e/\Delta \sigma$	m_v	t_{90} (dk)	C_v (*)
kg	kg/cm ²	kPa	mm	mm	-	e ort	-	kpa	m ² /kN	m ² /kN	dk	(mm ² /dk)
0	0	0	20,00	11,722	0,706	0,706	0	0	0	0		
1	0,52	51	20,68	11,722	0,764	0,735	-0,058	51	-0,001142	-0,000341	11,56	0,07888520
2	1,04	102	20,41	11,722	0,741	0,753	0,023	51	0,000453	0,000134	11,56	0,07763503
4	2,07	203	19,92	11,722	0,699	0,720	0,042	102	0,000411	0,000248	11,56	0,07518321
8	4,14	406	19,28	11,722	0,645	0,672	0,055	203	0,000269	0,000333	11,56	0,07163359
16	8,28	813	18,56	11,722	0,583	0,614	0,061	406	0,000151	0,000388	11,56	0,06733704
32	16,6	1625	17,75	11,722	0,514	0,549	0,069	813	0,000085	0,000455	11,56	0,06246694
64	33,1	3251	16,85	11,722	0,437	0,476	0,077	1625	0,000047	0,000531	11,56	0,05714964
16	8,28	813	16,93	11,722	0,444	0,441	0,007	2438	0,000003	0,000048	11,56	0,05714964
4	2,07	203	17,26	11,722	0,472	0,458	0,028	610	0,000046	0,000197	11,56	0,05473328
1	0,52	51	17,71	11,722	0,511	0,492	0,038	152	0,000252	0,000263	11,56	0,05611775

Yukarıda katkısız olarak hazırlanan kumlu kil karışımı konsolidasyon deney sonuçları Çizelge 5.14-5.16'da verilmiştir. Deney okumaları Ek Çizelge 1-3'te ve oturma-karekök zaman grafikleri Ek Şekil 1-3'te verilmiştir.

Katkısız karışımındaki deney sonuçlarına göre şişme yüzdesi üç halkada da %4'ün üstünde çıkmıştır ve zeminin şiştiği görülmüştür. Numune boylarının 20 mm'den 17-18 mm'ye kadar düşmüş ve 2-3 mm'lik oturma gerçekleşmiştir.

Aşağıda %5 çimento katkılı olarak hazırlanan kumlu kil karışımı konsolidasyon deney sonuçları Çizelge 5.17-5.19'da verilmiştir. Deney okumaları Ek Çizelge 4-6'te ve oturma-karekök zaman grafikleri Ek Şekil 4-5'te verilmiştir.

Çizelge 5.17: %5 çimento katkılı kumlu kil karışımı 1.halka konsolidasyon deney sonuçları

%67,5 KİL + %27,5 KUM + %5 ÇİMENTO 1. HALKA												
Yük	Basınç, σ'		H	H ₀	e	e ortalama	Δe	$\Delta \sigma$	$a=\Delta e/\Delta \sigma$	m_v	t_{90} (dk)	C_v (*)
kg	kg/cm ²	kPa	mm	mm	-	e ort	-	kpa	m ² /kN	m ² /kN	dk	(mm ² /dk)
0	0	0	20,00	12,253	0,632	0,632	0	0	0	0		
1	0,52	51	20,53	12,253	0,676	0,654	-0,043	51	-0,000852	-0,000267	9,00	0,10054350
2	1,04	102	20,48	12,253	0,671	0,674	0,004	51	0,000080	0,000025	9,00	0,09966942
4	2,07	203	20,31	12,253	0,658	0,665	0,014	102	0,000137	0,000085	9,00	0,09841360
8	4,14	406	20,05	12,253	0,636	0,647	0,021	203	0,000104	0,000131	9,00	0,09654481
16	8,28	813	19,55	12,253	0,596	0,616	0,041	406	0,000100	0,000258	9,00	0,09325892
32	16,6	1625	18,87	12,253	0,540	0,568	0,055	813	0,000068	0,000361	9,00	0,08850523
64	33,1	3251	18,09	12,253	0,476	0,508	0,064	1625	0,000039	0,000431	9,00	0,08269660
16	8,28	813	18,18	12,253	0,484	0,480	0,007	2438	0,000003	0,000051	9,00	0,08269660
4	2,07	203	18,45	12,253	0,506	0,495	0,022	610	0,000036	0,000150	9,00	0,08022037
1	0,52	51	18,59	12,253	0,517	0,512	0,011	152	0,000075	0,000077	9,00	0,08081170

Çizelge 5.18: %5 çimento katkılı kumlu kil karışımı 2.halka konsolidasyon deney sonuçları

%67,5 KİL + %27,5 KUM + %5 ÇİMENTO 2. HALKA												
Yük	Basınç, σ'		H	H ₀	e	e ortalama	Δe	$\Delta \sigma$	$a=\Delta e/\Delta \sigma$	m_v	t_{90} (dk)	C_v (*)
kg	kg/cm ²	kPa	mm	mm	-	e ort	-	kpa	m ² /kN	m ² /kN	dk	(mm ² /dk)
0	0	0	20,00	12,087	0,655	0,655	0	0	0	0		
1	0,52	51	20,53	12,087	0,699	0,677	-0,044	51	-0,000863	-0,000267	11,56	0,07801281
2	1,04	102	20,48	12,087	0,694	0,697	0,004	51	0,000081	0,000025	11,56	0,07746532
4	2,07	203	20,34	12,087	0,683	0,689	0,012	102	0,000114	0,000070	11,56	0,07666645
8	4,14	406	20,09	12,087	0,662	0,673	0,021	203	0,000102	0,000126	11,56	0,07533645
16	8,28	813	19,64	12,087	0,625	0,644	0,037	406	0,000092	0,000231	11,56	0,07301981
32	16,6	1625	19,02	12,087	0,574	0,599	0,051	813	0,000063	0,000327	11,56	0,06964170
64	33,1	3251	18,15	12,087	0,502	0,538	0,072	1625	0,000044	0,000478	11,56	0,06494545
16	8,28	813	18,20	12,087	0,506	0,504	0,004	2438	0,000002	0,000028	11,56	0,06494545
4	2,07	203	18,38	12,087	0,521	0,513	0,015	610	0,000024	0,000100	11,56	0,06239041
1	0,52	51	18,46	12,087	0,527	0,524	0,007	152	0,000043	0,000044	11,56	0,06244242

Çizelge 5.19: %5 çimento katkılı kumlu kil karışımı 3.halka konsolidasyon deney sonuçları

%67,5 KİL + %27,5 KUM + %5 ÇİMENTO 3. HALKA												
Yük	Basınç, σ'		H	H ₀	e	e ortalama	Δe	$\Delta \sigma$	$a=\Delta e/\Delta \sigma$	m_v	t_{90} (dk)	C_v (*)
kg	kg/cm ²	kPa	mm	mm	-	e ort	-	kpa	m ² /kN	m ² /kN	dk	(mm ² /dk)
0	0	0	20,00	12,481	0,602	0,602	0	0	0	0		
1	0,52	51	20,71	12,481	0,659	0,631	-0,057	51	-0,001120	-0,000356	2,25	0,40509923
2	1,04	102	20,67	12,481	0,656	0,658	0,003	51	0,000063	0,000020	2,25	0,40383033
4	2,07	203	20,51	12,481	0,643	0,650	0,013	102	0,000126	0,000079	2,25	0,40008408
8	4,14	406	20,39	12,481	0,634	0,638	0,010	203	0,000047	0,000060	2,25	0,39589646
16	8,28	813	20,01	12,481	0,603	0,618	0,030	406	0,000075	0,000192	2,25	0,38652504
32	16,6	1625	19,44	12,481	0,558	0,580	0,046	813	0,000056	0,000295	2,25	0,37114571
64	33,1	3251	18,86	12,481	0,511	0,534	0,046	1625	0,000029	0,000309	2,25	0,35291741
16	8,28	813	18,90	12,481	0,514	0,513	0,003	2438	0,000001	0,000022	2,25	0,35291741
4	2,07	203	19,03	12,481	0,525	0,520	0,010	610	0,000017	0,000070	2,25	0,34295432
1	0,52	51	19,09	12,481	0,530	0,527	0,005	152	0,000032	0,000032	2,25	0,34316326

%5 çimento katkılı karışımındaki deney sonuçlarına göre çimentonun iyileştirici özellik gösterip deformasyonu azalttığı görülmüştür. Şişme yüzdesi değerlerini

%4'ün altına düşürmüş ve oturma değerlerini 2-1 mm aralığına çekmiştir.

Aşağıda %10 çimento katkılı olarak hazırlanan kumlu kil karışımı konsolidasyon deney sonuçları Çizelge 5.20-5.22'de verilmiştir. Deney okumaları Ek Çizelge 7-9'te ve oturma-karekök zaman grafikleri Ek Şekil 7-9'te verilmiştir.

Çizelge 5.20: %10 çimento katkılı kumlu kil karışımı 1.halka konsolidasyon deney sonuçları

%65 KİL + %25 KUM + %10 ÇİMENTO 1. HALKA													
Yük	Basınç, σ'		H	H ₀	e	e ortalama	Δe	$\Delta \sigma$	$a=\Delta e/\Delta \sigma$	m_v	t_{90} (dk)	$C_v^{(*)}$	
kg	kg/cm ²	kPa	mm	mm	-	e ort	-	kpa	m ² /kN	m ² /kN	dk	(mm ² /dk)	
0	0	0	20,00	12,891	0,552	0,552	0	0	0	0			
1	0,52	51	20,50	12,891	0,590	0,571	-0,039	51	-0,000764	-0,000252	12,25	0,07301308	
2	1,04	102	20,45	12,891	0,586	0,588	0,004	51	0,000076	0,000025	12,25	0,07269351	
4	2,07	203	20,39	12,891	0,582	0,584	0,005	102	0,000046	0,000030	12,25	0,07232156	
8	4,14	406	20,23	12,891	0,569	0,576	0,012	203	0,000061	0,000080	12,25	0,07157173	
16	8,28	813	19,92	12,891	0,545	0,557	0,024	406	0,000059	0,000158	12,25	0,07011427	
32	16,6	1625	19,13	12,891	0,484	0,515	0,061	813	0,000075	0,000413	12,25	0,06668051	
64	33,1	3251	18,47	12,891	0,433	0,458	0,051	1625	0,000031	0,000358	12,25	0,06280126	
16	8,28	813	18,53	12,891	0,437	0,435	0,005	2438	0,000002	0,000033	12,25	0,06280126	
4	2,07	203	18,57	12,891	0,441	0,439	0,003	610	0,000005	0,000022	12,25	0,06038764	
1	0,52	51	18,58	12,891	0,441	0,441	0,001	152	0,000005	0,000005	12,25	0,06006518	

Çizelge 5.21: %10 çimento katkılı kumlu kil karışımı 2.halka konsolidasyon deney sonuçları

%65 KİL + %25 KUM + %10 ÇİMENTO 2.HALKA													
Yük	Basınç, σ'		H	H ₀	e	e ortalama	Δe	$\Delta \sigma$	$a=\Delta e/\Delta \sigma$	m_v	t_{90} (dk)	$C_v^{(*)}$	
kg	kg/cm ²	kPa	mm	mm	-	e ort	-	kpa	m ² /kN	m ² /kN	dk	(mm ² /dk)	
0	0	0	20,00	12,419	0,610	0,610	0	0	0	0			
1	0,52	51	20,67	12,419	0,664	0,637	-0,054	51	-0,001062	-0,000336	2,89	0,31493253	
2	1,04	102	20,55	12,419	0,655	0,660	0,010	51	0,000190	0,000059	2,89	0,31235392	
4	2,07	203	20,47	12,419	0,648	0,651	0,006	102	0,000063	0,000040	2,89	0,30986130	
8	4,14	406	20,27	12,419	0,632	0,640	0,016	203	0,000079	0,000100	2,89	0,30561680	
16	8,28	813	19,95	12,419	0,606	0,619	0,026	406	0,000063	0,000162	2,89	0,29874954	
32	16,6	1625	19,44	12,419	0,565	0,586	0,041	813	0,000051	0,000264	2,89	0,28788608	
64	33,1	3251	18,90	12,419	0,522	0,544	0,043	1625	0,000027	0,000287	2,89	0,27480927	
16	8,28	813	18,95	12,419	0,526	0,524	0,004	2438	0,000002	0,000027	2,89	0,27480927	
4	2,07	203	18,99	12,419	0,529	0,527	0,003	610	0,000005	0,000022	2,89	0,26680755	
1	0,52	51	19,00	12,419	0,530	0,529	0,001	152	0,000005	0,000005	2,89	0,26581115	

Çizelge 5.22: %10 çimento katkılı kumlu kil karışımı 3.halka konsolidasyon deney sonuçları

%65 KİL + %25 KUM + %10 ÇİMENTO 3.HALKA												
Yük	Basınç, σ		H	H ₀	e	e ortalama	Δe	$\Delta \sigma$	$a=\Delta e/\Delta \sigma$	m_v	t_{90} (dk)	C_v (*)
kg	kg/cm ²	kPa	mm	mm	-	e ort	-	kpa	m ² /kN	m ² /kN	dk	(mm ² /dk)
0	0	0	20,00	12,385	0,615	0,615	0	0	0	0		
1	0,52	51	20,59	12,385	0,662	0,639	-0,048	51	-0,000938	-0,000297	12,96	0,06961925
2	1,04	102	20,54	12,385	0,658	0,660	0,004	51	0,000079	0,000025	12,96	0,06931586
4	2,07	203	20,47	12,385	0,653	0,656	0,006	102	0,000056	0,000035	12,96	0,06892916
8	4,14	406	20,30	12,385	0,639	0,646	0,014	203	0,000068	0,000085	12,96	0,06816736
16	8,28	813	19,99	12,385	0,614	0,627	0,025	406	0,000062	0,000157	12,96	0,06675968
32	16,6	1625	19,42	12,385	0,568	0,591	0,046	813	0,000057	0,000295	12,96	0,06420087
64	33,1	3251	18,64	12,385	0,505	0,537	0,063	1625	0,000039	0,000418	12,96	0,06046231
16	8,28	813	18,73	12,385	0,512	0,509	0,007	2438	0,000003	0,000049	12,96	0,06046231
4	2,07	203	18,87	12,385	0,524	0,518	0,011	610	0,000019	0,000076	12,96	0,05858017
1	0,52	51	18,90	12,385	0,526	0,525	0,002	152	0,000016	0,000016	12,96	0,05850631

%10 çimento katkılı karışımdaki deney sonuçlarının, %5 çimento katkısına göre daha çok iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Şişme yüzdesi değerlerini %3 ve altına düşürmüş, oturma değerleri 1 mm'den daha küçük çıkmıştır.

Aşağıda %15 çimento katkılı olarak hazırlanan kumlu kil karışımı konsolidasyon deney sonuçları Çizelge 5.23-5.25'de verilmiştir. Deney okumaları Ek Çizelge 9-12'de ve oturma-karekök zaman grafikleri Ek Şekil 9-12'de verilmiştir.

Çizelge 5.23: %15 çimento katkılı kumlu kil karışımı 1.halka konsolidasyon deney sonuçları

%62,5 KİL + %22,5 KUM + %15 ÇİMENTO 1. HALKA												
Yük	Basınç, σ		H	H ₀	e	e ortalama	Δe	$\Delta \sigma$	$a=\Delta e/\Delta \sigma$	m_v	t_{90} (dk)	C_v (*)
kg	kg/cm ²	kPa	mm	mm	-	e ort	-	kpa	m ² /kN	m ² /kN	dk	(mm ² /dk)
0	0	0	20,00	12,196	0,640	0,640	0	0	0	0		
1	0,52	51	20,25	12,196	0,660	0,650	-0,020	51	-0,000404	-0,000127	4,41	0,19819982
2	1,04	102	20,23	12,196	0,659	0,660	0,002	51	0,000032	0,000010	4,41	0,19746841
4	2,07	203	20,16	12,196	0,653	0,656	0,006	102	0,000056	0,000035	4,41	0,19642242
8	4,14	406	20,01	12,196	0,641	0,647	0,012	203	0,000061	0,000076	4,41	0,19444751
16	8,28	813	19,73	12,196	0,618	0,629	0,023	406	0,000056	0,000144	4,41	0,19077296
32	16,6	1625	19,39	12,196	0,590	0,604	0,028	813	0,000034	0,000177	4,41	0,18572231
64	33,1	3251	18,79	12,196	0,541	0,565	0,049	1625	0,000030	0,000321	4,41	0,17763462
16	8,28	813	18,80	12,196	0,542	0,541	0,001	2438	0,000000	0,000005	4,41	0,17763462
4	2,07	203	18,88	12,196	0,548	0,545	0,007	610	0,000011	0,000043	4,41	0,17255114
1	0,52	51	18,93	12,196	0,552	0,550	0,004	152	0,000027	0,000027	4,41	0,17240833

Çizelge 5.24: %15 çimento katkılı kumlu kil karışımı 2.halka konsolidasyon deney sonuçları

%62,5 KİL + %22,5 KUM + %15 ÇİMENTO 2.HALKA												
Yük	Basınç, σ'		H	H ₀	e	e ortalama	Δe	$\Delta \sigma$	$a=\Delta e/\Delta \sigma$	m_v	t_{90} (dk)	C_v (*)
kg	kg/cm ²	kPa	mm	mm	-	e ort	-	kpa	m ² /kN	m ² /kN	dk	(mm ² /dk)
0	0	0	20,00	12,391	0,614	0,614	0	0	0	0		
1	0,52	51	20,14	12,391	0,625	0,620	-0,011	51	-0,000222	-0,000071	10,24	0,08439341
2	1,04	102	20,11	12,391	0,623	0,624	0,002	51	0,000048	0,000015	10,24	0,08405935
4	2,07	203	20,08	12,391	0,621	0,622	0,002	102	0,000024	0,000015	10,24	0,08376758
8	4,14	406	20,01	12,391	0,615	0,618	0,006	203	0,000028	0,000036	10,24	0,08333089
16	8,28	813	19,80	12,391	0,598	0,606	0,017	406	0,000042	0,000108	10,24	0,08224414
32	16,6	1625	19,38	12,391	0,564	0,581	0,034	813	0,000042	0,000219	10,24	0,07998520
64	33,1	3251	18,60	12,391	0,501	0,533	0,063	1625	0,000039	0,000419	10,24	0,07574719
16	8,28	813	18,64	12,391	0,504	0,503	0,003	2438	0,000001	0,000022	10,24	0,07574719
4	2,07	203	18,72	12,391	0,511	0,508	0,006	610	0,000011	0,000044	10,24	0,07318833
1	0,52	51	18,74	12,391	0,512	0,512	0,002	152	0,000011	0,000011	10,24	0,07294737

Çizelge 5.25: %15 çimento katkılı kumlu kil karışımı 3.halka konsolidasyon deney sonuçları

%62,5 KİL + %22,5 KUM + %15 ÇİMENTO 3.HALKA												
Yük	Basınç, σ'		H	H ₀	e	e ortalama	Δe	$\Delta \sigma$	$a=\Delta e/\Delta \sigma$	m_v	t_{90} (dk)	C_v (*)
kg	kg/cm ²	kPa	mm	mm	-	e ort	-	kpa	m ² /kN	m ² /kN	dk	(mm ² /dk)
0	0	0	20,00	12,840	0,558	0,558	0	0	0	0		
1	0,52	51	20,29	12,840	0,580	0,569	-0,023	51	-0,000445	-0,000147	4,00	0,22013253
2	1,04	102	20,27	12,840	0,579	0,579	0,002	51	0,000031	0,000010	4,00	0,21894598
4	2,07	203	20,24	12,840	0,576	0,577	0,002	102	0,000023	0,000015	4,00	0,21803130
8	4,14	406	20,17	12,840	0,571	0,574	0,005	203	0,000027	0,000035	4,00	0,21682363
16	8,28	813	20,03	12,840	0,560	0,565	0,011	406	0,000027	0,000071	4,00	0,21472495
32	16,6	1625	19,79	12,840	0,541	0,551	0,019	813	0,000023	0,000123	4,00	0,21113301
64	33,1	3251	19,17	12,840	0,493	0,517	0,048	1625	0,000030	0,000325	4,00	0,20286857
16	8,28	813	19,18	12,840	0,494	0,493	0,001	2438	0,000000	0,000005	4,00	0,20286857
4	2,07	203	19,25	12,840	0,499	0,496	0,005	610	0,000009	0,000037	4,00	0,19764752
1	0,52	51	19,26	12,840	0,500	0,500	0,001	152	0,000005	0,000005	4,00	0,19712453

%15 çimento katkılı karışımındaki deney sonuçlarına göre deformasyonun daha da azaldığı görülmüştür. Şişme yüzdesi değerlerini %2 ve altına düşürmüş, oturma değerleri 1 mm'den daha küçük çıkmıştır.

Aşağıda %20 çimento katkılı olarak hazırlanan kumlu kil karışımı konsolidasyon deney sonuçları Çizelge 5.26-5.28'de verilmiştir. Deney okumaları Ek Çizelge 13-15'de ve oturma-karekök zaman grafikleri Ek Şekil 13-14'te verilmiştir.

Çizelge 5.26: %20 çimento katkıli kumlu kil karışımı 1.halka konsolidasyon deney sonuçları

%60 KİL + %20 KUM + %20 ÇİMENTO 1.HALKA												
Yük	Basınç, σ		H	H ₀	e	e ortalama	Δe	$\Delta \sigma$	$a=\Delta e/\Delta \sigma$	m_v	t_{90} (dk)	C_v (*)
kg	kg/cm ²	kPa	mm	mm	-	e ort	-	kpa	m ² /kN	m ² /kN	dk	(mm ² /dk)
0	0	0	20,00	12,422	0,610	0,610	0	0	0	0		
1	0,52	51	20,07	12,422	0,616	0,613	-0,006	51	-0,000111	-0,000036	1,69	0,50831942
2	1,04	102	20,01	12,422	0,611	0,613	0,005	51	0,000095	0,000031	1,69	0,50529372
4	2,07	203	19,87	12,422	0,599	0,605	0,012	102	0,000115	0,000074	1,69	0,50014570
8	4,14	406	19,80	12,422	0,594	0,597	0,005	203	0,000026	0,000033	1,69	0,49595896
16	8,28	813	19,72	12,422	0,587	0,591	0,007	406	0,000017	0,000044	1,69	0,49175878
32	16,6	1625	19,48	12,422	0,568	0,578	0,019	813	0,000023	0,000122	1,69	0,48385842
64	33,1	3251	19,16	12,422	0,542	0,555	0,026	1625	0,000016	0,000169	1,69	0,47211263
16	8,28	813	19,18	12,422	0,544	0,543	0,002	2438	0,000001	0,000011	1,69	0,47211263
4	2,07	203	19,24	12,422	0,549	0,546	0,005	610	0,000008	0,000032	1,69	0,46557047
1	0,52	51	19,31	12,422	0,555	0,552	0,006	152	0,000037	0,000037	1,69	0,46665955

Çizelge 5.27: %20 çimento katkıli kumlu kil karışımı 2.halka konsolidasyon deney sonuçları

%60 KİL + %20 KUM + %20 ÇİMENTO 2. HALKA												
Yük	Basınç, σ		H	H ₀	e	e ortalama	Δe	$\Delta \sigma$	$a=\Delta e/\Delta \sigma$	m_v	t_{90} (dk)	C_v (*)
kg	kg/cm ²	kPa	mm	mm	-	e ort	-	kpa	m ² /kN	m ² /kN	dk	(mm ² /dk)
0	0	0	20,00	12,507	0,599	0,599	0	0	0	0		
1	0,52	51	20,27	12,507	0,621	0,610	-0,022	51	-0,000425	-0,000137	-	0,05738135
2	1,04	102	20,25	12,507	0,619	0,620	0,002	51	0,000031	0,000010	15,21	0,05726828
4	2,07	203	20,22	12,507	0,617	0,618	0,002	102	0,000024	0,000015	15,21	0,05712710
8	4,14	406	20,19	12,507	0,614	0,615	0,002	203	0,000012	0,000015	15,21	0,05697201
16	8,28	813	20,15	12,507	0,611	0,613	0,003	406	0,000008	0,000020	15,21	0,05678196
32	16,6	1625	19,98	12,507	0,597	0,604	0,014	813	0,000017	0,000086	15,21	0,05621020
64	33,1	3251	19,60	12,507	0,567	0,582	0,030	1625	0,000019	0,000196	15,21	0,05486950
16	8,28	813	19,64	12,507	0,570	0,569	0,003	2438	0,000001	0,000021	15,21	0,05486950
4	2,07	203	19,70	12,507	0,575	0,573	0,005	610	0,000008	0,000031	15,21	0,05420393
1	0,52	51	19,74	12,507	0,578	0,577	0,003	152	0,000021	0,000021	15,21	0,05425827

Çizelge 5.28: %20 çimento katkıli kumlu kil karışımı 3.halka konsolidasyon deney sonuçları

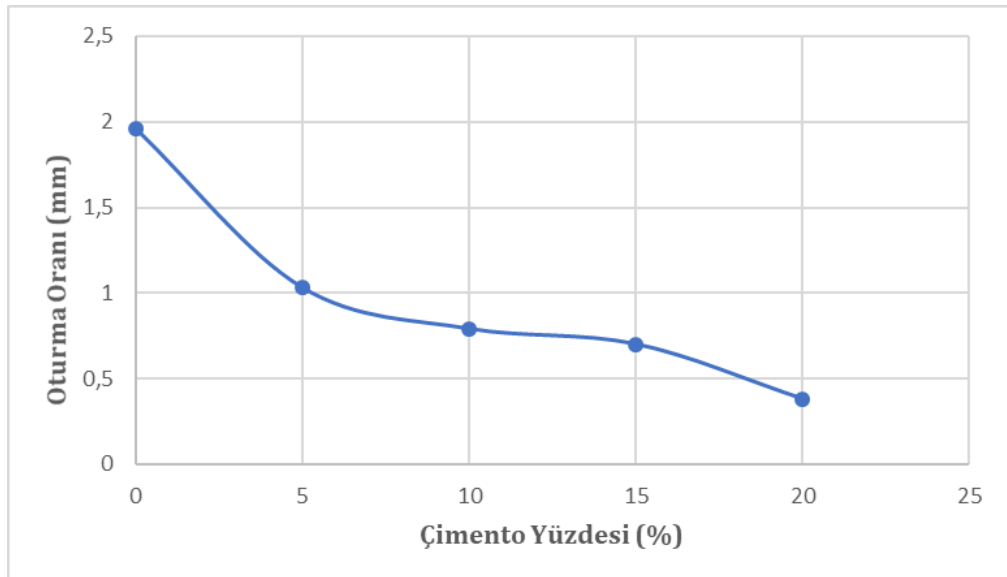
%60 KİL + %20 KUM + %20 ÇİMENTO 3.HALKA												
Yük	Basınç, σ		H	H ₀	e	e ortalama	Δe	$\Delta \sigma$	$a=\Delta e/\Delta \sigma$	m_v	t_{90} (dk)	C_v (*)
kg	kg/cm ²	kPa	mm	mm	-	e ort	-	kpa	m ² /kN	m ² /kN	dk	(mm ² /dk)
0	0	0	20,00	12,876	0,553	0,553	0	0	0	0		
1	0,52	51	20,33	12,876	0,579	0,566	-0,026	51	-0,000505	-0,000167	1,96	0,44748830
2	1,04	102	20,30	12,876	0,577	0,578	0,002	51	0,000046	0,000015	1,96	0,44660872
4	2,07	203	20,27	12,876	0,574	0,575	0,002	102	0,000023	0,000015	1,96	0,44551046
8	4,14	406	20,22	12,876	0,570	0,572	0,004	203	0,000019	0,000025	1,96	0,44386560
16	8,28	813	20,01	12,876	0,554	0,562	0,016	406	0,000040	0,000107	1,96	0,43845915
32	16,6	1625	19,77	12,876	0,535	0,545	0,019	813	0,000023	0,000123	1,96	0,43057342
64	33,1	3251	19,29	12,876	0,498	0,517	0,037	1625	0,000023	0,000251	1,96	0,41640822
16	8,28	813	19,33	12,876	0,501	0,500	0,003	2438	0,000001	0,000021	1,96	0,41640822
4	2,07	203	19,38	12,876	0,505	0,503	0,004	610	0,000006	0,000026	1,96	0,40824804
1	0,52	51	19,41	12,876	0,507	0,506	0,002	152	0,000015	0,000016	1,96	0,40787546

%20 çimento katkılı karışımdaki deney sonuçlarına göre oturma oranı 0,16 ya kadar düştüğü için 2.halka deney sonuçlarına göre oturma-karekök zaman grafiği çizilememiştir ve t_{90} değeri okunamamıştır.

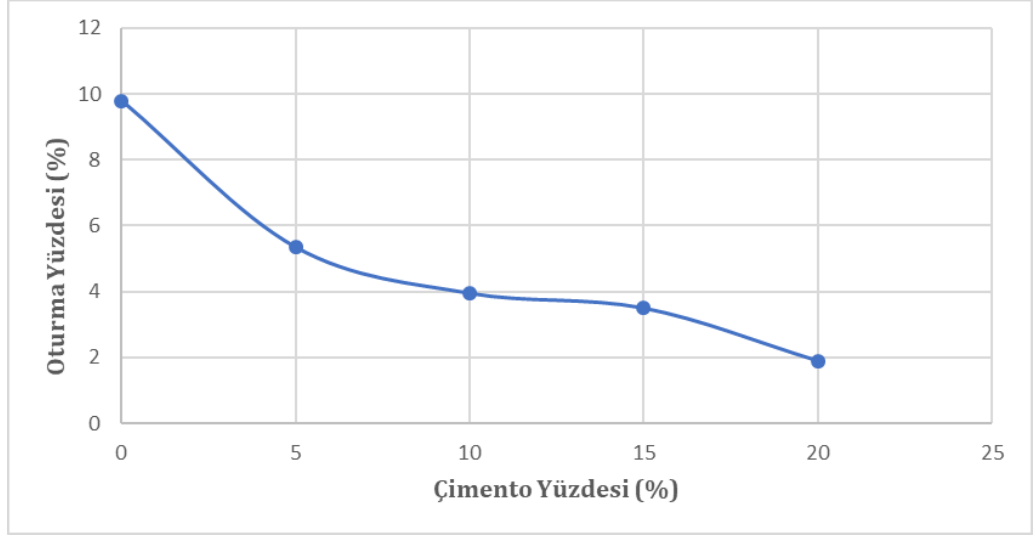
Çizelge 5.29: Çimento yüzdesine bağlı numune oturma miktarı değerleri

KONSOLIDASYON DENEYİ OTURMA DEĞERLERİ		
Numune yüksekliği (h) = 20 mm		
Çimento Oranı (%)	1-2-3. Set Ortalama Değerleri	
	Hort (mm)	Oturma (mm)
%0 Çimento	18,04	1,96
%5 Çimento	18,97	1,07
%10 Çimento	19,21	0,79
%15 Çimento	19,30	0,70
%20 Çimento	19,62	0,38

Çimento yüzdelere göre hazırlanan numunelerin oturma miktarları yukarıdaki tabloda verilmiştir. H_{ort} değerleri 64 kg yük için hesaplanmıştır. Çimento miktarının artmasına bağlı olarak numunelerdeki oturma değerleri giderek azalmıştır. Çimentosuz karışımda numune boyunun 20 mm'den, 18,04 'e düşmüş yaklaşık 2 mm' lik bir kısalma olduğu görülmüştür. %20 oranındaki çimentolu karışımda bu oranın 0,38 mm olduğu görülmüştür.



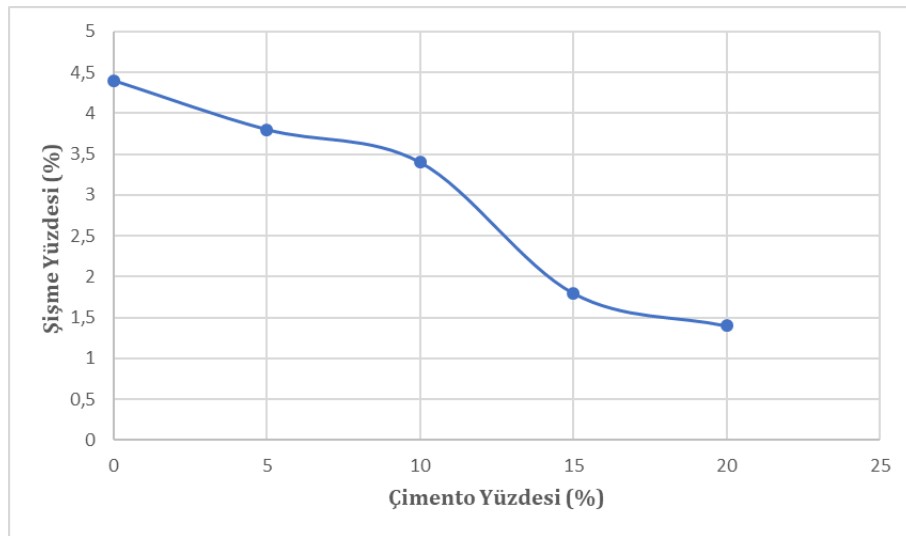
Şekil 5.28: Çimento yüzdesine bağlı numune oturma miktarı değerlerinin grafikte gösterimi



Şekil 5.29: Çimento yüzdesine bağlı numune oturma yüzdesi değerlerinin grafikte gösterimi

Çizelge 5.30: Çimento yüzdesine bağlı numune şişme yüzdesi değerleri

KONSOLIDASYON DENEYİ ŞİŞME DEĞERLERİ	
Çimento Oranı (%)	1-2-3. Set Ortalama Değerleri
	Şişme (%)
%0 Çimento	4,4
%5 Çimento	3,8
%10 Çimento	3,4
%15 Çimento	1,8
%20 Çimento	1,4



Şekil 5.30: Çimento yüzdesine bağlı numune şişme yüzdesi değerlerinin grafikte gösterimi

Yukarıdaki grafikte görüldüğü gibi numune çimento miktarı arttıkça şişme oranı giderek azalmıştır.

Farklı çimento yüzdelere göre hazırlanan numunelerin çimento miktarının artmasına bağlı olarak oturma ve şişme miktarlarında giderek azalma olduğu görülmüştür. %20 oranında eklenen çimento miktarının zemindeki oturma miktarını %9,8'den %1,9'a düşürdüğü görülmüştür.





6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada çimento-kumlu kil karışım oranlarının mekanik özellikleri araştırılmıştır. Birinci aşamada %70 kil ve %30 kum malzemelerinin karışımından yapılan likit limit ve plastik limit deneyleri sonucunda kilin özelliğini koruyarak likit limit ve plastik limit sınıflandırmasında yüksek plastisiteli kil (CH) sınıfında olduğu kilin baskın olduğu görülmüştür. Standart proktor deneyi sonucu numunenin optimum su muhtevası bulunmuştur. İkinci aşamada optimum su muhtevasında hazırlanan çimentosuz ve çimentolu numunelere tek boyutlu konsolidasyon deneyleri ve üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.

%0, %5, %10, %15 ve %20 çimento yüzdelere göre hazırlanan numunelerin tek yönlü konsolidasyon deneyleri sonucu çimento miktarının artmasına bağlı olarak oturma ve şişme miktarlarında giderek azalma olduğu görülmüştür. %20 oranında eklenen çimento miktarının zemindeki oturma miktarını %9,8'den %1,9'a düşürdüğü görülmüştür. Deformasyon davranışının azalmasından ve zemin dayanımının artmasından, çimentonun zeminde iyileştirme yaptığını göstermiştir.

Çimento katkısız ve %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento katkılı kumlu kil numunelerine sırasıyla 50, 100 ve 150 kPa çevre basıncı verilerek konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli basınç (UU) deneyleri yapılmıştır. Çimento katkılı UU deneylerinde aynı gün ve 7 gün sonra deneyler yapılmıştır. Böylece çimento katkısının, katkı oranına ve bekleme süresine bağlı olarak mukavemet özelliklerine etkisi incelenmiştir. UU deneylerinde artan çimento miktarına bağlı olarak mukavemette belirli bir çimento yüzdesine kadar artma sonrasında da düşüş olduğu görülmüştür.

UU deneyleri sonucu mukavemetteki artış aynı gün yapılan deneylerde %10 çimento katkısına kadar artıp sonrasında düşmüştür. 7 günlük numunelerde ise %15 çimento katkısına kadar arttığı sonrasında düştüğü görülmüştür. Kür süresi arttıkça çimento katkısı da daha yüksek miktarlara kadar mukavemet artışı göstermiştir.

UU deneylerinde %10 ve %15 çimento katkısındaki pik değerden sonra dayanımın

düşmesi sabit su muhtevasında w/ç oranının düşmesinden yani çimento miktarının artmasından dolayı düştüğü görülmüştür. Bu çalışmada %10 ve %15 çimento katkısındaki pik yaptığı değerden sonra eklenen çimento miktarında ortamda hidrasyon için yeterli su bulunmadığından dolayı dayanım düşmüştür.

Konsolidasyon deneyinde ise drenaj yapıldığı için oturma gerçekleşti ve her çimento yüzdesinde buna bağlı olarak dayanım da artmıştır. Konsolidasyon ve UU deneyleri arasındaki farklılığın sebebi, UU deneylerinde suyun sabit olmasından dolayı pik yaptığı noktadan sonra hidrasyon sağlanamadığı için dayanım düşmüştür.

Bu çalışmalarda daha farklı sonuçlar görebilmek için çimento sınıfı farklı bir çimento katkısı ya da diğer zemin iyileştirme katkı maddeleri (kireç, uçucu kül ve bentonit gibi) kullanılabilir. Çimenonun kür süresi daha da arttırılıp 14 gün ve 28 günlük numuneler üzerinde deneyler yapıp farklı sonuçlar alınabilir. Bu çalışmada İstanbul Şile Bölgesi'nden alınan kaolin kil kullanılarak deneyler yapılmıştır ve daha önce yapılan benzer çalışmalarda kullanılan kilin daha farklı sonuçlar gösterdiği görülmüştür. Deney sonuçlarının kilin alındığı bölge ve kil tipine göre de değişiklik gösterdiği görülmüştür. Aynı çalışmalar, farklı bölgelerden alınan kil kullanılarak da yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Adıyaman, İ., B.** (2005). Üç Boyutlu Konsolidasyon Deney Sistemi (Yüksek Lisans tez), İTÜ, İstanbul.
- Blahova, K., Sevelova, L. ve Pilarova, P.** (2013). Influence of water content on the shear strength parameters of clayey soil in relation to stability analysis of a hillside in Brno region. *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendeliana Brunensis*, 61, 6, 1583-1588.
- Başer, O., Çokça, E.,** (2010). Şişen Zeminlerin Atık Mermer Tozu Kullanılarak İyileştirilmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi, İstanbul, s. 143-152.
- Başer, O.,** (2009). Stabilization of Expansive Soils Using Waste Marble Dust. Master Thesis, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Civil Engineering, Ankara.
- Batman, A.,** (2015). Öğütülmüş Kuvars Kumunun Kilin Mukavemet Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Bayın, A.,** (2011). Konsolidasyonlu-Drenajlı Üç Eksenli Basınç Deney Yöntemi İle Kalıcı Kayma Direncinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bayoğlu, E.,** (1995). Kum-Kil Karışımlarının Kayma Dayanımı ve Sıkışabilme Özellikleri. ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Çanakçı, H. ve Güllü, H.** (2007). Kil-Kum Karışımı Zeminlerde Karışım Oranının İçsel Sürtünme Açısı Üzerine Etkisinin İncelenmesi, 2. Geoteknik Sempozyumu, Adana, s. 430-436.
- Das, B., M.,** (1995). Principles of Foundation Engineering, PWS Publishing Company, a division of International Thomson Publishing Inc. Boston, USA, 828 p.
- Ghosh, R.** (2013). Effect of soil moisture in the analysis of undrained shear strength of compacted clayey soil. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 4,1, 23-31.
- Güven, C.,** (2007). Yüksek Plastisiteli Bir Kilde Kum Miktarının Kayma Mukavemetine Etkileri. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü yüksek lisans tezi, Sakarya
- Holtz, R., and Kovacs, W.,** (1981). Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632, U.S.A., 723p.
- İkizler, S., B., Aytakin, B., Vekli, M., Yavuz, H., İ., Tandoğan, M.,** (2008). Bentonitin Çimento, Uçucu Kül ve Kum ile Stabilizasyonu, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi, Konya, s. 689-698.
- Kaniraj, S.R. and Havanagi, V.G.,** (1999). Compressive Strength of Cement Stabilized Fly Ash-Soil Mixtures, *Cement and Concrete Research* 29,673– 677.
- Kayabali, K., Aktürk, Ö., Fener, M., Üstün, A.B., Dikmen, O., Harputlugil, F.H.** (2015). Evaluation of Undrained Shear Strength of Fine-Grained Soils in Consideration of Soil Plasticity. *Yerbilimleri*, 36, 3, 121-136.
- Kılıç, G.** (2008). Çimento ile Zemin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız

- Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kumbasar, V.,** (1999). Zemin Mekaniği Problemleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 671s.
- Mitchell, J.K.**(1981) “Soil of the Art – Soil Improvement”. Proceedings of the 10th ICSMFE. Stockholm, Vol. 4, p. 509-565.
- Ölmez, M., S., Ergun, M., U.,** (2008). Kil - Kum Karışımlarının Kayma Dayanımı Özellikleri, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi, Konya, s. 303-312.
- Önalp, A.,** (2002). Geoteknik Bilgisi I. Birsen Yayınevi Ltd.Şti., İstanbul.
- Önalp, A.** (2007) Geoteknik Bilgisi 1Çözümlü Problemlerle Zeminler ve Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Özaydın, K.** (2010). Zemin Mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Özaydın, K.,** (2012). Zeminlerin İyileştirilmesi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi.
- TS 1900-1,** (2006). İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Topp, G.C., Ferre, P.A.** (2002). Methods for measurement of soil water content: thermogravimetric using convective oven-drying. 5th Soil Science Society of America, Madison, WI, 422–424.
- Tumluer, G.,** (2006). Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Uysal, N.,** (2014). Polimerler İle Stabilize Edilmiş Kumların Kayma Mukavemetinin Laboratuvar Deneyleri İle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Uzuner, B.A.,** (2007). Temel Zemin Mekaniği, Derya Kitabevi,560 s., Trabzon.
- Ünverdi, A.,** (2006). İnce Çakıl İçeriğinin Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerin Kayma Dayanımına Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Wasti, Y., Alyanak, I.,** (1968). Kil Muhtevasının Zeminin Davranışına Tesiri. İnşaat Mühendisleri Odası Türkiye İnşaat Mühendisliği IV. Teknik Kongresi, Ankara.
- Yıldırım, S.,** (2004). Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsen Yayınevi, p. 439, 453-İstanbul.
- Yılmaz, M.,** (2012). Killerin Şişme Basıncı ve Konsolidasyon Özelliklerine Öğütülmüş Kumunun Etkisinin Araştırılması, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Yılmaz, E.,** (2006). Zeminlerin Endeks Özelliklerinin Kalıcı Kayma Mukavemetine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Zumrawi, M.M.E., Mohammed, L.A.D.** (2016). Correlation of placement conditions and soil intrinsic properties with shear strength of cohesive soils. 7th Annual Conference for Postgraduate Studies and Scientific Research - Basic Sciences and Engineering Studies, Khartoum, Sudan.

EKLER

EK A. Katkısız Kumlu Kil Konsolidasyon Deneyleri

EK A.1 Katkısız Kumlu Kil 1.Halka

EK A.2 Katkısız Kumlu Kil 2. Halka

EK A.3 Katkısız Kumlu Kil 3. Halka

EK B. %5 Çimento Katkılı Kumlu Kil Konsolidasyon Deneyleri

EK B.1 %5 Çimento Katkılı Kumlu Kil 1.Halka

EK B.2 %5 Çimento Katkılı Kumlu Kil 2. Halka

EK B.3 %5 Çimento Katkılı Kumlu Kil 3. Halka

EK C. %10 Çimento Katkılı Kumlu Kil Konsolidasyon Deneyleri

EK C.1 %10 Çimento Katkılı Kumlu Kil 1.Halka

EK C.2 %10 Çimento Katkılı Kumlu Kil 2. Halka

EK C.3 %10 Çimento Katkılı Kumlu Kil 3. Halka

EK D. %15 Çimento Katkılı Kumlu Kil Konsolidasyon Deneyleri

EK D.1 %15 Çimento Katkılı Kumlu Kil 1.Halka

EK D.2 %15 Çimento Katkılı Kumlu Kil 2. Halka

EK D.3 %15 Çimento Katkılı Kumlu Kil 3. Halka

EK E. %20 Çimento Katkılı Kumlu Kil Konsolidasyon Deneyleri

EK E.1 %20 Çimento Katkılı Kumlu Kil 1.Halka

EK E.2 %20 Çimento Katkılı Kumlu Kil 2. Halka

EK E.3 %20 Çimento Katkılı Kumlu Kil 3. Halka

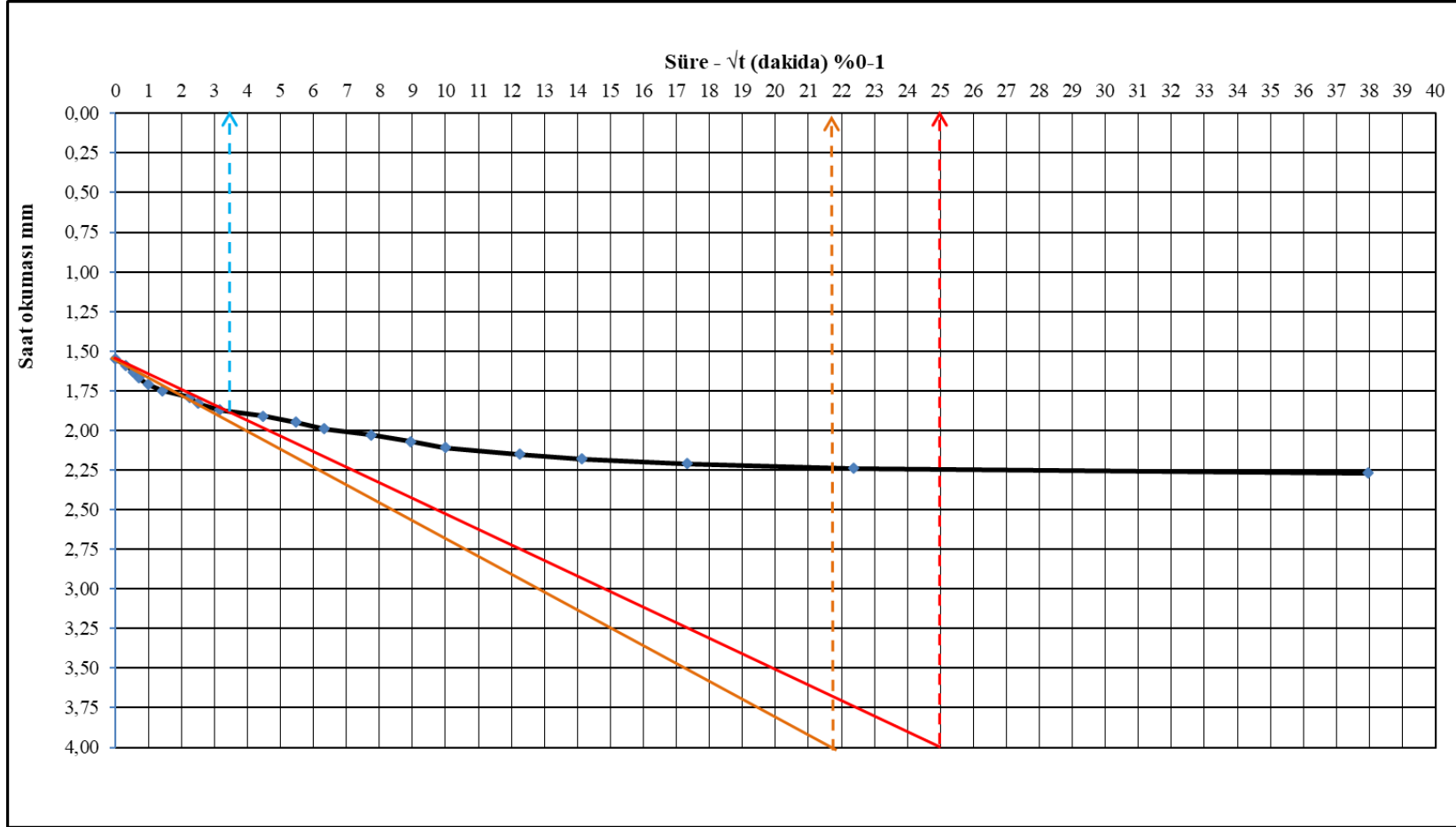
EK A

Aşağıda konsolidasyon deneyleri okuma tabloları ve konsolidasyon deneyleri sonucu verilmiştir.

EK A.1

Çizelge A.1 : Katkısız kumlu kil 1.halka konsolidasyon deneyi okuma değerleri

Halka No.		1											
Halka ağı (gr)		77,37											
Numune kesit alanı (cm ²)		19,31											
Gs		2,570											
Serbest şişme yüzdesi (%)		4,4											
Deney başlangıcında						Deney sonunda							
Halka + yaş numune ağı (gr)		153,68						154,88					
Halka + kuru numune ağı (gr)		141,52						141,52					
Yükler	Yükler (kPa)	-	50	100	200	400	800	1600	3200	800	200	50	
	Yüklenecek olan yük (kg)	<i>Serbest şişme</i>	1	2	4	8	16	32	64	16	4	1	
	Yüzüğe etkiyen yük (kg)	-	10	20	40	80	160	320	640	160	40	10	
	Yüzüğe etkiyen gerilme	-	0,52	1,04	2,07	4,14	8,29	16,57	33,14	8,29	2,07	0,52	
	Yüzüğe etkiyen gerilme (kPa)	-	51	102	203	406	813	1626	3251	813	203	51	
Süre (sn)	Süre (dk)	\sqrt{t}											
0	0	0,00	0	-0,88	-0,60	-0,50	-0,17	0,34	0,93	1,55	2,27	1,35	1,05
6	0,1	0,32	-0,05	-0,86	-0,60	-0,48	-0,14	0,38	0,97	1,59	2,22	1,33	1,02
18	0,3	0,55	-0,10	-0,84	-0,59	-0,46	-0,11	0,42	1,01	1,63	2,17	1,31	0,99
30	0,5	0,71	-0,15	-0,82	-0,58	-0,44	-0,08	0,46	1,05	1,67	2,12	1,29	0,96
60	1	1,00	-0,20	-0,80	-0,57	-0,42	-0,05	0,49	1,09	1,71	2,07	1,27	0,93
120	2	1,41	-0,25	-0,78	-0,56	-0,40	-0,02	0,52	1,13	1,75	2,02	1,25	0,90
300	5	2,24	-0,30	-0,76	-0,56	-0,38	0,01	0,55	1,16	1,79	1,97	1,23	0,87
375	6,25	2,50	-0,35	-0,74	-0,55	-0,36	0,04	0,58	1,19	1,83	1,92	1,21	0,84
	10	3,16	-0,40	-0,72	-0,55	-0,34	0,07	0,61	1,22	1,87	1,87	1,19	0,81
	20	4,47	-0,45	-0,70	-0,55	-0,32	0,10	0,64	1,25	1,91	1,82	1,17	0,79
	30	5,48	-0,50	-0,69	-0,54	-0,30	0,13	0,67	1,28	1,95	1,77	1,15	0,77
	40	6,32	-0,55	-0,68	-0,54	-0,28	0,16	0,70	1,31	1,99	1,72	1,13	0,75
	60	7,75	-0,60	-0,67	-0,53	-0,26	0,19	0,73	1,34	2,03	1,67	1,12	0,73
	80	8,94	-0,64	-0,66	-0,53	-0,24	0,22	0,76	1,37	2,07	1,62	1,11	0,71
	100	10,00	-0,68	-0,65	-0,53	-0,22	0,24	0,79	1,40	2,11	1,57	1,10	0,69
	150	12,25	-0,72	-0,64	-0,52	-0,21	0,26	0,82	1,43	2,15	1,52	1,09	0,67
	200	14,14	-0,76	-0,63	-0,52	-0,20	0,28	0,85	1,46	2,18	1,47	1,08	0,65
	300	17,32	-0,80	-0,62	-0,51	-0,19	0,30	0,88	1,49	2,21	1,43	1,07	0,63
	500	22,36	-0,84	-0,61	-0,51	-0,18	0,32	0,91	1,52	2,24	1,39	1,06	0,61
	1440	37,95	-0,88	-0,60	-0,50	-0,17	0,34	0,93	1,55	2,27	1,35	1,05	0,59
Numunenin boy değişimi (mm)			-0,88	-0,60	-0,50	-0,17	0,34	0,93	1,55	2,27	1,35	1,05	0,59
Numune yüksekliği (mm)			20,88	20,60	20,50	20,17	19,66	19,07	18,45	17,73	18,65	18,95	19,41
Numune hacmi (cm ³)			40,32	39,78	39,59	38,95	37,96	36,82	35,63	34,24	36,01	36,59	37,48
Ortalama Numune yüksekliği (mm)			20,88	20,74	20,62	20,40	20,03	19,55	19,00	18,36	18,51	18,73	19,07
Ortalama Numune yüksekliği (metre)			0,02088	0,02074	0,02062	0,02040	0,02003	0,01955	0,01900	0,01836	0,01851	0,01873	0,01907

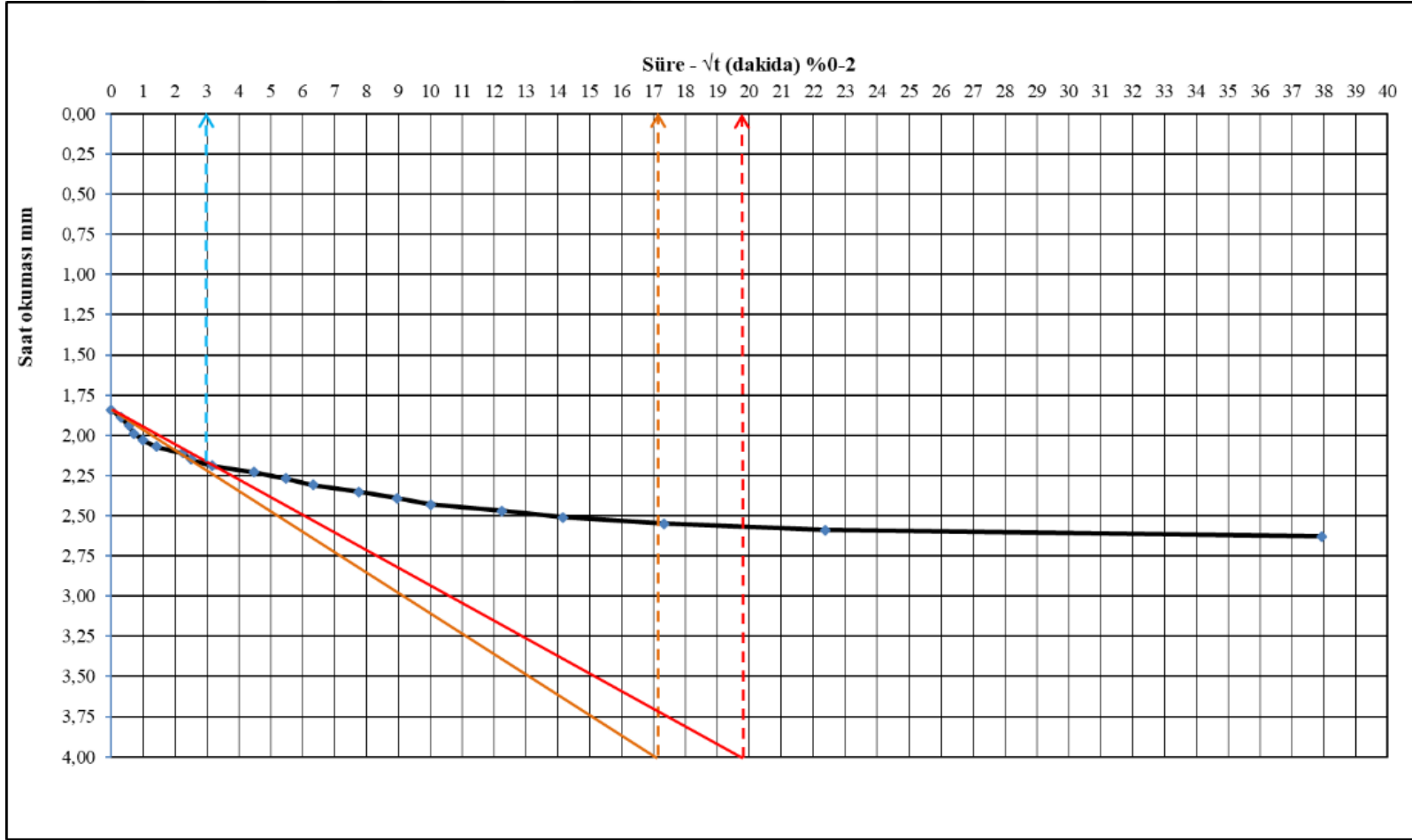


Şekil A.1: Katkısız kumlu kil 1.halka konsolidasyon deneyi oturma-karekök zaman grafiği

EK A.2

Çizelge A.2: Katkısız kumlu kil 2.halka konsolidasyon deneyi okuma değerleri

Halka No.		KATKISIZ KUMLU KİL KARIŞIMI												
Halka ağı (gr)														
Numune kesit alanı (cm ²)														
Gs														
Serbest şişme yüzdesi (%)														
Deney başlangıcında		Deney sonunda												
Halka + yaş numune ağı (gr)		156,39												
Halka + kuru numune ağı (gr)		142,61												
Yükler	Yükler (kPa)	-	50	100	200	400	800	1600	3200	800	200	50		
	Yüklenecek olan yük (kg)	<i>Serbest şişme</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>8</i>	<i>16</i>	<i>32</i>	<i>64</i>	<i>16</i>	<i>4</i>	<i>1</i>		
	Yüzüğe etkileyen yük (kg)	-	10	20	40	80	160	320	640	160	40	10		
	Yüzüğe etkileyen gerilme	-	0,52	1,04	2,07	4,14	8,29	16,57	33,14	8,29	2,07	0,52		
	Yüzüğe etkileyen gerilme (kPa)	-	51	102	203	406	813	1626	3251	813	203	51		
Saat okumaları (mm)	Süre (sn)	Süre (dk)	√t											
	0	0	0,00	0	-0,96	-0,59	-0,43	-0,05	0,39	0,91	1,84	2,63	2,55	1,97
	6	0,1	0,32	-0,06	-0,94	-0,58	-0,41	-0,02	0,42	0,96	1,89	2,63	2,51	1,93
	18	0,3	0,55	-0,12	-0,92	-0,57	-0,39	0,01	0,45	1,01	1,94	2,62	2,48	1,90
	30	0,5	0,71	-0,18	-0,90	-0,56	-0,37	0,04	0,48	1,06	1,99	2,62	2,45	1,87
	60	1	1,00	-0,23	-0,88	-0,55	-0,35	0,07	0,51	1,11	2,03	2,61	2,42	1,84
	120	2	1,41	-0,28	-0,86	-0,54	-0,33	0,10	0,54	1,16	2,07	2,61	2,39	1,81
	300	5	2,24	-0,33	-0,84	-0,53	-0,31	0,13	0,57	1,21	2,11	2,61	2,36	1,78
	375	6,25	2,50	-0,38	-0,82	-0,52	-0,29	0,15	0,60	1,26	2,15	2,60	2,33	1,75
		10	3,16	-0,43	-0,80	-0,51	-0,27	0,17	0,63	1,31	2,19	2,60	2,30	1,72
		20	4,47	-0,48	-0,78	-0,50	-0,25	0,19	0,66	1,36	2,23	2,59	2,27	1,69
		30	5,48	-0,53	-0,76	-0,49	-0,23	0,21	0,69	1,41	2,27	2,59	2,24	1,66
		40	6,32	-0,58	-0,74	-0,48	-0,21	0,23	0,72	1,46	2,31	2,59	2,21	1,63
		60	7,75	-0,63	-0,72	-0,47	-0,19	0,25	0,75	1,51	2,35	2,58	2,18	1,60
		80	8,94	-0,68	-0,70	-0,46	-0,17	0,27	0,78	1,56	2,39	2,58	2,15	1,58
		100	10,00	-0,73	-0,68	-0,45	-0,15	0,29	0,81	1,61	2,43	2,57	2,12	1,56
		150	12,25	-0,78	-0,66	-0,45	-0,13	0,31	0,83	1,66	2,47	2,57	2,09	1,54
	200	14,14	-0,83	-0,64	-0,44	-0,11	0,33	0,85	1,71	2,51	2,57	2,06	1,52	
	300	17,32	-0,88	-0,62	-0,44	-0,09	0,35	0,87	1,76	2,55	2,56	2,03	1,50	
	500	22,36	-0,92	-0,60	-0,43	-0,07	0,37	0,89	1,80	2,59	2,56	2,00	1,48	
	1440	37,95	-0,96	-0,59	-0,43	-0,05	0,39	0,91	1,84	2,63	2,55	1,97	1,46	
Numunenin boy değişimi (mm)				-0,96	-0,59	-0,43	-0,05	0,39	0,91	1,84	2,63	2,55	1,97	1,46
Numune yüksekliği (mm)				20,96	20,59	20,43	20,05	19,61	19,09	18,16	17,37	17,45	18,03	18,54
Numune hacmi (cm³)				40,47	39,76	39,45	38,72	37,87	36,86	35,07	33,54	33,69	34,82	35,80
Ortalama Numune yüksekliği (mm)				20,96	20,78	20,60	20,33	19,97	19,53	18,84	18,11	17,78	17,90	18,22
Ortalama Numune yüksekliği (metre)				0,02096	0,02078	0,02060	0,02033	0,01997	0,01953	0,01884	0,01811	0,01778	0,01790	0,01822

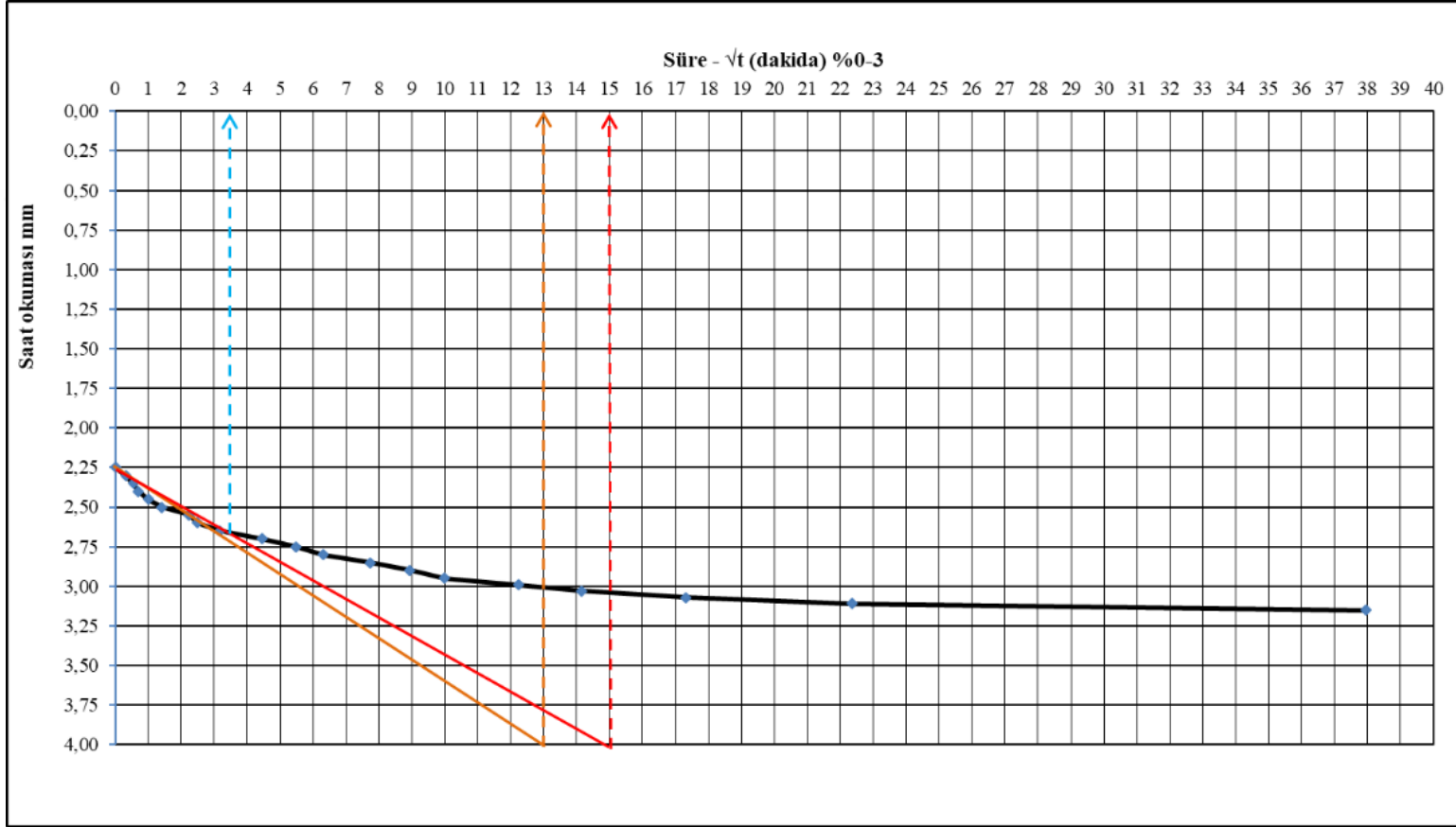


Şekil A.2: Katkısız kumlu kil 2.halka konsolidasyon deneyi oturma-karekök zaman grafiği

EK A.3

Çizelge A.3: Katkısız kumlu kil 3.halka konsolidasyon deneyi okuma değerleri

Halka No.		3												
Halka ağı (gr)		77,48												
Numune kesit alanı (cm ²)		19,31												
Gs		2,570												
Serbest şişme yüzdesi (%)		4,0												
		Deney başlangıcında						Deney sonunda						
Halka + yaş numune ağı (gr)		148,29						149,74						
Halka + kuru numune ağı (gr)		135,66						135,66						
Yükler	Yükler (kPa)		-	50	100	200	400	800	1600	3200	800	200	50	
	Yüklenecek olan yük (kg)		Serbest şişme	1	2	4	8	16	32	64	16	4	1	
	Yüzüğe etkiyen yük (kg)		-	10	20	40	80	160	320	640	160	40	10	
	Yüzüğe etkiyen gerilme		-	0,52	1,04	2,07	4,14	8,29	16,57	33,14	8,29	2,07	0,52	
	Yüzüğe etkiyen gerilme (kPa)		-	51	102	203	406	813	1626	3251	813	203	51	
Saat okunmaları (mm)	Süre (sn)	Süre (dk)	√t											
	0	0	0,00	0	-0,80	-0,68	-0,41	0,08	0,72	1,44	2,25	3,15	3,07	2,74
	6	0,1	0,32	-0,05	-0,80	-0,66	-0,38	0,12	0,76	1,49	2,30	3,15	3,05	2,71
	18	0,3	0,55	-0,10	-0,79	-0,64	-0,35	0,16	0,80	1,54	2,35	3,14	3,03	2,68
	30	0,5	0,71	-0,15	-0,78	-0,62	-0,32	0,20	0,84	1,59	2,40	3,13	3,01	2,65
	60	1	1,00	-0,20	-0,77	-0,60	-0,29	0,24	0,88	1,64	2,45	3,13	2,99	2,62
	120	2	1,41	-0,24	-0,76	-0,58	-0,26	0,28	0,92	1,69	2,50	3,12	2,97	2,59
	300	5	2,24	-0,28	-0,75	-0,56	-0,23	0,32	0,96	1,74	2,55	3,12	2,95	2,56
	375	6,25	2,50	-0,32	-0,74	-0,54	-0,20	0,36	1,00	1,78	2,60	3,12	2,93	2,53
		10	3,16	-0,36	-0,73	-0,52	-0,17	0,40	1,04	1,82	2,65	3,11	2,91	2,51
		20	4,47	-0,40	-0,73	-0,51	-0,14	0,43	1,08	1,86	2,70	3,11	2,89	2,49
		30	5,48	-0,44	-0,72	-0,50	-0,11	0,46	1,12	1,90	2,75	3,10	2,87	2,47
		40	6,32	-0,48	-0,72	-0,49	-0,08	0,49	1,16	1,94	2,80	3,10	2,85	2,45
		60	7,75	-0,52	-0,71	-0,48	-0,06	0,52	1,20	1,98	2,85	3,10	2,83	2,43
		80	8,94	-0,56	-0,71	-0,47	-0,04	0,55	1,24	2,02	2,90	3,09	2,81	2,41
		100	10,00	-0,60	-0,70	-0,46	-0,02	0,58	1,28	2,06	2,95	3,09	2,79	2,39
		150	12,25	-0,64	-0,70	-0,45	0,00	0,61	1,32	2,10	2,99	3,08	2,78	2,37
		200	14,14	-0,68	-0,69	-0,44	0,02	0,64	1,35	2,14	3,03	3,08	2,77	2,35
		300	17,32	-0,72	-0,69	-0,43	0,04	0,67	1,38	2,18	3,07	3,08	2,76	2,33
		500	22,36	-0,76	-0,68	-0,42	0,06	0,70	1,41	2,22	3,11	3,07	2,75	2,31
	1440	37,95	-0,80	-0,68	-0,41	0,08	0,72	1,44	2,25	3,15	3,07	2,74	2,29	
Numunenin boy değişimi (mm)				-0,80	-0,68	-0,41	0,08	0,72	1,44	2,25	3,15	3,07	2,74	2,29
Numune yüksekliği (mm)				20,80	20,68	20,41	19,92	19,28	18,56	17,75	16,85	16,93	17,26	17,71
Numune hacmi (cm ³)				40,16	39,93	39,41	38,47	37,23	35,84	34,28	32,54	32,69	33,33	34,20
Ortalama Numune yüksekliği (mm)				20,80	20,74	20,58	20,25	19,76	19,16	18,46	17,65	17,29	17,28	17,49
Ortalama Numune yüksekliği (metre)				0,02080	0,02074	0,02058	0,02025	0,01976	0,01916	0,01846	0,01765	0,01729	0,01728	0,01749



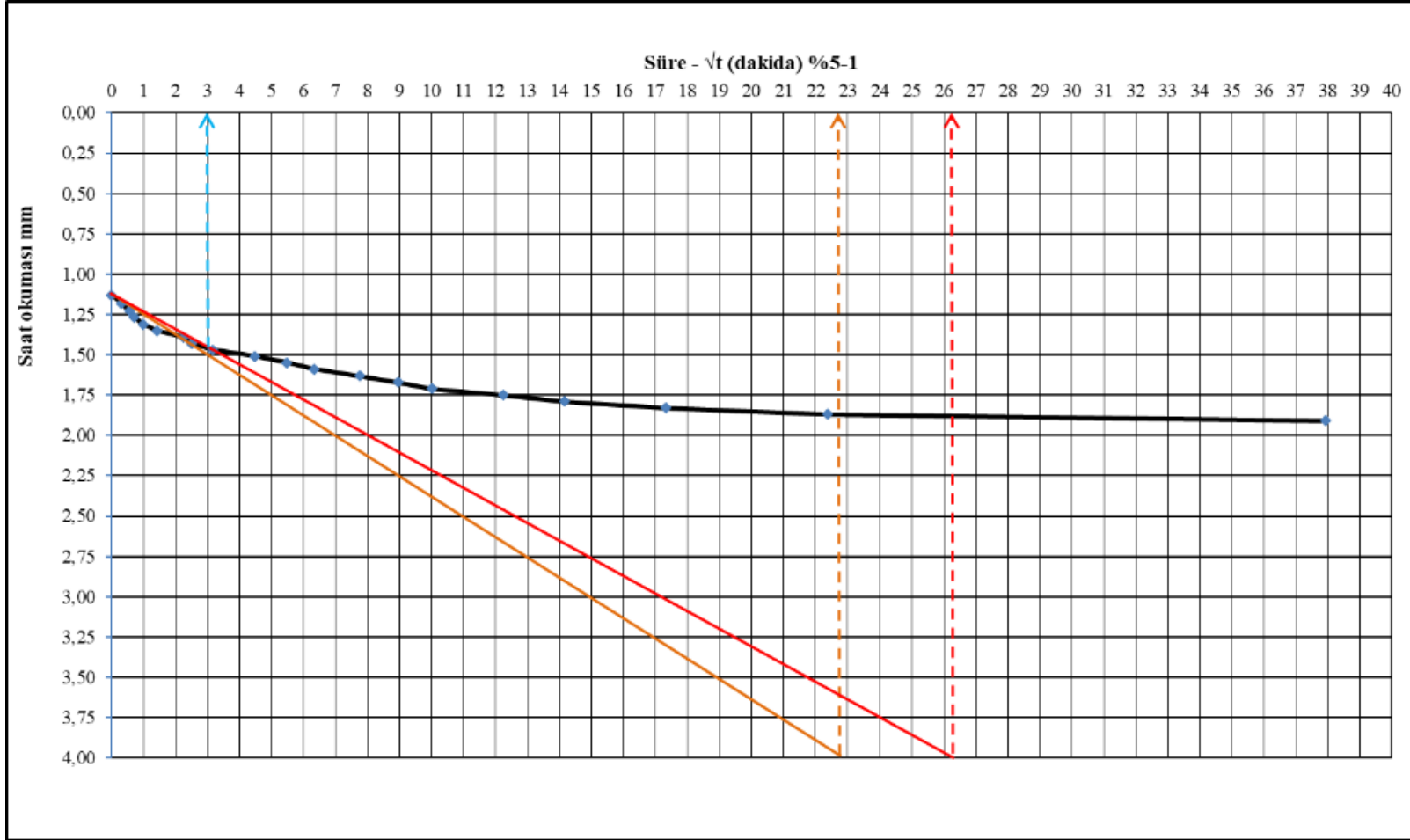
Şekil A.3: Katkısız kumlu kil 3.halka konsolidasyon deneyi oturma-karekök zaman grafiği

EK B

EK B.1

Çizelge B.1: %5 çimento katkılı kumlu kil 1.halka konsolidasyon deneyi okuma değerleri

Halka No.		1												
Halka ağı (gr)		77,297												
Numune kesit alanı (cm ²)		19,31												
Gs		2,570												
Serbest şişme yüzdesi (%)		4,0												
		Deney başlangıcında						Deney sonunda						
Halka + yaş numune ağı (gr)		152,14						152,83						
Halka + kuru numune ağı (gr)		138,11						138,11						
Yükler	Yükler (kPa)	-	50	100	200	400	800	1600	3200	800	200	50		
	Yüklenecek olan yük (kg)	<i>Serbest şişme</i>	1	2	4	8	16	32	64	16	4	1		
	Yüziğe etkiyen yük (kg)	-	10	20	40	80	160	320	640	160	40	10		
	Yüziğe etkiyen gerilme (kg/cm ² yük/halka)	-	0,52	1,04	2,07	4,14	8,29	16,57	33,14	8,29	2,07	0,52		
	Yüziğe etkiyen gerilme (kPa)	-	51	102	203	406	813	1626	3251	813	203	51		
	Süre (sn)	Süre (dk)	√t											
Saat okumaları (mm)	0	0	0,00	0	-0,79	-0,53	-0,48	-0,31	-0,05	0,45	1,13	1,91	1,82	1,55
	6	0,1	0,32	-0,05	-0,77	-0,53	-0,48	-0,29	-0,02	0,49	1,18	1,90	1,80	1,55
	18	0,3	0,55	-0,10	-0,75	-0,53	-0,47	-0,27	0,01	0,53	1,23	1,90	1,78	1,54
	30	0,5	0,71	-0,15	-0,73	-0,53	-0,46	-0,25	0,04	0,57	1,27	1,89	1,76	1,53
	60	1	1,00	-0,19	-0,71	-0,52	-0,45	-0,23	0,07	0,61	1,31	1,89	1,74	1,52
	120	2	1,41	-0,23	-0,69	-0,52	-0,44	-0,21	0,10	0,65	1,35	1,88	1,72	1,51
	300	5	2,24	-0,27	-0,67	-0,52	-0,43	-0,19	0,13	0,69	1,39	1,88	1,70	1,50
	375	6,25	2,50	-0,31	-0,65	-0,51	-0,42	-0,17	0,16	0,73	1,43	1,87	1,68	1,49
		10	3,16	-0,35	-0,64	-0,51	-0,41	-0,16	0,19	0,77	1,47	1,87	1,66	1,48
		20	4,47	-0,39	-0,63	-0,51	-0,40	-0,15	0,22	0,81	1,51	1,86	1,65	1,47
		30	5,48	-0,43	-0,62	-0,50	-0,39	-0,14	0,25	0,85	1,55	1,86	1,64	1,46
		40	6,32	-0,47	-0,61	-0,50	-0,38	-0,13	0,28	0,89	1,59	1,85	1,63	1,45
		60	7,75	-0,51	-0,60	-0,50	-0,37	-0,12	0,31	0,92	1,63	1,85	1,62	1,44
		80	8,94	-0,55	-0,59	-0,49	-0,36	-0,11	0,33	0,95	1,67	1,84	1,61	1,44
		100	10,00	-0,59	-0,58	-0,49	-0,35	-0,10	0,35	0,98	1,71	1,84	1,60	1,43
	150	12,25	-0,63	-0,57	-0,49	-0,34	-0,09	0,37	1,01	1,75	1,83	1,59	1,43	
	200	14,14	-0,67	-0,56	-0,48	-0,33	-0,08	0,39	1,04	1,79	1,83	1,58	1,42	
	300	17,32	-0,71	-0,55	-0,48	-0,32	-0,07	0,41	1,07	1,83	1,82	1,57	1,42	
	500	22,36	-0,75	-0,54	-0,48	-0,31	-0,06	0,43	1,10	1,87	1,82	1,56	1,41	
	1440	37,95	-0,79	-0,53	-0,48	-0,31	-0,05	0,45	1,13	1,91	1,82	1,55	1,41	
Numunenin boy değişimi (mm)				-0,79	-0,53	-0,48	-0,31	-0,05	0,45	1,13	1,91	1,82	1,55	1,41
Numune yüksekliği (mm)				20,79	20,53	20,48	20,31	20,05	19,55	18,87	18,09	18,18	18,45	18,59
Numune hacmi (cm³)				40,15	39,64	39,55	39,22	38,72	37,75	36,44	34,93	35,11	35,63	35,90
Ortalama Numune yüksekliği (mm)				20,79	20,66	20,57	20,44	20,25	19,90	19,38	18,74	18,46	18,45	18,52
Ortalama Numune yüksekliği (metre)				0,02079	0,02066	0,02057	0,02044	0,02025	0,01990	0,01938	0,01874	0,01846	0,01845	0,01852

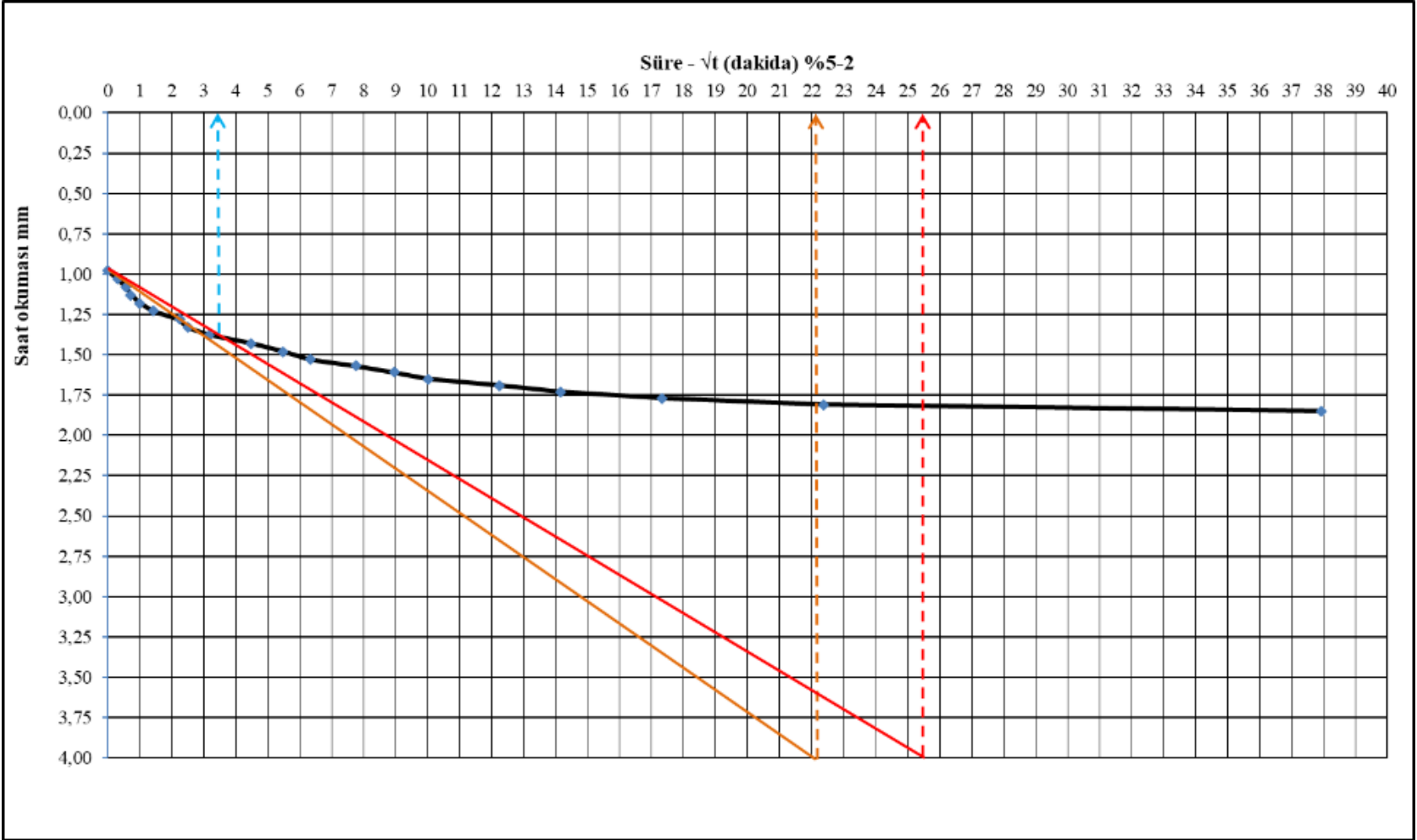


Şekil B.1: %5 çimento katkılı kumlu kil 1.halka konsolidasyon deneyi oturma-karekök zaman grafiği

EK B.2

Çizelge B.2: %5 çimento katkılı kumlu kil 2.halka konsolidasyon deneyi okuma değerleri

Halka No.		2												
Halka ağı. (gr)		77,611												
Numune kesit alanı (cm ²)		19,31												
Gs		2,570												
Serbest şişme yüzdesi (%)		3,6												
		Deney başlangıcında						Deney sonunda						
Halka + yaş numune ağı. (gr)		150,49						152,76						
Halka + kuru numune ağı. (gr)		137,60						137,60						
Yükler	Yükler (kPa)	-	50	100	200	400	800	1600	3200	800	200	50		
	Yüklenecek olan yük (kg)	<i>Serbest şişme</i>	1	2	4	8	16	32	64	16	4	1		
	Yüziğe etkiyen yük (kg)	-	10	20	40	80	160	320	640	160	40	10		
	Yüziğe etkiyen gerilme (kg/cm ²) yük/halka	-	0,52	1,04	2,07	4,14	8,29	16,57	33,14	8,29	2,07	0,52		
	Yüziğe etkiyen gerilme (kPa)	-	51	102	203	406	813	1626	3251	813	203	51		
Süre (sn)	Süre (dk)	√t												
Sırat okumaları (mm)	0	0	0,00	-0,72	-0,53	-0,48	-0,34	-0,09	0,36	0,98	1,85	1,80	1,62	
	6	0,1	0,32	-0,05	-0,71	-0,53	-0,48	-0,33	-0,06	0,40	1,03	1,85	1,80	1,62
	18	0,3	0,55	-0,10	-0,70	-0,53	-0,47	-0,31	-0,03	0,44	1,08	1,85	1,79	1,62
	30	0,5	0,71	-0,15	-0,69	-0,53	-0,46	-0,29	0,00	0,48	1,13	1,85	1,78	1,61
	60	1	1,00	-0,19	-0,68	-0,52	-0,45	-0,27	0,03	0,52	1,18	1,84	1,77	1,61
	120	2	1,41	-0,23	-0,67	-0,52	-0,44	-0,25	0,06	0,56	1,23	1,84	1,76	1,60
	300	5	2,24	-0,27	-0,66	-0,52	-0,43	-0,23	0,09	0,59	1,28	1,84	1,75	1,60
	375	6,25	2,50	-0,31	-0,65	-0,51	-0,42	-0,21	0,12	0,62	1,33	1,83	1,74	1,59
		10	3,16	-0,35	-0,64	-0,51	-0,41	-0,20	0,14	0,65	1,38	1,83	1,73	1,59
		20	4,47	-0,39	-0,63	-0,51	-0,40	-0,19	0,16	0,68	1,43	1,83	1,72	1,58
		30	5,48	-0,43	-0,62	-0,50	-0,39	-0,18	0,18	0,71	1,48	1,82	1,71	1,58
		40	6,32	-0,47	-0,61	-0,50	-0,38	-0,17	0,20	0,74	1,53	1,82	1,70	1,57
		60	7,75	-0,51	-0,60	-0,50	-0,38	-0,16	0,22	0,77	1,57	1,82	1,69	1,57
		80	8,94	-0,54	-0,59	-0,49	-0,37	-0,15	0,24	0,80	1,61	1,81	1,68	1,56
		100	10,00	-0,57	-0,58	-0,49	-0,37	-0,14	0,26	0,83	1,65	1,81	1,67	1,56
		150	12,25	-0,60	-0,57	-0,49	-0,36	-0,13	0,28	0,86	1,69	1,81	1,66	1,55
	200	14,14	-0,63	-0,56	-0,48	-0,36	-0,12	0,30	0,89	1,73	1,80	1,65	1,55	
	300	17,32	-0,66	-0,55	-0,48	-0,35	-0,11	0,32	0,92	1,77	1,80	1,64	1,54	
	500	22,36	-0,69	-0,54	-0,48	-0,35	-0,10	0,34	0,95	1,81	1,80	1,63	1,54	
	1440	37,95	-0,72	-0,53	-0,48	-0,34	-0,09	0,36	0,98	1,85	1,80	1,62	1,54	
Numunenin boy değişimi (mm)			-0,72	-0,53	-0,48	-0,34	-0,09	0,36	0,98	1,85	1,80	1,62	1,54	
Numune yüksekliği (mm)			20,72	20,53	20,48	20,34	20,09	19,64	19,02	18,15	18,20	18,38	18,46	
Numune hacmi (cm ³)			40,01	39,64	39,55	39,28	38,79	37,92	36,73	35,05	35,14	35,49	35,65	
Ortalama Numune yüksekliği (mm)			20,72	20,63	20,55	20,45	20,27	19,95	19,49	18,82	18,51	18,44	18,45	
Ortalama Numune yüksekliği (metre)			0,02072	0,02063	0,02055	0,02045	0,02027	0,01995	0,01949	0,01882	0,01851	0,01844	0,01845	

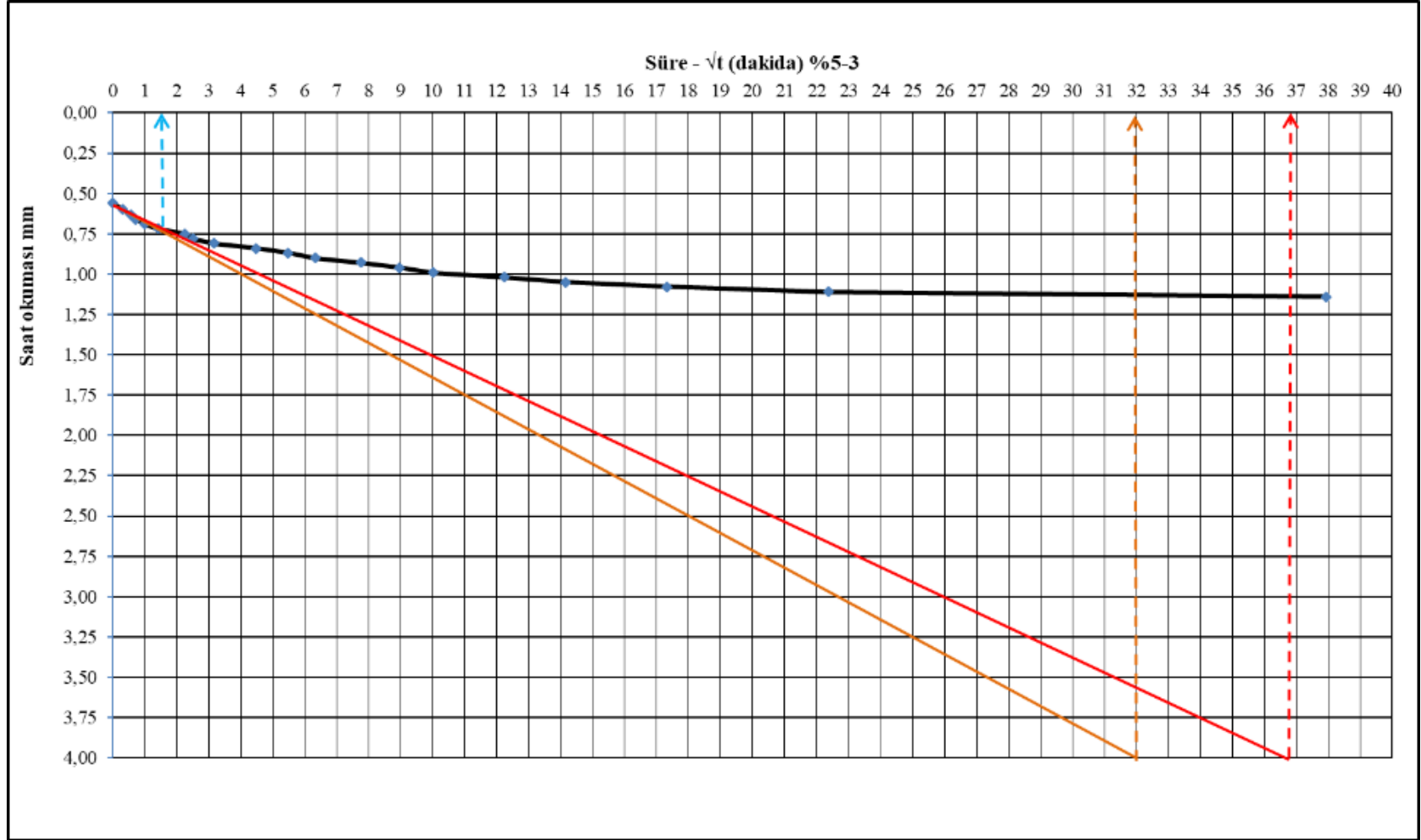


Şekil B.2: %5 çimento katkılı kumlu kil 2.halka konsolidasyon deneyi oturma-karekök zaman grafiği

EK B.3

Çizelge B.3: %5 çimento katkılı kumlu kil 3.halka konsolidasyon deneyi okuma değerleri

Halka No.		3		% 5 ÇİMENTO KATKILI KUMLU KİL KARIŞIMI										
Halka ağı (gr)		77,604												
Numune kesit alanı (cm ²)		19,31												
Gs		2,570												
Serbest şişme yüzdesi (%)		3,8												
				Deney başlangıcında					Deney sonunda					
Halka + yaş numune ağı (gr)				152,60					154,63					
Halka + kuru numune ağı (gr)				139,55					139,55					
Yükler	Yükler (kPa)		-	50	100	200	400	800	1600	3200	800	200	50	
	Yüklenecek olan yük (kg)		<i>Serbest şişme</i>	1	2	4	8	16	32	64	16	4	1	
	Yüziğe etkiyen yük (kg)		-	10	20	40	80	160	320	640	160	40	10	
	Yüziğe etkiyen gerilme (kg/cm ²)vük/halka		-	0,52	1,04	2,07	4,14	8,29	16,57	33,14	8,29	2,07	0,52	
	Yüziğe etkiyen gerilme (kPa)		-	51	102	203	406	813	1626	3251	813	203	51	
Süre (sn)		Süre (dk)	√t											
Saat okumaları (mm)	0	0	0,00	0	-0,76	-0,71	-0,67	-0,51	-0,39	-0,01	0,56	1,14	1,10	0,97
	6	0,1	0,32	-0,05	-0,76	-0,71	-0,67	-0,51	-0,37	0,02	0,60	1,14	1,10	0,97
	18	0,3	0,55	-0,10	-0,76	-0,71	-0,66	-0,50	-0,35	0,05	0,63	1,14	1,09	0,97
	30	0,5	0,71	-0,15	-0,76	-0,71	-0,65	-0,49	-0,33	0,08	0,66	1,14	1,08	0,96
	60	1	1,00	-0,20	-0,75	-0,70	-0,64	-0,48	-0,31	0,11	0,69	1,13	1,07	0,96
	120	2	1,41	-0,25	-0,75	-0,70	-0,63	-0,47	-0,29	0,14	0,72	1,13	1,06	0,95
	300	5	2,24	-0,30	-0,75	-0,70	-0,62	-0,46	-0,27	0,17	0,75	1,13	1,05	0,95
	375	6,25	2,50	-0,35	-0,74	-0,70	-0,61	-0,45	-0,25	0,20	0,78	1,13	1,04	0,95
		10	3,16	-0,40	-0,74	-0,69	-0,60	-0,44	-0,23	0,23	0,81	1,12	1,03	0,94
		20	4,47	-0,44	-0,74	-0,69	-0,59	-0,44	-0,21	0,26	0,84	1,12	1,02	0,94
		30	5,48	-0,48	-0,73	-0,69	-0,58	-0,43	-0,19	0,29	0,87	1,12	1,01	0,94
		40	6,32	-0,52	-0,73	-0,69	-0,57	-0,43	-0,17	0,32	0,90	1,12	1,01	0,93
		60	7,75	-0,55	-0,73	-0,68	-0,56	-0,42	-0,15	0,35	0,93	1,11	1,00	0,93
		80	8,94	-0,58	-0,72	-0,68	-0,55	-0,42	-0,13	0,38	0,96	1,11	1,00	0,93
		100	10,00	-0,61	-0,72	-0,68	-0,54	-0,41	-0,11	0,41	0,99	1,11	0,99	0,92
		150	12,25	-0,64	-0,72	-0,68	-0,53	-0,41	-0,09	0,44	1,02	1,11	0,99	0,92
	200	14,14	-0,67	-0,71	-0,67	-0,52	-0,40	-0,07	0,47	1,05	1,10	0,98	0,92	
	300	17,32	-0,70	-0,71	-0,67	-0,52	-0,40	-0,05	0,50	1,08	1,10	0,98	0,91	
	500	22,36	-0,73	-0,71	-0,67	-0,51	-0,39	-0,03	0,53	1,11	1,10	0,97	0,91	
	1440	37,95	-0,76	-0,71	-0,67	-0,51	-0,39	-0,01	0,56	1,14	1,10	0,97	0,91	
Numunenin boy değişimi (mm)				-0,76	-0,71	-0,67	-0,51	-0,39	-0,01	0,56	1,14	1,10	0,97	0,91
Numune yüksekliği (mm)				20,76	20,71	20,67	20,51	20,39	20,01	19,44	18,86	18,90	19,03	19,09
Numune hacmi (cm ³)				40,09	39,99	39,91	39,60	39,37	38,64	37,54	36,42	36,50	36,75	36,86
Ortalama Numune yüksekliği (mm)				20,76	20,74	20,70	20,61	20,50	20,25	19,85	19,35	19,13	19,08	19,08
Ortalama Numune yüksekliği (metre)				0,02076	0,02074	0,02070	0,02061	0,02050	0,02025	0,01985	0,01935	0,01913	0,01908	0,01908



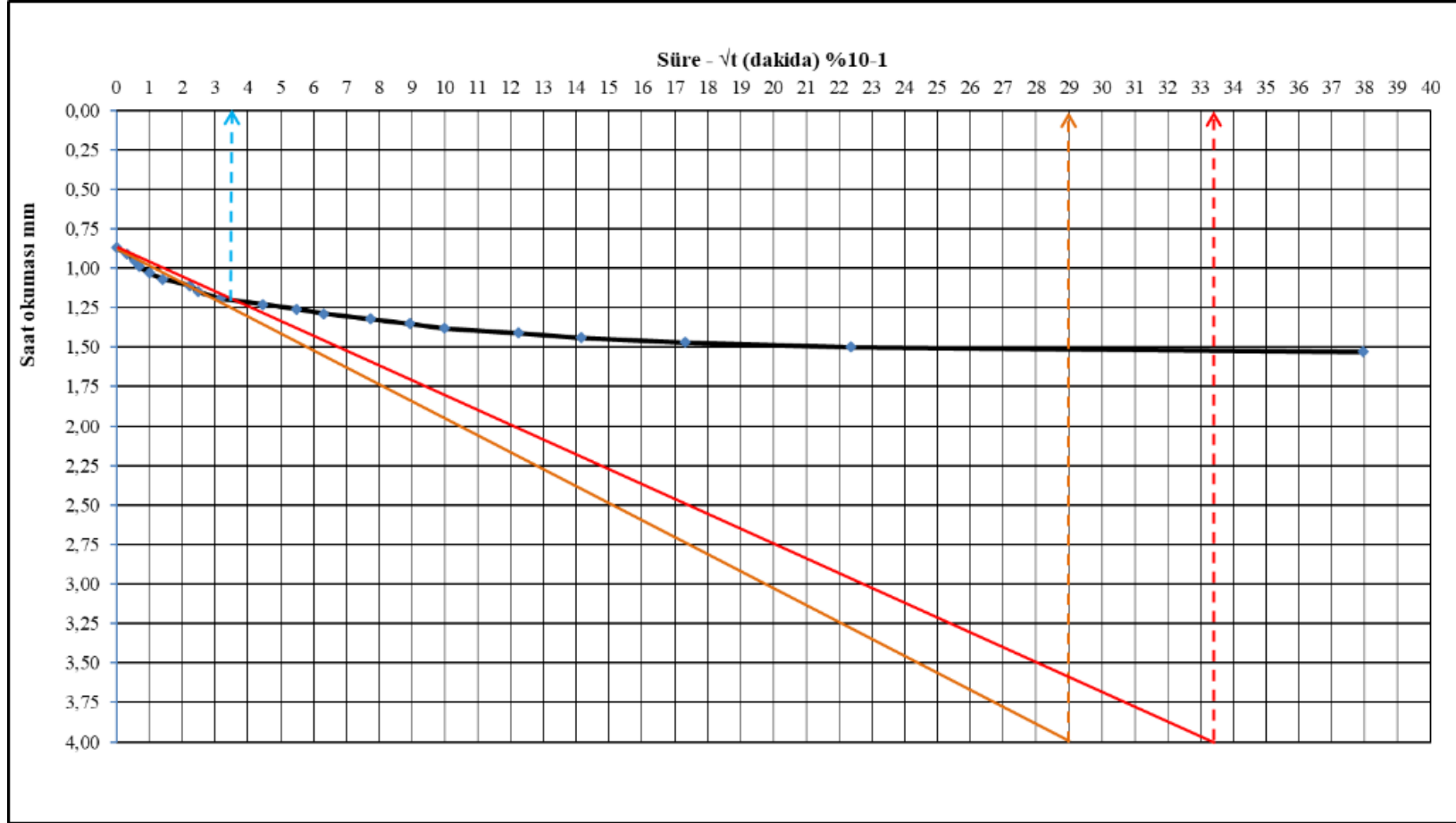
Şekil B.3: %5 çimento katkılı kumlu kil 3.halka konsolidasyon deneyi oturma-karekök zaman grafiği

EK C

EK C.1

Çizelge C.1: %10 çimento katkılı kumlu kil 1.halka konsolidasyon deneyi okuma değerleri

Halka No.		1												
Halka ağı. (gr)		77,78												
Numune kesit alanı (cm ²)		19,31												
Gs		2,570												
Serbest şişme yüzdesi (%)		2,9												
		Deney başlangıcında						Deney sonunda						
Halka + yaş numune ağı. (gr)		155,17						156,97						
Halka + kuru numune ağı. (gr)		141,76						141,76						
Yükler	Yükler (kPa)	-	50	100	200	400	800	1600	3200	800	200	50		
	Yüklenecek olan yük (kg)	Serbest şişme	1	2	4	8	16	32	64	16	4	1		
	Yüzüğe etkiyen yük (kg)	-	10	20	40	80	160	320	640	160	40	10		
	Yüzüğe etkiyen gerilme (kg/cm ²)/yük/halka	-	0,52	1,04	2,07	4,14	8,29	16,57	33,14	8,29	2,07	0,52		
	Yüzüğe etkiyen gerilme (kPa)	-	51	102	203	406	813	1626	3251	813	203	51		
Süre (sn)	Süre (dk)	√t												
Saat okumaları (mm)	0	0	0,00	0	-0,58	-0,50	-0,45	-0,39	-0,23	0,08	0,87	1,53	1,47	1,43
	6	0,1	0,32	-0,04	-0,58	-0,50	-0,45	-0,39	-0,22	0,13	0,91	1,53	1,47	1,43
	18	0,3	0,55	-0,08	-0,58	-0,50	-0,45	-0,38	-0,20	0,18	0,95	1,53	1,47	1,43
	30	0,5	0,71	-0,11	-0,57	-0,50	-0,44	-0,37	-0,18	0,23	0,99	1,52	1,47	1,43
	60	1	1,00	-0,14	-0,57	-0,49	-0,44	-0,36	-0,16	0,27	1,03	1,52	1,46	1,43
	120	2	1,41	-0,17	-0,56	-0,49	-0,43	-0,35	-0,14	0,31	1,07	1,51	1,46	1,43
	300	5	2,24	-0,20	-0,56	-0,49	-0,43	-0,34	-0,12	0,35	1,11	1,51	1,46	1,43
	375	6,25	2,50	-0,23	-0,55	-0,48	-0,43	-0,33	-0,10	0,39	1,15	1,51	1,46	1,43
		10	3,16	-0,26	-0,55	-0,48	-0,42	-0,32	-0,08	0,43	1,19	1,50	1,45	1,43
		20	4,47	-0,29	-0,54	-0,48	-0,42	-0,31	-0,06	0,47	1,23	1,50	1,45	1,43
		30	5,48	-0,32	-0,54	-0,47	-0,42	-0,30	-0,04	0,51	1,26	1,50	1,45	1,42
		40	6,32	-0,35	-0,53	-0,47	-0,41	-0,29	-0,02	0,55	1,29	1,49	1,45	1,42
		60	7,75	-0,38	-0,53	-0,47	-0,41	-0,28	0,00	0,59	1,32	1,49	1,44	1,42
		80	8,94	-0,41	-0,52	-0,46	-0,41	-0,27	0,02	0,63	1,35	1,49	1,44	1,42
		100	10,00	-0,44	-0,52	-0,46	-0,40	-0,26	0,03	0,67	1,38	1,48	1,44	1,42
		150	12,25	-0,47	-0,51	-0,46	-0,40	-0,25	0,04	0,71	1,41	1,48	1,44	1,42
	200	14,14	-0,50	-0,51	-0,45	-0,40	-0,24	0,05	0,75	1,44	1,48	1,43	1,42	
	300	17,32	-0,53	-0,50	-0,45	-0,39	-0,24	0,06	0,79	1,47	1,47	1,43	1,42	
	500	22,36	-0,56	-0,50	-0,45	-0,39	-0,23	0,07	0,83	1,50	1,47	1,43	1,42	
	1440	37,95	-0,58	-0,50	-0,45	-0,39	-0,23	0,08	0,87	1,53	1,47	1,43	1,42	
Numunenin boy değişimi (mm)			-0,58	-0,50	-0,45	-0,39	-0,23	0,08	0,87	1,53	1,47	1,43	1,42	
Numune yüksekliği (mm)			20,58	20,50	20,45	20,39	20,23	19,92	19,13	18,47	18,53	18,57	18,58	
Numune hacmi (cm ³)			39,74	39,59	39,49	39,37	39,06	38,47	36,94	35,67	35,78	35,86	35,88	
Ortalama Numune yüksekliği (mm)			20,58	20,54	20,50	20,44	20,34	20,13	19,63	19,05	18,79	18,68	18,63	
Ortalama Numune yüksekliği (metre)			0,02058	0,02054	0,02050	0,02044	0,02034	0,02013	0,01963	0,01905	0,01879	0,01868	0,01863	

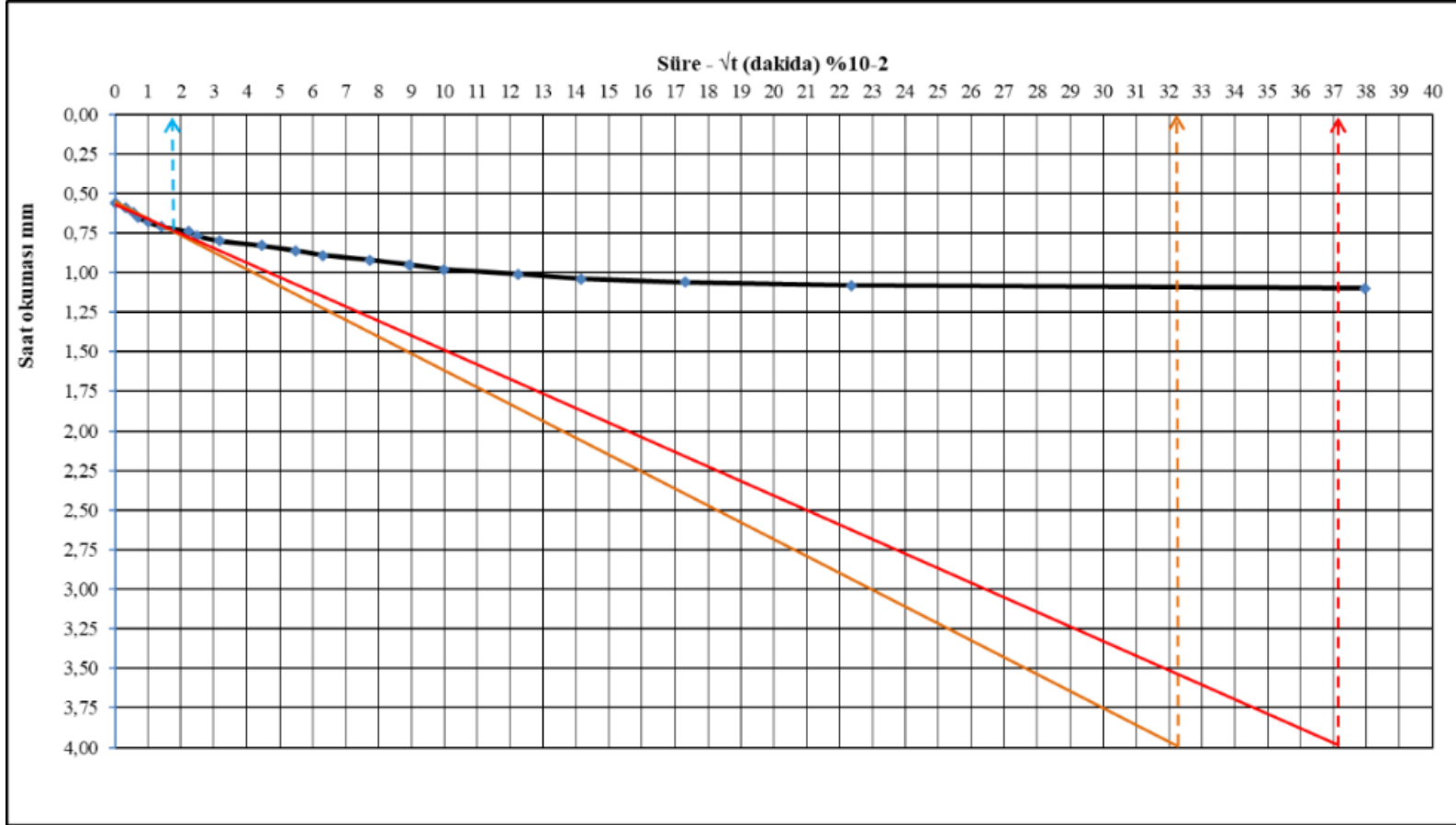


Şekil C.1: %10 çimento katkılı kumlu kil 1.halka konsolidasyon deneyi oturma-karekök zaman grafiği

EK C.2

Çizelge C.2: %10 çimento katkılı kumlu kil 2.halka konsolidasyon deneyi okuma değerleri

Halka No.		2		% 10 ÇİMENTO KATKILI KUMLU KİL KARIŞIMI										
Halka ağı. (gr)		77,45												
Numune kesit alanı (cm ²)		19,31												
Gs		2,570												
Serbest şişme yüzdesi (%)		3,9												
				Deney başlangıcında					Deney sonunda					
Halka + yaş numune ağı. (gr)				150,51					154,23					
Halka + kuru numune ağı. (gr)				139,09					139,09					
Yükler		Yükler (kPa)	-	50	100	200	400	800	1600	3200	800	200	50	
		Yüklenecek olan yük (kg)	<i>Serbest şişme</i>	1	2	4	8	16	32	64	16	4	1	
		Yüzege etkiyen yük (kg)	-	10	20	40	80	160	320	640	160	40	10	
		Yüzege etkiyen gerilme (kg/cm ² yük/halka)	-	0,52	1,04	2,07	4,14	8,29	16,57	33,14	8,29	2,07	0,52	
		Yüzege etkiyen gerilme (kPa)	-	51	102	203	406	813	1626	3251	813	203	51	
	Süre (sn)	Süre (dk)	\sqrt{t}											
Saat okumaları (mm)	0	0	0,00	0	-0,77	-0,67	-0,55	-0,47	-0,27	0,05	0,56	1,10	1,05	1,01
	6	0,1	0,32	-0,05	-0,86	-0,67	-0,55	-0,45	-0,25	0,08	0,59	1,10	1,05	1,01
	18	0,3	0,55	-0,10	-0,84	-0,66	-0,54	-0,44	-0,23	0,11	0,62	1,10	1,05	1,01
	30	0,5	0,71	-0,14	-0,83	-0,65	-0,54	-0,43	-0,21	0,14	0,65	1,10	1,05	1,01
	60	1	1,00	-0,18	-0,82	-0,64	-0,53	-0,42	-0,19	0,17	0,68	1,09	1,04	1,01
	120	2	1,41	-0,22	-0,81	-0,63	-0,53	-0,41	-0,17	0,20	0,71	1,09	1,04	1,01
	300	5	2,24	-0,26	-0,80	-0,62	-0,52	-0,40	-0,15	0,23	0,74	1,09	1,04	1,01
	375	6,25	2,50	-0,30	-0,79	-0,61	-0,52	-0,39	-0,13	0,26	0,77	1,08	1,04	1,01
		10	3,16	-0,34	-0,78	-0,60	-0,51	-0,38	-0,11	0,29	0,80	1,08	1,03	1,01
		20	4,47	-0,38	-0,77	-0,60	-0,51	-0,37	-0,09	0,32	0,83	1,08	1,03	1,01
		30	5,48	-0,42	-0,76	-0,59	-0,50	-0,36	-0,07	0,35	0,86	1,07	1,03	1,00
		40	6,32	-0,46	-0,75	-0,59	-0,50	-0,35	-0,05	0,38	0,89	1,07	1,03	1,00
		60	7,75	-0,50	-0,74	-0,58	-0,49	-0,34	-0,03	0,41	0,92	1,07	1,02	1,00
		80	8,94	-0,54	-0,73	-0,58	-0,49	-0,33	-0,01	0,44	0,95	1,06	1,02	1,00
		100	10,00	-0,58	-0,72	-0,57	-0,48	-0,32	0,00	0,46	0,98	1,06	1,02	1,00
		150	12,25	-0,62	-0,71	-0,57	-0,48	-0,31	0,01	0,48	1,01	1,06	1,02	1,00
	200	14,14	-0,66	-0,70	-0,56	-0,48	-0,30	0,02	0,50	1,04	1,05	1,01	1,00	
	300	17,32	-0,70	-0,69	-0,56	-0,47	-0,29	0,03	0,52	1,06	1,05	1,01	1,00	
	500	22,36	-0,74	-0,68	-0,55	-0,47	-0,28	0,04	0,54	1,08	1,05	1,01	1,00	
	1440	37,95	-0,77	-0,67	-0,55	-0,47	-0,27	0,05	0,56	1,10	1,05	1,01	1,00	
Numunenin boy değişimi (mm)				-0,77	-0,67	-0,55	-0,47	-0,27	0,05	0,56	1,10	1,05	1,01	1,00
Numune yüksekliği (mm)				20,77	20,67	20,55	20,47	20,27	19,95	19,44	18,90	18,95	18,99	19,00
Numune hacmi (cm³)				40,11	39,91	39,68	39,53	39,14	38,52	37,54	36,50	36,59	36,67	36,69
Ortalama Numune yüksekliği (mm)				20,77	20,72	20,64	20,55	20,41	20,18	19,81	19,36	19,15	19,07	19,04
Ortalama Numune yüksekliği (metre)				0,02077	0,02072	0,02064	0,02055	0,02041	0,02018	0,01981	0,01936	0,01915	0,01907	0,01904

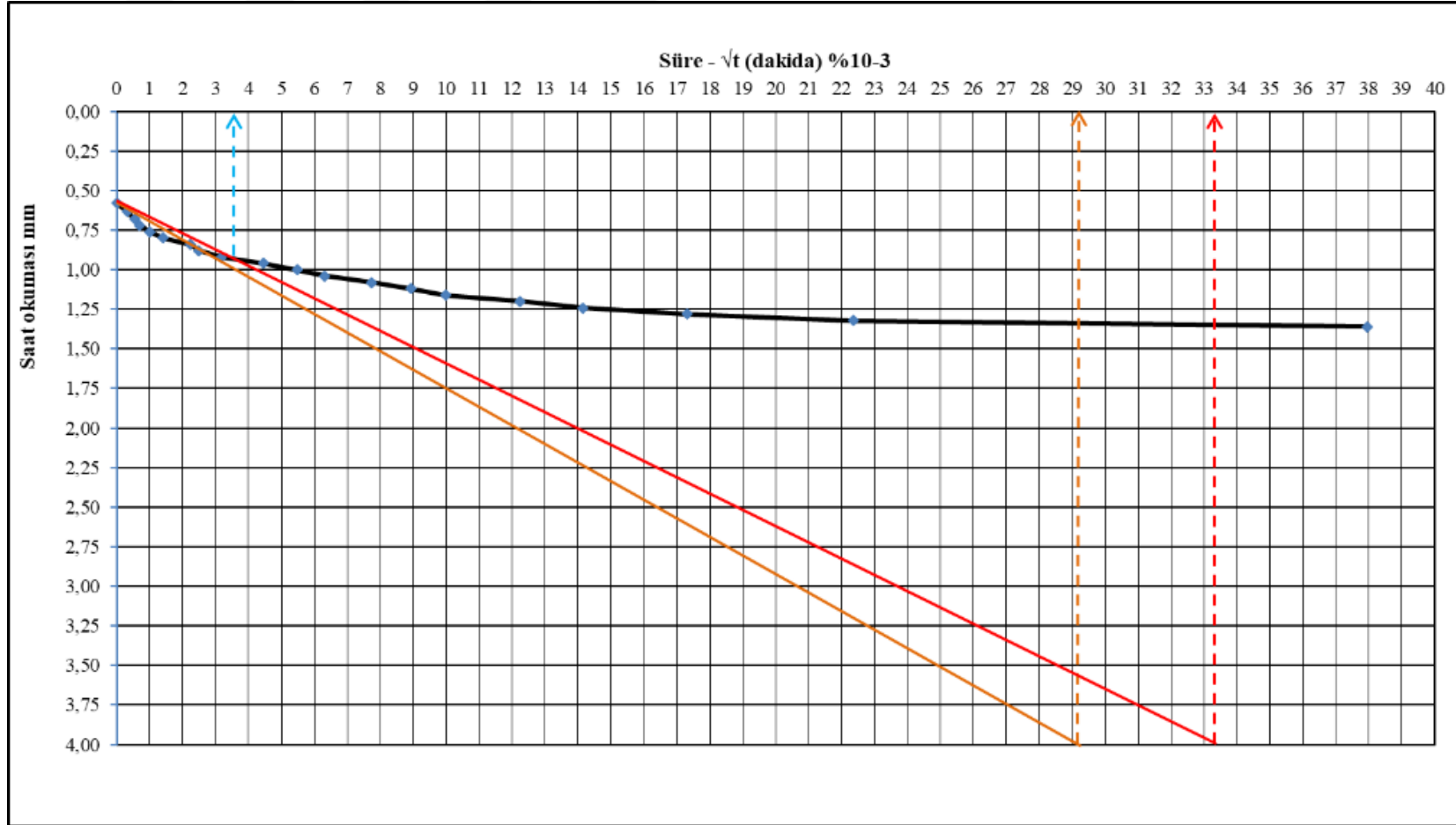


Şekil C.2: %10 çimento katkılı kumlu kil 2.halka konsolidasyon deneyi oturma-karekök zaman grafiği

EK C.3

Çizelge C.3: %10 çimento katkılı kumlu kil 3.halka konsolidasyon deneyi okuma değerleri

Halka No.		3		% 10 ÇİMENTO KATKILI KUMLU KİL KARIŞIMI										
Halka ağı. (gr)		77,33												
Numune kesit alanı (cm ²)		19,31												
Gs		2,570												
Serbest şişme yüzdesi (%)		3,4												
				Deney başlangıcında					Deney sonunda					
Halka + yaş numune ağı. (gr)				152,83					153,72					
Halka + kuru numune ağı. (gr)				138,80					138,80					
Yükler	Yükler (kPa)		-	50	100	200	400	800	1600	3200	800	200	50	
	Yüklenecek olan yük (kg)		<i>Serbest şişme</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>8</i>	<i>16</i>	<i>32</i>	<i>64</i>	<i>16</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	
	Yüzüğe etkiyen yük (kg)		-	10	20	40	80	160	320	640	160	40	10	
	Yüzüğe etkiyen gerilme (kg/cm ²)yük/halka		-	0,52	1,04	2,07	4,14	8,29	16,57	33,14	8,29	2,07	0,52	
	Yüzüğe etkiyen gerilme (kPa)		-	51	102	203	406	813	1626	3251	813	203	51	
Süre (sn)			Süre (dk)	√t										
Saat okumaları (mm)	0	0	0,00	0	-0,67	-0,59	-0,54	-0,47	-0,30	0,01	0,58	1,36	1,27	1,13
	6	0,1	0,32	-0,04	-0,67	-0,59	-0,54	-0,47	-0,28	0,04	0,63	1,36	1,27	1,13
	18	0,3	0,55	-0,08	-0,67	-0,59	-0,54	-0,46	-0,26	0,07	0,68	1,35	1,26	1,13
	30	0,5	0,71	-0,12	-0,66	-0,58	-0,53	-0,45	-0,24	0,10	0,72	1,35	1,25	1,13
	60	1	1,00	-0,16	-0,66	-0,58	-0,53	-0,44	-0,22	0,13	0,76	1,34	1,24	1,13
	120	2	1,41	-0,20	-0,65	-0,58	-0,52	-0,43	-0,20	0,16	0,80	1,34	1,23	1,12
	300	5	2,24	-0,24	-0,65	-0,57	-0,52	-0,42	-0,18	0,19	0,84	1,33	1,22	1,12
	375	6,25	2,50	-0,28	-0,64	-0,57	-0,51	-0,41	-0,16	0,22	0,88	1,33	1,21	1,12
		10	3,16	-0,32	-0,64	-0,57	-0,51	-0,40	-0,14	0,25	0,92	1,32	1,20	1,12
		20	4,47	-0,36	-0,63	-0,56	-0,50	-0,39	-0,12	0,28	0,96	1,32	1,19	1,12
		30	5,48	-0,40	-0,63	-0,56	-0,50	-0,38	-0,10	0,31	1,00	1,31	1,18	1,11
		40	6,32	-0,43	-0,62	-0,56	-0,49	-0,37	-0,08	0,34	1,04	1,31	1,17	1,11
		60	7,75	-0,46	-0,62	-0,55	-0,49	-0,36	-0,06	0,37	1,08	1,30	1,16	1,11
		80	8,94	-0,49	-0,61	-0,55	-0,49	-0,35	-0,05	0,40	1,12	1,30	1,16	1,11
		100	10,00	-0,52	-0,61	-0,55	-0,48	-0,34	-0,04	0,43	1,16	1,29	1,15	1,11
	150	12,25	-0,55	-0,60	-0,55	-0,48	-0,33	-0,03	0,46	1,20	1,29	1,15	1,10	
	200	14,14	-0,58	-0,60	-0,54	-0,48	-0,32	-0,02	0,49	1,24	1,28	1,14	1,10	
	300	17,32	-0,61	-0,59	-0,54	-0,47	-0,31	-0,01	0,52	1,28	1,28	1,14	1,10	
	500	22,36	-0,64	-0,59	-0,54	-0,47	-0,30	0,00	0,55	1,32	1,27	1,13	1,10	
	1440	37,95	-0,67	-0,59	-0,54	-0,47	-0,30	0,01	0,58	1,36	1,27	1,13	1,10	
Numunenin boy değişimi (mm)				-0,67	-0,59	-0,54	-0,47	-0,30	0,01	0,58	1,36	1,27	1,13	1,10
Numune yüksekliği (mm)				20,67	20,59	20,54	20,47	20,30	19,99	19,42	18,64	18,73	18,87	18,90
Numune hacmi (cm³)				39,91	39,76	39,66	39,53	39,20	38,60	37,50	35,99	36,17	36,44	36,50
Ortalama Numune yüksekliği (mm)				20,67	20,63	20,59	20,53	20,41	20,20	19,81	19,23	18,98	18,92	18,91
Ortalama Numune yüksekliği (metre)				0,02067	0,02063	0,02059	0,02053	0,02041	0,02020	0,01981	0,01923	0,01898	0,01892	0,01891



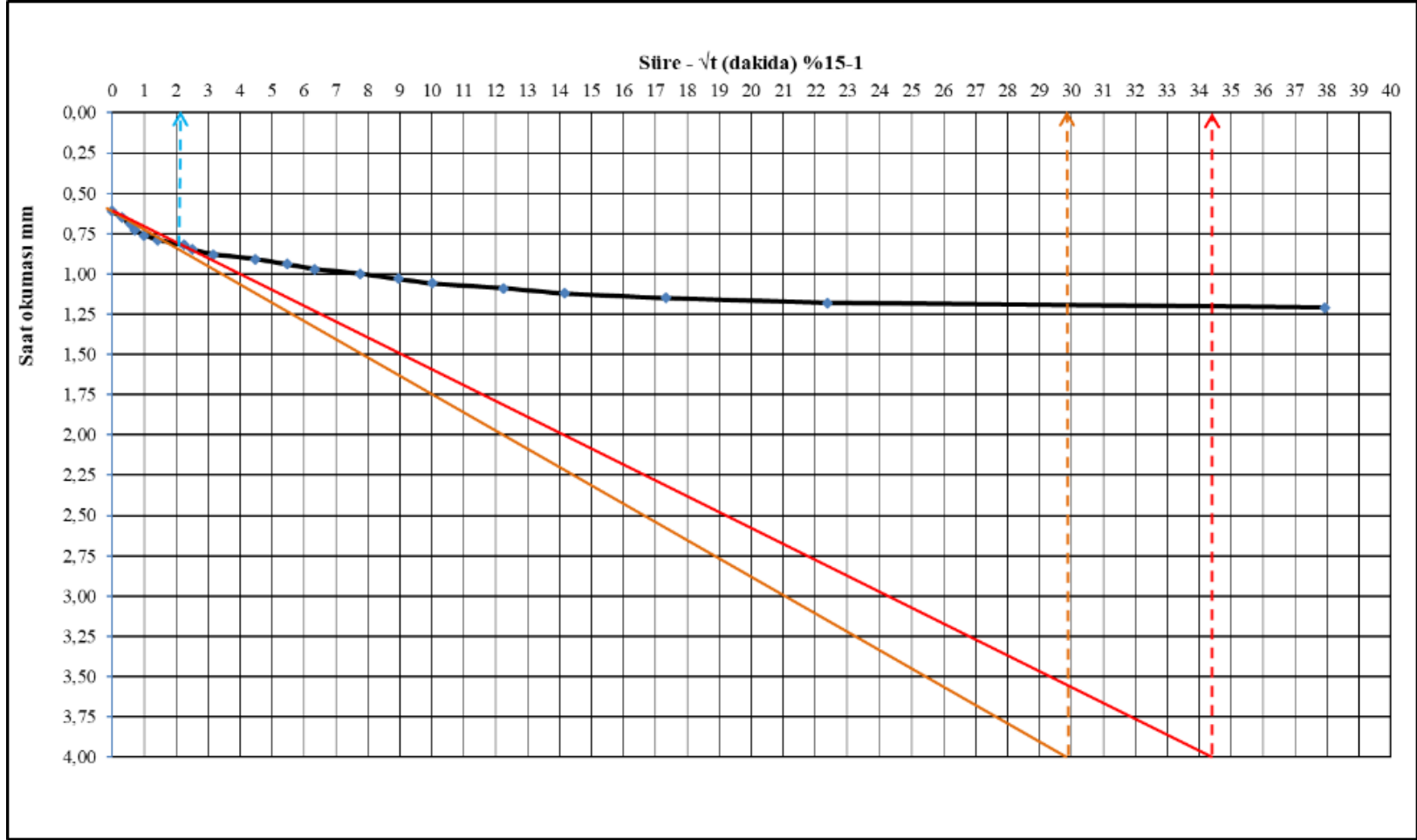
Şekil C.3: %10 çimento katkılı kumlu kil 3.halka konsolidasyon deneyi oturma-karekök zaman grafiği

EK D

EK D

Çizelge D.1: %15 çimento katkılı kumlu kil 1.halka konsolidasyon deneyi okuma değerleri

Halka No.		1														
Halka ağı. (gr)		77,62														
Numune kesit alanı (cm ²)		19,31														
Gs		2,570														
Serbest şişme yüzdesi (%)		1,8														
		Deney başlangıcında					Deney sonunda									
Halka + yaş numune ağı. (gr)		150,49					152,94									
Halka + kuru numune ağı. (gr)		138,15					138,15									
Yükler	Yükler (kPa)	-	50	100	200	400	800	1600	3200	800	200	50				
	Yüklenecek olan yük (kg)	Serbest şişme	1	2	4	8	16	32	64	16	4	1				
	Yüziğe etkiyen yük (kg)	-	10	20	40	80	160	320	640	160	40	10				
	Yüziğe etkiyen gerilme (kg/cm ²)yük/halka	-	0,52	1,04	2,07	4,14	8,29	16,57	33,14	8,29	2,07	0,52				
	Yüziğe etkiyen gerilme (kPa)	-	51	102	203	406	813	1626	3251	813	203	51				
Süre (sn)	Süre (dk)	√t														
0	0	0,00	0	-0,36	-0,25	-0,23	-0,16	-0,01	0,27	0,61	1,21	1,20	1,12			
6	0,1	0,32	-0,02	-0,36	-0,25	-0,23	-0,16	0,01	0,29	0,65	1,21	1,20	1,12			
18	0,3	0,55	-0,04	-0,35	-0,25	-0,23	-0,15	0,03	0,31	0,69	1,21	1,20	1,12			
30	0,5	0,71	-0,06	-0,34	-0,25	-0,22	-0,14	0,05	0,33	0,73	1,21	1,19	1,11			
60	1	1,00	-0,08	-0,33	-0,25	-0,22	-0,13	0,07	0,35	0,76	1,21	1,19	1,11			
120	2	1,41	-0,10	-0,32	-0,25	-0,22	-0,12	0,09	0,37	0,79	1,21	1,18	1,11			
300	5	2,24	-0,12	-0,31	-0,24	-0,21	-0,11	0,11	0,39	0,82	1,21	1,18	1,10			
375	6,25	2,50	-0,14	-0,31	-0,24	-0,21	-0,10	0,13	0,41	0,85	1,21	1,17	1,10			
	10	3,16	-0,16	-0,30	-0,24	-0,20	-0,09	0,15	0,43	0,88	1,21	1,17	1,10			
	20	4,47	-0,18	-0,30	-0,24	-0,20	-0,08	0,17	0,45	0,91	1,21	1,16	1,09			
	30	5,48	-0,20	-0,29	-0,24	-0,20	-0,07	0,18	0,47	0,94	1,20	1,16	1,09			
	40	6,32	-0,22	-0,29	-0,24	-0,19	-0,06	0,19	0,49	0,97	1,20	1,16	1,09			
	60	7,75	-0,24	-0,28	-0,24	-0,19	-0,05	0,20	0,51	1,00	1,20	1,15	1,08			
	80	8,94	-0,26	-0,28	-0,23	-0,18	-0,04	0,21	0,53	1,03	1,20	1,15	1,08			
	100	10,00	-0,28	-0,27	-0,23	-0,18	-0,03	0,22	0,55	1,06	1,20	1,14	1,08			
	150	12,25	-0,30	-0,27	-0,23	-0,18	-0,03	0,23	0,57	1,09	1,20	1,14	1,08			
	200	14,14	-0,32	-0,26	-0,23	-0,17	-0,02	0,24	0,58	1,12	1,20	1,13	1,07			
	300	17,32	-0,34	-0,26	-0,23	-0,17	-0,02	0,25	0,59	1,15	1,20	1,13	1,07			
	500	22,36	-0,35	-0,25	-0,23	-0,16	-0,01	0,26	0,60	1,18	1,20	1,12	1,07			
	1440	37,95	-0,36	-0,25	-0,23	-0,16	-0,01	0,27	0,61	1,21	1,20	1,12	1,07			
Numunenin boy değişimi (mm)			-0,36	-0,25	-0,23	-0,16	-0,01	0,27	0,61	1,21	1,20	1,12	1,07			
Numune yüksekliği (mm)			20,36	20,25	20,23	20,16	20,01	19,73	19,39	18,79	18,80	18,88	18,93			
Numune hacmi (cm ³)			39,32	39,10	39,06	38,93	38,64	38,10	37,44	36,28	36,30	36,46	36,55			
Ortalama Numune yüksekliği (mm)			20,36	20,31	20,27	20,21	20,11	19,92	19,66	19,22	19,01	18,95	18,94			
Ortalama Numune yüksekliği (metre)			0,02036	0,02031	0,02027	0,02021	0,02011	0,01992	0,01966	0,01922	0,01901	0,01895	0,01894			

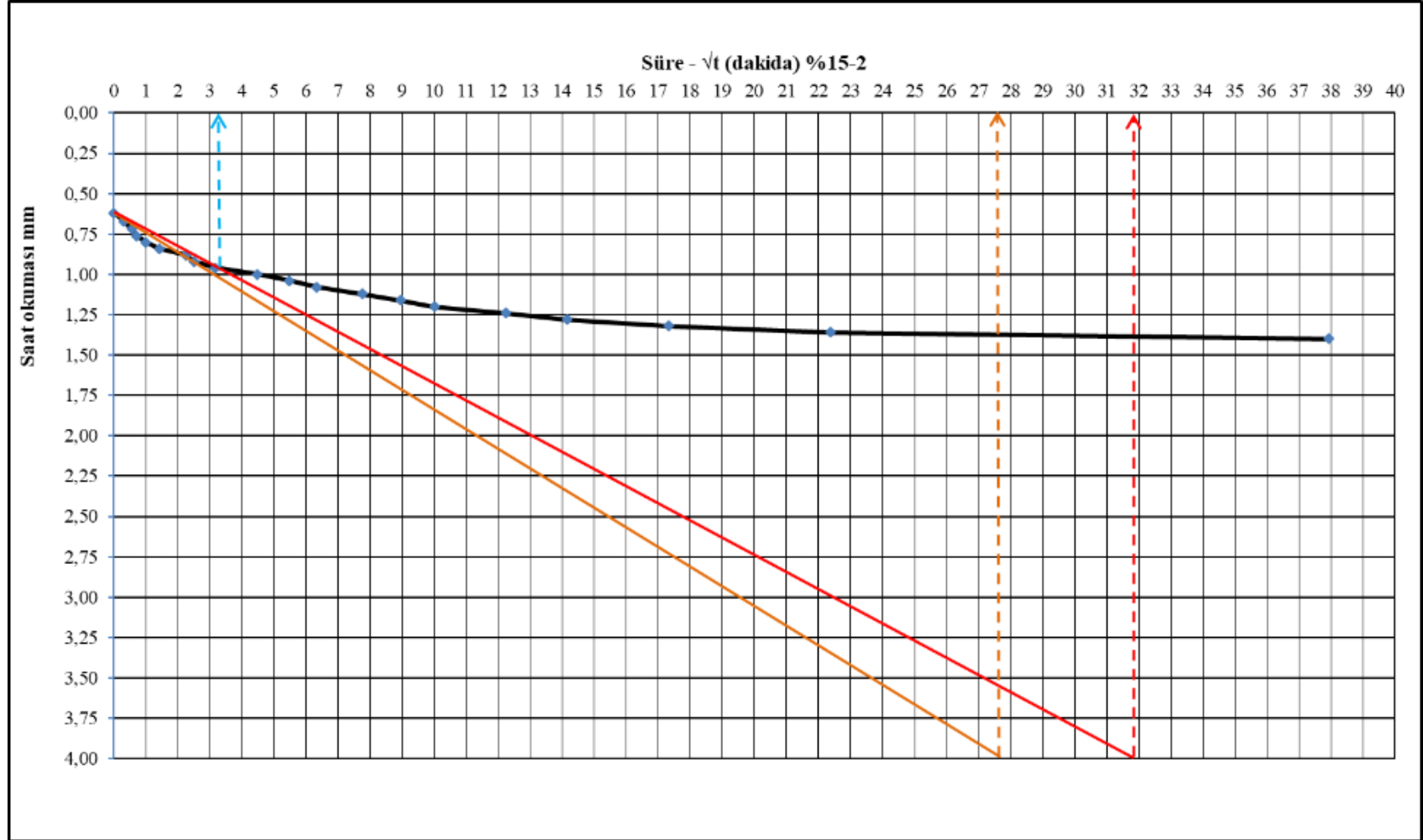


Şekil D.1: %15 çimento katkılı kumlu kil 1.halka konsolidasyon deneyi oturma-karekök zaman grafiği

EK D.2

Çizelge D.2: %15 çimento katkılı kumlu kil 2.halka konsolidasyon deneyi okuma değerleri

Halka No.		2		% 15 ÇİMENTO KATKILI KUMLU KİL KARIŞIMI										
Halka ağı. (gr)		77,3												
Numune kesit alanı (cm ²)		19,31												
Gs		2,570												
Serbest şişme yüzdesi (%)		1,2												
				Deney başlangıcında					Deney sonunda					
Halka + yaş numune ağı. (gr)				151,15					153,58					
Halka + kuru numune ağı. (gr)				138,80					138,80					
Yükler	Yükler (kPa)			-	50	100	200	400	800	1600	3200	800	200	50
	Yüklenecek olan yük (kg)			Serbest şişme	1	2	4	8	16	32	64	16	4	1
	Yüzüğe etkiyen yük (kg)			-	10	20	40	80	160	320	640	160	40	10
	Yüzüğe etkiyen gerilme (kg/cm ²)vük/halka			-	0,52	1,04	2,07	4,14	8,29	16,57	33,14	8,29	2,07	0,52
	Yüzüğe etkiyen gerilme (kPa)			-	51	102	203	406	813	1626	3251	813	203	51
Süre (sn)		Süre (dk)	√t											
Saat okumaları (mm)	0	0	0,00	0	-0,24	-0,14	-0,11	-0,08	-0,01	0,20	0,62	1,40	1,36	1,28
	6	0,1	0,32	-0,02	-0,19	-0,14	-0,11	-0,08	0,01	0,23	0,67	1,40	1,36	1,28
	18	0,3	0,55	-0,04	-0,19	-0,14	-0,11	-0,08	0,03	0,26	0,72	1,40	1,35	1,28
	30	0,5	0,71	-0,06	-0,18	-0,14	-0,11	-0,07	0,04	0,29	0,76	1,40	1,35	1,28
	60	1	1,00	-0,08	-0,18	-0,14	-0,11	-0,07	0,05	0,32	0,80	1,39	1,34	1,28
	120	2	1,41	-0,10	-0,18	-0,13	-0,10	-0,06	0,06	0,34	0,84	1,39	1,34	1,28
	300	5	2,24	-0,11	-0,17	-0,13	-0,10	-0,06	0,07	0,36	0,88	1,39	1,33	1,27
	375	6,25	2,50	-0,12	-0,17	-0,13	-0,10	-0,05	0,08	0,38	0,92	1,39	1,33	1,27
		10	3,16	-0,13	-0,17	-0,13	-0,10	-0,05	0,09	0,40	0,96	1,38	1,32	1,27
		20	4,47	-0,14	-0,16	-0,13	-0,10	-0,04	0,10	0,42	1,00	1,38	1,32	1,27
		30	5,48	-0,15	-0,16	-0,12	-0,09	-0,04	0,11	0,44	1,04	1,38	1,31	1,27
		40	6,32	-0,16	-0,16	-0,12	-0,09	-0,03	0,12	0,46	1,08	1,38	1,31	1,27
		60	7,75	-0,17	-0,15	-0,12	-0,09	-0,03	0,13	0,48	1,12	1,37	1,30	1,27
		80	8,94	-0,18	-0,15	-0,12	-0,09	-0,03	0,14	0,50	1,16	1,37	1,30	1,26
		100	10,00	-0,19	-0,15	-0,12	-0,09	-0,02	0,15	0,52	1,20	1,37	1,29	1,26
		150	12,25	-0,20	-0,15	-0,11	-0,08	-0,02	0,16	0,54	1,24	1,37	1,29	1,26
		200	14,14	-0,21	-0,14	-0,11	-0,08	-0,02	0,17	0,56	1,28	1,36	1,29	1,26
	300	17,32	-0,22	-0,14	-0,11	-0,08	-0,01	0,18	0,58	1,32	1,36	1,28	1,26	
	500	22,36	-0,23	-0,14	-0,11	-0,08	-0,01	0,19	0,60	1,36	1,36	1,28	1,26	
	1440	37,95	-0,24	-0,14	-0,11	-0,08	-0,01	0,20	0,62	1,40	1,36	1,28	1,26	
Numunenin boy değişimi (mm)				-0,24	-0,14	-0,11	-0,08	-0,01	0,20	0,62	1,40	1,36	1,28	1,26
Numune yüksekliği (mm)				20,24	20,14	20,11	20,08	20,01	19,80	19,38	18,60	18,64	18,72	18,74
Numune hacmi (cm ³)				39,08	38,89	38,83	38,77	38,64	38,23	37,42	35,92	35,99	36,15	36,19
Ortalama Numune yüksekliği (mm)				20,24	20,19	20,15	20,12	20,06	19,93	19,66	19,13	18,88	18,80	18,77
Ortalama Numune yüksekliği (metre)				0,02024	0,02019	0,02015	0,02012	0,02006	0,01993	0,01966	0,01913	0,01888	0,01880	0,01877

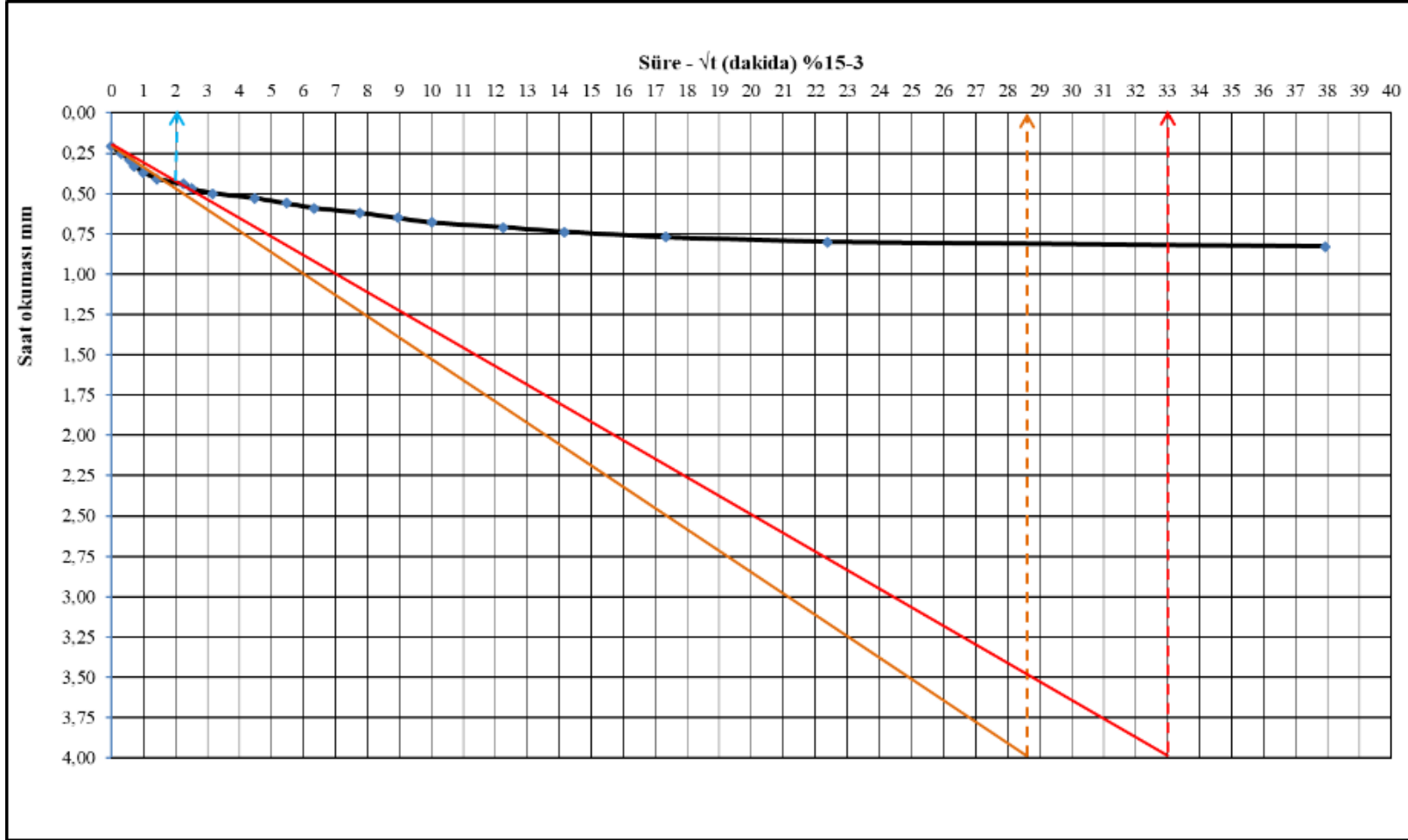


Şekil D.2: %15 çimento katkılı kumlu kil 2.halka konsolidasyon deneyi oturma-karekök zaman grafiği

EK D.3

Çizelge D.3: %15 çimento katkılı kumlu kil 3.halka konsolidasyon deneyi okuma değerleri

Halka No.		3		% 15 ÇİMENTO KATKILI KUMLU KİL KARIŞIMI										
Halka ağı. (gr)		77,63												
Numune kesit alanı (cm ²)		19,31												
Gs		2,570												
Serbest şişme yüzdesi (%)		2,3												
				Deney başlangıcında					Deney sonunda					
Halka + yaş numune ağı. (gr)				154,03					156,03					
Halka + kuru numune ağı. (gr)				141,36					141,36					
Yükler	Yükler (kPa)			-	50	100	200	400	800	1600	3200	800	200	50
	Yüklenecek olan yük (kg)			<i>Serbest şişme</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>8</i>	<i>16</i>	<i>32</i>	<i>64</i>	<i>16</i>	<i>4</i>	<i>1</i>
	Yüzüğe etkileyen yük (kg)			-	10	20	40	80	160	320	640	160	40	10
	Yüzüğe etkileyen gerilme (kg/cm ²)/yük/halka			-	0,52	1,04	2,07	4,14	8,29	16,57	33,14	8,29	2,07	0,52
	Yüzüğe etkileyen gerilme (kPa)			-	51	102	203	406	813	1626	3251	813	203	51
Süre (sn)			Süre (dk)	√t										
Saat okumaları (mm)	0	0	0,00	0	-0,47	-0,29	-0,27	-0,24	-0,17	-0,03	0,21	0,83	0,82	0,75
	6	0,1	0,32	-0,03	-0,36	-0,25	-0,27	-0,24	-0,17	-0,01	0,25	0,81	0,82	0,75
	18	0,3	0,55	-0,06	-0,35	-0,25	-0,27	-0,24	-0,16	0,01	0,29	0,81	0,82	0,75
	30	0,5	0,71	-0,09	-0,34	-0,25	-0,27	-0,23	-0,15	0,03	0,33	0,81	0,81	0,75
	60	1	1,00	-0,12	-0,33	-0,25	-0,27	-0,23	-0,14	0,05	0,37	0,81	0,81	0,75
	120	2	1,41	-0,15	-0,32	-0,25	-0,26	-0,22	-0,13	0,07	0,41	0,81	0,80	0,75
	300	5	2,24	-0,18	-0,31	-0,24	-0,26	-0,22	-0,12	0,08	0,44	0,81	0,80	0,75
	375	6,25	2,50	-0,21	-0,31	-0,24	-0,26	-0,21	-0,11	0,09	0,47	0,81	0,79	0,75
		10	3,16	-0,24	-0,30	-0,24	-0,26	-0,21	-0,10	0,10	0,50	0,81	0,79	0,75
		20	4,47	-0,27	-0,30	-0,24	-0,26	-0,20	-0,09	0,11	0,53	0,81	0,78	0,75
		30	5,48	-0,29	-0,29	-0,24	-0,25	-0,20	-0,08	0,12	0,56	0,82	0,78	0,74
		40	6,32	-0,31	-0,29	-0,24	-0,25	-0,19	-0,07	0,13	0,59	0,82	0,77	0,74
		60	7,75	-0,33	-0,28	-0,24	-0,25	-0,19	-0,06	0,14	0,62	0,82	0,77	0,74
		80	8,94	-0,35	-0,28	-0,23	-0,25	-0,19	-0,06	0,15	0,65	0,82	0,77	0,74
		100	10,00	-0,37	-0,27	-0,23	-0,25	-0,18	-0,05	0,16	0,68	0,82	0,76	0,74
		150	12,25	-0,39	-0,27	-0,23	-0,24	-0,18	-0,05	0,17	0,71	0,82	0,76	0,74
		200	14,14	-0,41	-0,26	-0,23	-0,24	-0,18	-0,04	0,18	0,74	0,82	0,76	0,74
	300	17,32	-0,43	-0,26	-0,23	-0,24	-0,17	-0,04	0,19	0,77	0,82	0,75	0,74	
	500	22,36	-0,45	-0,25	-0,23	-0,24	-0,17	-0,03	0,20	0,80	0,82	0,75	0,74	
	1440	37,95	-0,47	-0,29	-0,27	-0,24	-0,17	-0,03	0,21	0,83	0,82	0,75	0,74	
Numunenin boy değişimi (mm)				-0,47	-0,29	-0,27	-0,24	-0,17	-0,03	0,21	0,83	0,82	0,75	0,74
Numune yüksekliği (mm)				20,47	20,29	20,27	20,24	20,17	20,03	19,79	19,17	19,18	19,25	19,26
Numune hacmi (cm ³)				39,53	39,18	39,14	39,08	38,95	38,68	38,21	37,02	37,04	37,17	37,19
Ortalama Numune yüksekliği (mm)				20,47	20,38	20,33	20,28	20,23	20,13	19,96	19,56	19,37	19,31	19,29
Ortalama Numune yüksekliği (metre)				0,02047	0,02038	0,02033	0,02028	0,02023	0,02013	0,01996	0,01956	0,01937	0,01931	0,01929



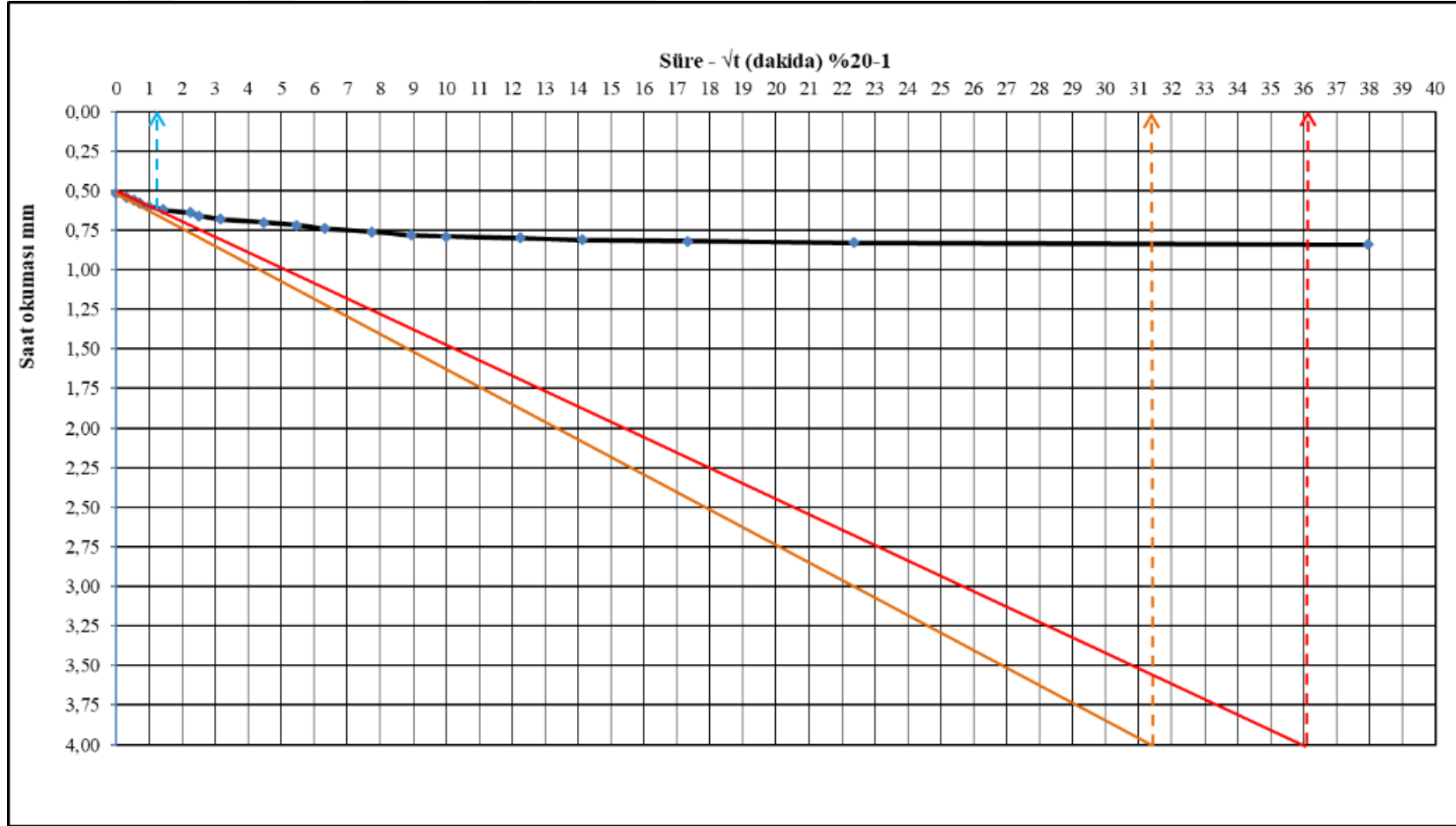
Şekil D.3: %15 çimento katkılı kumlu kil 3.halka konsolidasyon deneyi oturma-karekök zaman grafiği

EK E

EK E.1

Çizelge E.1: %20 çimento katkılı kumlu kil 1.halka konsolidasyon deneyi okuma değerleri

Halka No.		1												
Halka ağı. (gr)		77,777												
Numune kesit alanı (cm ²)		19,31												
Gs		2,570												
Serbest şişme yüzdesi (%)		1,0												
% 20 ÇİMENTO KATKILI KUMLU KİL KARIŞIMI														
		Deney başlangıcında						Deney sonunda						
Halka + yaş numune ağı. (gr)		151,92						154,35						
Halka + kuru numune ağı. (gr)		139,43						139,43						
Yükler	Yükler (kPa)	-	50	100	200	400	800	1600	3200	800	200	50		
	Yüklenecek olan yük (kg)	<i>Serbest şişme</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>8</i>	<i>16</i>	<i>32</i>	<i>64</i>	<i>16</i>	<i>4</i>	<i>1</i>		
	Yüzüğe etkiyen yük (kg)	-	10	20	40	80	160	320	640	160	40	10		
	Yüzüğe etkiyen gerilme (kg/cm ²)yük/halka	-	0,52	1,04	2,07	4,14	8,29	16,57	33,14	8,29	2,07	0,52		
	Yüzüğe etkiyen gerilme (kPa)	-	51	102	203	406	813	1626	3251	813	203	51		
Süre (sn)	Süre (dk)	√t												
Saat okumaları (mm)	0	0	0,00	0	-0,19	-0,07	-0,01	0,14	0,20	0,29	0,52	0,84	0,82	0,76
	6	0,1	0,32	-0,01	-0,18	-0,07	0,01	0,14	0,20	0,31	0,54	0,84	0,82	0,76
	18	0,3	0,55	-0,02	-0,17	-0,07	0,02	0,14	0,21	0,33	0,56	0,84	0,82	0,76
	30	0,5	0,71	-0,03	-0,16	-0,06	0,03	0,15	0,21	0,35	0,58	0,84	0,81	0,75
	60	1	1,00	-0,04	-0,15	-0,06	0,04	0,15	0,22	0,37	0,60	0,84	0,81	0,75
	120	2	1,41	-0,05	-0,14	-0,05	0,05	0,16	0,22	0,38	0,62	0,84	0,80	0,74
	300	5	2,24	-0,06	-0,13	-0,05	0,06	0,16	0,23	0,39	0,64	0,84	0,80	0,74
	375	6,25	2,50	-0,07	-0,12	-0,04	0,07	0,16	0,23	0,40	0,66	0,83	0,79	0,73
		10	3,16	-0,08	-0,12	-0,04	0,08	0,17	0,24	0,41	0,68	0,83	0,79	0,73
		20	4,47	-0,09	-0,11	-0,04	0,09	0,17	0,24	0,42	0,70	0,83	0,79	0,73
		30	5,48	-0,10	-0,11	-0,03	0,10	0,17	0,25	0,43	0,72	0,83	0,78	0,72
		40	6,32	-0,11	-0,11	-0,03	0,10	0,18	0,25	0,44	0,74	0,83	0,78	0,72
		60	7,75	-0,12	-0,10	-0,03	0,11	0,18	0,26	0,45	0,76	0,83	0,78	0,71
		80	8,94	-0,13	-0,10	-0,02	0,11	0,18	0,26	0,46	0,78	0,82	0,77	0,71
		100	10,00	-0,14	-0,09	-0,02	0,12	0,19	0,27	0,47	0,79	0,82	0,77	0,70
		150	12,25	-0,15	-0,09	-0,02	0,12	0,19	0,27	0,48	0,80	0,82	0,77	0,70
	200	14,14	-0,16	-0,09	-0,01	0,13	0,19	0,28	0,49	0,81	0,82	0,76	0,70	
	300	17,32	-0,17	-0,08	-0,01	0,13	0,20	0,28	0,50	0,82	0,82	0,76	0,69	
	500	22,36	-0,18	-0,08	-0,01	0,14	0,20	0,29	0,51	0,83	0,82	0,76	0,69	
	1440	37,95	-0,19	-0,07	-0,01	0,14	0,20	0,29	0,52	0,84	0,82	0,76	0,69	
Numunenin boy değişimi (mm)			-0,19	-0,07	-0,01	0,14	0,20	0,29	0,52	0,84	0,82	0,76	0,69	
Numune yüksekliği (mm)			20,19	20,07	20,01	19,87	19,80	19,72	19,48	19,16	19,18	19,24	19,31	
Numune hacmi (cm³)			38,99	38,76	38,64	38,36	38,23	38,07	37,62	37,00	37,04	37,15	37,29	
Ortalama Numune yüksekliği (mm)			20,19	20,13	20,07	19,97	19,88	19,80	19,64	19,40	19,29	19,26	19,29	
Ortalama Numune yüksekliği (metre)			0,02019	0,02013	0,02007	0,01997	0,01988	0,01980	0,01964	0,01940	0,01929	0,01926	0,01929	



Şekil E.1: %20 çimento katkılı kumlu kil 1.halka konsolidasyon deneyi oturma-karekök zaman grafiği

EK E.2

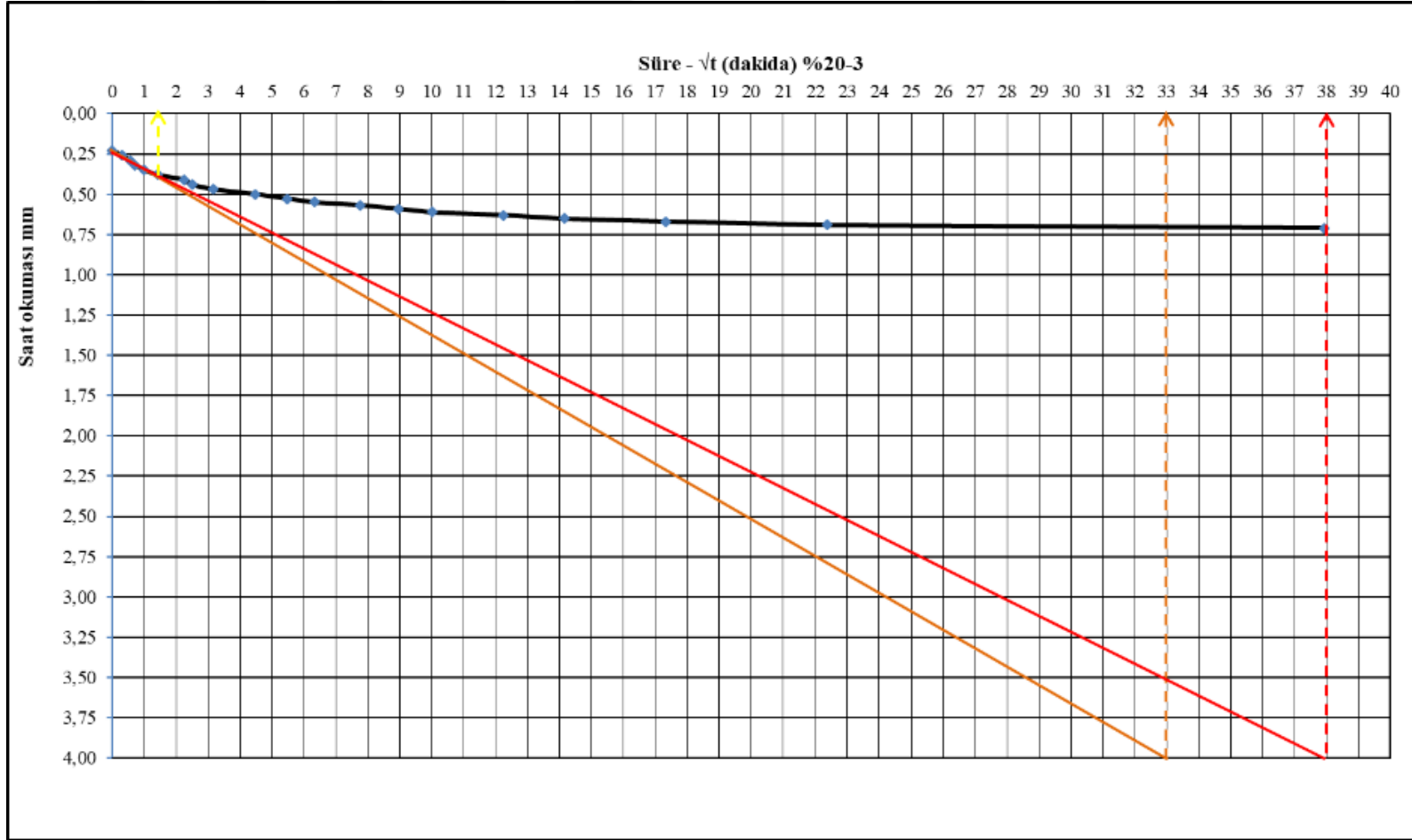
Çizelge E.2: %20 çimento katkılı kumlu kil 2.halka konsolidasyon deneyi okuma değerleri

Halka No.		2		% 20 ÇİMENTO KATKILI KUMLU KİL KARIŞIMI										
Halka ağı. (gr)		77,364												
Numune kesit alanı (cm ²)		19,31												
Gs		2,570												
Serbest şişme yüzdesi (%)		1,5												
				Deney başlangıcında					Deney sonunda					
Halka + yaş numune ağı. (gr)				150,14					156,28					
Halka + kuru numune ağı. (gr)				139,44					139,44					
Yükler	Yükler (kPa)			-	50	100	200	400	800	1600	3200	800	200	50
	Yüklenecek olan yük (kg)			Serbest şişme	1	2	4	8	16	32	64	16	4	1
	Yüzüğe etkiyen yük (kg)			-	10	20	40	80	160	320	640	160	40	10
	Yüzüğe etkiyen gerilme (kg/cm ²) / yük/halka			-	0,52	1,04	2,07	4,14	8,29	16,57	33,14	8,29	2,07	0,52
	Yüzüğe etkiyen gerilme (kPa)			-	51	102	203	406	813	1626	3251	813	203	51
Süre (sn)		Süre (dk)	√t											
Saat okumaları (mm)	0	0	0,00	0	-0,31	-0,27	-0,25	-0,22	-0,19	-0,15	0,02	0,40	0,36	0,30
	6	0,1	0,32	-0,02	-0,31	-0,27	-0,25	-0,22	-0,22	-0,15	0,04	0,40	0,36	0,30
	18	0,3	0,55	-0,04	-0,31	-0,27	-0,25	-0,22	-0,22	-0,14	0,06	0,40	0,36	0,30
	30	0,5	0,71	-0,06	-0,31	-0,27	-0,25	-0,22	-0,21	-0,13	0,08	0,40	0,35	0,30
	60	1	1,00	-0,08	-0,30	-0,27	-0,25	-0,22	-0,21	-0,12	0,10	0,39	0,35	0,29
	120	2	1,41	-0,10	-0,30	-0,27	-0,24	-0,21	-0,20	-0,11	0,12	0,39	0,34	0,29
	300	5	2,24	-0,12	-0,30	-0,27	-0,24	-0,21	-0,20	-0,10	0,14	0,39	0,34	0,29
	375	6,25	2,50	-0,14	-0,30	-0,26	-0,24	-0,21	-0,19	-0,09	0,16	0,39	0,34	0,29
		10	3,16	-0,16	-0,29	-0,26	-0,24	-0,21	-0,19	-0,08	0,18	0,38	0,33	0,28
		20	4,47	-0,18	-0,29	-0,26	-0,24	-0,21	-0,18	-0,07	0,20	0,38	0,33	0,28
		30	5,48	-0,20	-0,29	-0,26	-0,23	-0,20	-0,18	-0,06	0,22	0,38	0,33	0,28
		40	6,32	-0,22	-0,29	-0,26	-0,23	-0,20	-0,17	-0,05	0,24	0,38	0,32	0,28
		60	7,75	-0,24	0,28	-0,26	-0,23	-0,20	-0,17	-0,04	0,26	0,37	0,32	0,27
		80	8,94	-0,25	0,28	-0,25	-0,23	-0,20	-0,17	-0,03	0,28	0,37	0,32	0,27
		100	10,00	-0,26	0,28	-0,25	-0,23	-0,20	-0,16	-0,02	0,30	0,37	0,31	0,27
		150	12,25	-0,27	0,28	-0,25	-0,22	-0,19	-0,16	-0,01	0,32	0,37	0,31	0,27
		200	14,14	-0,28	-0,27	-0,25	-0,22	-0,19	-0,16	0,00	0,34	0,36	0,31	0,26
	300	17,32	-0,29	-0,27	-0,25	-0,22	-0,19	-0,15	0,01	0,36	0,36	0,30	0,26	
	500	22,36	-0,30	-0,27	-0,25	-0,22	-0,19	-0,15	0,02	0,38	0,36	0,30	0,26	
	1440	37,95	-0,31	-0,27	-0,25	-0,22	-0,19	-0,15	0,02	0,40	0,36	0,30	0,26	
Numunenin boy değişimi (mm)				-0,31	-0,27	-0,25	-0,22	-0,19	-0,15	0,02	0,40	0,36	0,30	0,26
Numune yüksekliği (mm)				20,31	20,27	20,25	20,22	20,19	20,15	19,98	19,60	19,64	19,70	19,74
Numune hacmi (cm ³)				39,22	39,14	39,10	39,04	38,99	38,91	38,58	37,85	37,92	38,04	38,12
Ortalama Numune yüksekliği (mm)				20,31	20,29	20,27	20,25	20,22	20,18	20,08	19,84	19,74	19,72	19,73
Ortalama Numune yüksekliği (metre)				0,02031	0,02029	0,02027	0,02025	0,02022	0,02018	0,02008	0,01984	0,01974	0,01972	0,01973

EK E.3

Çizelge E.3: %20 çimento katkılı kumlu kil 3.halka konsolidasyon deneyi okuma değerleri

Halka No.		3		% 20 ÇİMENTO KATKILI KUMLU KİL KARIŞIMI												
Halka ağı. (gr)		77,322														
Numune kesit alanı (cm ²)		19,31														
Gs		2,570														
Serbest şişme yüzdesi (%)		1,8														
				Deney başlangıcında					Deney sonunda							
Halka + yaş numune ağı. (gr)				151,21					154,80							
Halka + kuru numune ağı. (gr)				141,23					141,23							
Yükler	Yükler (kPa)		-	50	100	200	400	800	1600	3200	800	200	50			
	Yüklenecek olan yük (kg)		Serbest şişme	1	2	4	8	16	32	64	16	4	1			
	Yüzege etkiyen yük (kg)		-	10	20	40	80	160	320	640	160	40	10			
	Yüzege etkiyen gerilme (kg/cm ²)yük/halka		-	0,52	1,04	2,07	4,14	8,29	16,57	33,14	8,29	2,07	0,52			
	Yüzege etkiyen gerilme (kPa)		-	51	102	203	406	813	1626	3251	813	203	51			
Stat okunmaları (mm)	Süre (sn)	Süre (dk)	√t													
	0	0	0,00	0	-0,35	-0,33	-0,30	-0,27	-0,22	-0,01	0,23	0,71	0,67	0,62		
	6	0,1	0,32	-0,02	-0,35	-0,33	-0,30	-0,27	-0,20	0,01	0,26	0,71	0,67	0,62		
	18	0,3	0,55	-0,04	-0,35	-0,33	-0,30	-0,27	-0,18	0,03	0,29	0,71	0,67	0,62		
	30	0,5	0,71	-0,06	-0,35	-0,33	-0,30	-0,27	-0,17	0,05	0,32	0,71	0,67	0,62		
	60	1	1,00	-0,08	-0,35	-0,33	-0,30	-0,26	-0,16	0,07	0,35	0,70	0,66	0,62		
	120	2	1,41	-0,10	-0,35	-0,32	-0,29	-0,26	-0,15	0,09	0,38	0,70	0,66	0,61		
	300	5	2,24	-0,12	-0,35	-0,32	-0,29	-0,26	-0,14	0,10	0,41	0,70	0,66	0,61		
	375	6,25	2,50	-0,14	-0,35	-0,32	-0,29	-0,25	-0,13	0,11	0,44	0,70	0,65	0,61		
		10	3,16	-0,16	-0,35	-0,32	-0,29	-0,25	-0,12	0,12	0,47	0,69	0,65	0,61		
		20	4,47	-0,18	-0,35	-0,32	-0,29	-0,25	-0,11	0,13	0,50	0,69	0,65	0,61		
		30	5,48	-0,20	-0,35	-0,31	-0,28	-0,24	-0,10	0,14	0,53	0,69	0,64	0,60		
		40	6,32	-0,22	-0,35	-0,31	-0,28	-0,24	-0,09	0,15	0,55	0,69	0,64	0,60		
		60	7,75	-0,24	-0,35	-0,31	-0,28	-0,24	-0,08	0,16	0,57	0,68	0,64	0,60		
		80	8,94	-0,26	-0,33	-0,31	-0,28	-0,23	-0,07	0,17	0,59	0,68	0,63	0,60		
		100	10,00	-0,28	-0,33	-0,31	-0,28	-0,23	-0,06	0,18	0,61	0,68	0,63	0,60		
		150	12,25	-0,30	-0,33	-0,30	-0,27	-0,23	-0,05	0,19	0,63	0,68	0,63	0,60		
		200	14,14	-0,32	-0,33	-0,30	-0,27	-0,22	-0,04	0,20	0,65	0,67	0,62	0,59		
		300	17,32	-0,33	-0,33	-0,30	-0,27	-0,22	-0,03	0,21	0,67	0,67	0,62	0,59		
		500	22,36	-0,34	-0,33	-0,30	-0,27	-0,22	-0,02	0,22	0,69	0,67	0,62	0,59		
	1440	37,95	-0,35	-0,33	-0,30	-0,27	-0,22	-0,01	0,23	0,71	0,67	0,62	0,59			
Numunenin boy değişimi (mm)				-0,35	-0,33	-0,30	-0,27	-0,22	-0,01	0,23	0,71	0,67	0,62	0,59		
Numune yüksekliği (mm)				20,35	20,33	20,30	20,27	20,22	20,01	19,77	19,29	19,33	19,38	19,41		
Numune hacmi (cm ³)				39,30	39,26	39,20	39,14	39,04	38,64	38,18	37,25	37,33	37,42	37,48		
Ortalama Numune yüksekliği (mm)				20,35	20,34	20,32	20,30	20,26	20,13	19,95	19,62	19,48	19,43	19,42		
Ortalama Numune yüksekliği (metre)				0,02035	0,02034	0,02032	0,02030	0,02026	0,02013	0,01995	0,01962	0,01948	0,01943	0,01942		



Şekil E.3: %20 çimento katkılı kumlu kil 3.halka konsolidasyon deneyi oturma-karekök zaman grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Hülya İNAN
Doğum yeri ve Tarihi : Bingöl / 01.09.1990
E-posta : hülya_3412@hotmail.com



ÖĞRENİM DURUMU :

Lisans : 2016, Dumlupınar Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği

