

151592

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAMSUN ÇARŞAMBA MAVİ KİLİNİN
SABİT DEFORMASYON HIZLI KONSOLİDASYON
DAVRANIŞI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Atilla YILMAZ
501021264**

151592

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Mayıs 2004**

Tez Danışmanı :

Prof.Dr. Ahmet SAĞLAMER (İ.T.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Kutay ÖZAYDIN (Y.T.Ü.)

Doç.Dr. Recep İYİSAN (İ.T.Ü.)

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca, tüm aşamalarında bana destek ve yardımcı olan, bana geoteknik mühendisliği alanında çalışma yapma imkanı tanıyan ve bilimsel ortam sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Ahmet SAĞLAMER' e en içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarında bana her zaman yardımcı olan, çalışmalarını ve bilgisini benimle paylaşan Yük. Müh. Gökhan ÇEVİKBİLEN' e teşekkürlerimi sunuyorum.

Tüm yaşıantım boyunca bana destek olan sevgili aileme de teşekkür ederim.

Haziran 2004

Atilla YILMAZ

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ZEMİNLERİN SIKIŞABİLİRLİĞİ	2
2.1. Oturma Bileşenleri ve Analizi	3
2.2. Birincil Konsolidasyon	
2.2.1. Birincil Konsolidasyon Teorisi	4
2.2.2. Bir Boyutlu Konsolidasyon Teorisi	4
2.3. Konsolidasyon Parametreleri	7
2.3.1. Oturma Miktarı	7
2.3.2. Oturma Süresi	8
2.3.3. Ön Konsolidasyon Basıncı	9
2.3.4. Sıkışma ve Tekrar Sıkışma İndisi	12
2.3.5. Konsolidasyon Katsayısı	14
2.3.6. İkincil Konsolidasyon	16
2.3.7. Zeminlerin Konsolidasyon Davranışı ile İlgili Çalışmalar Parametrelerinin	19
3. SABİT DEFORMASYON HIZLI KONSOLİDASYON DENEYİ	28
3.1. Sabit Deformasyon Hızlı Konsolidasyon Deneyinin Önemi ve Kullanımı	30
3.1.1. Yapılan Varsayımlar	30
3.2. Terminoloji	31
3.3. Değerlendirme Esasları	31
3.4. Deney Aleti	33
3.5. Deney Aletinin Genel Prensipleri	36
3.6. Ölçü Aletinin Kalibrasyonu	37
3.7. Deneyin Yapılışı ve Standartlar	37
4. YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMA	40
4.1. Kullanılan Numuneler	40
4.1.1. Kuru Yakma İşlemine Maruz Kalmış Numuneler	41
4.1.2. Islak Yakma İşlemine Maruz Kalmış Numuneler	42
4.1.3. Kil ve Silt Dane Boyutundaki Numuneler	42
4.2. Numunelerin Hazırlanışı	45
4.3. Konsolidasyon Deneyleri	46
4.3.1. Klasik Konsolidasyon Deneyleri	46
4.3.2. Sabit Deformasyon Hızlı Konsolidasyon Deneyleri	49

5. SONUÇLAR	67
KAYNAKLAR	70
EKLER	73
ÖZGEÇMİŞ	149



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. C_c için Önerilen Bazı Bağıntılar.....	13
Tablo 2.2. C_c nin Tipik Değerleri	14
Tablo 2.3. İkincil Sıkışmayı Esas Alan Zemin Sınıflandırılması	18
Tablo 3.1. Kullanılan Ringler.....	36
Tablo 4.1. Yakma Kaybı Değerleri.....	41
Tablo 4.2. Kuru Yakılmış Zeminin Endeks Özellikleri.....	41
Tablo 4.3. Islak Yakılmış Zeminin Endeks Özellikleri.....	42
Tablo 4.4. Dane Boyutuna göre Kıvam Limitlerinin Değişimi.....	43
Tablo 4.5. Odometre Deneylerine Ait Bazı Özellikler.....	47
Tablo 4.6. Klasik Konsolidasyon Deneylerinden Elde Edilen Konsolidasyon Katsayıları.....	48
Tablo 4.7. Klasik Konsolidasyon Deneylerinden Elde Edilen Hacımsal Sıkışma Katsayıları.....	49

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Bir Boyutlu Konsolidasyon.....	5
Şekil 2.2 : Ortalama Konsolidasyon Yüzdesinin Tanımı.....	8
Şekil 2.3 : Ortalama Konsolidasyon Yüzdesinin Zaman Faktörü (T) ile Değişim	9
Şekil 2.4 : Casagrande Yöntemi ile Ön Konsolidasyon Basıncının Bulunması	10
Şekil 2.5 : Schmertmann Yöntemi ile Ön Konsolidasyon Basıncının Belirlenmesi.....	11
Şekil 2.6 : Taylor Karekök Zaman Yöntemi.....	15
Şekil 2.7 : Casagrande Yöntemi.....	16
Şekil 2.8 : Terzaghi' nin İlk Çalışmalarında Kullandığı Konsolidasyon Aleti.....	20
Şekil 2.9 : Smith ve Wahls Tarafından Geliştirilen Konsolidasyon Aleti.....	21
Şekil 2.10 : Smith ve Wahls' un Kaolin Üzerinde Yaptıkları SDHK Deneylerinde Boşluk Oranı Farkı- Ortalama Efektif Gerilme İlişkisi.....	22
Şekil 2.11 : Smith ve Wahls' un Kaolin Üzerinde Yaptıkları Deneylerinde Boşluk Oranı Farkı-Konsolidasyon Katsayısı Değişimi.....	22
Şekil 2.12 : Hidrolik Eğim Kontrollü Deneylerde Oluşan Parabolik İzokronlar ile Terzaghi İzokronlarının Karşılaştırılması.....	23
Şekil 2.13 : Hidrolik Eğim Kontrollü Deneylerde Elde Edilen Sonucu Deformasyon-Efektif Gerilme Değişimi ve Klasik Deneylerle Karşılaştırılması.....	24
Şekil 2.14 : Wissa ve Grubunun Geliştirdikleri Çok Amaçlı Konsolidasyon Deneyi Aleti.....	25
Şekil 2.15 : Wissa ve Grubunun Yaptığı SDHK Deneylerinden Bulunan Konsolidasyon Katsayısı-Efektif Gerilme İlişkisi.....	25
Şekil 3.1 : Çeşitli Konsolidasyon Deneylerinin Yükleme Modelleri.....	29
Şekil 3.2 : Numune Boyunca Boşluk Suyu Basıncı Değişimi.....	32
Şekil 3.3 : Numune Üzerine Etkiyen Basınçlar.....	33
Şekil 3.4 : SDHK Deney Sistemi.....	33
Şekil 3.5 : Poroz Taş, Mebran, Üst Başlık.....	34
Şekil 3.6-a : Deney Hücresi	35
Şekil 3.6-b : Çevre Hücresi.....	35
Şekil 3.7 : Deney Bölümü ile Çevre Bölümünü Ayıran Membran.....	36
Şekil 3.8 : Deney Bölümünün Yerleştirilmesi.....	38
Şekil 4.1 : Samsun Çarşamba Mavi Kili Granülometri Eğrisi.....	43
Şekil 4.2 : Silt Boyutundaki Numunenin Granülometri Eğrisi.....	44
Şekil 4.3 : Kil Boyutundaki Numunenin Granülometri Eğrisi.....	44

Şekil 4.4	: Numune Hazırlanışı.....	45
Şekil 4.5	: Rowe Hücresinden Çıkarılan Numunenin Saklama Koşulları	46
Şekil 4.6	: Boşluk Oranı Farkı Efektif Düşey Gerilme.....	47
Şekil 4.7	: Klasik Konsolidasyon Deneyleri İçin Oturma Yüzdesinin Efektif Gerilme ile Değişimi.....	48
Şekil 4.8	: Hücre Basıncı Değerleri	50
Şekil 4.9	: Düşey Yerdeğiştirme Okumaları	50
Şekil 4.10	: Kil numuneler İçin Boşluk Suyunun Zaman ile Değişimi.....	51
Şekil 4.11	: Silt numuneler İçin Boşluk Suyunun Zaman ile Değişimi.....	51
Şekil 4.12	: Kil ve Silt Numuneler İçin Boşluksuyu Basıncının Efektif Gerilme ile Değişimi.....	52
Şekil 4.13	: Boşluk Suyu Basıncı Oranının Uygulanan Ortalama Düşey Efektif Gerilme ile Değişimi.....	53
Şekil 4.14	: Kil Numune İçin Elde Edilen Toplam ve Efektif Gerilme Değerleri.....	54
Şekil 4.15	: Silt Numune İçin Elde Edilen Toplam ve Efektif Gerilme Değişimi.....	54
Şekil 4.16	: Kil ve Silt Numune Üzerindeki Gerilmeler.....	55
Şekil 4.17	: Sabit Deformasyon Hızlı Konsolidasyon İçin Ortalama Düşey Efektif Gerilme- Sıkışma İlişkisi.....	57
Şekil 4.18	: Kil Numune İçin Efektif Gerilme- Sıkışma İlişkisi.....	58
Şekil 4.19	: Silt Numune İçin Efektif Gerilme- Sıkışma İlişkisi.....	58
Şekil 4.20	: Konsolidasyon Katsayısının Efektif Gerilme ile Değişimi.....	59
Şekil 4.21	: Hacımsal Sıkışma Katsayısı ile Efektif Gerilme İlişkisi.....	60
Şekil 4.22	: Kil Numuneler İçin Elde Edilen Boşluk Oranı Efektif Gerilme İlişkisi.....	61
Şekil 4.23	: Kuru Yakılmış Numunenin Boşluk Oranı Efektif Gerilme İlişkisi.....	62
Şekil 4.24	: Islak Yakılmış Numuneler İçin Boşluk Oranının Efektif Gerilme ile Değişimi.....	62
Şekil 4.25	: Kuru ve Islak Yakılmış Numuneler İçin Boşluk Suyu Basıncının Zaman ile Değişimi	63
Şekil 4.26	: Kuru ve Islak Yakılmış Numuneler İçin Boşluk Suyu Basıncı Oranının Ortalama Düşey Efektif Gerilme ile Değişimi.....	64
Şekil 4.27	: Kuru ve Islak Yakılmış Numuneler İçin Efektif Gerilme-Sıkışma İlişkisi.....	65
Şekil 4.28	: Kuru ve Islak Yakılmış Numuneler İçin Hacımsal Sıkışma Katsayısının Efektif Gerilme ile Değişimi.....	66
Şekil A.1.	: Kil Numune İçin Klasik Deneylerden Elde Edilen Boşluk Oranı- Efektif Gerilme İlişkisi (0,002mm/dk)	74
Şekil A.2.	: Kil Numune İçin Klasik Deneylerden Elde Edilen Sıkışma Efektif Gerilme İlişkisi (0,002mm/dk).....	74
Şekil A.3.	: Boşluk Oranı Efektif Gerilme (0,002mm/dk).....	75
Şekil A.4.	: Boşluk Suyu Basıncı Zaman Eğrisi(0,002mm/dk).....	75
Şekil A.5.	: Sıkışma Zaman Eğrisi(0,002mm/dk)	76
Şekil A.6.	: Gerilme Zaman Eğrisi(0,002mm/dk).....	76
Şekil A.7.	: Boşluk Suyu Basıncı Efektif Gerilme Eğrisi(0,002mm/dk).....	77
Şekil A.8.	: Sıkışma Efektif Gerilme Eğrileri (0,002mm/dk).....	77
Şekil A.9.	: Boşluk Suyu Basıncı OranıEfektif Gerilme İlişkisi(0,002mm/dk) 78	

Şekil A.10.: Kons. Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,002mm/dk).....	78
Şekil A.11.: Hacımsal Sıkışma Katsayısı Efektif Gerilme (0,002mm/dk).....	79
Şekil A.12.: Boşluk Oranı Efektif Gerilme (0,004mm/dk).....	79
Şekil A.13.: Boşluk Suyu Basıncı Zaman Eğrisi (0,004mm/dk).....	80
Şekil A.14.: Sıkışma Zaman Eğrisi (0,004mm/dk).....	80
Şekil A.15.: Gerilme Zaman Eğrisi (0,004mm/dk).....	81
Şekil A.16.: Boşluk Suyu Basıncı Efektif Gerilme Eğrisi (0,004mm/dk).....	81
Şekil A.17.: Sıkışma Efektif Gerilme Eğrileri (0,004mm/dk).....	82
Şekil A.18.: Boşluk Suyu Basıncı Oranı Efektif Gerilme (0,004mm/dk).....	82
Şekil A.19.: Kons. Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk).....	83
Şekil A.20.: Hacımsal Sıkışma Katsayısı Efektif Gerilme (0,004mm/dk).....	83
Şekil A.21.: Boşluk Oranı Efektif Gerilme (0,008mm/dk).....	84
Şekil A.22.: Boşluk Suyu Basıncı Zaman Eğrisi (0,008mm/dk).....	84
Şekil A.23.: Sıkışma Zaman Eğrisi (0,008mm/dk).....	85
Şekil A.24.: Gerilme Zaman Eğrisi (0,008mm/dk).....	85
Şekil A.25.: Boşluk Suyu Basıncı Efektif Gerilme Eğrisi (0,008mm/dk).....	86
Şekil A.26.: Sıkışma Efektif Gerilme Eğrileri (0,008mm/dk).....	86
Şekil A.27.: Boşluk Suyu Basıncı Oranı Efektif Gerilme (0,008mm/dk).....	87
Şekil A.28.: Kons. Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk).....	87
Şekil A.29.: Hacımsal Sıkışma Katsayısı Efektif Gerilme (0,008mm/dk).....	88
Şekil B.1.: Silt Numune İçin Klasik Deneylerden Elde Edilen Boşluk Oranı- Efektif Gerilme İlişkisi	89
Şekil B.2.: Silt Numune İçin Klasik Deneylerden Elde Edilen Sıkışma Efektif Gerilme İlişkisi	89
Şekil B.3.: Boşluk Oranı Efektif Gerilme (0,004mm/dk).....	90
Şekil B.4.: Boşluk Suyu Basıncı Zaman Eğrisi(0,004mm /dk).....	90
Şekil B.5.: Sıkışma Zaman Eğrisi(0,004mm /dk).....	91
Şekil B.6.: Gerilme Zaman Eğrisi(0,004mm /dk).....	91
Şekil B.7.: Boşluk Suyu Basıncı Efektif Gerilme Eğrisi(0,004mm /dk).....	92
Şekil B.8.: Sıkışma Efektif Gerilme Eğrileri (0,004mm /dk).....	92
Şekil B.9.: Boşluk Suyu Basıncı Oranı Efektif Gerilme İlişkisi(0,004mm /dk)	93
Şekil B.10.: Kons. Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm /dk).....	93
Şekil B.11.: Hacımsal Sıkışma Katsayısı Efektif Gerilme (0, 004mm /dk).....	94
Şekil B.12.: Boşluk Oranı Efektif Gerilme (0,008mm/dk).....	94
Şekil B.13.: Boşluk Suyu Basıncı Zaman Eğrisi (0, 008mm /dk).....	95
Şekil B.14.: Sıkışma Zaman Eğrisi (0, 008mm /dk).....	95
Şekil B.15.: Gerilme Zaman Eğrisi (0, 008mm /dk).....	96
Şekil B.16.: Boşluk Suyu Basıncı Efektif Gerilme Eğrisi (0, 008mm /dk).....	96
Şekil B.17.: Sıkışma Efektif Gerilme Eğrileri (0, 008mm /dk).....	97
Şekil B.18.: Boşluk Suyu Basıncı Oranı Efektif Gerilme (0, 008mm /dk).....	97
Şekil B.19.: Kons. Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0, 008mm /dk).....	98
Şekil B.20.: Hacımsal Sıkışma Katsayısı Efektif Gerilme (0, 008mm /dk).....	98
Şekil B.21.: Boşluk Oranı Efektif Gerilme (0,012mm/dk).....	99
Şekil B.22.: Boşluk Suyu Basıncı Zaman Eğrisi (0, 012mm /dk).....	99
Şekil B.23.: Sıkışma Zaman Eğrisi (0, 012mm /dk).....	100
Şekil B.24.: Gerilme Zaman Eğrisi (0, 012mm /dk).....	100
Şekil B.25.: Boşluk Suyu Basıncı Efektif Gerilme Eğrisi (0, 012mm /dk).....	101
Şekil B.26.: Sıkışma Efektif Gerilme Eğrileri (0, 012mm /dk).....	101
Şekil B.27.: Boşluk Suyu Basıncı Oranı Efektif Gerilme (0, 012mm /dk).....	102
Şekil B.28.: Kons. Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0, 012mm /dk).....	102

Şekil B.29. : Hacımsal Sıkışma Katsayısı Efektif Gerilme (0, 012mm /dk).....	103
Şekil C.1. : Kuru Yakılmış Numune İçin Klasik Deneylerden Elde Edilen Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi	104
Şekil C.2. : Kuru Yakılmış Numune İçin Klasik Deneylerden Elde Edilen Sıkışma Efektif Gerilme İlişkisi	104
Şekil C.3. : Boşluk Oranı Efektif Gerilme (0,004mm/dk).....	105
Şekil C.4. : Boşluk Suyu Basıncı Zaman Eğrisi(0,004mm /dk).....	105
Şekil C.5. : Sıkışma Zaman Eğrisi(0,004mm /dk).....	106
Şekil C.6. : Gerilme Zaman Eğrisi(0,004mm /dk).....	106
Şekil C.7. : Boşluk Suyu Basıncı Efektif Gerilme Eğrisi(0,004mm /dk).....	107
Şekil C.8. : Sıkışma Efektif Gerilme Eğrileri (0,004mm /dk).....	107
Şekil C.9. : Boşluk Suyu Basıncı Oranı Efektif Gerilme İlişkisi(0,004mm/dk)	108
Şekil C.10.: Kons. Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm /dk).....	108
Şekil C.11.: Hacımsal Sıkışma Katsayısı Efektif Gerilme (0, 004mm /dk).....	109
Şekil C.12.: Boşluk Oranı Efektif Gerilme (0,008mm/dk).....	109
Şekil C.13.: Boşluk Suyu Basıncı Zaman Eğrisi (0, 008mm /dk).....	110
Şekil C.14 : Sıkışma Zaman Eğrisi (0, 008mm /dk).....	110
Şekil C.15.: Gerilme Zaman Eğrisi (0, 008mm /dk).....	111
Şekil C.16.: Boşluk Suyu Basıncı Efektif Gerilme Eğrisi (0, 008mm /dk).....	111
Şekil C.17.: Sıkışma Efektif Gerilme Eğrileri (0, 008mm /dk).....	112
Şekil C.18.: Boşluk Suyu Basıncı Oranı Efektif Gerilme (0, 008mm /dk).....	112
Şekil C.19.: Kons. Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0, 008mm /dk).....	113
Şekil C.20.: Hacımsal Sıkışma Katsayısı Efektif Gerilme (0, 008mm /dk).....	113
Şekil C.21.: Boşluk Oranı Efektif Gerilme (0,012mm/dk).....	114
Şekil C.22.: Boşluk Suyu Basıncı Zaman Eğrisi (0, 012mm /dk).....	114
Şekil C.23.: Sıkışma Zaman Eğrisi (0, 012mm /dk).....	115
Şekil C.24.: Gerilme Zaman Eğrisi (0, 012mm /dk).....	115
Şekil C.25.: Boşluk Suyu Basıncı Efektif Gerilme Eğrisi (0, 012mm /dk).....	116
Şekil C.26.: Sıkışma Efektif Gerilme Eğrileri (0, 012mm /dk).....	116
Şekil C.27.: Boşluk Suyu Basıncı Oranı Efektif Gerilme (0, 012mm /dk).....	117
Şekil C.28.: Kons. Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0, 012mm /dk).....	117
Şekil C.29.: Hacımsal Sıkışma Katsayısı Efektif Gerilme (0, 012mm /dk).....	118
Şekil D.1. : Islak Yakılmış Numune İçin Klasik Deneylerden Elde Edilen Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi	119
Şekil D.2. : Islak Yakılmış Numune İçin Klasik Deneylerden Elde Edilen Sıkışma Efektif Gerilme İlişkisi	119
Şekil D.3. : Boşluk Oranı Efektif Gerilme (0,004mm/dk).....	120
Şekil D.4. : Boşluk Suyu Basıncı Zaman Eğrisi(0,004mm /dk).....	120
Şekil D.5. : Sıkışma Zaman Eğrisi(0,004mm /dk).....	121
Şekil D.6. : Gerilme Zaman Eğrisi(0,004mm /dk).....	121
Şekil D.7. : Boşluk Suyu Basıncı Efektif Gerilme Eğrisi(0,004mm /dk).....	122
Şekil D.8. : Sıkışma Efektif Gerilme Eğrileri (0,004mm /dk).....	122
Şekil D.9. : Boşluk Suyu Basıncı Oranı Efektif Gerilme İlişkisi(0,004mm/dk)	123
Şekil D.10.: Kons. Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm /dk).....	123
Şekil D.11.: Hacımsal Sıkışma Katsayısı Efektif Gerilme (0, 004mm /dk).....	124
Şekil D.12.: Boşluk Oranı Efektif Gerilme (0,008mm/dk).....	124
Şekil D.13.: Boşluk Suyu Basıncı Zaman Eğrisi (0, 008mm /dk).....	125
Şekil D.14 : Sıkışma Zaman Eğrisi (0, 008mm /dk).....	125
Şekil D.15.: Gerilme Zaman Eğrisi (0, 008mm /dk).....	126
Şekil D.16.: Boşluk Suyu Basıncı Efektif Gerilme Eğrisi (0, 008mm /dk).....	126

Şekil D.17. : Sıkışma Efektif Gerilme Eğrileri (0, 008mm /dk).....	127
Şekil D.18. : Boşluk Suyu Basıncı Oranı Efektif Gerilme (0, 008mm /dk).....	127
Şekil D.19. : Kons. Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0, 008mm /dk).....	128
Şekil D.20. : Hacımsal Sıkışma Katsayısı Efektif Gerilme (0, 008mm /dk).....	128
Şekil D.21. : Boşluk Oranı Efektif Gerilme (0,012mm/dk).....	129
Şekil D.22. : Boşluk Suyu Basıncı Zaman Eğrisi (0, 012mm /dk).....	129
Şekil D.23. : Sıkışma Zaman Eğrisi (0, 012mm /dk).....	130
Şekil D.24. : Gerilme Zaman Eğrisi (0, 012mm /dk).....	130
Şekil D.25. : Boşluk Suyu Basıncı Efektif Gerilme Eğrisi (0, 012mm /dk).....	131
Şekil D.26. : Sıkışma Efektif Gerilme Eğrileri (0, 012mm /dk).....	131
Şekil D.27. : Boşluk Suyu Basıncı Oranı Efektif Gerilme (0, 012mm /dk).....	132
Şekil D.28. : Kons. Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0, 012mm /dk).....	132
Şekil D.29. : Hacımsal Sıkışma Katsayısı Efektif Gerilme (0, 012mm /dk).....	133
Şekil E.1. : Rowe' da Yakılmış Numune İçin Klasik Deneylerden Elde Edilen Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi.....	134
Şekil E.2. : Islak Yakılmış Numune İçin Klasik Deneylerden Elde Edilen Sıkışma Efektif Gerilme İlişkisi	134
Şekil E.3. : Boşluk Oranı Efektif Gerilme (0,004mm/dk).....	135
Şekil E.4. : Boşluk Suyu Basıncı Zaman Eğrisi(0,004mm /dk).....	135
Şekil E.5. : Sıkışma Zaman Eğrisi(0,004mm /dk).....	136
Şekil E.6. : Gerilme Zaman Eğrisi(0,004mm /dk).....	136
Şekil E.7. : Boşluk Suyu Basıncı Efektif Gerilme Eğrisi(0,004mm /dk).....	137
Şekil E.8. : Sıkışma Efektif Gerilme Eğrileri (0,004mm /dk).....	137
Şekil E.9. : Boşluk Suyu Basıncı Oranı Efektif Gerilme İlişkisi(0,004mm/dk)	138
Şekil E.10. : Kons. Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm /dk).....	138
Şekil E.11. : Hacımsal Sıkışma Katsayısı Efektif Gerilme (0, 004mm /dk).....	139
Şekil E.12. : Boşluk Oranı Efektif Gerilme (0,008mm/dk).....	139
Şekil E.13. : Boşluk Suyu Basıncı Zaman Eğrisi (0, 008mm /dk).....	140
Şekil E.14 : Sıkışma Zaman Eğrisi (0, 008mm /dk).....	140
Şekil E.15. : Gerilme Zaman Eğrisi (0, 008mm /dk).....	141
Şekil E.16. : Boşluk Suyu Basıncı Efektif Gerilme Eğrisi (0, 008mm /dk).....	141
Şekil E.17. : Sıkışma Efektif Gerilme Eğrileri (0, 008mm /dk).....	142
Şekil E.18. : Boşluk Suyu Basıncı Oranı Efektif Gerilme (0, 008mm /dk).....	142
Şekil E.19. : Kons. Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0, 008mm /dk).....	143
Şekil E.20. : Hacımsal Sıkışma Katsayısı Efektif Gerilme (0, 008mm /dk).....	143
Şekil E.21. : Boşluk Oranı Efektif Gerilme (0,012mm/dk).....	144
Şekil E.22. : Boşluk Suyu Basıncı Zaman Eğrisi (0, 012mm /dk).....	144
Şekil E.23. : Sıkışma Zaman Eğrisi (0, 012mm /dk).....	145
Şekil E.24. : Gerilme Zaman Eğrisi (0, 012mm /dk).....	145
Şekil E.25. : Boşluk Suyu Basıncı Efektif Gerilme Eğrisi (0, 012mm /dk).....	146
Şekil E.26. : Sıkışma Efektif Gerilme Eğrileri (0, 012mm /dk).....	146
Şekil E.27. : Boşluk Suyu Basıncı Oranı Efektif Gerilme (0, 012mm /dk).....	147
Şekil E.28. : Kons. Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0, 012mm /dk).....	147
Şekil E.29. : Hacımsal Sıkışma Katsayısı Efektif Gerilme (0, 012mm /dk).....	148

SEMBOL LİSTESİ

ε	: Birim deformasyon
σ'	: Efektif gerilme
σ_{v1}	: t_1 anındaki gerilme
σ_{v2}	: t_2 anındaki gerilme
a_v	: Sıkışma sayısı
C_c	: Sıkışma indisi
C_r	: Tekrar Sıkışma indisi
C_a	: İkincil konsolidasyon katsayısı
$C_{a\varepsilon}$	: İkincil sıkışma oranı
c_v	: Konsolidasyon katsayısı
e	: Boşluk oranı
e_0	: Başlangıç boşluk oranı
k	: Permeabilite katsayısı
H_d	: Drenaj boyu
H_s	: Dane yüksekliği
I_p	: Plastisite indisi
m_v	: Hacimsel sıkışma katsayısı
M	: Sıkışma modülü
r	: Birim zamandaki deformasyon değişimi
s_c	: Konsolidasyon oturması
s_i	: Ani oturma
s_s	: İkincil konsolidasyon oturması
s_t	: Toplam oturma
u_b	: Artık boşluk suyu basıncı
u_d	: Drenaj yüzeyindeki boşluk suyu basıncı
u_u	: Drenaja kapalı yüzeydeki boşluk suyu basıncı
ω	: Su muhtevası
w_L	: Likit limit
w_P	: Plastik limit
V	: Hacim
$U(t)$	: Konsolidasyon yüzdesi

SAMSUN ÇARŞAMBA MAVİ KİLİNİN SABİT DEFORMASYON HIZLI KONSOLİDASYON DAVRANIŞI

ÖZET

Zeminler yüklendiği zaman yada gerilmeye maruz kaldığı zaman bilindiği üzere deformasyona uğrar. Uygulanan yükler altında zemin tabakasının sıkışmasının yükleme doğrultusunda meydana geldiği kabul edilmektedir. Bu sebep ile oturmalar tek boyutlu olarak çözümlenir. Mühendislik açısından oturmaların büyüklüğünün ve ne kadar süreceğinin bilinmesi gerekmektedir. Terzaghi 1923 yılında oturmaların hızını ve miktarını hesaplamak için konsolidasyon teorisini açıklayarak önermiştir. Klasik konsolidasyon deneyi yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat, klasik konsolidasyon deneyinde, suya doygunluk için ters basınç uygulanamayışı, sıkışma eğrisinin tam olarak elde edilememesi, deney süresinin uzun olması yüksek deformasyon hızları gibi sınırlayıcı yanları da söz konusudur. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacı ile günümüze kadar birçok yeni deney sistemi ve analiz yöntemi geliştirilmiştir.

Bu çalışmada klasik konsolidasyon deneyine göre üstünlükleri olan sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyi ile klasik konsolidasyon deneyleri yapılmış elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tez çalışmasında, Samsun – Çarşamba Havaalanı' nın uçuş pistinin inşa edildiği sahada, pistin KM 0+000 ile KM 0+500 arasındaki kesiminde, yapılan sondajlardan ve açılan araştırma çukurlarından elde edilen mavi renkli, yumuşak kıvamlı kil zemin incelenmiştir. Benzer numuneler üzerinde daha önce yapılan çalışmalarda, ikincil ve üçüncül sıkışmalar gözlemlenmiştir. Bu sıkışmaların sebebinin kil bünyesinde bulunan organik malzemelerden miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında, Samsun-Çarşamba kili üzerinde organik madde miktarını yok etmek için, çeşitli yakma işlemleri gerçekleştirilmiş yakma işlemi sonucunda elde edilen malzeme üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca dane boyutunun değişmesi ile konsolidasyon özelliklerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Elde edilen yeni numuneler rowe hücrelerinde hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde klasik konsolidasyon ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri ile birincil konsolidasyon özellikleri incelenmiştir. İkincil ve üçüncül sıkışmalar, bu tezin kapsamı dışında tutulmuştur.

Beş farklı tipte numune üzerinde toplam 6 adet klasik konsolidasyon ve 20 adet sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Farklı hızlarda yapılan sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinin sonuçları genellikle klasik deneyler ile uyum içerisindedir. Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinde, genellikle deformasyon hızı arttıkça, aynı gerilme değerleri için, oturma yüzdesinin azaldığı, boşluk suyunun basıncı ise arttığı gözlenmiştir. Kil yüzdesinin artması ile birincil konsolidasyon sıkışmalarının arttığı gözlemlenmiştir.

CONSTANT RATE OF STRAIN BEHAVIOUR OF SAMSUN CARSAMBA BLUE CLAY

SUMMARY

When soils are subjected to any additional loadings, they get deformed. Under these loadings, settlements occur through the loading direction. Therefore, the settlements are calculated in one dimension. From the point of an engineer, the amount of settlements and their durations should be well identified and measured. In 1923, Terzaghi proposed his own theory for measuring the duration and the amount of one dimensional consolidation. His practical theory, a.k.a. conventional consolidation test, is still universally in use. However, there are some disadvantages of this theory such as long duration of experiments, high deformation rates, and uncertain compression curves. Thus, various test apparatus and analysis methods have been developed up to now..

In this thesis constant rate of strain consolidation test and conventional consolidation tests were performed. The soil samples, which were acquired from Samsun-Çarşamba Airport site, are soft blue clay. Prevalent studies, which were conducted on those samples, revealed that secondary and tertiary compression behaviors were observed in creep tests. It is considered that the reason for these behaviors may likely be 8.5% organic content in the sample. Two types of ignited samples were reconstituted at a Rowe Cell in order to destroy the organic content. Furthermore, the variation of consolidation parameters were investigated with the variation of grain size distribution on reconstituted samples in another chapter. The secondary and tertiary compressions are not investigated in this study.

6 conventional tests and 20 constant rate of consolidation tests were performed on five type samples. Constant rate of consolidation test results held on different rates, are consistent with conventional consolidation test results. Generally, in constant rate of consolidation tests as the rate of deformation increases, compression ratio decreases and excess pore water pressure increases at the same stress levels.

1. GİRİŞ

Zeminlerin konsolidasyon oturmasının hızı ve büyüklüğü ile ilgili bilgiler zemin mekaniği ve geoteknik mühendisliğinde tasarım aşamasında büyük önem taşımaktadır.

Üst yapıdan yada dolgudan gelen ek yükler, zeminde ek normal ve kayma gerilmelerine neden olmaktadır. Bu ek yükler altında zemin tabakasının sıkışması ise yükleme doğrultusunda oluşacaktır. Yapı yüklerinin düşey doğrultuda olduğu düşünülürse, yatay düzlemler boyunca oluşan kuvvetler yatay şekil değiştirmeyi sınırlayacak, zemin tabakasının sıkışması yükleme doğrultusunda oluşacaktır. Sıkışmaların üç bileşeni vardır. Bu üç bileşen; Ani sıkışma, birincil konsolidasyon ve ikincil konsolidasyondur. Genellikle, kaba daneli zeminler için ani sıkışmalar önem kazanırken, ince daneli zeminler için birincil konsolidasyon önem kazanmaktadır. Birincil konsolidasyon, zemin boşluğundaki suyun ek gerilmeler nedeni ile ortamdan uzaklaşmasıyla oluşan hacımsal şekil değiştirmelerdir. Zeminlerde oluşacak hacımsal şekil değiştirmeler oturmalarla sebep olacaktır. Mühendislik açısından oluşan oturmaların belli sınırlar altında olması istenmektedir. Bu nedenle, oturma miktarını ve hızını belirlemek için çeşitli teoriler geliştirilmiştir. Modern zemin mekaniğinin kurucusu olan Terzaghi, 1923 yılında konsolidasyon teorisini açıklayarak, oturma hesabı için bir yöntem önermiştir. Terzaghi tarafından geliştirilen bu yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Terzaghi'nin klasik konsolidasyon deneyinde her yük kademesinde boşluk suyunun sönümlenmesi için yaklaşık 24 saat beklenmekte, deney süresi yaklaşık 1 hafta sürmektedir. Sürenin uzun sürmesi araştırmacıları yeni tip konsolidasyon deneyleri geliştirmeye itmiş, böylece her geçen gün yeni konsolidasyon teknikleri ve aletleri ortaya çıkartılmıştır.

Bu tez çalışması klasik konsolidasyon deneyine göre üstünlükleri olan ve standartlarda yer alan sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyi ile klasik konsolidasyon deneyinin bir karşılaştırılması niteliğindedir. Bu amaçla Samsun Çarşamba Havaalanı'ndan alınan yumuşak mavi kil numuneleriyle çalışılmıştır. Örselenmemiş, kimyasal ve fiziksel olarak işlemler görmesinin ardından Rowe Hücresi'nde hazırlanmış, beş farklı tipte numune üzerinde toplam 6 adet klasik ve 20 adet sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar klasik konsolidasyon deneyleri ile karşılaştırılmıştır.

2. ZEMİNLERİN SIKIŞABİLİRLİĞİ

Malzemeler yüklendiği zaman yada gerilmeye maruz kaldıklarında bilindiği üzere deformasyona uğrar. Elastik malzemeler yüklemeye hemen karşılık verirler. Diğer malzemeler bazı zeminler buna iyi bir örnektir, deformasyon oluşması için uzun zaman gerektirir. Bu olay genellikle killeri için geçerlidir.

Elastik malzemeler, gerilme-deformasyon-zaman ilişkisinin en basit şeklini ortaya koyar. Yük uygulandığı anda deformasyonlar oluşur. Elastik davranış gösteren bazı malzemelerde şekil değiştirmeler ile uygulanan yük arasında doğrusal bir ilişki gözlenirken bazılarında ise bu ilişki doğrusal olmamaktadır. Zeminlerde genellikle deformasyonlar uygulanan yük ile doğrusal artmamaktadır. Zeminlerin şekil değiştirme davranışında gözlenen bir diğer özellik ise daha önce uygulanmış gerilmelerin zemini etkilemesidir.

Uygulanan yükler zeminde normal gerilmeler ve kayma gerilmelerinde artışa sebep olmaktadır. Kayma gerilmelerinin zemin içindeki kayma mukavemetini aşması durumunda zeminde göçme meydana gelir. Uygulanan gerilmelerden kayma mukavemetinin etkilenmesinin yanı sıra düşey şekil değiştirmeler oluşur.

Uygulanan yükler altında zemin tabakasının sıkışmasının yükleme doğrultusunda meydana geldiği kabul edilmektedir. Yapılarda yükler düşey yönde aktarılırken yatay düzlemler boyunca oluşan sürtünme adezyon kuvvetleri yatay doğrultudaki şekil değiştirmeyi sınırlar. Bu sebep ile oturma hesapları genellikle tek boyutlu olarak çözümlenir(Holtz & Kovacs,1981).

Zeminler aşağıdaki nedenlerden dolayı sıkışır;

- Zemin danelerinin deformasyonu
- Boşluklardaki hava ve/veya suyun sıkışması
- Boşluklardaki su ve havanın ortamdan uzaklaşması

Zemin danelerinin sıkışması çok küçük olacağından ihmal edilebilir boyuttadır. Genellikle sıkışabilir zeminler yer altı su seviyesinin altındadır. Bu sebeple bu zeminler tamamıyla suya doymuş kabul edilebilir. Boşluk suyunun sıkışması da

ihmal edilebilecek boyuttur. Bu durumda yukarıda sıralanan nedenlerden sonuncusu hacim değişikliğinin büyük bir çoğunluğunu oluşturmaktadır. Boşluklardaki suyun dışarı çıkması sonucu zemin daneleri daha dayanımlı ve sık bir dizilim ile yeniden sıralanır. Bunun sonucunda hacim değişimi oluşmaktadır.

Sabit bir yük altında, boşluklardaki suyun dışarı çıkması sonucunda zeminlerde meydana gelen hacımsal şekil değiştirmelere zemin mekaniğinde *konsolidasyon* denilmektedir. Bu olayın ne kadar hızlı oluşacağı ise zeminin permeabilitesine bağlıdır. Zemin içindeki suyun hareketi değişik zeminlerde birbirinden çok farklıdır. İnce daneli zeminlerde permeabilite düşük olduğu için yüklenen zeminden suyun dışarı atılması yavaş olacak buna bağlı olarak zemin sıkışması zamana bağlı olacaktır. Zeminlerdeki oturmaların hesabını yaparken gerilme şekil değiştirme zaman ilişkilerinin incelenmesi gerekir.

2.1. Oturma Bileşenleri ve Analizi

Bir zemin sahası bir yapı ile yada dolgu ile yüklendiğinde deformasyon oluşacaktır. Zemin yüzeyindeki düşey deformasyon oturma olarak adlandırılır. Yükün arttırılması ile hareket aşağı doğru olurken yükün azaltılması yada kaldırılması ile yukarı yönlü hareket oluşabilir. Bu harekete kabarma denilir. Örneğin, yapı inşası sırasındaki kazılar, karayolu yapımındaki yarmalar, zemin üzerindeki gerilmeleri azaltarak kabarmalara sebep olur.

Mühendislik yapılarında bir temel projelendirilirken mühendisler oturmanın ne kadar olacağı ve bu oturmanın ne kadar süre de olacağı ile ilgilenirler. Oturmanın bilinmesi sığ temellerde zemin emniyet gerilmesinin, derin temellerde emniyetli kazık yükünün bulunması bakımından gereklidir. Oturmanın üç bileşeni vardır. Bunlar;

$$S_t = s_i + s_c + s_s$$

Toplam oturma(S_t), ani oturma (s_i), birincil konsolidasyon oturması (s_c), ikincil konsolidasyon oturması (s_s) toplamı olarak ifade edilir.

Ani oturma: Zeminde hacim değişmesi (suya doymun zeminlerde su muhtevası değişmesi) olmadan meydana gelen oturmadır. Bu oturma elastisite teorisinde elastik izotrop ve homojen malzeme için çıkartılmış formüller ile hesaplanır.

Birincil Konsolidasyon Oturması: Bu oturma, yük altında zemin içindeki suyun dışarı atılması ile zeminde meydana gelen hacımsal şekil değiştirmeler olup killi siltli

zeminler için söz konusudur. Kumlu zeminlerde ani ve birincil konsolidasyon oturmasının ayrılması çok zordur. Permeabilitenin kumlarda yüksek olması suyun hızla dışarı atılmasına sebep olur ve oturma hızla gerçekleşir.

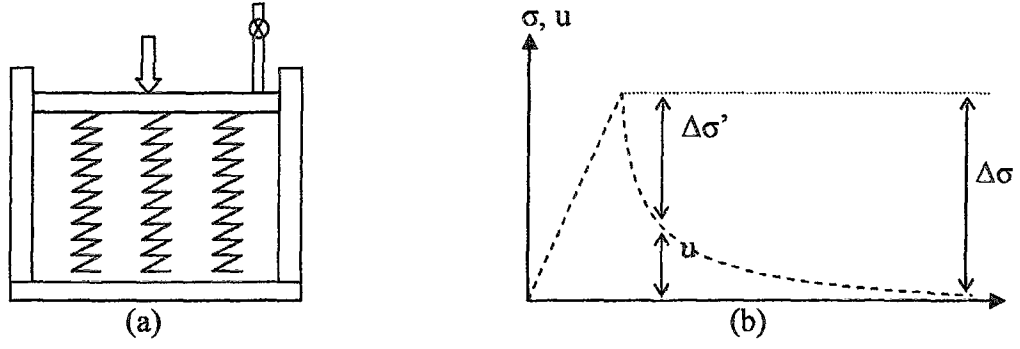
İkincil Konsolidasyon Oturması: İkincil konsolidasyon oturması hacim değişikliğindeki devamlılıktır ki bu birincil konsolidasyon esnasında başlar ve hızı çok yavaştır. Birincil konsolidasyon oturması ile ikincil konsolidasyon oturması arasındaki en önemli fark, ikincil konsolidasyon oturmasının sabit efektif gerilme altında olmasıdır. İkincil konsolidasyon oturması kil minerallerini birbirine bağlayan bağların sıkışması sonucunda dane çatısının bozulması ile oluşur.

2.2. Birincil Konsolidasyon

Birincil konsolidasyon, zemin içindeki suyun dışarı atılması ile zeminde meydana gelen hacimsel şekil değiştirmeler olup killi siltli zeminler için geçerli olduğuna değinilmişti. Terzaghi, gözlemleri sonucunda killerin sıkışmasında en önemli etkenin, gerilmenin artmasından dolayı aşırı boşluk suyu basıncının oluşması ve bu basınç etkisiyle suyun dışarı atılması, böylece boşluk hacmindeki azalma olduğunu gözlemlemiş ve bir boyutlu konsolidasyon teorisini geliştirmiştir.

2.2.1. Bir Boyutlu Konsolidasyon Teorisi

Terzaghi konsolidasyon işlemini temsil edebilmek için zemini çelik bir yaya benzetmiştir. Şekil 2.1' de gösterilen modelde pistonla bağlı yaylar P düşey yükü uygulanarak içi su dolu hazne içerisinde sıkıştırılmaktadır. Bu modelde yay, zemin iskeletini, su ise zemin daneleri arasındaki boşluk suyunu temsil etmektedir. Vana kapalı iken pistonla yük uygulandığında suyun sıkışmayacağı kabul edilirse yayın sabit kaldığı gözlenir. Yük arttırımı ile toplam gerilmede $\Delta\sigma$ artışı oluşacaktır. Bu yük artımı yay sıkışmadığından suya aktarılacak su basıncında bu gerilmeye eşit bir artış görülecektir. ($\Delta u = \Delta\sigma$) Vana açılıp suyun dışarı çıkmasına izin verildiğinde ise su, hazneyi aşırı boşluk suyu basıncı altında terk etmeye başlayacaktır. Zamanla su dışarı çıkarken yükün bir kısmı yay tarafından karşılanacaktır. Yük artımsal olarak yaya aktarılmaya başlayacağından tüm yük yay tarafından taşınmaya kadar sistem sıkışacaktır. Sonuçta efektif gerilmedeki artış toplam gerilmedeki artışa eşit olacak aşırı boşluk suyu basıncı sıfırlanacaktır.



Şekil 2.1 Bir Boyutlu Konsolidasyon (a) Terzaghi Modeli (b) Gerilme-Zaman Eğrisi

2.2.2. Bir Boyutlu Konsolidasyon Denklemi

Konsolidasyon, zemin tabakasından yük altında boşluk suyunun dışarı çıkması sonucu meydana gelen hacimsel değişiklik olarak tanımlanabilir. Zemin içindeki suyun hareketi difüzyon denklemi ile tanımlanabilir.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = \frac{1}{1+e_0} \times \frac{\partial e}{\partial t} \quad (2.1)$$

Yukarıdaki denklem sol tarafındaki terimler zemin suyunun Darcy kanununa göre hareketini, sağ tarafındaki terim ise, hacim değişikliğini göstermektedir. Permeabilite katsayılarının x, y ve z doğrultularında sabit olması durumunda ise denklem,

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e_0} \times \frac{\partial e}{\partial t} \quad (2.2)$$

şeklini almaktadır. Denklemin bu şekli ise uygulamada karşılaşılan problemlerin çözümünde kolaylık sağlamaktadır.

Terzaghi'nin geliştirmiş olduğu konsolidasyon teorisi bazı varsayımlara dayanır. Bu varsayımların sağlamış olduğu kolaylıklardan dolayı uygulamada bu teori, yaygın olarak kullanılmaktadır. Klasik konsolidasyon teorisi şu varsayımlara dayanır;

- Zemin tamamen suya doygunudur.
- Zemin daneleri ve zemin suyunun sıkışması ihmal edilir.
- Zemin tabakası homojendir
- Darcy kanunu geçerlidir.

- Zemin suyu tek yönde hareket etmektedir.
- Efektif gerilme boşluk oranı arasında lineer bir bağıntı vardır.

$$a_v = \frac{e_0 - e}{\Delta \sigma'} \quad (2.3)$$

burada a_v zeminin sıkışma katsayısıdır.

- Efektif gerilme değişimleri boşluk suyu basıncı değişimlerine bağlıdır.

$$\Delta \sigma' = \Delta u \quad (2.4)$$

- Zeminin permeabilite katsayısı konsolidasyon süresince sabit kalmaktadır.
 - Zeminin konsolidasyon katsayısı konsolidasyon süresince sabit kalmaktadır.
- Bu katsayı,

$$c_v = \frac{k(1+e_0)}{a_v \gamma_w} \quad (2.5)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Yukarıda verilen varsayımlar altında su akımı için difüzyon denklemi,

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e_0} \times \frac{\partial e}{\partial t} \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{1}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2.7)$$

şeklini almaktadır.

$$\frac{\partial \sigma'_z}{\partial t} = -\frac{\partial u}{\partial t} \quad \frac{\partial e}{\partial t} = -a_v \frac{\partial \sigma'_z}{\partial t} = a_v \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.8)$$

olduğuna göre, difüzyon denkleminde yerine koyularak

$$\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \left(\frac{a_v}{1+e_0} \right) \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.9)$$

$$\left[\frac{k(1+e_0)}{\gamma_w a_v} \right] \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} \quad \text{veya} \quad (2.10)$$

$$c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.11)$$

bağıntısı elde edilir.

2.3. Konsolidasyon Parametrelerinin Belirlenmesi

2.3.1. Oturma Miktarı

Hacimsal sıkışma katsayısı, efektif gerilmedeki birim artıştan kaynaklanan birim hacimdeki değişim miktarını temsil etmektedir.

$$m_v = - \frac{\Delta V / V}{\Delta \sigma'} \quad (2.12)$$

bir boyutlu konsolidasyonda ortalama hacimsel sıkışma katsayısı,

$$m_v = \frac{\Delta V / V}{\Delta \sigma'} = \frac{\Delta e / (1 + e)}{\Delta \sigma'} = \frac{a_v}{1 + e} \quad (2.13)$$

şeklini alır. Sıkışma katsayısı (a_v), birim gerilme artışına karşılık gelen boşluk oranındaki değişim olup;

$$a_v = \frac{e_1 - e}{\Delta \sigma'} = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma'} \quad (2.14)$$

bağıntısıyla verilmektedir. Grafik olarak a_v , $e - \sigma'$ eğrisinin eğimini vermektedir. Klasik konsolidasyon deneylerinde m_v hacimsel sıkışma katsayısı ve a_v sıkışma katsayısı her yükleme adımı için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Konsolidasyon oturması,

$$S_c = \Delta H = m_v \times \Delta \sigma' \times H \quad (2.15)$$

bağıntısıyla bulunmaktadır. Konsolidasyon oturmasının daha kesin hesaplanabilmesi için sıkışabilir tabaka parçalara ayrılarak her tabaka için konsolidasyon sıkışması hesaplanır.

$$S_c = \Delta H = \sum_1^n m_{v_n} \times \Delta \sigma'_n \times H_n \quad (2.16)$$

Janbu, gerilmeye göre değişen sıkışabilirliği teğet modülü ile tanımlamaktadır.

$$M = \frac{d\sigma'}{d\varepsilon_v} = \frac{1}{m_v} \quad (2.17)$$

2.3.2. Oturma Süresi

Tek boyutlu konsolidasyon teorisinin çözülebilmesi için başlangıç ve sınır koşullarının belirlenmesi gerekir. Boşluk suyu basıncının konsolidasyon başındaki değişimi, yükün zemin içinde sebep olduğu gerilmelere eşit olmaktadır. Zemin tabakasının drenaj koşulları ise diferansiyel denklemin çözümü için sınır koşullarını oluşturmaktadır. Bu denklemin kapalı çözümü ancak belirli başlangıç boşluk suyu basıncı dağılımı için çözülür. Başlangıç değerinin üniform olması durumun da ise,

$$T = \frac{c_v t}{H_d^2} \quad (2.18)$$

bağıntısı elde edilir. T boyutsuz katsayı olup zaman faktörüdür.

Herhangi bir z derinliğinde, konsolidasyonun başlamasından t kadar bir süre geçtikten sonra, konsolidasyon yüzdesi

$$U_z(t) = 1 - \frac{u(z,t)}{u_0(z,t)} \quad (2.19)$$

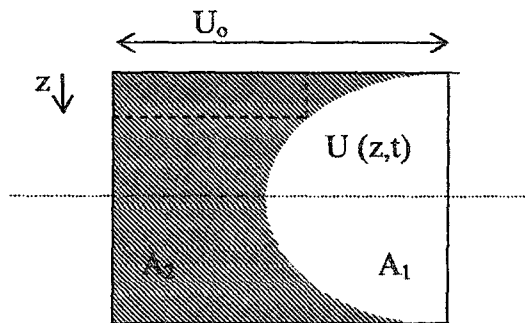
şeklinde ve bütün tabaka için ortalama konsolidasyon yüzdesi ise

$$U(t) = \int_0^H U_z(t) dz$$

şeklinde tanımlanabilir. Ortalama konsolidasyon yüzdesi

$$U(t) = \frac{\text{t zamandaki sıkışma}}{\text{nihai sıkışma}} = \frac{s_c(t)}{s_c} \quad (2.20)$$

olarak da ifade edilebilir. İki yönlü drenaja açık bir zemin tabakası için aşırı boşluk suyu basıncı dağılımı Şekil 2.2' de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Ortalama Konsolidasyon Yüzdesinin Tanımı

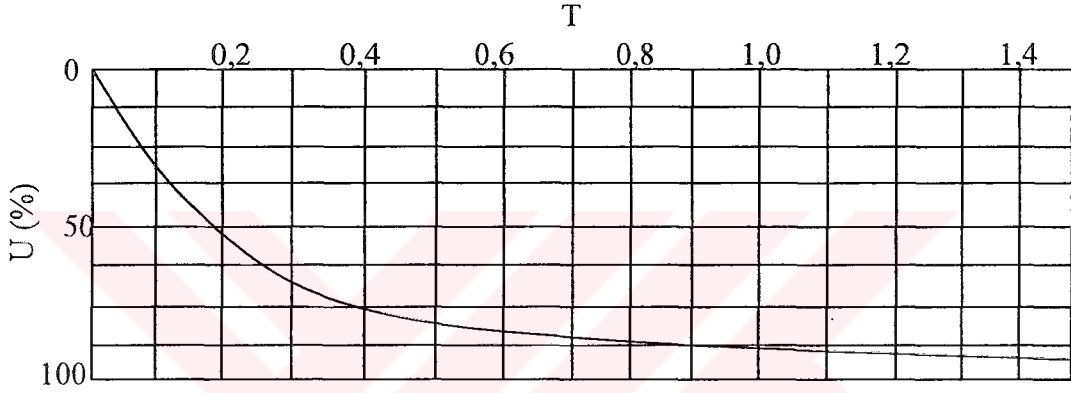
Şekil 2.2' nin sol kısmında kalan alan (A_2) sönümlenmiş boşluk suyu basıncını, sağ tarafta kalan alan (A_1) ise kalan su basıncını göstermektedir.

Buna göre ortalama konsolidasyon yüzdesi U ,

$$U(t) = 1 - [A_1 / (A_1 + A_2)] \quad (2.21)$$

olmaktadır.

Şekil 2.3' de ortalama konsolidasyon yüzdesinin (U) boyutsuz zaman faktörü (T) ile değişimleri gösterilmiştir. Bu eğriler, başlangıç boşluk suyu basıncı üniform olması durumunda, zemin özelliklerinden bağımsız konsolidasyon denkleminin çözümünü vermektedir.



Şekil 2.3. Ortalama Konsolidasyon Yüzdesinin Zaman Faktörü (T) ile Değişimi

2.3.3. Ön Konsolidasyon Basıncı

Arazideki bir zemin tabakasını etkileyen maksimum efektif gerilme değeri “ön konsolidasyon basıncı” olarak tanımlanmaktadır. Ön konsolidasyon basıncı değerinin doğru belirlenmesi konsolidasyon oturması açısından çok önemlidir. Zemin numunesi üzerindeki örtü basıncı efektif zemin gerilmesi σ_{v0}' , ön konsolidasyon basıncından (σ_{vc}') daha büyük ise, numune aşırı konsolide, ön konsolidasyon basıncına eşitse normal konsolide olarak anılmaktadır. $\sigma_{v0}'/\sigma_{vc}'$ oranı aşırı konsolidasyon oranı olarak bilinmektedir. Kil çökeltisinin jeolojik geçmişi ön sıkışma miktarını belirler. Ön sıkışmaya neden olabilecek çeşitli jeolojik faktörler;

- Eski yapılara, aşırı yükün kaldırılmasına bağlı olarak toplam gerilmedeki değişikliğe,
- Yeraltı su seviyesindeki değişimlere, artezyen basıncına,

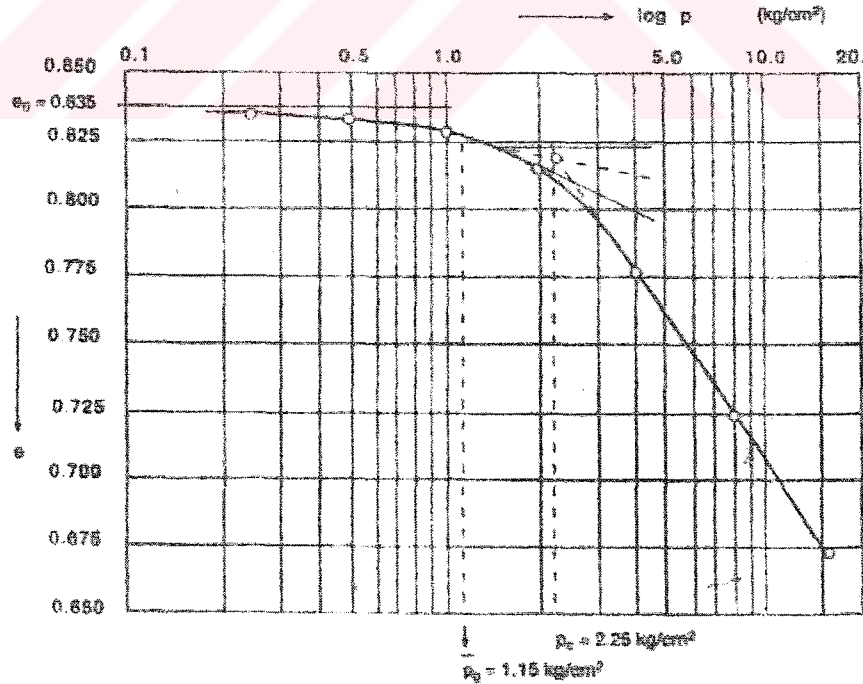
- İkincil sıkışmaya, tuz konsantrasyonu, sıcaklık, pH gibi çevresel değişimlere çimentolaşmaya, ayrışmaya ve kimyasal değişimlere bağlı olarak zemin yapısındaki değişiklikler olarak tanımlanabilir(Çevikbilen, 1999).

Ön konsolidasyon basıncını belirlemek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında en yaygın olarak Casagrande, Schertmann, Janbu ve Butterfield yöntemleri kullanılmaktadır(Casagrande, 1936; Schmertmann, 1955; Janbu, 1970; Butterfield, 1979). Yaygın olarak Casagrande ve Schertmann yöntemleri kullanılmaktadır.

Casagrande Yöntemi

Casagrande (1936), ön konsolidasyon basıncı değerinin hesaplanabilmesi için boşluk oranı ile gerilmeler arasındaki ilişkiyi irdeleyen bir hesap yöntemi geliştirmiştir. Zemin üzerine etkiyen düşey gerilmelerin artmasıyla boşluk oranı azalmaktadır. Fakat gerilme belli bir değeri aştıktan sonra boşluk oranı-düşey efektif gerilme bağıntısı yarı logaritmik eksen takımında doğrusal bir hal almaktadır.

Şekil 2.4' de gösterildiği gibi, konsolidasyon eğrisi üzerinde maksimum eğriliğin bulunduğu nokta belirlenir. Bu noktadan geçen yatay bir doğru ile eğrinin bu noktadaki teğeti çizilir. Bu iki doğrunun oluşturduğu açının açıortayı ile konsolidasyon eğrisinin doğrusal kısmı kesiştirilir. Bu kesişim noktasına karşılık gelen düşey efektif gerilme ön konsolidasyon basıncı olarak tanımlanır.



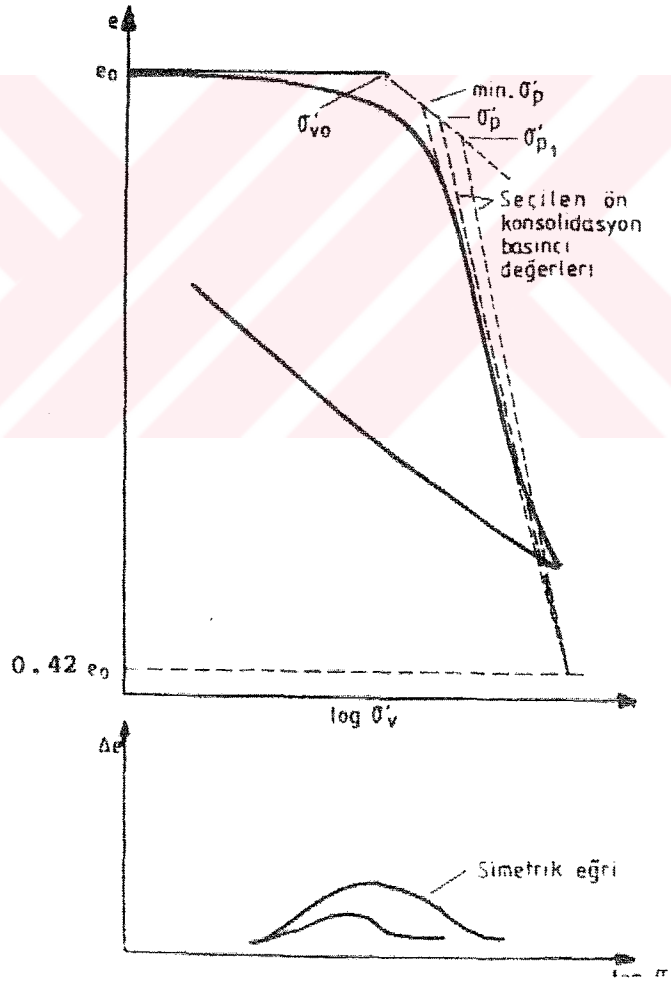
Şekil 2.4. Casagrande Yöntemi ile Ön Konsolidasyon Basıncının Bulunması

Casagrande yöntemi uygulama kolaylığı nedeniyle en çok tercih edilen yöntemdir.

Laboratuvar konsolidasyon deneylerinde, ön konsolidasyon basıncının bulunmasında etki eden faktörlerin başında örselenme gelmektedir. Örselenme arttıkça eğrideki belirgin dönüş ortadan kalkmakta ve eğimin kırılımındaki keskinlik azalmaktadır. Aynı zamanda verilen herhangi bir düşey ön konsolidasyon basıncında boşluk oranı azalmaktadır ve şekil değiştirme artmaktadır. Sonuç olarak, ön konsolidasyon gerilmesinden daha düşük gerilmelerde sıkışabilirlik artmakta ve ön konsolidasyon basıncından daha büyük gerilmelerde sıkışabilirlik azalmaktadır.

Schmertmann Yöntemi

Schmertmann yöntemi $e-\log \sigma_v'$ eksen takımında çizilen konsolidasyon deneyi verilerini esas almaktadır. Diğer yöntemlere kıyasla detaylı ve uzundur. Şekil 2.5' de ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi gösterilmiştir (Schmertmann, 1955).



Şekil 2.5. Schmertmann Yöntemi ile Ön Konsolidasyon Basıncının Belirlenmesi

Başlangıç boşluk oranından (e_0) çizilen yatay doğru ile üst tabaka gerilmesine (σ_{v0}') karşılık gelen düşey doğrunun kesim noktası bulunur ve bu noktadan konsolidasyon eğrisinde boşaltma – tekrar yükleme doğrusuna paralel olan bir doğru çizilir. Bu doğru üzerinde tahmini bir ön konsolidasyon basıncı seçilir. Bu nokta ile arazi ve laboratuvar konsolidasyon eğrilerinin kesiştiği kabul edilen nokta birleştirilerek arazi konsolidasyon eğrisi tahmin edilir. Arazi konsolidasyon eğrisi ile laboratuvar konsolidasyon eğrisi arasındaki ordinat farkları, ($\Delta e - \log \sigma_v'$) eksen takımında işaretlenir. Seçilen diğer tahmini konsolidasyon basınçları için aynı işlem tekrarlanır. Şekil 2.5' de gösterildiği gibi simetrik ($\Delta e - \log \sigma_v'$) eğrisine karşılık gelen σ_p' değeri “en olası ön konsolidasyon basıncı” değeri olarak belirlenir.

2.3.4. Sıkışma ve Tekrar Sıkışma İndisi

Zeminlerin ödometre deney sonuçları, boşluk oranı-(log) basınç eğrileri çizildiğinde grafiğin doğrusal özellik gösteren kısımlarından bazı katsayıları elde etmek mümkündür. Normal konsolidasyon deneyinin doğrusal kısmının eğimi olan sıkışma indisi

$$C_c = -\frac{de}{d(\log \sigma')} = \frac{e_0 - e_1}{\log(\sigma_1' / \sigma_0')} \quad (2.22)$$

şeklinde tanımlanır.

Sıkışma indisi C_c ancak ön konsolidasyon basıncı değeri üzerindeki basınç artışı kademeleri için geçerlidir. Zemin için yapılan oturma hesaplarında, efektif gerilme aralığı $e - \log p$ eğrisinin doğrusal kısmı sınırları içerisinde C_c sıkışma indisi sabit alınabilir. Buna göre normal konsolide killer için konsolidasyon oturması,

$$S_c = C_c \frac{H_0}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma_1'}{\sigma_0'} \right) \quad (2.23)$$

formülü ile bulunabilir.

Ön konsolidasyon basıncından daha düşük değerlerde zeminin sıkışabilirliği daha azdır. Aşırı konsolide killerde ön konsolidasyon basıncının yüksek olması nedeniyle oturma hesaplarında normal konsolide killere ek olarak tekrar sıkışma indisi formüllere dahil edilerek,

$$S_c = C_r \frac{H_0}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma_c'}{\sigma_0'} \right) + C_c \frac{H_0}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma_1'}{\sigma_c'} \right) \quad (2.24)$$

şeklini alır. Denklemdaki C_r tekrar sıkışma indisi $\sigma_1' = \sigma_1' + \Delta \sigma \leq \sigma_c'$ olduğu kısımda e-log p eğrisinin eğimi olarak tanımlanır.

Genellikle tekrar sıkışma indisi ödometre deneyi eğrisinin boşaltma kısmının eğimine eşit kabul edilir.

Değişik kil numuneleri üzerinde yapılan bir çok çalışma sonucu araştırmacılar bir çok ampirik bağıntılar bulmuşlardır. Tablo 2.1 ve 2.2' de bu ampirik değerlerin bir kısmı verilmiştir.

Tablo 2.1. C_c İçin Önerilen Bazı Bağıntılar (Brenner ve Brand, 1981)

Ampirik Bağıntı	Geçerli Olduğu Zemin Türü	Referans
$C_c = 0,007(w_L - 7)$	Yoğrulmuş killer	Skempton (1944)
$C_c = 1,15 (e_0 - 0,35)$	Tüm killer	Nishida (1956)
$C_c = 0,256 + 0,43 (e_0 - 0,84)$	Brezilya kili	Cozzolino (1961)
$C_c = 0,0046(w_L - 9)$	Brezilya kili	Cozzolino (1961)
$C_c = 0,009(w_L - 10)$	Normal konsolide killer	Terzaghi & Peck (1967)
$C_c = 0,21 + 0,008w_L$	Yumuşak Bangkok kili	Adikari (1977)
$C_c = 0,22 + 0,29e_0$	Yumuşak Bangkok kili	Adikari (1977)
$C_c = 0,20 + 0,008w_n$	Yumuşak Bangkok kili	Adikari (1977)
$C_c = 0,20 + 0,008w_L + 0,009e_0$	Yumuşak Bangkok kili	Adikari (1977)
$C_c = 0,575e_0 - 0,241$	Fransız kili	Vidalie (1977)
$C_c = 0,0147w_n - 0,213$	Fransız kili	Vidalie (1977)

Tablo 2.2. C_c nin Tipik Değerleri (Holtz & Kovacs,1981)

Zemin Cinsi	C_c
Orta Hassaslıkta Normal Konsolide Killer	0,0 – 0,5
Chicago Siltli Kili	0,15 – 0,3
Mavi Boston Kili	0,3 – 0,5
Kanada Leda Kili	1 – 4
Organik Killer	>4
Mexico City Kili	7 – 10

2.3.5. Konsolidasyon Katsayısı

Konsolidasyon deneyi sonuçlarından konsolidasyon katsayısı (c_v) bulunur. Bu katsayı oturmanın zamana bağlı gelişmesini karakterize eder. Deformasyon-zaman grafikleri genel olarak birbirine benzer. Kademeli konsolidasyon deneylerinde konsolidasyon katsayıları alışlagelmiş biçimde logaritma zaman ve karekök zaman yöntemleri ile belirlenmektedir. Casagrande ve Taylor tarafından geliştirilen ve eğriye uyarılama yöntemi olarak da adlandırılan bu yöntemler c_v belirlenmesinde avantaj sağlamaktadır(Casagrande, 1938; Taylor, 1948).

Örselenme, sıcaklık, zaman, yük arttırım oranı ve deney detayları gibi faktörlerin eğriye uyarılama metodu ile bulunan c_v değeri üzerinde etkileri vardır. eğriye uyarılama metodu laboratuvar deney verileri c_v ' nin bulunmasında kullanıldığı gibi, birincil ve ikincil konsolidasyonun birbirinden ayrılmasında da kullanılabilir(Leonards ve Ramiah, 1959; Leonards, 1962). Bu çalışmada klasik deneylerin c_v leri karekök zaman yöntemi ve logaritma zaman metodu ile belirlenmiştir. Ayrıca sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri için c_v katsayısı yönetmeliklerde yer alan formüllerden yararlanarak hesaplanmıştır.

Taylor Karekök Yöntemi (Karekök zaman yöntemi)

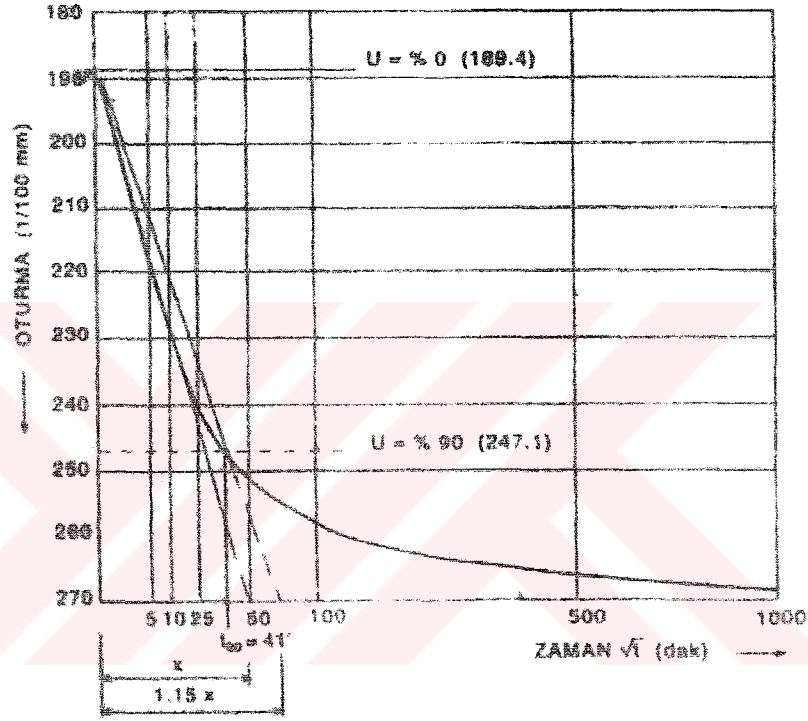
Deney sırasında elde edilen deformasyon saati okumaları ile zaman arasındaki bağıntı grafiksel olarak gösterilir. Düşey eksen de deformasyon okumaları yatay eksen de ise karekök zaman değerleri yer almalıdır. Grafik çizildiğinde başlangıç kısmının doğruya yakın olduğu görülür. Bu kısmın uzatılarak ordinat ekseninin kestirilmesi durumunda düzeltilmiş başlangıç noktası bulunur. Eğrinin doğru kısmı

uzatılarak apsis eksenini kestirilir. Bu noktadaki apsis uzunluğu x olarak alınırsa, bu uzunluğun 1,15 katı alınarak yeni bir nokta bulunur, bu noktadan düzeltilmiş başlangıç noktasına ikinci bir doğru çizilir.

Bu ikinci noktanın eğriyi kestiği nokta $U = \% 90$ ' a karşılık gelir. Buradan da t_{90} bulunur. Şekil 2.6' da yöntem özetlenmiştir. Konsolidasyon katsayısı,

$$C_v = 0,848 * H_d^2 / t_{90} \quad (2.25)$$

bağıntısı bulunur(Taylor, 1948).



Şekil 2.6. Taylor Karekök Zaman Yöntemi(Taylor, 1948).

Casagrande Yöntemi (Logaritma zaman yöntemi)

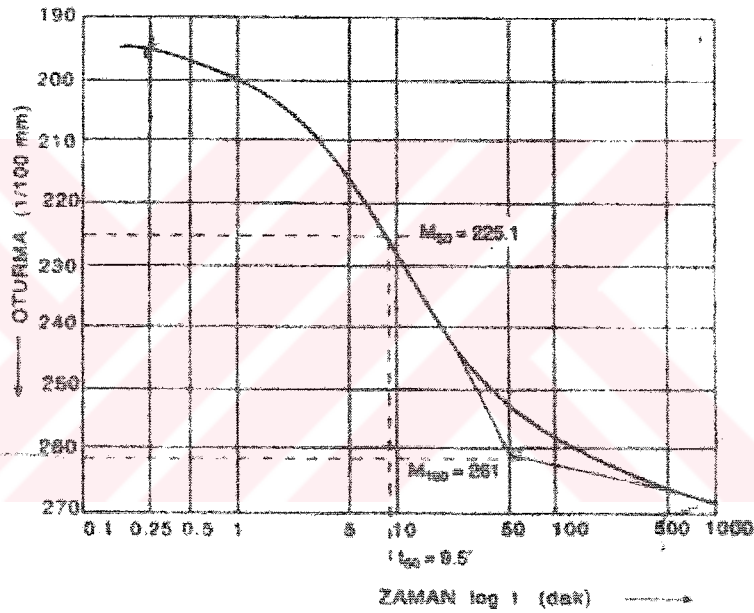
Bu yöntemde elde edilen deformasyon değerleri logaritmik zaman grafiğinde gösterilir. Burada amaç $U=\%50$ değerine karşılık gelen t_{50} ' yi bulmak ve bu değer ile c_v ' yi bulmaktır. t_{50} değeri konsolidasyonun tamamlanacağı zamanın % 50 sini gösterir. t_{100} değeri birincil konsolidasyonun bittiği zamanı göstermektedir. % 100 konsolidasyonun gerçekleşeceği zaman tabii ki sonsuzdur ancak laboratuvar deneyinden elde edilen konsolidasyon eğrisinin son kısmındaki iki doğrusal kısmın kesişmesi ile elde edilen nokta teorik olarak birincil konsolidasyonun bittiği R_{100} değerini verir(Casagrande, 1938).

Deneysel eğriden c_v konsolidasyon eğrisinin elde edilmesi için bunun teorik eğriye benzetilmesi gerekir. Fark, deneysel eğrinin başlangıç ve son kısmında görülür. Başlangıç kısmındaki fark, teorik eğrinin $U = \% 60$ değerine kadar olan başlangıç kısmının, bir parbole çok yakın olması, özelliğinden yararlanarak giderilir. R_{100} tanımlandıktan sonra R_0 ' ın tanımlanması gerekmektedir. İlk başlangıç okuma değeri R_1 alındıktan sonra bu değerin t_1 zamanının 4 katı alınarak t_2 zamanı bulunur. t_2 zamanındaki R_2 değeri bulunur. R_2 ve R_1 değerleri arasındaki fark ΔR bulunur.

$$R_0 = R_1 - \Delta R \quad (2.26)$$

$$R_{50} = (R_{100} - R_0) / 2 \quad (2.27)$$

Bulunan R_{50} değerine karşılık gelen t_{50} değeri bulunarak c_v değeri hesaplanır. Şekil 2.7' de logaritma zaman yöntemi gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Casagrande Yöntemi

2.3.6. İkincil Konsolidasyon

Yapıların oturmalarının hesaplanmasında, boşluk suyu basıncı sönümlenmesini ve sıkışma hızını, tahmin etmek için Terzaghi' nin "Bir Boyutlu Konsolidasyon Teorisi" kullanılmaktadır. Daha önce de değinildiği gibi, bu teori çeşitli kabuller üzerine kurulmuştur. Bu kabullerin en önemlisi boşluk oranı zamandan ve zeminin gerilme geçmişinden bağımsız olması ve de permeabilite katsayısının konsolidasyon süresince sabit kabul edilmesidir. Arazi ve laboraturda yapılan gözlemler sonucu birincil konsolidasyonun aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesinin hemen ardından, oturmaların sabit efektif gerilme altında da devam ettiği gözlenmiştir.

Terzaghi'nin teorisinde ise oturma zaman grafiğinde oturmaların zaman eksenine asimptotik olacağı öne sürülmüştür. Sabit efektif gerilme altında devam eden hacim değişimi araştırmacılar tarafından "ikincil konsolidasyon", "ikincil sıkışma", veya "krip" olarak adlandırılmıştır.

İkincil konsolidasyon oturmalarının hesaplanması için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. İkincil konsolidasyonun hızı ve büyüklüğünün belirlenmesinde güvenilir bir yöntem henüz bulunamamıştır. Bu nedenle, pratikte ikincil konsolidasyon tahmini, ampirik yöntemler ile yapılmaktadır. İkincil konsolidasyona deneysel yaklaşan Buisman (1936), Koppejan (1948) ve Zeevaert (1975) arazi ve laboratuvar gözlemleri ile oturma zaman arasındaki ilişkiyi pratik olarak belirlemeye çalışmışlardır. Diğer taraftan Taylor ve Merchant (1940), Barden (1965), Sekiguchi ve Toroohara (1976) kohezyonlu zeminlerin reolojik özelliklerini dikkate alarak numerik metodlar geliştirmişlerdir (Yılmaz, 2000).

İkincil etkileri açıklamak için sayısal, fiziksel ve matematiksel modeller de geliştirilmiştir (Terzaghi ve Frohlich, 1936; Gibson ve Lo, 1961; Barden, 1965 ve diğerleri). Ancak bu modeller, laboratuvar verilerine uygun olmayan eğri uyarlama parametreleri içermektedir. Konsolidasyon problemi ampirik ve deneysel anlamda arazi ve laboratuvar şartlarında uzun süredir incelenmektedir. İncelemeler sonucu ortaya çıkan en önemli bulgu, ikincil etkilere olan doğrudan ve dolaylı etkilerdir. Dolaylı etkilerin ikincil konsolidasyon oturmasının sıkışma eğrilerini nasıl etkileyeceği halen büyük önem taşımaktadır. İkincil sıkışmayı anlatmak için farklı araştırmacılar farklı parametreler kullanmışlardır. 1970' lere kadar ortak kabul gören ikincil konsolidasyon parametresi gözükmemiştir. İkincil sıkışma davranışı; ikincil etkiler, ikincil büyüklükler, ikincil oran, ikincil zaman faktörü, ikincil yüzde ve ikincil sıkışma katsayısı cinsinden analiz edilmektedir. İkincil sıkışma büyüklüğünü anlatmak için sıkça kullanılmakta olan ve deney koşullarından en az etkilenen parametre olarak görünen "ikincil sıkışma katsayısı" farklı şekilde tanımlanmaktadır (Mesri, 1973). İkincil konsolidasyon katsayısı,

$$C_{\alpha} = \Delta e / \Delta \log t \quad (2.28)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. İkincil konsolidasyon katsayısı (C_{α}), zamanın logaritmik olarak değişiminde boşluk oranında meydana gelen değişiklik olarak tanımlanabilir. Ayrıca, düşey deformasyon cinsinden deneysel verilere dayanan ikincil sıkışma oranı $C_{\alpha e}$,

$$C_{\alpha e} = \Delta \varepsilon / \Delta \log t \quad (2.29)$$

Olarak tanımlanmaktadır.

Buna göre, 2.28 ve 2.29 eşitliği birlikte düşünülürse ikincil sıkışma oranı:

$$C_{\alpha\epsilon} = C_{\alpha} / (1 + e_0) \quad (2.30)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada C_{α} ikincil sıkışma indisi, e_0 ise arazideki başlangıç boşluk oranını göstermektedir.

Mesri (1973), Tablo 2.3 de gösterilen zeminlerin ikincil sıkışabilirliklerine göre bir sınıflama getirmiş ve ikincil sıkışma değerlerinin % 0,1-10 aralığında bulunduğunu göstermiştir.

Tablo 2.3. İkincil Sıkışmayı Esas Alan Zemin Sınıflandırılması (Mesri, 1973)

İkincil Sıkışma Katsayısı, $C_{\alpha\epsilon}$ (%)	İkincil Sıkışabilirlik
< 0,2	Çok düşük
0,4	Düşük
0,8	Orta
1,6	Yüksek
3,2	Çok yüksek
> 6,4	Aşırı yüksek

Aynı zamanda, bilinen basit oturma denklemini ikincil konsolidasyona uygularsak 2.31 formülünü elde ederiz.

$$s = [\Delta e / (1 + e_0)] \times H_0 \quad (2.31)$$

Yukarıdaki formülde e_0 yerine e_p ' yi koyup, Δe yerine ise 2.28 formülünden elde edilen eşitliği yerleştirirsek aşağıdaki formülü elde ederiz.

$$s_{\alpha} = [C_{\alpha} / (1 + e_p)] \times H_0 \times \Delta \log t \quad (2.32)$$

bu formül modifiye edilmiş ikincil konsolidasyon katsayısı cinsinden aşağıdaki gibi elde edilir.

$$s_{\alpha} = C_{\alpha\epsilon} \times H_0 \times \Delta \log t \quad (2.33)$$

2.4. Zeminlerin Konsolidasyon Davranışları ile İlgili Çalışmalar

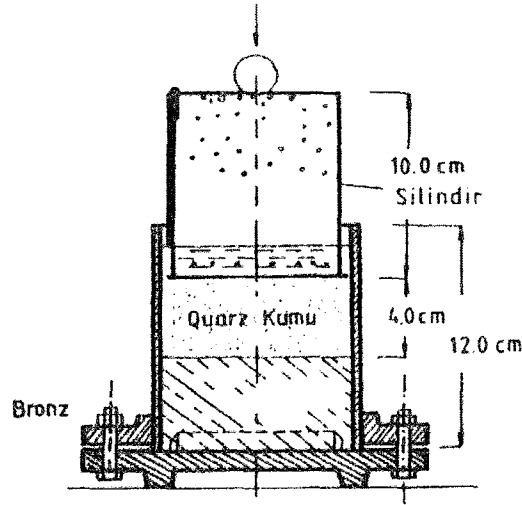
Killerin gerilme altında oluşan hacim değişimini belirlemek amacı ile ilk çalışmalar 1908 yılında Sorby tarafından yapılmıştır. Sorby' nin çalışmasında farklı derinliklerdeki kil tabakalarının poroziteleri hakkında arazi verileri kullanılarak veri elde edilmiştir. Ancak çalışma yer altı su seviyesinin altındaki kısımlar için suyun hidrostatik kaldırma gücünü gözardı etmektedir.

Konsolidasyon için ilk deneysel çalışma 1910 yılında Frontard tarafından yapılmıştır. Frontard çalışmalarında, 2'' kalınlığında 14'' çapında numuneler üzerinde çalışmıştır. Numuneleri metal bir kaba yerleştirerek yüklemiştir. Deney sırasında kurumayı önlemek amacıyla yüksek neme sahip bir odada deneylerini gerçekleştirmiş, her basınç artımının dengelenmesini beklemiş ve sonuçları su muhtevası- basınç grafiği şeklinde vermiştir. Frontard, deneylerinde "oluşan fazla boşluk suyu basıncının sönümlenmesi için uzun süre gerektiğini" belirtmiştir.

Bu konuyu uzun yıllar İ.T.Ü' de çalışmalarını sürdüren Forcheimer, 1914 de konsolidasyon esnasında kil tabakasının oturmasının çıkan suyun hacmine eşit olduğu fikrine dayanan matematiksel bir teori sunmuş ve verilen büyüklükte bir oturma oluşması için gereken zamanı ifade eden bir ifade üretmiştir. Bu ifade sıkışabilirlik ve boşluk suyu basıncı sönümlenmesini dikkate almıştır (Bjerrum, Casagrande, Peck).

1925 yılında Karl Terzaghi yayınladığı "Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage" isimli kitabında geliştirdiği konsolidasyon teorisini açıklayarak oturma hesabı için bir yöntem önermiştir. Terzaghi, konsolidasyon teorisinde, oturmanın miktarını basınç artışı, sıkışabilir tabaka kalınlığı ve permeabilitenin bir fonksiyonu şeklinde vermiş ve oturmanın zaman ile değişimini açıklamıştır. Terzaghi' nin araştırmalarını yaptığı ödometre Şekil 2.8' de gösterilmiştir. Terzaghi'nin ödometre aleti günümüzde de kullanılan aletlerin temelini oluşturmaktadır.

Bu yöntemde yanal yönde deplasman yapması önlenmiş numune eksenel olarak yüklenmektedir. Numune sabit gerilme artımları ile yüklenmektedir ve her bir yükleme kademesinde gerilme artımından kaynaklanan boşluk suyu basıncının sönümlenmesi için beklenmektedir. Deney boyunca numune yüksekliğindeki değişimler ölçülmektedir. Sonuçlar, efektif gerilme – boşluk oranı veya deformasyon arasındaki ilişkiyi gösterecek şekilde çizilmektedir(Terzaghi,1943).



Şekil 2.8. Terzaghi' nin İlk Çalışmalarında Kullandığı Konsolidasyon Aleti

Terzaghi' nin klasik konsolidasyon deneyinde belirtildiği gibi her yük kademesinde boşluk suyu basıncının sönümlenmesi için beklemek gerekmektedir ve bu süre ortalama 24 saattir. Her yük kademesi için ortalama 24 saat beklenildiğinde ise deney yaklaşık bir hafta sürmektedir. Deneyin uzun sürmesi üzerine bilim adamları yeni tip konsolidasyon aletleri geliştirmeye başlamışlardır.

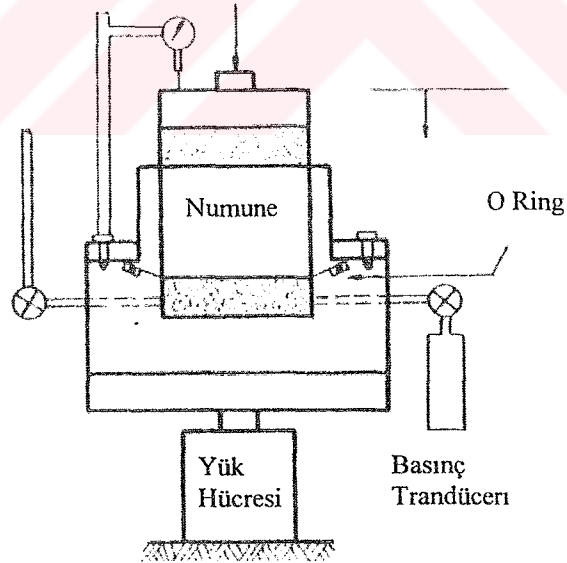
Hamilton ve Crawford (1959), ön konsolidasyon basıncı konulu yazdıkları bir makalede ilk defa sabit deformasyon hızlı konsolidasyon aletinden söz etmişlerdir. Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyinin hızlı bir yöntem olabileceğini düşünmüşler ve deney sonuçlarının klasik konsolidasyon deneyleri sonuçları ile kıyaslandığında ise sıkışabilirliğin daha az olmasına rağmen eğrilerin genel şeklinin benzer olduğunu görmüşlerdir. Hamilton ve Crawford, deney sırasında aşırı boşluk suyu basıncı oluştuğunu belirlemişler fakat oluşan aşırı boşluk suyu basıncını ölçmemişlerdir (Hamilton, 1959).

Crawford (1964), sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyinde oturma analizlerinde oturma hızının etkisini incelemiştir. Crawford, ince kalınlıktaki numunenin laboratuardaki konsolidasyon hızlarının arazide meydana gelen oturma hızlarından birkaç milyon kez daha büyük olduğunu belirlemiş ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyinden elde edilen verilerin, farklı yük süreleri kullanılarak klasik deney verilerine oldukça benzediğini gözlemiştir. Daha önceki çalışmasına ek olarak numune tabanında oluşan boşluk suyu basıncını ölçmüştür. Crawford, sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyinde sıkışmanın hidrodinamik etkiden çok plastik bir etkiden olduğunu belirtmiş ve oluşan sıkışmayı ikincil sıkışma olarak yorumlamıştır (Crawford, 1964).

Crawford 1965 yılında deformasyon hızlarını % 0,133/dak ile 0,0027/dak arasında seçerek ve numune tabanında ölçülen maksimum aşırı boşluk suyu basıncının, uygulanan basıncın %15'ine eşit olduğu deneyleri yapmıştır. Deney süresince boşluk suyu basıncını numune tabanında ölçmüş ve efektif gerilmeyi hesap ederken toplam düşey gerilmeden aşırı boşluk suyu basıncının yarısını çıkararak hesaplamıştır. Crawford, yüksek deformasyon hızlarında numunenin daha az sıkışabilirlik yani daha fazla direnç gösterdiğini gözlemlemiştir.

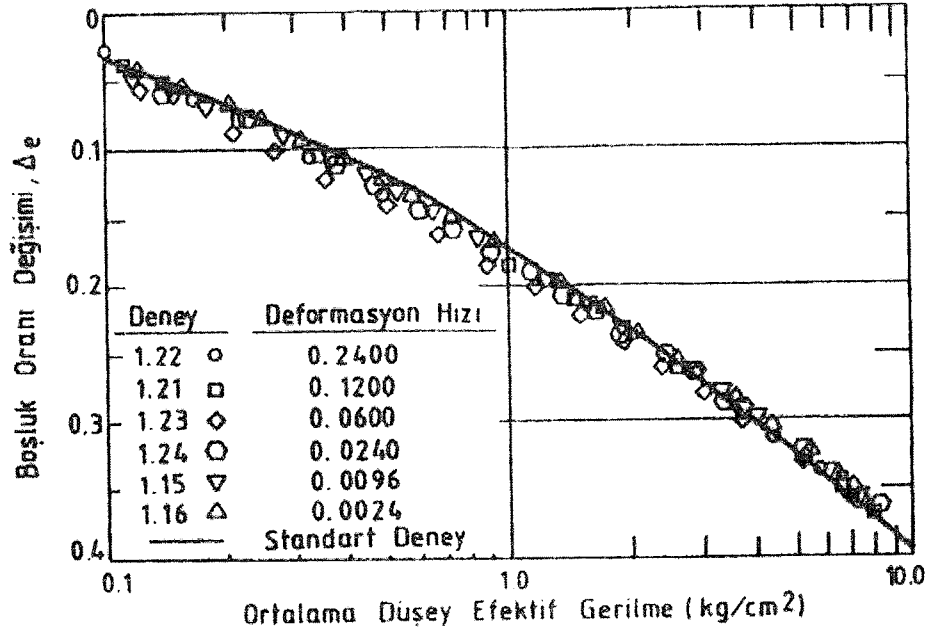
1965 yılında Wahles ve DeGodoy kuzey Carolina – Durham bölgesinden elde ettikleri numuneler üzerinde çalışmışlardır. Deney hızlarını %23 / dak ile % 0,053 / dak arasında seçmişlerdir. Bu hızlar için oluşan maksimum boşluk suyu basıncı, uygulanan gerilmenin %75' i iken, yavaş hızlar için bu değer %25' dir. Bu çalışma sonucunda da, azalan deformasyon hızları ile sıkışabilirlikte artma olduğu gözlenmiştir. Crawford'un çalışmalarından farklı olarak klasik konsolidasyon deneyinden daha fazla sıkışabilirlik oluştuğunu gözlemlemiştir. Bu sonuç Crawford' un çalışması ile zıtlık oluşturmaktadır.

Smith ve Wahls (1969), sabit deformasyon hızında tek boyutlu konsolidasyon deneyi yapmak için Şekil 2.9' daki deney aletini ve $\sigma' - e$ ve $c_v - e$ ilişkilerini sağlayan bir teori geliştirmişlerdir. New York bölgesinden elde edilen örselenmemiş Massene kili, yoğrulmuş kalsiyum montmorillonit ve kaolin killeri üzerinde çalışmışlardır.

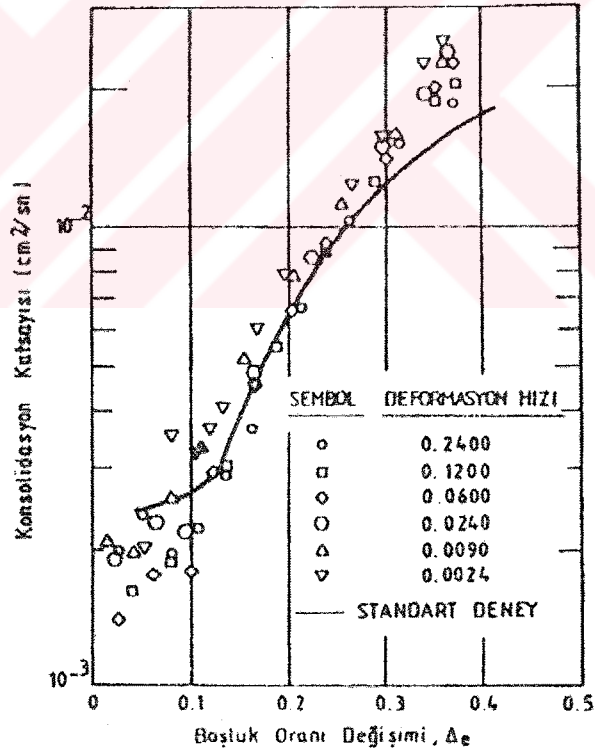


Şekil 2.9. Smith ve Wahls Tarafından Geliştirilen Konsolidasyon Aleti

Şekil 2.10' ve Şekil 2.11' de ise Smith ve Wahls'ın kaolin üzerine yaptıkları deneyler sonucunda elde ettikleri boşluk oranı değişimi-ortalama efektif gerilme, konsolidasyon katsayısı- boşluk oranı değişimi gösterilmektedir.



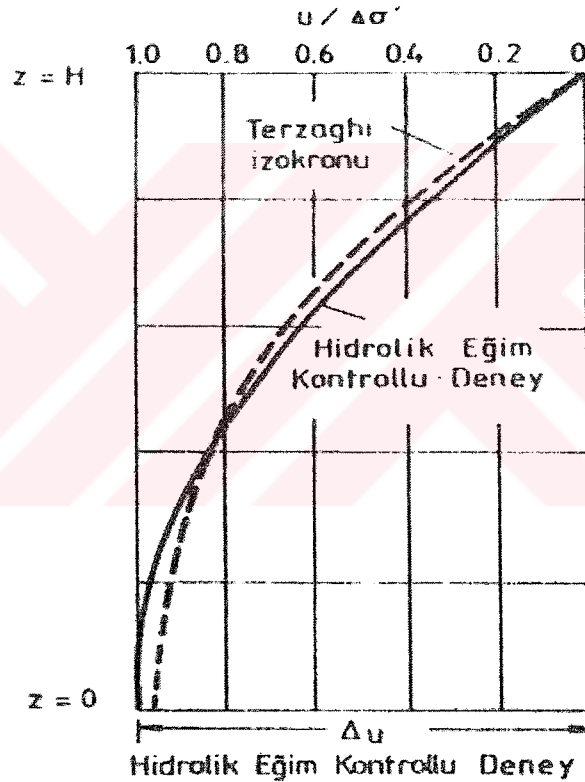
Şekil 2.10. Smith ve Wahls' un Kaolin Üzerinde Yaptıkları SDHK Deneylerinde Boşluk Oranı Farkı- Ortalama Efektif Gerilme İlişkisi



Şekil 2. 11. Smith ve Wahls' un Kaolin Üzerinde Yaptıkları SDHK Deneylerinde Boşluk Oranı Farkı-Konsolidasyon Katsayısı Değişimi

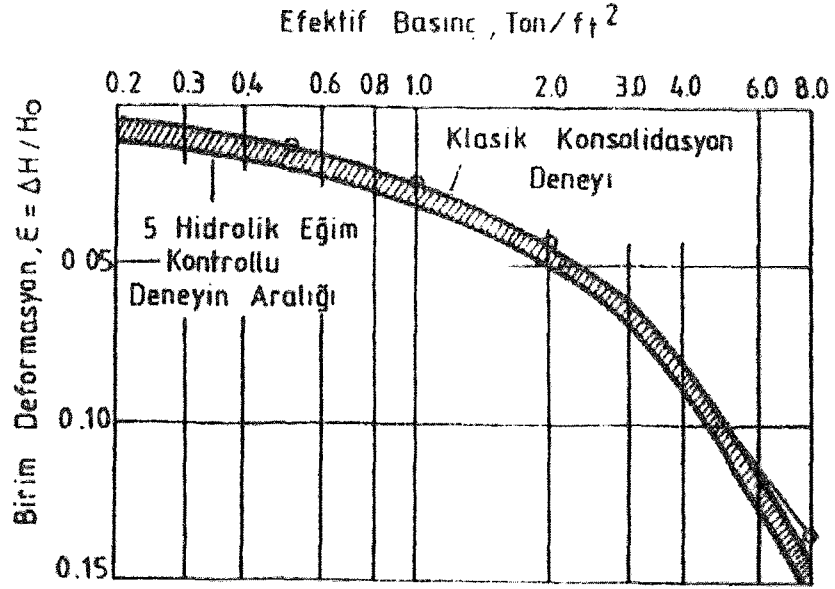
Lowe, Jones ve Okrician (1969), ilk olarak hidrolik eğimli konsolidasyon deneyini yapmaya yarayan aleti ve deney yöntemini geliştirmişlerdir. Bu deneyde amaç, numune boyunca mümkün olabildiğince uniform gerilme dağılışını sağlamak ve deney boyunca uniform bir sıkışma oranına sahip olmaktır. Ayrıca arazideki gerçek sıkışma hızlarını tahmin edebilmek için farklı sıkışma hızlarında yavaş deneyler yapılmaktadır. Konsolidometredeki farklılık ise, ringin alt tabakaya contactlanmasıdır. Sadece yukarı yönlü su akışına izin verilmektedir. Numune tabanındaki boşluk suyu basıncı transdücer vasıtası ile ölçülmektedir, (Lowe & Jones, 1969).

Yükün uygulanma hızı tabanda boşluk suyu basıncı olacak şekilde uygulanır. Hız numune tabanında boşluk suyu basıncını sabit tutabilmek için değişken olabilmektedir. Şekil 2.12’de, hidrolik eğim kontrollü deney ile Terzaghi izokronlarının karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Hidrolik Eğim Kontrollü Deneylerde Oluşan Parabolik İzokronlar ile Terzaghi İzokronlarının Karşılaştırılması

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler ışığında çizilen $\epsilon - \log \sigma'$ eğrileri klasik konsolidasyon deneyleri sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma Şekil 2.13’de gösterilmiştir.

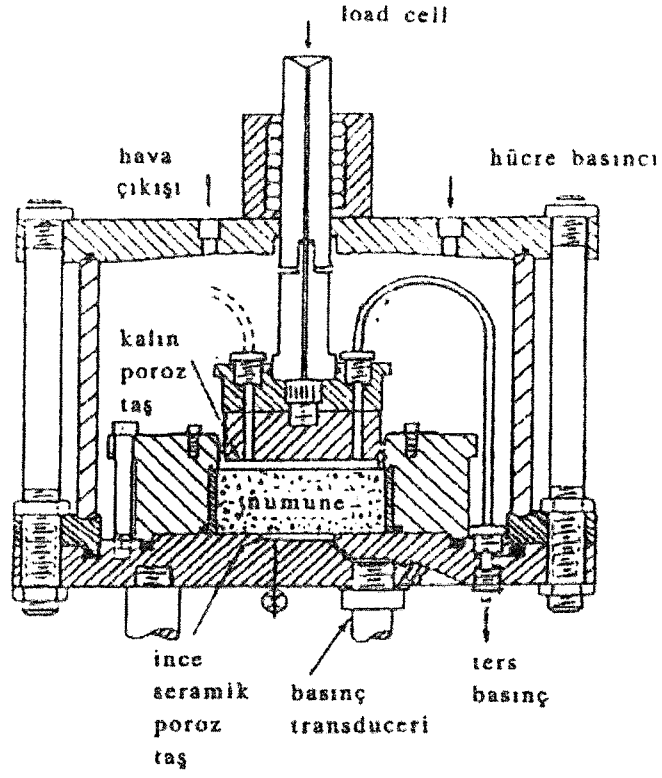


Şekil 2.13. Hidrolik Eğim Kontrollü Deneylerde Elde Edilen Sonucu Deformasyon-Efektif Gerilme Değişimi ve Klasik Deneylerle Karşılaştırılması

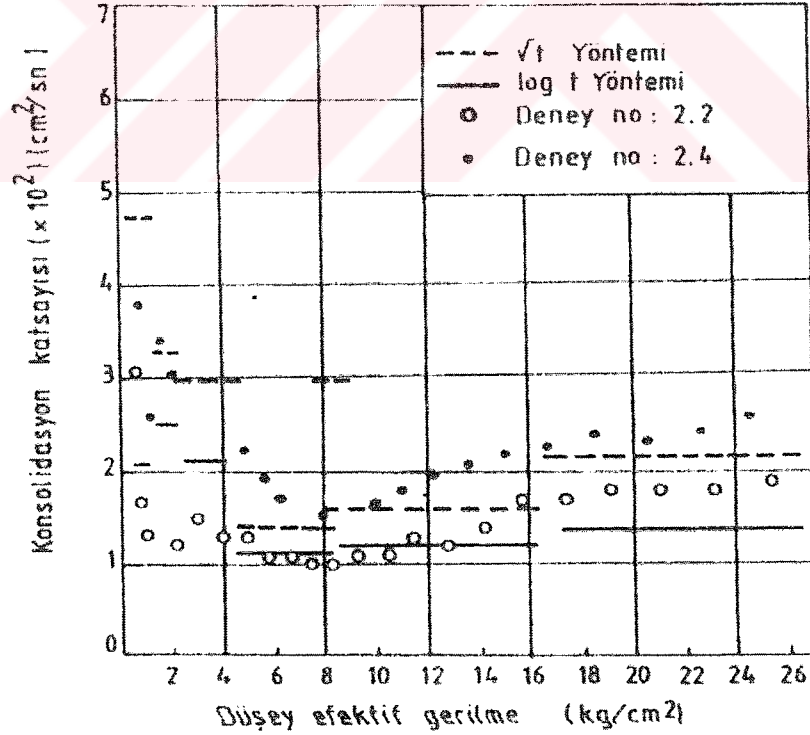
Wissa, Christian, Davis ve Heiberg, 1971 yılında çok amaçlı bir konsolidasyon aleti geliştirmişlerdir. Şekil 2.14' de gösterilen konsolidasyon aleti ile numune,

- Hücre basıncını arttırarak yada hücre pistonunu yükleyerek kademeli yüklenebilir.
- Hücre basıncı arttırılarak sabit gerilme altında yüklenebilir.
- Sabit deformasyon hızında yüklenebilir.

Şekil 2.14' de sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyi klasik konsolidasyon deneyinden elde edilen konsolidasyon katsayısı – efektif gerilme Şekil 2.15' te boşluk oranı – efektif gerilme değerleri görülmektedir. (Wissa, 1971)



Şekil 2.14. Wissa ve Grubunun Geliştirdikleri Çok Amaçlı Konsolidasyon Deneyi Aleti



Şekil 2.15. Wissa ve Grubunun Yaptığı SDHK Deneylerinden Bulunan Konsolidasyon Katsayısı-Efektif Gerilme İlişkisi

Byrne ve Aoki (1969), Terzaghi kabullerinden kaçınarak tek boyutlu konsolidasyonda oturma hızını tahmin etmek için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Nihai oturmaların doğru tahmin edilebilmesine karşılık oturma hızın hatalı tahmin edilmekteydi. Oturma hızı tahmininde hata yapılmasını sebebi olarak; drenaj koşullarının farklı oluşu (tek boyutta olmayacağı) deney numunesinin temsili olmayacağı kanısındaydılar. Arazide oturma hızının temsili numunelerde yapılan deformasyon kontrollü deneyler ile tahmin edilebildiği bir yöntem önermişlerdir,(Byrne, 1969).

Herhangi bir zaman için fazla boşluk suyu basıncı için aşağıdaki ifadeyi elde etmişlerdir.

$$u(z) = \frac{1}{2} \frac{\gamma_w}{k} \frac{\Delta V}{V} (H^2 - z^2) \quad (2.32)$$

$z = 0$ olduğu durumda tabandaki aşırı boşluk suyu basıncı,

$$u(b) = -\frac{1}{2} \frac{\gamma_w}{k} \frac{\Delta V}{V} H^2 \quad (2.33)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, $\frac{\Delta V}{V}$ hacimsel deformasyon oranıdır. Terzaghi kabülleri yapıldığında ise,

$$C_v = \frac{k(1+e)}{a_v \gamma_w} \quad (2.34)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Aboshi, Yoshikumi ve Maruyama 1970 yılında sabit yükleme konsolidasyon deneyi adı verilen yeni bir deney tekniği ve analizi sunmuşlardır. Teoriye göre konsolidasyon katsayısı ve permeabilite sabit kabul edilmiştir. Bu kabuller sonucu,

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) + \left(\frac{d\sigma}{dt} \right) \quad (2.35)$$

eşitliği elde edilmiştir(Aboshi, 1970).

Sabit yükleme durumunda $\frac{d\sigma}{dt}$ bir sabittir. Başlangıç koşulları ise,

$$u = 0 \quad ; \quad x = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 0; x = H \quad (2.36)$$

$u = 0; t = 0$ dır.

Janbu ve Tokheim (1976), numunelerin sürekli yüklendiği konsolidasyon deneyleri için bir teori geliştirmiştir. Sürekli konsolidasyon deneyleri sabit deformasyon hızlı deneylerden farklıdır. Deformasyon hızı deney boyunca değişebilmektedir. Bu teori, deney boyunca kabul edilebilir boşluk suyu basıncı oranının elde edilmesi için deformasyon hızının değiştirilmesine olanak sağlamaktadır. Smith ve Wahls u_b / p oranının 0,5' i aşmamasını tavsiye etmiş, Janbu ve Tokheim deneylerinde 0,8 oranına kadar sıkışma modülü ve konsolidasyon katsayısı için uygun olduğunu göstermiş fakat deneylerinde 0,35 değerini kullanmışlardır. Ayrıca düşük deformasyon hızları için ön konsolidasyon basıncının da elde edileceğini belirtmişlerdir, (Janbu, 1981)

Janbu, Tokheim ve Senneset 1981 yılında taban boşluk suyu basıncının toplam gerilmeye oranının sabit olduğu deneyler yapmışlardır. Bu deney sonuçlarını kıyaslamak amacı ile deformasyon hızı geniş bir aralıkta değişen sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri yapmışlardır. Elde edilen parametrelerin birbirlerine yakın olduğu belirtilmiş ve düşük deformasyon hızlarının sadece zaman kaybı olduğu belirtilmiştir.

Umehera ve Zen 1980 yılında sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyi verilerini değerlendirmek için sonlu deformasyon konsolidasyon teorisine dayanan bir analiz yöntemi geliştirmiştir. Deney, konsolidasyon katsayısı ve sıkışma indisinin sabit kabul edilmesi gibi iki etken, sınırlayıcı bir yaklaşımdır. (Umehera, 1980)

Armour ve Drnevich (1986), Wissa' nın teorik çalışmasına dayanarak permeabilite, likidite indisi ve istenilen maksimum boşluk suyu basıncı oranının bir fonksiyonu olan deformasyon hız eşitliğini türetmişlerdir. Yöntemde değişiklik, ters basınç uygulamaya imkan sağlayan bir konsolidasyon aletinde permeabilite deneyi yapabilmeyi içerir, (Armour, 1986).

Türkiyede ilk olarak sabit deformasyon hızlı konsolidasyon aleti İ.T.Ü zemin mekaniği laboratuvarında kullanılmıştır. Özdemir (1979) Uşak ve Beykoz killeri üzerinde çalışmıştır. Kaptanoğlu (1984) Soma termik santralinden elde edilen ve belirli su muhtevalarında yoğrularak hazırlanan numuneler üzerinde çalışmıştır.

3. SABİT DEFORMASYON HIZLI KONSOLİDASYON DENEYİ

Klasik konsolidasyon deneyinde, numunenin suya doygunluğu için ters basınç uygulanamayışı, oturma eğrisinin tam olarak elde edilememesi, deney süresinin uzun olması, yüksek deformasyon hızları gibi dezavantajlar söz konusudur.

Son yıllarda birçok alternatif metot araştırmacılar tarafından öne sürülmüştür. Bu metotlarda, deney süresinin bir iki gün hatta birkaç saat sürenleri bulunmaktadır. Bu metotların çoğunda amaç; efektif gerilmeyi devamlı olarak arttırmak, bu sırada sıkışma miktarı ile boşluk suyu basıncını ve ters basıncı devamlı olarak ölçebilmektir.

Geliştirilen yeni yöntemlerden birkaçı;

- Sabit gerilme artımlı yükleme deneyi
- Sabit hidrolik eğimli deneyler
- Sabit boşluk basıncı oranına sahip deneyler
- Ters basınç kontrollü deneyler
- Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyi

şeklinde sıralanabilir. Şekil 3.1' de geliştirilen yöntemlerden bazıları için yükleme modelleri gösterilmiştir.

Sabit gerilme artımlı yükleme deneyleri (CRL):

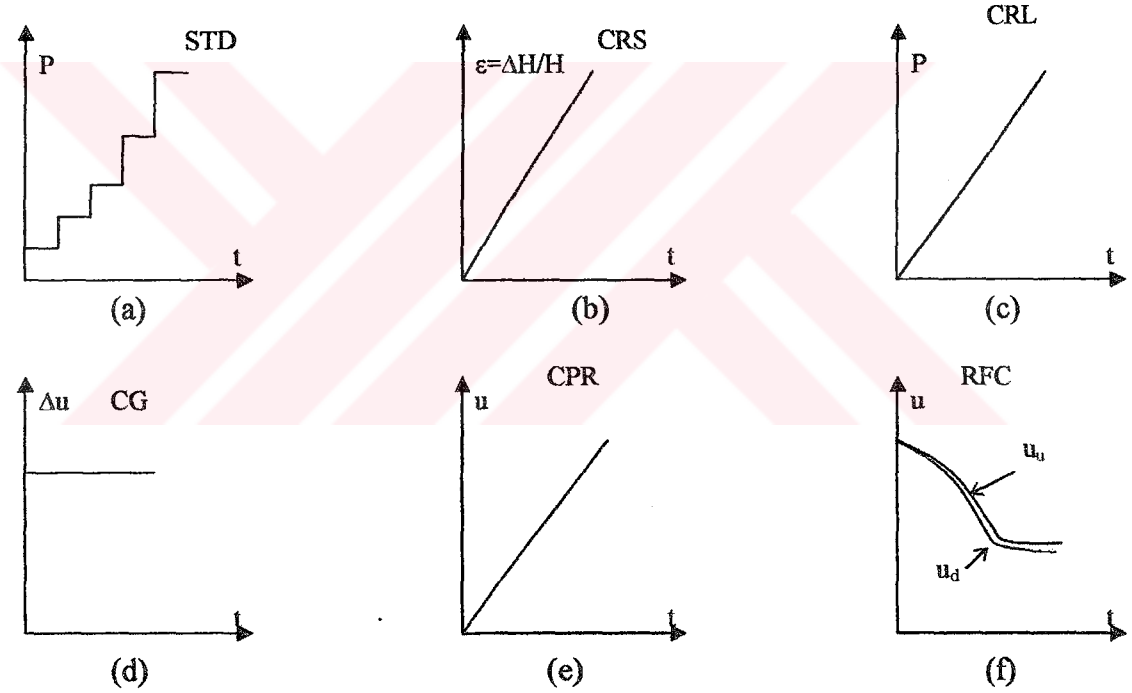
Bu deneyde yük sabit bir oranda artırılarak numuneye uygulanmaktadır. Öngörülen maksimum yük değerine birkaç saat ile birkaç gün arasında değişen sürelerde ulaşılmaktadır. Hidrolik bir hücre kullanılarak gerilme sabit bir hızda artırılır ($\Delta\sigma' = \Delta t$ olmaktadır). Yük artırımını seçilirken iki önemli noktaya dikkat edilmelidir. Yüksek hızdaki bir yük artırımını, numune tabanında yüksek boşluk suyu basıncı yaratacaktır. Boşluk suyu basıncının hıza bağlı olarak çok yükselmesi ise deneyin konsolidasyondan uzaklaşmasına neden olur.

Sabit hidrolik eğimli deneyler (CG):

Bu deneyde numune tabanındaki boşluk suyu basıncı kontrol edilerek bu basıncın sabit bir değerde olması sağlanır. Boşluk suyu basıncının sabit bir değer olmasını sağlamak için yükleme oranı kontrol edilir. Boşluk suyu basıncı değişiminin numune kalınlığı boyunca parabolik olduğu kabul edilmektedir.

Sabit boşluk basıncı oranı deneyi (CPR):

Boşluk basıncı olarak tariflenen tabanda ölçülen basıncını, uygulanan gerilmeye oranı sabit tutulacak şekilde yükleme yapılmaktadır. Tabanda boşluk basıncının uygulanan gerilmeye oranı sabit bir değerde tutulmaktadır. Bu deney yöntemi Janbu, Tokheim ve Senneset tarafından sürekli yükleme deneyi olarak anlatılmıştır. Şekil 3.1.(e)' de görüldüğü üzere, boşluk suyu-gerilme grafiğinin eğimi sabittir.



Şekil 3.1. Çeşitli Konsolidasyon Deneylerinin Yükleme Modelleri a) Klasik konsolidasyon deneyi b) Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyi c) Sabit gerilme artımlı yükleme deneyi d) Sabit hidrolik eğimli deneyler e) Sabit boşluk basıncı oranı deneyi f) Drenaj engelli konsolidasyon deneyi

Drenaj engelli konsolidasyon deneyi (RFC):

Bu deney Oxford Üniversitesinde Dr. Lee tarafından geliştirilmiştir. Rowe hücresi kullanılmaktadır. Basınç sistemi ile numune arasında drenajı engelleyen bir sistem

bulunur. Deney süresince sürekli olarak alınan boşluk suyu basıncı ve oturma ölçümleri, boşluk oranı ve konsolidasyon katsayısının efektif gerilme artarken elde edilmesini sağlar.

Sabit deformasyon hızlı deneyler (CRS):

Bu deney metodu Smith and Wahles (1969); Wissa, Christian, Davis and Heiberg (1971); ve Gorman, Hopkins, Deen ve Drnevich (1978) tarafından açıklanmıştır. Yumuşak killere uygulanışı Umehara ve Zen (1981) tarafından yayınlanmıştır.

Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyinin standartları, ASTM D4186-82 de yer almaktadır. Öncelikle numuneye ters basınç uygulanarak numune doyurulmaktadır. Yük artımı numuneye düşey yönde sabit deformasyon uygulanarak sağlanmaktadır. Test sırasında düşey gerilme ve boşluk suyu basıncı ölçülmektedir.

3.1. Sabit Deformasyon Hızlı Konsolidasyon Deneyinin Önemi ve Kullanımı

Zeminlerin konsolidasyon oturmasının büyüklüğü ve hızı ile ilgili bilgi, geoteknik ve zemin mekaniği ve geoteknik mühendisliğinde tasarım aşamasında büyük önem taşımaktadır. Bu metodun sonuçları bir boyutlu konsolidasyon oturmaları ile hızlarının tahmininde veya analizinde kullanılabilir. Konsolidasyon deney sonuçlarının deformasyon hızı bağımlı olduğu anlaşılmaktadır. Arazide deformasyon hızları zamanla, yüklü alanın altındaki derinlikle ve yüklü alandan radyal uzaklıkla çok değişmektedir. Arazi hızlarının kesin olarak bilinmemesi ve tahmin edilememesi nedeni ile laboratuvar deneyindeki deformasyon hızları ile arazi deformasyon hızlarının ilişkilendirilmesi mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte, arazi boşluk basıncı oranları ile (u_b/σ_v), laboratuvar boşluk basınçları arasında bir ilişkilendirme mümkün olmaktadır.

Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyi ile, numune ters basınç ile suya doyurulmakta, oturma dataları ve gerilme değişimleri sürekli elde edilmekte, deney süresi kısalmakta, kullanılan donanım ve yazılımlar ile bilgilerin bilgisayar ortamında kolayca toplanması sağlanmaktadır.

3.1.1. Yapılan Varsayımlar

Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyi sonuçlarının uygulanabilirliğini sağlamak için bazı kabüller yapılır. Yapılan bu kabüller;

- Zemin tamamen suya doygunudur,
- Zemin homojendir,
- Zemin danelerinin ve suyun sıkışabilirliği ihmal edilebilir,
- Geçirimli ortam boyunca akım için Darcy kanunu geçerlidir,
- Zemin sadece düşey deformasyon yapar,
- Aşırı boşluk suyu basıncının numune boyunca dağılımı paraboliktir.
- Geçirgenliğin sıkışabilirliğe oranı sabit olup, konsolidasyon süresi içinde gerilme ve zamandan bağımsızdır.
- Sıkışma süresi içinde gerilme zamandan bağımsızdır.
- Sıkışma katsayısı efektif düşey gerilmeyle doğru orantılıdır.

3.2. Terminoloji

Bu deney ile ilgili bazı özel terimler kullanılmaktadır. Bu tanımlar sırasıyla;

Ters Basınç : drenaj tarafındaki boşluk suyu basıncı

Artık Boşluk Suyu Basıncı(u_b): Genellikle numunenin tabanındaki numunenin geçirimsiz tarafında, ters basıncı aşan, boşluk suyu basıncı.

Boşluk Basıncı Oranı : Artık boşluk suyu basıncının uygulanan düşey gerilmeye oranı

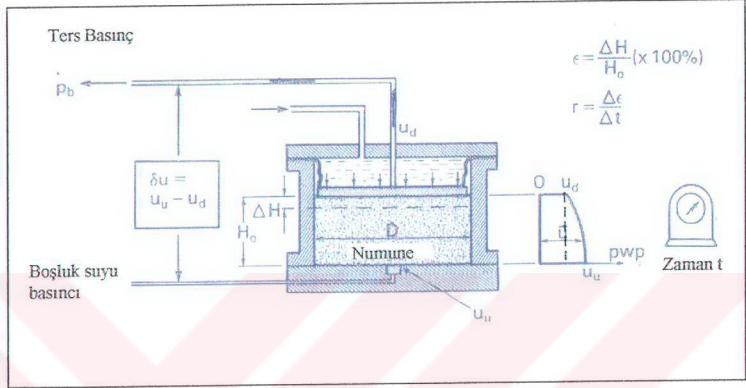
3.3. Değerlendirme Esasları

Deneyde ölçülen büyüklükler ;

- Düşey yük
- Boşluk suyu basıncı
- Düşey deformasyon
- Hücre basıncı
- Ters basınç

Düşey yük okumaları sistem üzerine yerleştirilen yük hücresi (Load cell) ile ölçülmektedir ve anlık değerler alınabilmektedir. Boşluk suyu basıncı numune

tabanındaki poroz disklerin altında bulunan taransdüser ile ölçülmektedir. Numune üzerinde boşluk suyu basıncı dağılımı, üst yüzeyinde ters basınca alt yüzeyinde ise kapalı devre olması nedeni ile ilave boşluk suyu basıncı ve ters basınç toplamına denktir. Numune boyunca dağılım ise Şekil 3.2' de gösterildiği gibi paraboliktir.



Şekil 3.2. Numune Boyunca Boşluk Suyu Basıncı Değişimi

Efektif basınç hesabında kullanılacak boşluk suyu basıncı dağılımı üçgen kabul edilirse,

$$\sigma' = \sigma - 2/3 \Delta u \quad (3.1)$$

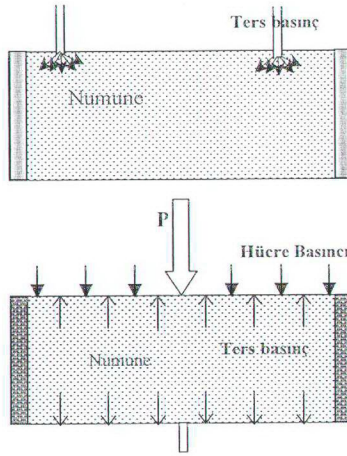
boşluk suyu basıncı dağılımı parabolik kabul edilirse,

$$\sigma' = (\sigma^3 - 2 \sigma^2 u_b + \sigma u_b^2)^{1/3} \quad (3.2)$$

şeklinde hesaplanabilir. Tez kapsamında yapılan deneylerde, efektif gerilme hesabında boşluk suyu basıncı dağılımı parabolik olarak kabul edilmiştir.

Düşey deformasyon, hız sabit olduğu için zaman datası kullanılarak anlık olarak belirlenebilir. Deformasyon, düşey deplasman ölçer ile de gözlemlenebilir.

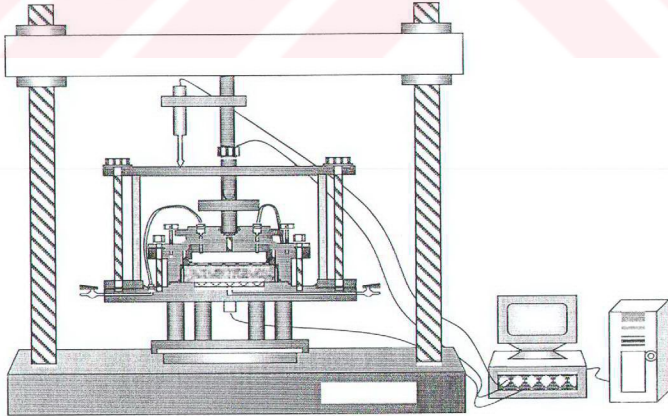
Hücre basıncı deney süresince sabit değerde kalmaktadır. Şekil 3.3' te numune üzerine etkiyen basınçlar gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Numune Üzerine Etkiyen Basınçlar

3.4. Deney Aleti

Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deney aleti esas itibarı ile deformasyon hızı programlanabilen bir yükleme ünitesi, numune üzerine ters basıncın uygulanıp eksenel yükün boşluk suyunun ve çevre basıncının ölçüldüğü bir sistemden oluşmaktadır. Şekil 3.4' te deney sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Deney Sistemi

Deney sistemi, yükleme sistemi, deney hücresi ve çevre hücresinden oluşmaktadır.

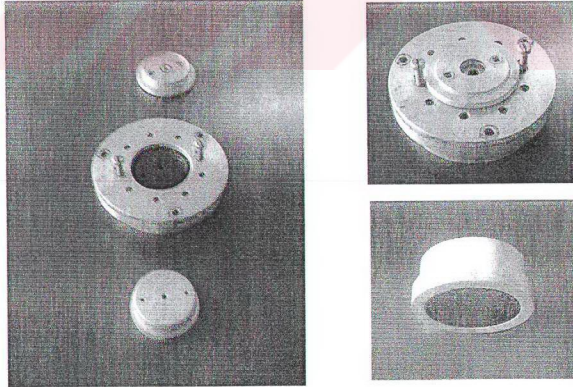
Numune bir çok şekilde yüklenebilir. Ancak en çok kullanılan metotlar;

- Hidrolik yükleme
- Mekanik yükleme

olarak sıralanabilir.

Deneylerde, elektrik motorlu Wykeham Farrance marka deney aleti ile mekanik yükleme yapılmıştır.

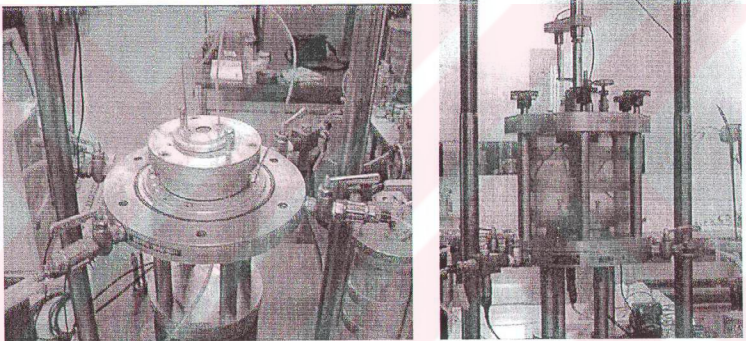
Deney hücresi, numunenin yerleştirildiği bölümdür. Deney hücresi, numunenin alt ve üst yüzeylerinden ters basınç uygulanmaktadır. Konsolidasyon sırasında, deney hücresinin altında bulunan muslukların kapatılması ile drenej numunenin üst yüzeyinden gerçekleşmektedir. Deney hücresinin alt kısmında poroz taş, poroz taşın altında ise ters basıncın uygulandığı bir kanal bulunmaktadır. Ters basıncı ölçümünde kullanılan transdüser bu kanala bağlı bulunmaktadır. Konsolidasyon gerçekleşirken deney hücresinin alt kısmındaki musluk kapatılmaktadır. Numune alt yüzeyinde drenaja izin verilmediği için, değişen gerilme değerleri, transdüser sayesinde anlık olarak okunabilmektedir. Deney hücresinin üst kısmında ise, poroz taş, membran ve üst başlık bulunmaktadır. Şekil 3.5' te deney hücresinin üst kısmı gösterilmiştir. Başlığa bağlı kanallar ile, numunenin suya doyurulması sırasında ters basınç uygulanmakta, konsolidasyon aşamasında ise drenaj sağlanmaktadır.



Şekil 3.5. Poroz Taş, Membran, Üst Başlık

Çevre bölümü, numune üzerine çevre basıncı uygulamak için kullanılan 1000 kPa gerilmeye kadar deformasyona uğramayan, pleksiglas bir silindirden oluşmaktadır. Çevre bölümü sayesinde sağlanan basınç konsolidasyon süresince sabittir. Ancak, doygunluk kontrolü aşamasında çevre bölümündeki basınç değiştirilmektedir. Bu değişim, deney yapılışı kısmında anlatılacaktır.

Deney sisteminin alt kısmında, boşluk suyu vanası, yan taraflarında ise ters basınç ve hücre basıncı vanaları bulunmaktadır. Hücre ayrıca alt, üst ve yan taraflardan basınçları ölçmek için transdüserler ile donatılmıştır. Bu transdüserler sayesinde basınç değerleri hassas olarak okunabilmektedir. Hücre üzerine numuneye eksenel olarak uygulanan yükü ölçebilen bir yükölçer yerleştirilmiştir. Ayrıca hücre üzerine en az numune yüksekliğinin % 50'si aralığında çalışan 0,01 mm hassasiyetli düşey deplasmanı algılayan transdüser yerleştirilmiştir. Şekil 3.6' da deney hücresini bölümleri gösterilmektedir.



(a) (b)
Şekil 3.6. a) Deney Hücresi b) Çevre Hücresi

Deney aletinde iki farklı büyüklükte ring kullanılabilir. Ringler, boşluk sıvısı ve zemin ile temasta iken paslanmayan bir malzemeden olmalıdır. Ringlerin iç yüzeyi pürüzsüz olmalıdır. Tablo 3.1' de kullanılabilecek ringlere ait özellikler gösterilmektedir.

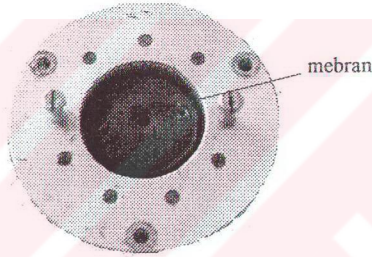
Deney sırasında transdüserler ile elde edilen bilgiler ADU adı verilen elektronik bir hafızada toplanmıştır. ADU, verilerin toplanmasını ve saklanmasını sağlayan bir donanımdır. ADU' ya bağlanan transdüserler sayesinde saniyede 100 veri elde edilebilmektedir. Deneylerde ADU saniyede 1 veri alacak şekilde programlanmıştır. Ayrıca bilgilerin toplanması ve işlenmesi için DADU adlı yazılım kullanılmıştır.

DADU yazılımı, bilgilerin ofis programlarında kullanılacak şekilde elde edilmesini ve ADU donanımının kontrolünü sağlamaktadır.

TABLO 3.1. Kullanılan Ringler

	Çap	Yükseklik	Alan	Hacim
Büyük ring	100 mm	19,1 mm	78,5 cm ²	149,94 cm ³
Küçük ring	69 mm	19,1 mm	37,37 cm ²	71,38 cm ³

Deney bölümü ve çevre bölümü birbirinden bir membran ile ayrılmıştır. İki bölüm arasındaki basınç farkı 25 kPa olduğundan membran bu basınç farkında zarar görmeyecek nitelikte olmalıdır. Membran Şekil 3.7.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Deney Bölümü ile Çevre Bölümünü Ayrır Membran

3.5. Deney Aletinin Genel Prensipleri

Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyi aleti, deformasyon hızı önceden programlanabilen kumandalı bir pres, numune üzerine ters basınç ve eksenel basınç uygulayıp, boşluk suyu ölçülebilen bir hücreden oluşmaktadır. Bu yapıyla klasik konsolidasyon aletine göre daha ayrıntılı bir yapıya sahiptir. Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyi için Terzaghi konsolidasyon denklemi, birim deformasyon oranının zamanla değişimi sabit olarak çözülmüştür. Kullanılan yükleme ünitesi deformasyon hızının 0,00001-9,9999 mm/ dk arasında olmasına olanak sağlamıştır. Deney sırasında seçilen hızın yüksek olması durumunda, yüksek boşluk suyu basıncı değeri elde edilecek, numunenin konsolide olmadan sıkıştırılması söz konusu olacaktır.

Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyinde, zeminin suya doygun olduğu

kabul edilir ve doygunluğun sağlanması gerekir. Doygun hale getirme işleminde hücre zarının patlamaması için çevre basıncı, ters basınçtan bir miktar daha büyük olmalıdır. Bu değer deneylerde 20 kPa olarak seçilmiştir. 20 kPa fark seçilmiş olmasının nedeni ise numuneler 20 kPa gerilme değeri altında hazırlanmıştır ve bu farktan etkilenmeyeceği düşünülmüştür. Deformasyon miktarı düşey deplasman ölçer (LVDT) ile ölçülmüştür. Ancak, deformasyon hızı sabit olduğundan zamanın saptanması yeterli olacaktır. Deneyde esas prensip, sabit deformasyon hızı ile numuneyi yüklemek, bu sırada uygulanan eksenel gerilme ile numune alt yüzeyinde kapalı bir devre oluşturarak boşluk suyu basıncını ölçmektir.

3.6. Ölçü Aletinin Kalibrasyonu

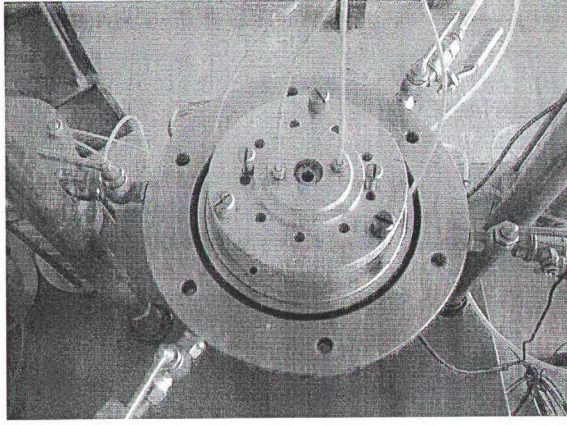
Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon aletinde deney başında ve deney sırasında ölçülen büyüklükler daha önce belirtildiği gibi,

- Load cell ile uygulanan eksenel yük
- Çevre basıncı
- Ters basınç
- Boşluk suyu basıncı
- Deformasyondur.

Bu büyüklüklerin ölçülmesinde transdüser kullanılıyorsa, kesinlikle kalibrasyon yapılarak kullanılacak katsayılarıdan emin olunmalıdır.

3.7. Deneyin Yapılışı

Hazırlanıp desikatörde bekletilen numunelerin ring + yaş numune ağırlığı belirlenip numunenin alt ve üst kısmına poroz kağıt yerleştirilir. Ringin dış kısmının yağlanması ringin yerleştirilmesini kolaylaştıracaktır. Deney bölümü içinde numuneyi, ringi, poroz taşları ve yükleme plakası birleştirilir. Alt poroz taş ile numune arasında herhangi bir havanın hapsolmesinden kaçınılmalıdır. Deney bölümü 3 saplama vidası ile sabitlenir. Şekil 3.8’ de deney bölümünün yerleşimi gösterimiştir. Şaftın deney bölümüne tam olarak temas etmesini sağlamak için vakum uygulanabilir.



Şekil 3.8. Deney Bölümünün Yerleştirilmesi

İlk veya sıfır okuması için transdücerlar ayarlanır. Daha sonra numune üzerine 5 kPa bir oturma basıncı uygulanır. Uygulanan 5 kPa lık gerilme, load cell'e bağlı shaft ile deney bölümünün temasını tam olarak sağlamaktadır. Hücreye su doldurulmasından sonra deney bölümü ters basınç sağlama ünitesinin havasız olduğundan emin olunmalıdır. Hücreye su doldurulması sırasında hücre üstündeki vana açılarak hücre içinde basınç oluşması önlenmelidir. Çevre ve ters basınç değerleri arasında 20 kPa fark olacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu fark oluşturulurken vanaların kapalı olmasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde, numune yük almaya başlayacaktır. 20 kPa lık fark oluşturulduktan sonra tüm vanalar açılarak numunenin doygunluğa ulaşması için beklenir.

Numunenin doygunluğa ulaşip ulaşmadığını saptamak için C kontrolü yapılır. Kontrol sonucu doygunluk gerçekleşmemişse doygunluk sağlanıncaya kadar beklenmelidir. Doygunluk sağlandıktan sonra, boşluk suyu vanası kapatılır. İstenilen hız ayarlanıp deformasyon sağlayacak düzener çalıştırılır.

Uygun aralıklar ile deneyde elde edilen büyüklüklerin okumaları kaydedilir. Deney ilerledikçe zemin konsolide olacağından okuma aralıklarının değiştirilmesi gerekmektedir.

Deney esnasında boşluk suyu basıncı, numune üzerine uygulanan gerilmenin %3 ile %30' u arasında olmalıdır.boşluk basıncı oranı değeri hız artıkça artacağından, seçilen hızın uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir.

İstenen basınç değerine ulaşılnca yada aşırı boşluk suyu basıncı uygulanan düşey gerilmenin %30'nu aşınca yükleme ünitesi boşaltma yönünde çalıştırılır. Alet tamamen boşaldıktan sonra hücre üzerindeki hava vanası açılarak çevre bölümündeki hava boşaltılır. Numune çıkartılıp su muhtevasının bulunması için gerekli işlemler yapılır.

C kontrolü:

Numunenin suya doymun olup olmadığı C katsayısı kontrol edilerek yapılır. C kontrolünü yapabilmek için çevre basıncı bir miktar artırılır. Bu değer yapılan deneyler için 10 kPa olarak seçilmiştir. Basınç arttırılmadan önce ters basınç ve hücre basıncı değerleri okunarak basınç artımından sonraki değerler ile karşılaştırılır. Basınç artımı sırasında ters basınç vanaları ve boşluk suyu vanası kapatılır. Ters basınçtaki değişimin hücre basıncındaki değişime eşit olup olmadığı kontrol edilir.

4. YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu tez çalışmasında, Samsun – Çarşamba Havaalanı' nın uçuş pistinin inşa edildiği sahada, pistin KM 0+000 ile KM 0+500 arasındaki kesiminde, yapılan sondajlardan ve açılan araştırma çukurlarından elde edilen mavi renkli, yumuşak kıvamlı kil zemin incelenmiştir.

Pistin bulunduğu bölgede yapılan sondajlardan ve açılan araştırma çukurlarından alınan numuneler üzerinde daha önce yapılan çalışmalarda, ikincil ve üçüncül sıkışmalar gözlemlenmiştir. Bu sıkışmaların sebebinin kil bünyesinde bulunan organik malzemelerden miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir (Yılmaz, 2000; Çevikbilen, 1999).

Bu sebeple bir doktora tezi kapsamında, numuneler üzerinde çeşitli işlemler yapılarak organik madde miktarı yok edilmeye çalışılmıştır ve organik madde miktarının sebep olduğu olduğu ikincil ve üçüncül sıkışma etkisi incelenmiştir (Saglamer & Çevikbilen, 2003).

Bu tez çalışmasında, Samsun-Çarşamba kili üzerinde organik madde miktarını yok etmek için, çeşitli yakma işlemleri gerçekleştirilmiş yakma işlemi sonucunda elde edilen malzeme üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca dane boyutunun değişmesi ile konsolidasyon özelliklerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Elde edilen yeni numuneler üzerinde klasik konsolidasyon ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri ile birincil konsolidasyon özellikleri incelenmiştir. İkincil ve üçüncül sıkışmalar, bu tezin kapsamı dışında tutulmuştur.

4.1. Kullanılan Numuneler

Kullanılan numuneler, Samsun-Çarşamba Havaalanı' ndaki tank sahasında açılan muayene çukurlarından alınan yumuşak kıvamlı yüksek plastisiteli, mavi renkli Çarşamba kilidir. Alınan numunelerin su muhtevasının değişmemesi için üst ve alt yüzeyleri parafinlenerek poşetlenmiş ve İTÜ Hamdi Peynircioğlu Laboratuvarı'ndaki nem odasına getirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, örselenmemiş numunelerin yanısıra, örselenmiş ve örselendikten sonra çeşitli kimyasal ve fiziksel işlemlere tabi tutulan numuneler ile

de çalışılmıştır. Elde edilen yani numune tipini yakma işlemine tabi tutulmuş numuneler ile dane boyutuna göre silt ve kil olarak adlandırılan numuneler olarak sıralanabilir.

4.1.1. Kuru Yakma İşlemine Maruz Kalmış Numuneler

Numunelerdeki organik malzeme miktarını bulabilmek için kuru yakma metodu uygulanmıştır. Kuru yakma işlemi sonucunda elde edilen malzeme ile klasik ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri yapılmıştır.

Kuru yakma sırasında, ASTM D 2974-87'de verilen metodlar uygulanmıştır. Standartlarda organik madde miktarını bulabilmek için iki test yöntem önerilmiştir. Bu iki yöntem; Metod C ve Metod D olarak adlandırılmıştır.

Metod C' nin uygulanması için önerilen prosedür; Su muhtevasının hesaplanması için 105° C' de bekletilmiş numune, 440°C sıcaklıktaki etüvde bekletilerek yakma işlemine tabi tutulur. Etüvden çıkarılan malzeme tartıldığında yakma kaybının olduğu gözlemlenir. Bu kaybın, numunenin 440°C sıcaklıktaki etüve yerleştirilmeden önceki ağırlığına oranı, organik madde oranıdır.

Metod D; Metod C' deki işlemlerin, 440°C lik etüv yerine 750°C lik etüv kullanılarak gerçekleştirilmesi ile uygulanabilir.

Laboratuar çalışmalarında, kuru yakma işlemi için Metod C seçilmiştir. Bulunan yakma kaybı değeri Tablo 4.1' de gösterildiği üzere %8,25 olarak belirlenmiştir.

Kuru yakma işlemi tamamlandıktan sonra numune üzerinde endeks özellikleri incelenmiştir. Zemin numunelerinin endeks özellikleri Tablo 4.2' de özetlenmiştir.

Tablo 4.1. Yakma Kaybı Değerleri

Yakma başı Dara + Numune	Yakma sonu Dara + Numune	Dara	Yakma kaybı
50,9291 gr.	49,1704 gr.	29,6101 gr.	% 8,25

Tablo 4.2. Kuru Yakılmış Zeminin Endeks Özellikleri

Likit limit w_L (%)	Plastik limit w_P (%)	Plastisite Indisi I_P (%)	γ_s	Su muhtevası w (%)	Zemin cinsi
51	33,50	17,5	2,58	53	ML

4.2. Islak Yakma İşlemine Maruz Kalmış Numuneler

Numunelerdeki organik malzeme miktarını bulabilmek için kuru yakma metodu haricinde ıslak yakma metodu uygulanmıştır. Öncelikle, zemin numuneleri tuzundan arındırmak için yıkanıp 60°C lik etüvde kurutulmuştur. Etüv sıcaklığının 60° olmasının sebebi; daha yüksek ısıda organik malzeme kaybının olacağıdır. Etüvden alınan malzeme öncelikle toz haline getirilerek, 40 Nolu elekten (0,42mm elek çaplı) elenmiştir. 5kg'lık toz numune 5 lt %15'lik H₂O₂ solüsyonu ile karıştırıldıktan sonra karışım 2 gün çökmeye terk edilmiştir. 2 gün sonunda karışımın berraklaşan kısmı ortamdan uzaklaştırılmıştır. Daha sonra, saf su ilave edilen karışım tekrar çökmeye bırakılıp, berraklaşan kısım tekrar ortamdan uzaklaştırılmış ve bu işlemler karışımın PH değeri 7 olana kadar tekrar edilmiştir. PH=7 değeri numunenin nötr olduğunu göstermektedir. Kimyasal maddelerden arındırılan zemin, Rowe hücresinde hazırlanacak niteliğe getirilmiştir. Elde edilen numunenin zemin endeks özellikleri Tablo 4.3' de verildiği gibi belirlenmiştir.

Tablo 4.3. Islak Yakılmış Zeminin Endeks Özellikleri

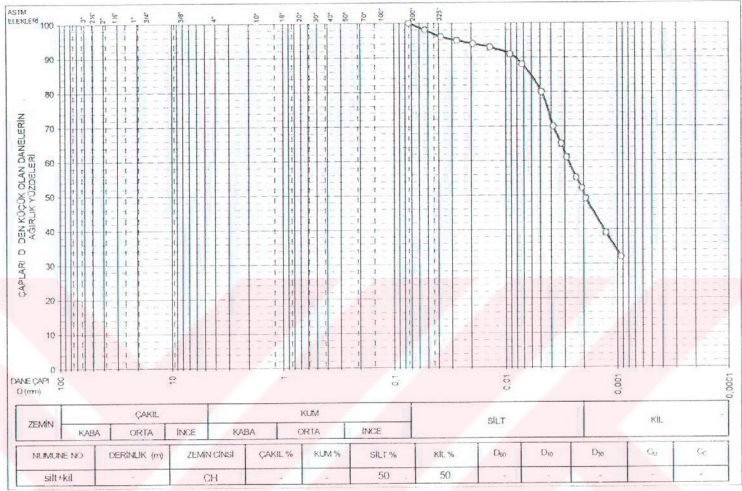
Likit limit w _L (%)	Plastik limit w _P (%)	Plastisite İndisi I _p (%)	γ _s	Su muhtevası w (%)	Zemin cinsi
78	27	51	2,48	68	CH

4.3. Kil ve Silt Dane Boyutundaki Numuneler

Çalışılan bir diğer numune grubu ise, dane boyutuna göre farklılaştırılan numune çeşitleridir. Silt ve kil boyutundaki malzemeleri birbirinden ayırarak sadece kilden ve siltten oluşan malzeme elde edilmeye çalışılmıştır. Bu grup deneylerde kullanılmak üzere kalıplardan çıkartılan numuneler öncelikle yosun liflerinden oluşan organik içeriğinden (LOI=%8.5) arındırılmak amacıyla suda bekletilmiştir. Suda bekletilen malzeme sarsmak koşuluyla 2-3 kez elek takımından geçirilerek ince daneli kısım elde edilmiştir. Kurutulan bu karışımdan alınan 50 gramlık örnek üzerinde yapılan hidrometre deneyinin sonucu Şekil 4.1' de verilmiştir. Buna göre; kullanılan Samsun Çarşamba kili %50 kil ve %50 silt boyutundaki malzemelerden oluşmaktadır.

Ayırma işlemi için, hidrometre deneyinden yararlanılmıştır. Emaye kovalarda hazırlanan 5 kilo toz numune, bir gün süreyle sodyum hegzametafosfatlı suda bekletilmiştir. Üzeri suyla tamamlanarak kovalarda hazırlanan süspansiyonlar çökmeye bırakılmıştır. Çökme esnasında her kova için ayrı ayrı anlık olarak granulometri eğrileri çizilmiş ve çizilen bu eğrilerden yararlanarak siltin çökeldiği anda üstteki killi süspansiyon hortumla ortamdan uzaklaştırılmıştır. Böylelikle silt ve kil boyutu birbirinden ayrılmış olan malzeme kimyasal içeriğinden arındırılmak

üzere saf su ile karıştırılmış malzemenin çökmesinin ardından üstteki kimyasal içerikli su atılarak numune saflaştırılmıştır. Ancak, bu işlemde çökmenin uzun sürmesinden dolayı Rowe hücreesine konulan kimyasal içerikli süspansiyon alttan vakum uygulanması ile poröz kağıttan süzülümüş, üstten tekrar su ilave edilmesi ile de durulanmıştır.

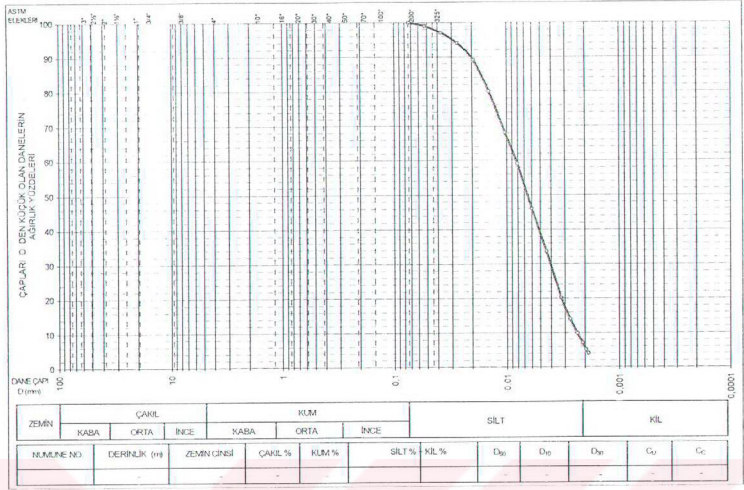


Şekil 4.1. Samsun Çarşamba Mavi Kili Granülometri Eğrisi

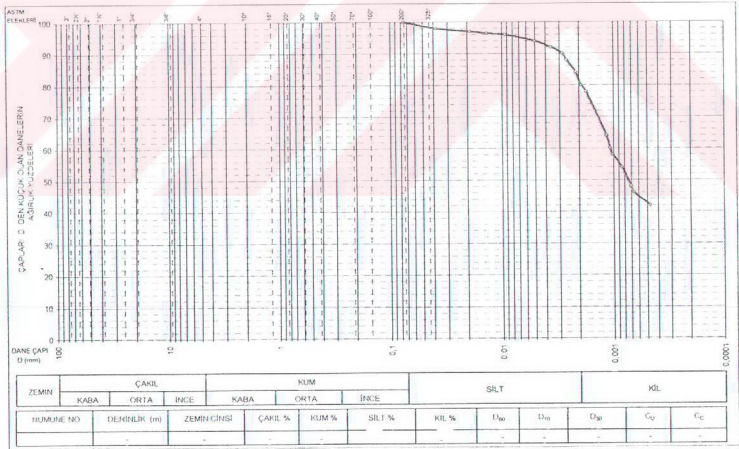
Silt ve kil boyutundaki malzemeleri ayırma işlemini kontrol amacı ile silt ve kil numunelerden 50 gram örnek alınarak hidrometre deneyleri yapılmıştır. Yapılan hidrometre deneyleri sonucu Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Silt ve kil numunelerin kıvam limitleri tekrar araştırılmıştır. Bulunan sonuçlar silt malzemenin içerisindeki kil malzemeden büyük oranda arındırıldığını göstermektedir. Tablo 4.4'te silt boyutundaki malzemenin kıvam limitleri deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.4. Dane Boyutuna göre Kıvam Limitlerinin Değişimi

Numune Boyutu	w _L (%)	w _P (%)	I _P	Zemin Cinsi
Silt+Kil	76	26	50	CH
Silt	44	24	20	CL-ML
Kil	102	44	58	CH



Şekil 4.2. Silt Boyutundaki Numunenin Granülometri Eğrisi

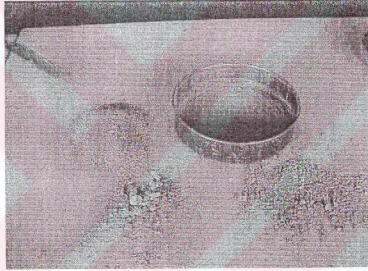


Şekil 4.3. Kil Boyutundaki Numunenin Granülometri Eğrisi

4.4. Numunelerin Hazırlanışı

Bu tez kapsamında, örselenmemiş zeminlerin yanı sıra çeşitli işlemlerden geçmiş zeminler üzerinde de çalışılmıştır. İşlem gören zeminlerinden uygun numuneler elde etmek için Rowe hücresi kullanılmıştır. Rowe hücresi sayesinde homojen numuneler elde edilmiştir.

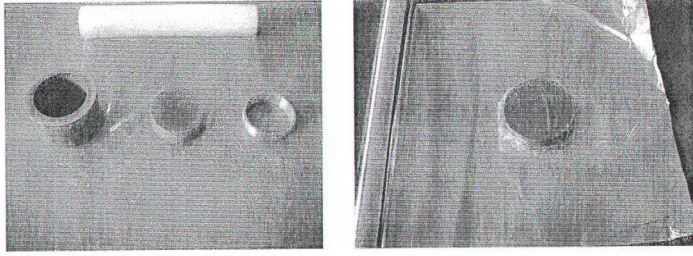
Fiziksel ve kimyasal işlem gören zeminlerden deney için numune hazırlanırken, öncelikle 40 Nolu elekten (0,42mm çaplı) elenmiştir. Elek altına geçen malzemeler numune hazırlanmasında kullanılmıştır. Numuneler likit limitin iki katı saf su içerecek şekilde, bir kap içerisinde 15-20 dakika karıştırıldıktan sonra Rowe hücresine yerleştirilmiştir. Ancak, kil numunenin likit limitinin yüksek olması nedeni ile, yeterli yükseklikte numune elde etmek için, likit limitinin 1,5 katı saf su içerecek şekilde hazırlanmıştır. Şekil 4.4' te elenen ve rowe hücresi için hazırlanan numuneler gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Numune Hazırlanışı

Rowe hücresinde numune ile poroz taşlar ile numune arasına poroz kağıtlar yerleştirilerek malzeme kaybı önlenmiş ve drenaj sağlanmıştır. Numuneler hazırlanırken 20-30 kPa değeri arasında basınç uygulanarak numunenin konsolide olması sağlanmıştır.

Numuneler Rowe hücresinden çıkartıldıktan sonra, ringler batırılmıştır. Ringlerin içine alınan numunelerin su muhtevasının değişmemesi için, uygun şekilde stretch film tabakası ve folyo ile sarılarak desikatörde bekletilmiştir. Yapılan işlemlerin resimleri Şekil 4.5' de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Rowe Hücresinden Çıkarılan Numunenin Saklama Koşulları

Yapılan tez çalışmasında, örselenmemiş numune, Rowe hücresinde hazırlanmış numune, silt ve kil numuneler, 450°C yakılmış numune ve ıslak yanmaya tabi tutulmuş numuneler için klasik sabit deformasyon hızlı konsolidasyon ve klasik konsolidasyon deneyleri yapılmıştır.

4.5. Konsolidasyon Deneyleri

Zeminlerin konsolidasyon özelliklerinin belirlenmesi için genellikle ödometre deneyleri yapılmaktadır. Ödometre deneyinin her yük basamağında, hacimsal sıkışma katsayısı (m_v) ve konsolidasyon katsayısı (c_v) hesaplanır. Hesaplanan bu değerler ile zeminlerin, konsolidasyon oturması ve oturmanın – zaman ile değişimi hakkında bilgi edinilir. Bilindiği üzere, klasik odometre deneyinde, numunenin suya doygunluğu için ters basınç uygulanamayışı, oturma eğrisinin tam olarak elde edilememesi, deney süresinin uzun olması, her yük kademesinde uniform olmayan gerilme dağılışı, yüksek deformasyon hızları gibi dezavantajlar söz konusudur. Bu dezavantajlardan dolayı geliştirilen sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyi aleti ve klasik konsolidasyon aleti deneyler yapılarak, sonuçları incelenmiştir.

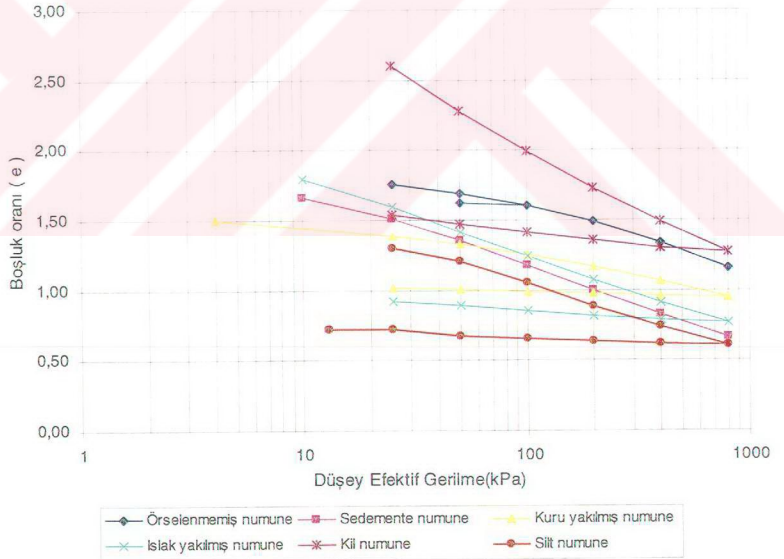
4.5.1. Klasik Konsolidasyon Deneyleri

Örselenmemiş, sedemente, ıslak ve kuru yakama işlemine maruz kalmış numuneler, kil dane boyutundaki numuneler, silt dane boyutundaki numuneler için klasik konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Deneylerde yüklemeler, tek çevrimli yapılmıştır. Yükleme kademesi olarak; 0-25, 25-50, 50-100, 100-200, 200-400, 400-800 kPa değerleri uygulanmıştır. Klasik konsolidasyon deneylerinin bazı özellikleri Tablo 4.5’ te yer almaktadır.

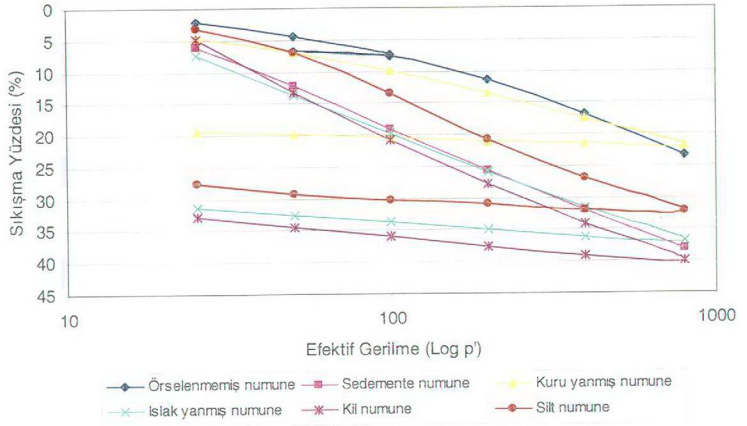
Tablo 4.5. Odometre Deneylerine Ait Bazı Özellikler

Numune Grubu	w_0	w_n	e_0	e_n	γ_s
Örselenmemiş numune	56,56	45,1	1,81	1,16	2,7
Rowe' da hazırlanmış numune	73,53	41,17	1,66	0,82	2,51
Kuru yakılmış numune	53,6	39,66	1,4	0,943	2,58
Islak yakılmış numune	68,18	42,52	1,79	0,92	2,48
Kil	87,35	53,47	2,77	1,53	2,77
Silt	54,33	36,12	1,32	0,77	2,46

Klasik ödometre deneylerinde, her basınç kademesi için, boşluk oranı hesaplanmıştır. Elde edilen $e - \log p'$ eğrileri Şekil 4.6' da gösterilmiştir. Klasik konsolidasyon deneyi sonucunda oturmalar hesaplanarak, oturma yüzdesinin efektif gerilme ile değişimi Şekil 4.7' de sunulmuştur.



Şekil 4.6. Boşluk Oranı Farkı Efektif Düşey Gerilme



Şekil 4.7. Klasik Konsolidasyon Deneyleri İçin Oturma Yüzdesinin Efektif Gerilme ile Değişimi

Klasik konsolidasyon deneyleri yapıldıktan sonra elde edilen oturma değerleri ile konsolidasyon katsayısı her numune için ayrı ayrı hesaplanmış ve hesaplanan değerler Tablo 4.6' da gösterilmiştir.

Yapılan klasik konsolidasyon deneyleri sonucu, efektif gerilmedeki birim artıştan kaynaklanan birim hacimdeki değişim miktarını temsil eden, hacimsel sıkışma katsayıları (m_v) her basınç kademesinde hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar Tablo 4.7' de gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Klasik Konsolidasyon Deneylerinden Elde Edilen Konsolidasyon Katsayıları (c_v)

Numune Grubu	Basınç Kademesi				
	0-25	25-50	50-100	100-200	200-400
	c_v katsayıları (mm^2/dk)				
Örselenmemiş numune	3,8386	1,5315	1,5913	1,6239	1,3286
Rowe' da hazırlanmış numune	2,9477	6,55567	5,92867	5,99231	5,0258
Islak yakılmış numune	1,51779	1,32657	1,15083	1,07583	0,96308
Kil	0,88302	0,54523	0,48891	0,39787	0,36124
Silt	3,81989	1,97903	1,05511	0,90224	0,95857

Tablo 4.7. Klasik Konsolidasyon Deneylerinden Elde Edilen
Hacimsal Sıkışma Katsayıları (m_v)

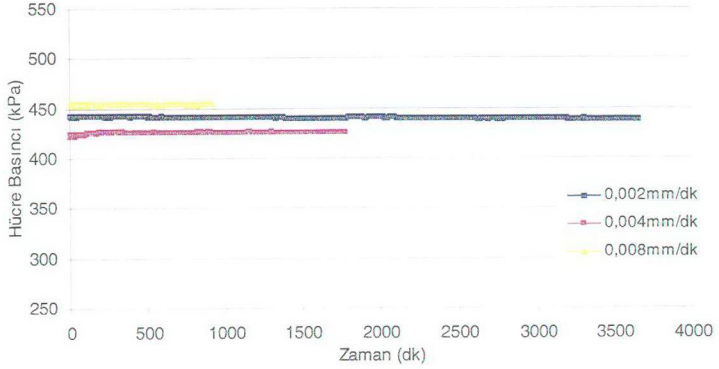
Numune Grubu	Basınç Kademesi					
	0-25	25-50	50-100	100-200	200-400	400-800
	m_v katsayıları (cm^2/kg) ($\cdot 10^2$)					
Örselenmemiş numune	8,252	9,922	6,228	4,249	3,226	1,99
Rowe' da hazırlanmış numune	25,2060	26,8920	16,2620	8,5740	4,4440	2,2770
Kuru yakılmış numune	19,5820	9,8670	6,3660	4,1110	2,4850	1,3770
Islak yakılmış numune	32,0680	28,9490	15,0320	8,2320	4,2480	2,0780
Kil	19,4620	24,4080	24,4660	9,2930	4,5140	2,3560
Silt	13,1730	15,9380	14,396	8,8784	3,9830	1,9050

4.5.2. Sabit Deformasyon Hızlı Konsolidasyon Deneyleri

Tez kapsamında farklı tipteki numuneler üzerinde, deformasyon hızları 0,020mm/dk ile 0,002 mm/dk arasında değişen 20 adet deney yapılmıştır. Yapılan deneylerde, toplam gerilme, 1000 kPa değerini aşincaya ya da boşuk suyu basıncı oranı toplam gerilmenin %30'unu aşincaya kadar, deformasyon uygulanmasına devam edilmiştir. Hücre basıncı ve ters basınç değerleri arasındaki fark 20-25 kPa olacak şekilde numunenin suya doyması sağlanmıştır. Hücre basıncı ve ters basınç değerleri için herhangi bir gerilme aralığı seçilmemiştir.

Deneylerde, toplam ve efektif gerilme, boşluk suyu basıncı değişimi, hücre basıncı ve sıkışma değerlerinin zamana göre değişimi elde edilmiştir. Bütün numune çeşitleri için deneylerde elde edilen değerler eklede yer almaktadır.

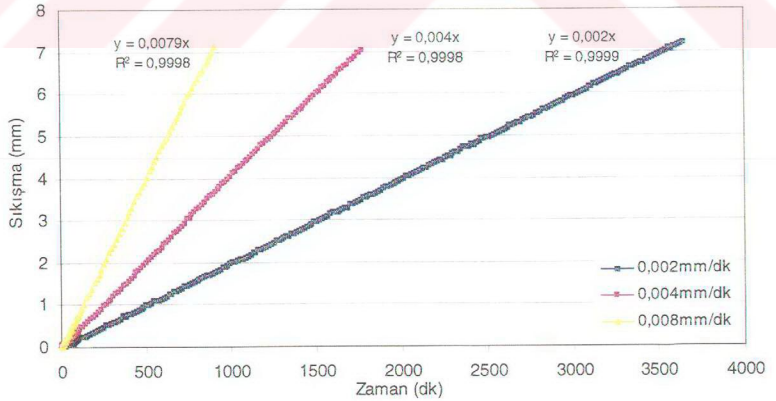
Kil numunesi için, uygulanan farklı hızlarda, hücre basıncı değişimi, Şekil 4.8'de gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Hücre Basıncı Değerleri

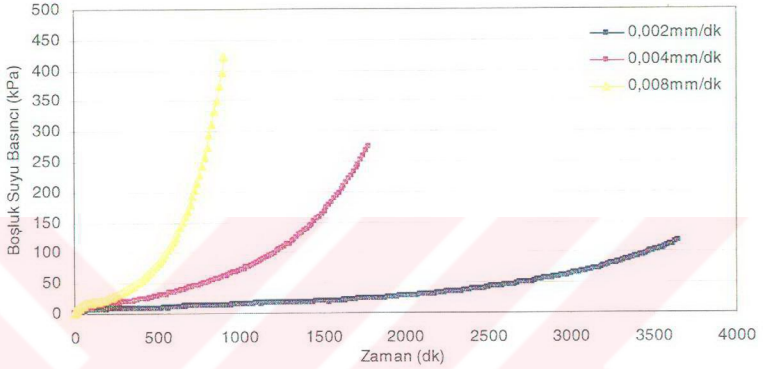
Şekil 4.8'den de görüleceği gibi düşük deformasyon hızındaki deney süreleri daha uzun sürmektedir. Deney süresince hücre basınçlarındaki değişim 1-2 kPa' dır. Bu değişim yok denilecek kadar az bir değerdir.

Deformasyon uygulaması sırasında değişen aralıklar ile devamlı olarak sıkışma okumaları alınmıştır. Düşey sıkışma okumalarının zaman ile değişimi Şekil 4.9' da gösterilmiştir. Elde edilen doğruların eğimi, uygulanan deformasyon hızını (mm/dk) vermektedir. Uygulanan deformasyon hızının, deney süresince sabit kaldığı görülmektedir.

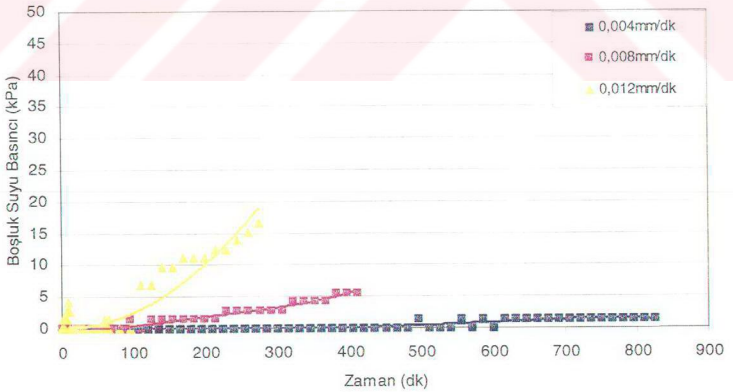


Şekil 4.9. Düşey Yerdeğiştirme Okumaları

Deneyler sürdürülürken kompresör sayesinde devamlı olarak numuneye hücre basıncı ve ters basınç uygulanmıştır. Ters basınç değerleri, deney hücresi altındaki transdüser sayesinde ölçülmüştür. Ters basınç değerlerindeki artış ise, oluşan artık boşluk suyu basıncı değerini vermektedir. Şekil 4.10' da kil numune için Şekil 4.11' de ise silt numune için, boşluk suyunun zaman ile değişimi farklı hızlar için verilmiştir.



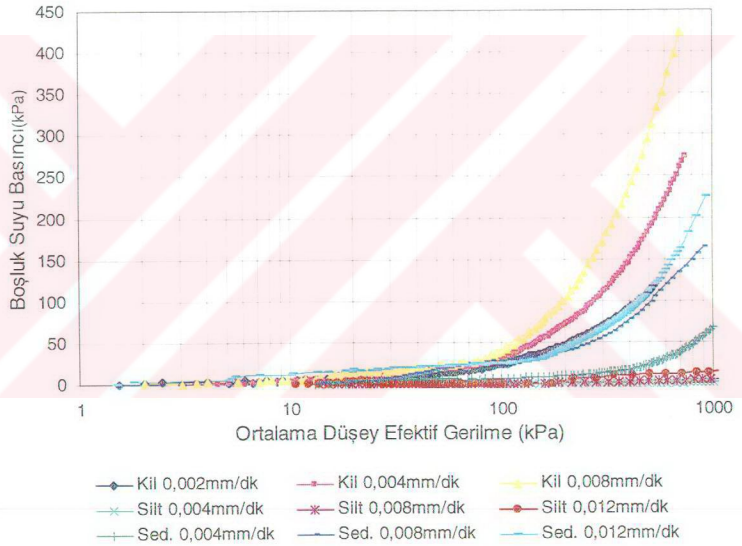
Şekil 4.10. Kil numuneler için Boşluk Suyunun Zaman ile Değişimi



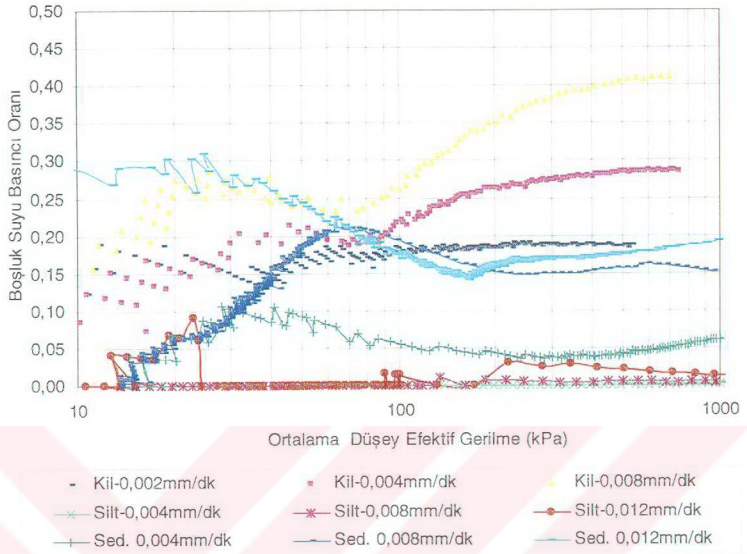
Şekil 4.11. Silt numuneler için Boşluk Suyunun Zaman ile Değişimi

Şekil 4.10' dan da görülebileceği gibi kil numuneler için uygulanan hız arttıkça boşluk suyu basıncının değeri daha kısa sürede yüksek değerlere ulaşmıştır. Düşük hızlı deneylerde, boşluk suyu değişimi için lineerliğe yakın bir davranış söz konusudur. Artık boşluk suyu basıncı, kil numuneler için uygulanan deformasyon hızlarında maksimum 422 kPa değerine ulaşırken silt numuneler için, maksimum değerin 18 kPa olduğu gözlemlenmiştir.

Kil ve silt numunelerin boşluk suyu değişimlerini daha net bir şekilde kıyaslamak için, Şekil 4.12' de boşluk suyu basıncı-ortalama düşey efektif gerilme ($\Delta u - \sigma'$) ve Şekil 4.13' te boşluk basıncı oranı-ortalama düşey efektif gerilme ($\Delta u / \sigma - \sigma'$) grafikleri çizilmiştir.

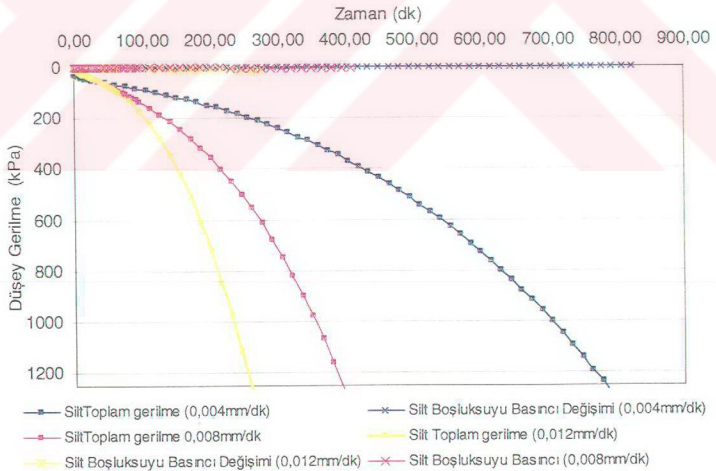
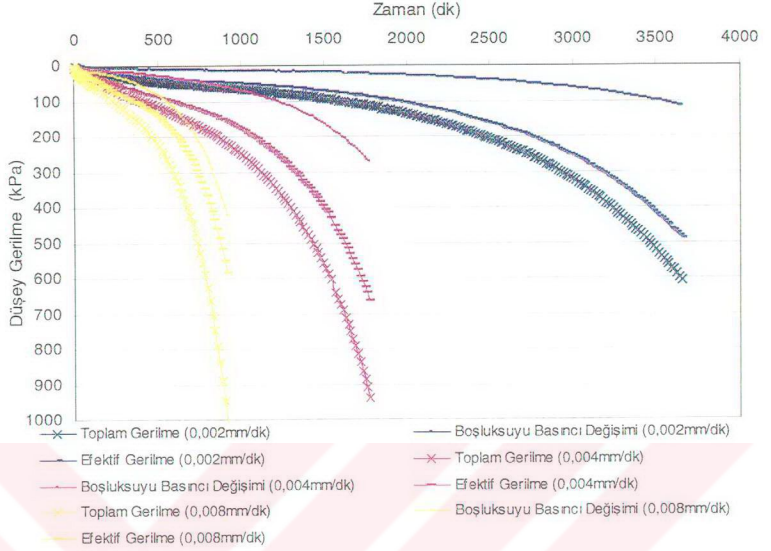


Şekil 4.12. Kil ve Silt Numuneler İçin Boşluk Suyu Basıncının Efektif Gerilme ile Değişimi

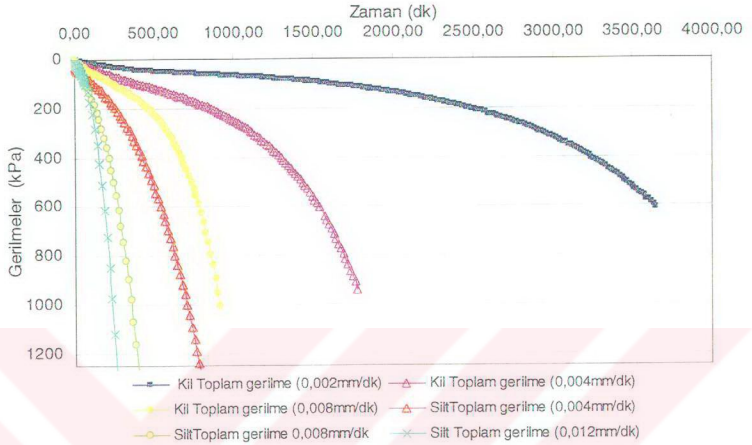


Kil numuneler için en yüksek hız uygulandığında boşluk suyu basıncı oranı 0,42 iken silt numune için, en yüksek hızda boşluk suyu basıncı oranı 0,003 olarak gözlemlenmiştir. Verilen grafikler incelendiğinde aynı numuneler arasında hız arttıkça boşluk suyu basıncı değerinin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Boşluk suyu basıncı değerinin farklılık göstermesinin nedeni ise, yüksek hızlarda boşluk suyunun drene olamamasıdır. Silt ve kil numuneler kıyaslandığında, kil numunelerde boşluk suyu basıncı değerinin, silt numuneye oranla çok daha büyük bir değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ise, silt numunelerin dane boyutunun daha büyük olmasından dolayı drenajın, kil numuneye oranla çok daha çabuk gerçekleşmesidir.

Deneyler yapılırken değişen zaman aralıkları ile numune üzerine uygulanan toplam gerilmeler kayıt edilmiştir. Kil numune üzerindeki gerilmelerin zaman ile değişimi Şekil 4.14' de, silt numune üzerindeki gerilmelerin zaman ile değişimi ise, Şekil 4.15' te gösterilmiştir. Uygulanan deformasyon hızı arttıkça numune üzerindeki gerilmelerin daha kısa zamanda yüksek değerlere ulaştığı gözlemlenmektedir. Efektif gerilme, boşluk suyunun parabolik dağılım gösterdiği kabülüne göre hesaplanmıştır. Daha öncede belirtildiği gibi boşluk suyu basıncının zaman ile artması sonucu; toplam gerilme ve efektif gerilme arasındaki fark, zaman ve hız ile artmaktadır. Kil silt numune üzerindeki gerilme değişimi Şekil 4.16' da verilmiştir.



Silt numunelerde oluşan boşluk suyu basıncı değişimi çok azdır. Bu nedenle, efektif gerilmeler, toplam gerilmelere çok yakın değerlerdir ve efektif gerilmeler Şekil 4.15' te verilmemiştir.



Şekil 4.16.Kil ve Silt Numune Üzerindeki Gerilmeler

Kil ve silt numunelerin gerilme diagramı incelendiğinde, silt numunelerin kil numuneye oranla, daha kısa sürelerde yüksek gerilme değerlerine ulaştığı belirlenmiştir.

Numunenin başlangıç boşluk oranı, su muhtevası ve birim hacim ağırlığı, ASTM D 4186-89' da belirtildiği üzere kuru numune ağırlığı baz alınarak hesaplanmıştır. Dane hacmi, kuru numune ağırlığının danenin özgül ağırlığına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Boşluk hacmi; numune hacmi ile danelerinin hacimleri arasındaki fark olarak kabul edilmektedir. Boşluk oranı değişimi

$$e = e_0 - \Delta H / H_s \quad (4.1)$$

Formülü ile hesaplanmıştır.

e_0 = başlangıç boşluk oranı,
 ΔH = deformasyon,
 H_s = dane yüksekliği.

Konsolidasyon katsayısı (c_v) ASTM 4186-89' de belirtildiği üzere hesaplanmıştır. Konsolidasyon katsayısı;

$$c_v = - \frac{H^2 \log \left[\frac{\sigma_{v2}}{\sigma_{v1}} \right]}{2\Delta t \log \left[1 - \frac{u_b}{\sigma_v} \right]} \quad (4.2)$$

formülü ile hesaplanmıştır. Formüldeki terimler,

σ_{v1} = t_1 anında uygulanan eksenel gerilme,

σ_{v2} = t_2 anında uygulanan eksenel gerilme,

H = t_1 ile t_2 arasında ortalama numune yüksekliği,

Δt = t_1 ile t_2 arasında geçen zaman (= $t_2 - t_1$),

u_b = t_2 ile t_1 arasındaki ortalama artık boşluk suyu basıncı,

σ_v = t_2 ile t_1 arasındaki ortalama uygulanan toplam gerilmedir.

Eğer deney sırasında herhangi bir anda hız değiştirilirse, hızın değiştirildiği ana yakın zaman aralıklarında hesaplanan konsolidasyon katsayısı doğru olmayabilir. Bu çalışma esnasında uygulanan deformasyon hızları deney süresince sabittir.

Hacimsal sıkışma katsayısı için standartlarda herhangi bir bilgi yer almamasına rağmen, 1971 yılında, Wisse tarafından öne sürülen formül kullanılarak hacimsal sıkışma katsayısı hesaplanmıştır. Kullanılan formül;

$$m_v = \frac{\frac{r}{100} \times \Delta t}{\log_e \left(\frac{\sigma_{v2}}{\sigma_{v1}} \right) \times \sigma'} \quad (\text{m}^2/\text{kN}) \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada,

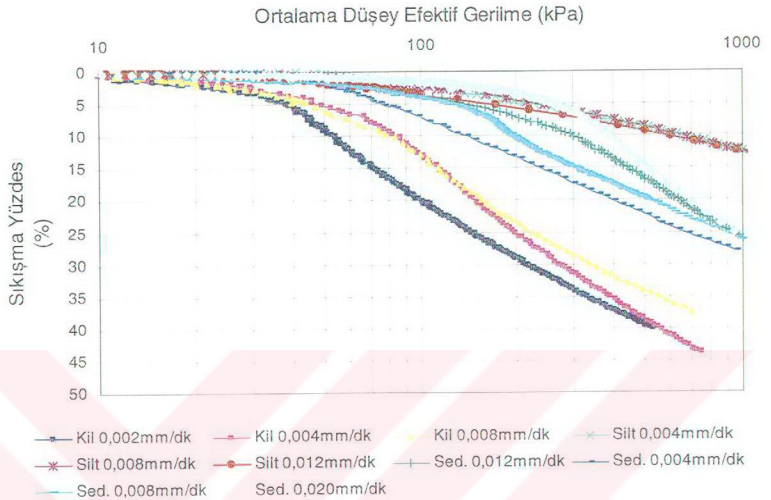
r = deformasyon yüzdesi,

σ' = ortalama efektif gerilmedir.

Kil ve silt numuneler için, yapılan sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri için ortalama düşey efektif gerilme - sıkışma ilişkisi Şekil 4.17' de sunulmuştur.

Kil ve silt numuneler için deformasyon ilişkisi incelendiğinde, kil numuneleri silt numunelere oranla daha çok oturma yaptıkları gözlemlenmiştir. Kil numune üzerinde yapılan, farklı deformasyon hızlarındaki deneyler için, aynı gerilme değerlerinde düşük hızlarda daha çok oturmanın oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu iki durumun nedeni ise; düşük hızlarda boşluk suyu basıncının üst drenaj yolu ile sönmülmesi ve silt

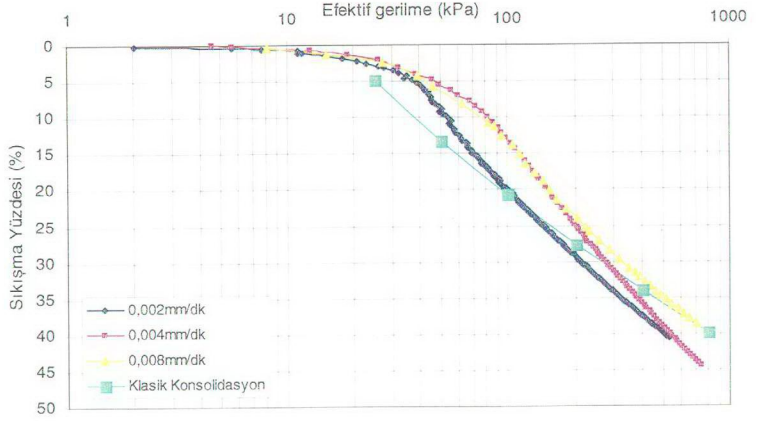
numunelerin de kil numunelere göre daha çabuk drene olmasından dolayı boşluk suyu basıncının sönümlemesidir.



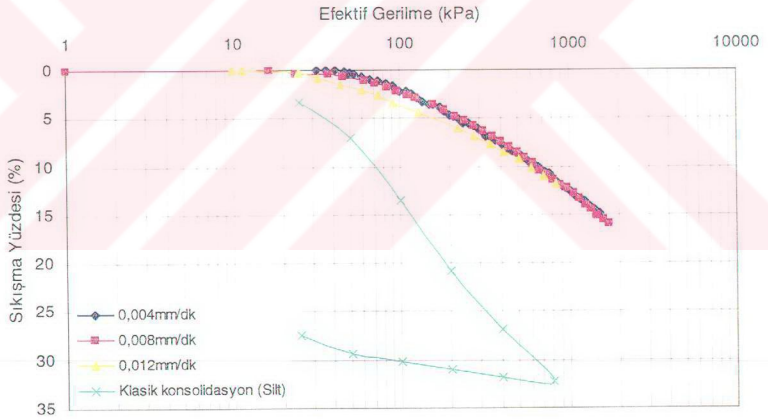
Şekil 4.17. Sabit Deformasyon Hızlı Konsolidasyon İçin Ortalama Düşey Efektif Gerilme- Sıkışma İlişkisi

Kil ve silt numunelerin klasik ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinden elde edilen oturma yüzdelерinin efektif gerilme ile ilişkisi Şekil 4.18 ve Şekil 4.19' da sunulmuştur.

Kil ve silt numuneler için ayrı ayrı efektif gerilme-sıkışma ilişkisi incelendiğinde; Kil numuneler için yapılan klasik konsolidasyon ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyinde yakın oturmalar elde edilmiş, silt numuneler için ise, klasik konsolidasyon deneylerinde daha çok oturma gözlemlenmiştir.

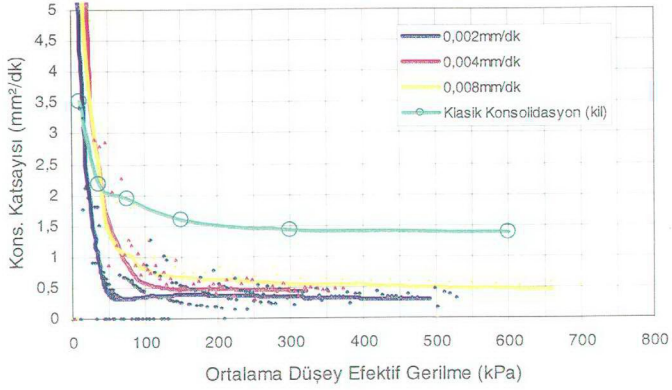


Şekil 4.18. Kil Numune İçin Efektif Gerilme- Sıkışma İlişkisi



Şekil 4.19. Silt Numune İçin Efektif Gerilme- Sıkışma İlişkisi

Konsolidasyon katsayısı, sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyi ve klasik konsolidasyon deneyi için hesaplanmıştır. Kil numune için konsolidasyon katsayısının efektif gerilme ile değişimi Şekil 4.20' de gösterilmiştir.

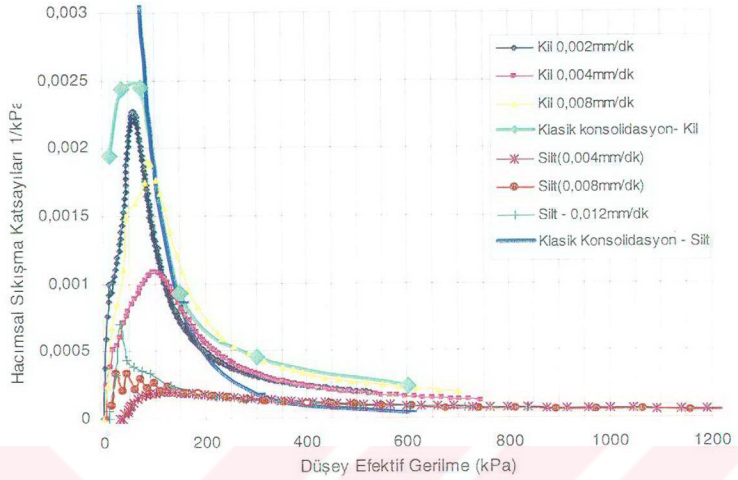


Şekil 4.20. Kil Numune İçin Konsolidasyon Katsayısının Efektif Gerilme ile Değişimi

Kil numune için, konsolidasyon katsayısı sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinde, klasik konsolidasyon deneylerine oranla daha küçük bir değer bulunmuştur. Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinde, deformasyon hızının artması ile konsolidasyon katsayısının arttığı görülmektedir.

Silt numune için sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri ile klasik konsolidasyon deneylerinden bulunan konsolidasyon katsayıları arasında büyük farklılıklar vardır. Bunun nedeni ise seçilen deformasyon hızlarının çok düşük değerlerde olmasıdır. Uygulanandan daha büyük deformasyon hızlarında yapılacak deneylerde, klasik konsolidasyon deneylerinden elde edilen konsolidasyon katsayısı değerlerine yaklaşılabileceği düşünülmektedir.

Silt ve kil numuneler için hacımsal sıkışma katsayısının efektif gerilme ile değişimi Şekil 4.21' de gösterilmiştir.

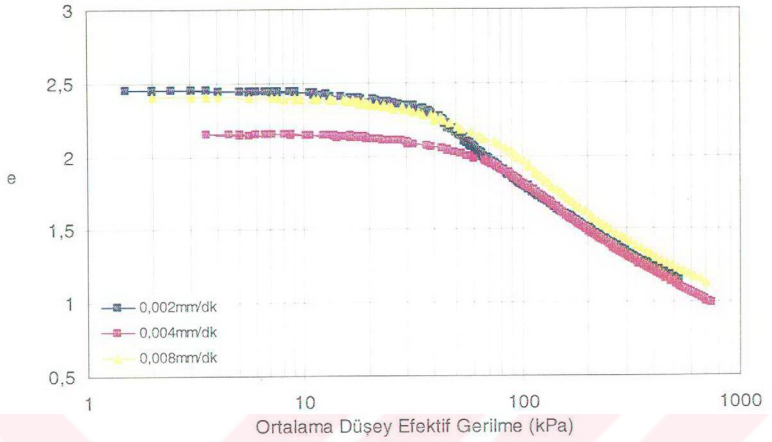


Şekil 4.21. Hacımsal Sıkışma Katsayısı ile Efektif Gerilme İlişkisi

Klasik konsolidasyon ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinden elde edilen hacımsal sıkışma katsayısının uyum içinde olduğu silt numunenin hacımsal sıkışma katsayısının kil numuneye oranla daha az olduğu anlaşılmaktadır.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen boşluk oranı – efektif gerilme eğrileri ($e-\sigma'$) kil numune için Şekil 4.22’de görülmektedir.

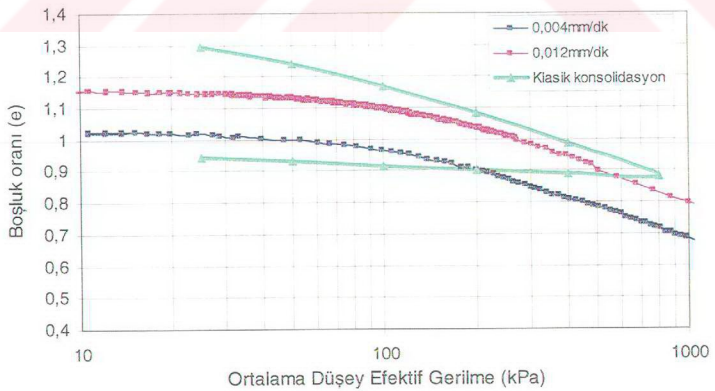
Kısıtlı olan malzemeden tekrar tekra numune hazırlandığından başlangıç boşluk oranlarında farklılıklar oluşmuştur. Başlangıç boşluk oranındaki farklılıklardan kaynaklanan kaymalar söz konusudur. Numune hazırlamanın etkisinden dolayı meydana gelen başlangıç boşluk oranı farkları dışında eğrilerin gidiş şekilleri oldukça benzerdir. Eğimler (C_c) yaklaşık olarak paralellik göstermektedir.



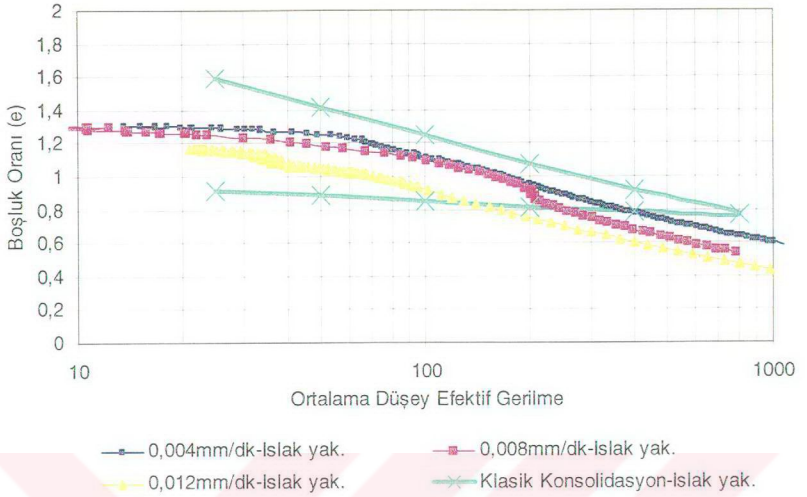
Şekil 4.22. Kil Numuneler İçin Elde Edilen Boşluk Oranı Efektif Gerilme İlişkisi

Organik madde miktarını yok etmek için kuru yakma ıslak yakma yöntemleri uygulanmış ve elde edilen malzemenin konsolidasyon özellikleri klasik konsolidasyon ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri ile incelenmiştir.

Kuru yakma ve ıslak yakma işlemine tabi tutulmuş numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucu boşluk oranı-efektif gerilme grafikleri çizilmiştir. Çizilen grafikler Şekil 4.23'de ve Şekil 4.24'de sunulmuştur.



Şekil 4.23. Kuru Yakılmış Numunenin Boşluk Oranı Efektif Gerilme İlişkisi



Şekil 4.24. Islak Yakılmış Numuneler İçin Boşluk Oranının Efektif Gerilme ile Değişimi

Grafikler incelendiğinde klasik konsolidasyon ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinde numunelerin başlangıç boşluk oranlarının farklılık gösterdiği fakat, sıkışma indislerinin yaklaşık olarak aynı olduğu gözlemlenmiştir.

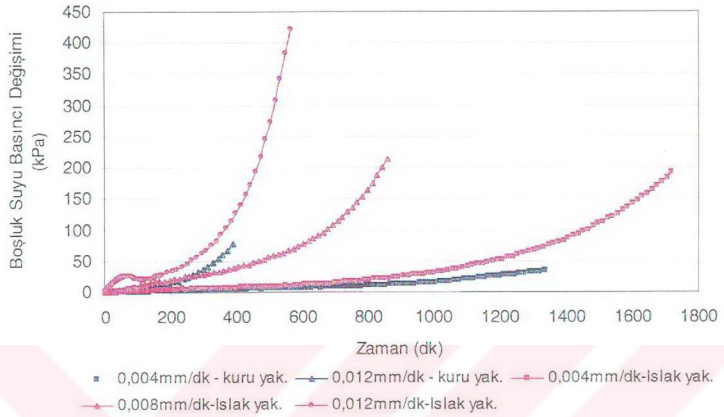
Islak ve kuru yakma işlemine tabi tutulmuş numunelerin boşluk suyu basıncı değişimi Şekil 4.25' de ve Şekil 4.26' da sunulmuştur.

Kuru yakma işleminden geçen numune için boşluk suyu basıncının, hızın artması ile artma eğilimi gösterdiği fakat uygulanan 0,004mm/dk ve 0,012mm/dk hızları için boşluk suyu basıncının çok az değiştiği gözlenmiştir.

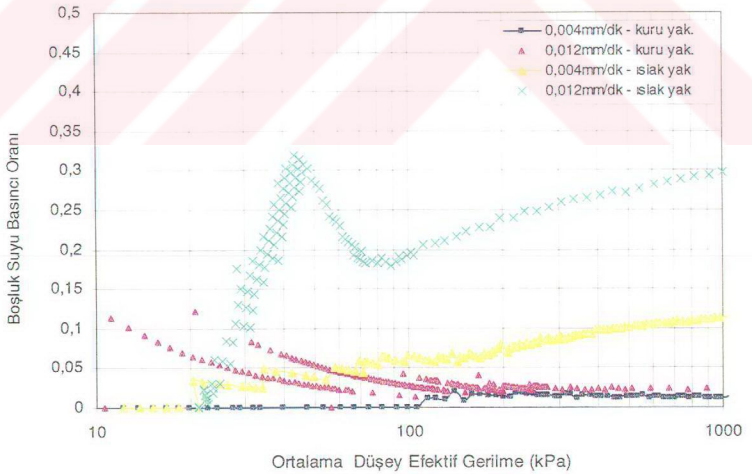
Islak yakma işleminden geçen numuneler incelendiğinde boşluk suyu basıncı değerinin hız artması ile arttığı gözlenmiş, uygulanan 0,012mm/dk hızında ise boşluk suyu basıncı oranının 0,3 olduğu belirlenmiştir.

Her iki tip numune (kuru yakılmış ve ıslak yakılmış) uygulanan en yüksek hız olan 0,012mm/dk için karşılaştırıldığında, ıslak yakma işleminden geçen numunenin boşluk suyu basıncı değerinin (Δu) daha fazla artış gösterdiği gözlenmiştir. Bu farklılığın nedeninin, kuru yakma işleminde geçen numunenin yapısının değişmesi ve bu değişim ile bünyesinde suyu tutamaması ve çabuk drene olması, olduğu

düşünülmektedir. Nitekim Tablo 4.2'den görüleceği üzere kuru yakma işlemine tabi tutulan numunenin plastisite indisi azalmıştır.



Şekil 4.25. Kuru ve Islak Yakılmış Numuneler İçin
Boşluk Suyu Basıncının Zaman ile Değişimi

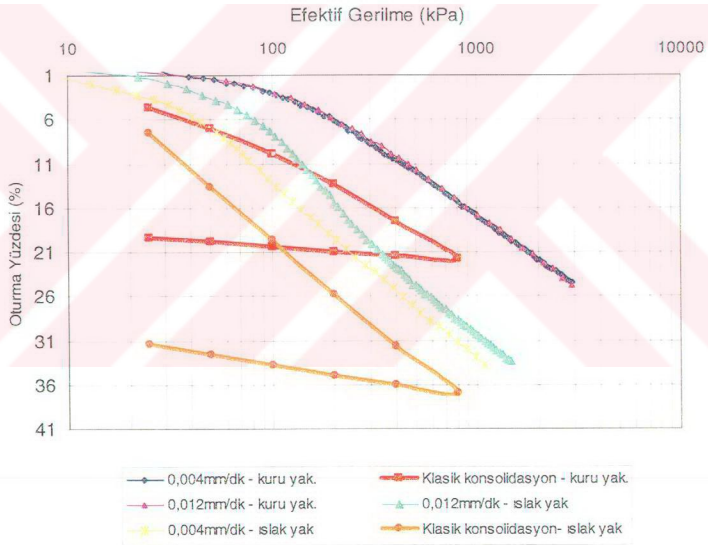


Şekil 4.26. Kuru ve Islak Yakılmış Numuneler İçin
Boşluk Suyu Basıncı Oranının Ortalama Düşey Efektif Gerilme ile Değişimi

Islak ve kuru yakma işleminden geçmiş her iki numunenin oturma yüzdesinin efektif gerilme ile değişimi ($\epsilon_v - \sigma_v'$) Şekil 4.27' de sunulmuştur. Klasik konsolidasyon ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri sonucunda, Islak yakma işleminden geçmiş numunelerin kuru yakma işleminden geçmiş numunelere kıyasla, daha fazla oturma yaptığı belirlenmiştir.

Silt numuneler için sabit deformasyonlu konsolidasyon deneyinde, uygulanan hızın artması ile oturmaların azaldığı gözlenmiştir.

Kuru yakma işleminden geçmiş numuneler için sabit deformasyonlu konsolidasyon deneyinde, uygulanan 0,004mm/dk ve 0,012mm/dk hızları, aynı sıkışma miktarı elde edilmiştir. uygulanacak daha yüksek bir deformasyon hızında elde edilecek sıkışma miktarının daha az olacağı düşünülmektedir.



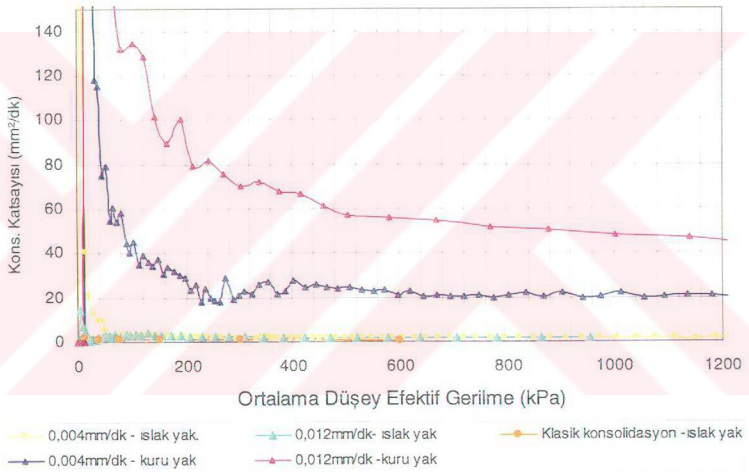
Şekil 4.27. Kuru ve Islak Yakılmış Numuneler İçin Efektif Gerilme-Sıkışma İlişkisi

Islak ve kuru yakma işleminden geçen her iki numune tipi için klasik ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri sonucunda, konsolidasyon katsayıları (c_v) ve hacimsel sıkışma katsayıları (m_v) elde edilmiştir. Elde edilen değerler Şekil 4.28' de ve 4.29' da sunulmuştur.

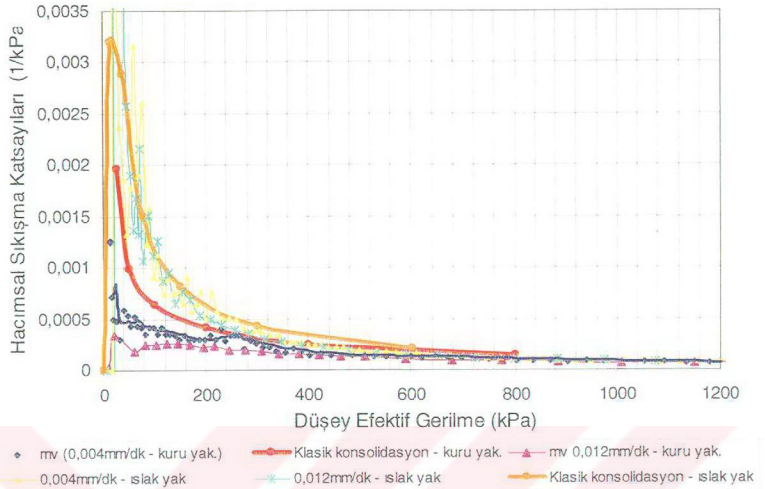
Islak numune için sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyinden elde edilen konsolidasyon katsayısı klasik konsolidasyon deneyinden elde edilen değer ile örtüşmektedir.

Kuru yakılmış numune için yapılan klasik ve sabit deformasyon hızlı deneyler için konsolidasyon katsayısı tam olarak elde edilememiştir.

Islak yakılmış numuneler için yapılan klasik ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri sonucunda aynı hacimsel sıkışma katsayıları bulunmuştur. Kuru yakılmış numuneler için yapılan iki farklı deney yönteminde de yakın değerler bulunmuştur. Islak ve kuru yakılmış numuneler m_v katsayıları açısından karşılaştırıldığında, ıslak yakılmış numuneler için daha büyük değerler elde edilmiştir.



Şekil 4.28. Kuru ve Islak Yakılmış Numuneler İçin Hacimsel Sıkışma Katsayısının Efektif Gerilme ile Değişimi



Şekil 4.29. Kuru ve Islak Yakılmış Numuneler İçin Konsolidasyon Katsayısının Efektif Gerilme ile Değişimi

Rowe hücresinde hazırlanmış numuneler üzerinde de klasik ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde deformasyon hızı arttıkça, aynı gerilme değerleri için, oturma yüzdesinin azaldığı, boşluk suyu basıncının ise arttığı gözlemlenmiştir. Klasik konsolidasyon ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinden bulunan hacimsal sıkışma katsayıları yakın değerlerdedir. Aynı durum konsolidasyon katsayısı değerleri içinde geçerlidir. Konsolidasyon, sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinde oluşan sıkışma, klasik konsolidasyon deneylerinde oluşan sıkışma değerinden daha azdır.

5. SONUÇLAR

Bu araştırmada, Samsun-Çarşamba Havaalanı sahasında yapılan sondajlar ve araştırma çukurlarından elde edilen mavi renkli, yumuşak kıvamlı kil zemin incelenmiştir. Örselenmemiş numunelerin yanı sıra, örselenmiş ve örselendikten sonra çeşitli kimyasal ve fiziksel işlemlere tabii tutulmuş numuneler ile çalışılmıştır.

Bir grup deneyde ASTM D2974-87 metod C' ye göre yakma kaybı %8,25 olarak belirlenmiş olan numunelerin organik içeriği, ıslak ve kuru yakma işlemlerine göre uzaklaştırılmış numuneler ile çalışılmıştır.

Bir diğer grup deneyde ise, dane boyutuna göre farklılık gösteren numuneler üzerinde çalışılmıştır. Kalıplardan çıkarılan numuneler, organik içeriğinden arındırıldığında, Samsun-Çarşamba kilinin % 50 silt ve % 50 kilden oluştuğu gözlemlenmiştir. Stokes yasasına göre çökelme metodundan faydalanarak, kil ve silt dane boyutundaki malzemeler birbirinden ayrılmaya çalışılmıştır. Çalışılan numuneler sıralanacak olursa; örselenmemiş, rowe hücresinde hazırlanmış, kuru yakma işlemine tabi tutulmuş, ıslak yakma işlemine tabi tutulmuş numuneler ile dane boyutu kil ve siltten oluşan numuneler üzerinde çalışılmıştır.

Bütün numune çeşitleri için klasik konsolidasyon ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda;

1. Dane boyutunun farklılık gösterdiği kil ve silt dane boyutundaki numunelerin konsolidasyon özellikleri incelenmiştir. Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri ile uygulanan hız arttıkça kil ve silt numunelerde, boşluk suyu basıncı artma eğilimi göstermektedir. Fakat, silt numunelerde boşluk suyu basıncının değişimi kil numunelere kıyasla çok küçük bir değerdedir. Bunun nedeni ise, silt numunelerin dane boyutunun, kil numunelere kıyasla daha büyük olması ve dolayısıyla drenajın çok daha hızlı gerçekleşmesidir.
2. Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri ve klasik konsolidasyon deneylerinde, silt numuneler, kil numunelere kıyasla daha az sıkışma davranışı göstermiştir.
3. Kil numuneler için yapılan, klasik ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinde yakın sıkışmalar gözlemlenmiştir

4. Silt numuneler için yapılan, sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinde elde edilen sıkışma miktarı, klasik konsolidasyon deneyleri ile elde edilen değerden daha azdır.
5. Kil numune için konsolidasyon katsayısı sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinde, klasik konsolidasyon deneylerine oranla daha küçük bir değerde bulunmuştur.
6. Klasik konsolidasyon ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinden elde edilen hacımsal sıkışma katsayısının uyum içinde olduğu silt numunenin hacımsal sıkışma katsayısının kil numuneye oranla daha küçük olduğu anlaşılmaktadır.
7. Kil numuneler için sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinde aynı gerilme değerinde, düşük deformasyon hızlarında büyük deformasyon hızlarına göre daha çok sıkışma göstermiştir. Silt numuneler benzer durum için farklı sıkışmalar göstermemiştir.
8. Yakma işlemine tabi tutulmuş numuneler kıyaslandığında, sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinde hızın artması ile ıslak yakma işleminden geçmiş numunelerin boşluk suyu basıncı, kuru yakılmış numuneye oranla daha çok artmaktadır.
9. Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri ve klasik konsolidasyon deneylerinde kuru yakılmış numuneler, ıslak yakılmış numunelere kıyasla daha az sıkışma göstermiştir.
10. Islak ve kuru yakılmış numuneler için klasik konsolidasyon deneylerinde, sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerine oranla daha büyük sıkışma gözlemlenmiştir.
11. Islak yakılmış numune için klasik ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri sonucunda, elde edilen konsolidasyon katsayıları örtüşmektedir.
12. Islak yakılmış numune için yapılan iki farklı konsolidasyon deneylerinde birbirine çok yakın hacımsal sıkışma katsayıları elde edilmiştir.
13. Kuru yakılmış numune için yapılan iki farklı konsolidasyon deneylerinde birbirine çok yakın hacımsal sıkışma katsayıları elde edilmiştir.
14. Rowe hücreinde hazırlanmış numuneler üzerinde de klasik ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde

deformasyon hızı arttıkça, aynı gerilme değerleri için, oturma yüzdesinin azaldığı, boşluk suyu basıncının ise arttığı gözlenmiştir. Klasik konsolidasyon ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinden bulunan hacımsal sıkışma katsayıları yakın değerlerdedir. Aynı durum konsolidasyon katsayısı değerleri içinde geçerlidir. Konsolidasyon, sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneylerinde oluşan sıkışma, klasik konsolidasyon deneylerinde oluşan sıkışma değerinden daha azdır.

KAYNAKLAR

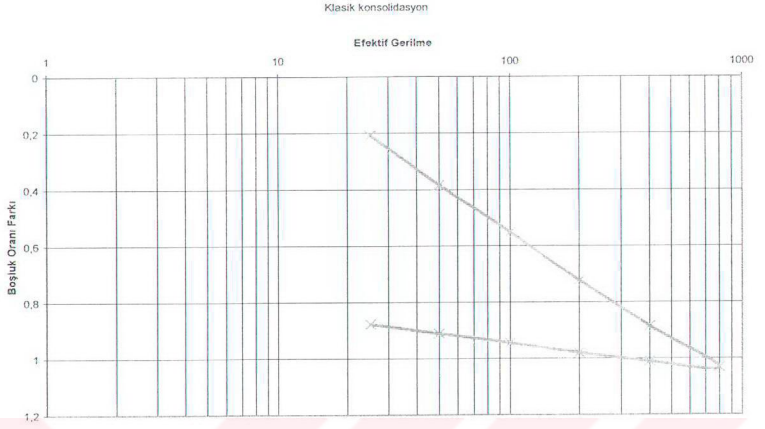
- Aboshi, H., Yoshikumi, H., Maruyama, S., 1970. Constant Loading Rate Consolidation Test, Soils and Foundations, Vol. X, No.1 pp. 43-56.
- Armour, D. W., Jr, Drenevich, V.P., 1986. Improved techniques for the Constant-Rate- of Strain Consolidation Test, Consolidation of Soils: Testing and Evaluation, ASTM STP 892, pp.170-183, Philadelphia.
- ASTM D 4186-89, Standart Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Controlled-Strain Loading.
- ASTM D 2974-87, Moisture, Ash and Organic Matter of Peat and other Organic Soils
- Bjerrum, L., Casagrande, A., Peck, R.B., Skempton, A.W., 1967. From Theory To Practice In soil Mechanics, John Wiley and Sons.
- Brenner, R. P., Brand, E. W., 1981. Soft Clay Engineering, Chapter 7, pp.481-566, Elsevier Scientific Publishing Company, New York, USA.
- Butterfield, R., 1979. A Natural Compression Law for Soils, Geotechnique, vol. 29 pp.60-64
- Byrne, P. M., Aoki, Y., 1969. The Strain Controlled Consolidation Test, Soil Mechanics Series No. 9, The University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Casagrande, A., 1936. The Determination of the Pre-Consolidation Load and It's Practical Significance, Proceedings of the First International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol.3, pp.60-64, Cambridge.
- Casagrande, A., 1938. Notes on soil Mechanics-First Semester, Harward University, Unpublished (Holtz ve Kovacs, 1981), pp.129
- Crawford, C. B., 1964. Interpretation of the Consolidation Test" Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 90, No. SM5, Proc. Paper 4056, pp. 87-102.
- Çevikbilen, G., 1999. Yumuşak Kil Zeminlerin İkincil Konsolidasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hamilton. J.J., Crawford, C. B., 1959. Improved Determination of Preconsolidation Pressure of a Sensitive Clay" Special Technical Publication, No. 254 pp.254-270, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D., 1981. An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice-hall inc, USA.

- Janbu, N., 1970. The Resistance Concept Applied to Deformation of Soils, Geotechnical Division the Norwegian Institute of the technology, Trondeim.
- Janbu, N., Tokheim, O., 1976. A Countinuous Consolidation Test Bulletin 9, The Norwegian Institute of Technology.
- Janbu, N., Tokheim, O., Senneset, K., 1981. Consolidation Tests with Continuous Loading, Bulletin 14, The Norwegian Institute of Technology
- Kaptanoğlu, Ö., 1984. Konsolidasyon Deney Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lee, K., 1981. Consolidation With Constant Rate of Deformation, *Geotechnique* 31, No. 2, 215-229.
- Leonards, G.A., 1962. Foundation Engineering Mc Graw-Hill Book com. Inc.
- Lowe, J.Jonas, E. Ve Obrcian. V., 1969. Controlled Gradient consolidation test, journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol 95, No SM1, pp77-97.
- Mesri, G., 1973. Coefficient of Secondary Compression, Jour. Of Soil Mech. and Found. Div., ASCE, Vol. 99, No. SM1, 123-137
- Sağlam, A., Yılmaz, E., 1998. Samsun-Çarşamba Havaalanı İnşaatında Pist Temel Zemininin Önyüklem Yöntemi ile İyileştirilmesi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 22-23 Ekim, s. 512-521
- Schmertmann, J. H., 1955. The undisturbed Consolidation Behaviour of Clay, Transactions, ASCE, VOL. 120, pp. 1201-1233.
- Smith, R. E., Wahls, H. E., Consolidation Under Constant Rate of Strain, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 91, No.Sm3, pp. 147-152, May, 1965.
- Terzaghi, K., 1943. Theoretical Soil Mechanics, John Wiley and Sons., New York.
- Umehara, Y., Zen. K., 1980. Constant Rate of Strain Consolidation for VerySoft Clayey soils, Soils and foundations, Vol.20, No.2 pp.79-95.
- Wahls, H. E., Degody, N. S., 1965. Discussion of Interpretation of the Consolidation Test, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 91, No. SM3, pp. 147-152.
- Wissa, A. E. Z., Christian, J. T., Davis, E. H., Heiberg, S., 1971. Consolidation Under Constant Rate of Strain, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 97, No.SM10, pp. 1393-1413.
- Özdemir, B., 1979. Sabit Hızlı Konsolidasyon, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

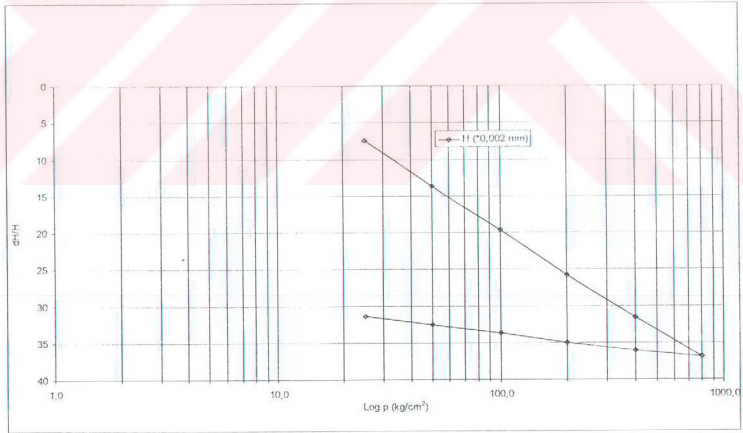
- Yılmaz, E., Sağlamer, A., 2000. Samsun-Çarşamba Yumuşak Mavi Kilinin Kompozisyonu ve İkincil Sıkışabilirliği, *Zemin Mekanikliği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 26-27 Ekim, s.83-92
- Yılmaz, E., 2000. Samsun Çarşamba Mavi Kilinin İkincil ve Üçüncül Sıkışma Davranışı, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EKLER

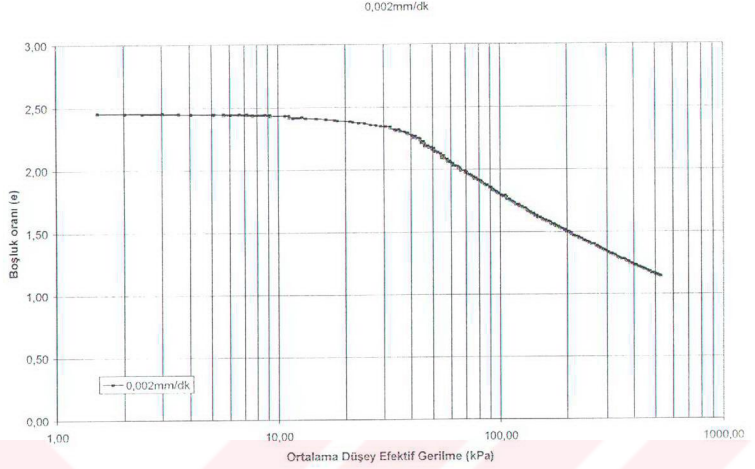
- Şekil A: Kil Numuneler İçin Yapılan Tüm Deneylere Ait Elde Edilen Değerler ve DeneySEL Sonuçlar
- Şekil B: Silt Numuneler İçin Yapılan Tüm Deneylere Ait Elde Edilen Değerler ve DeneySEL Sonuçlar
- Şekil C: Kuru Yanmış Numuneler İçin Yapılan Tüm Deneylere Ait Elde Edilen Değerler ve DeneySEL Sonuçlar
- Şekil D: Islak Yanmış Numuneler İçin Yapılan Tüm Deneylere Ait Elde Edilen Değerler ve DeneySEL Sonuçlar
- Şekil E: Rowe' da Hazırlanmış Numuneler İçin Yapılan Tüm Deneylere Ait Elde Edilen Değerler ve DeneySEL Sonuçlar



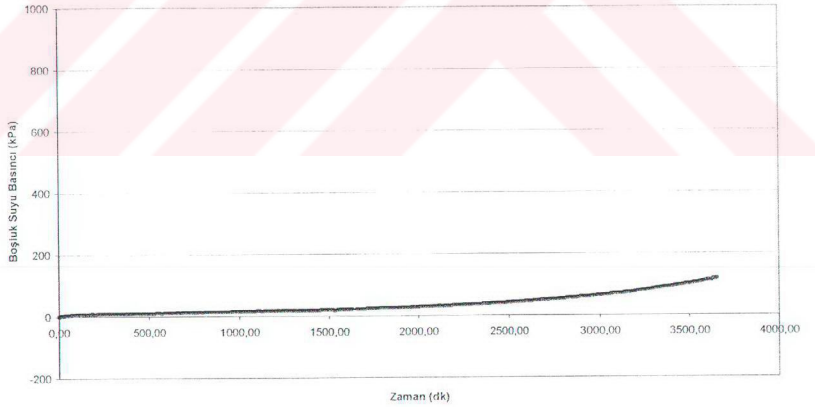
Şekil A.1. Kil Numune İçin Klasik Deneyden Elde Edilen Boşluk Oranı-Etkatif Gerilme İlişkisi



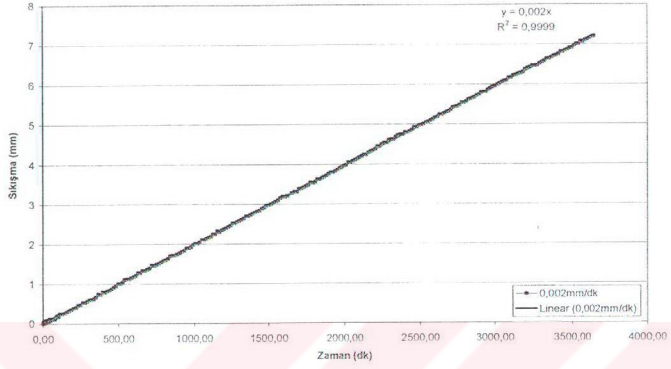
Şekil A.2. Kil Numune İçin Klasik Deneyden Elde Edilen Sıkışma-Etkatif Gerilme İlişkisi



Şekil A.3. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,002mm/dk)



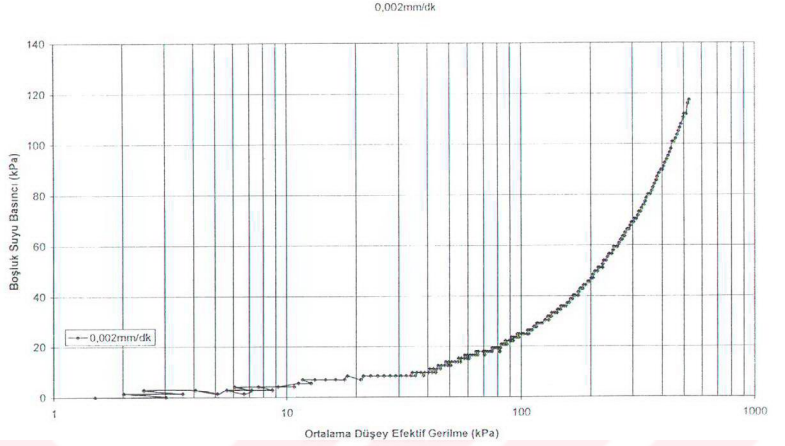
Şekil A.4. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Boşluk Suyu Basıncı – Zaman ile İlişkisi (0,002mm/dk)



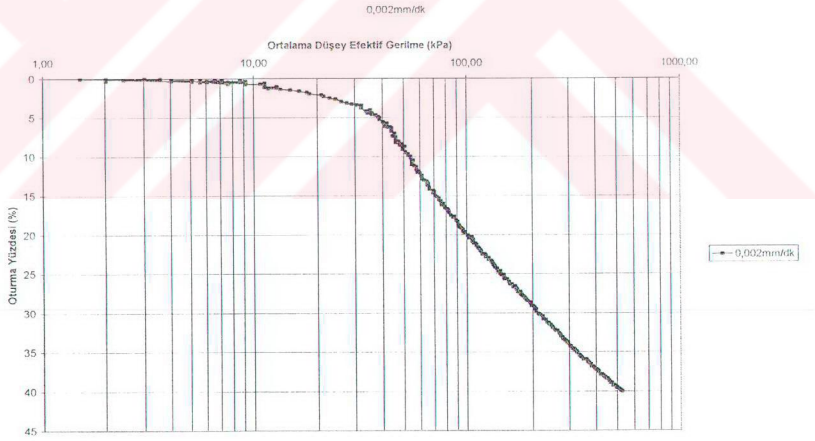
Şekil A.5. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Zaman İlişkisi(0,002mm/dk)



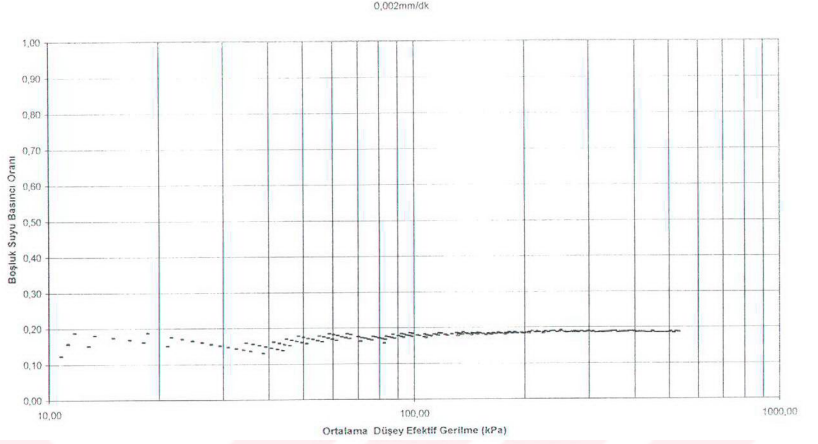
Şekil A.6. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Gerilme-Zaman İlişkisi (0,002mm/dk)



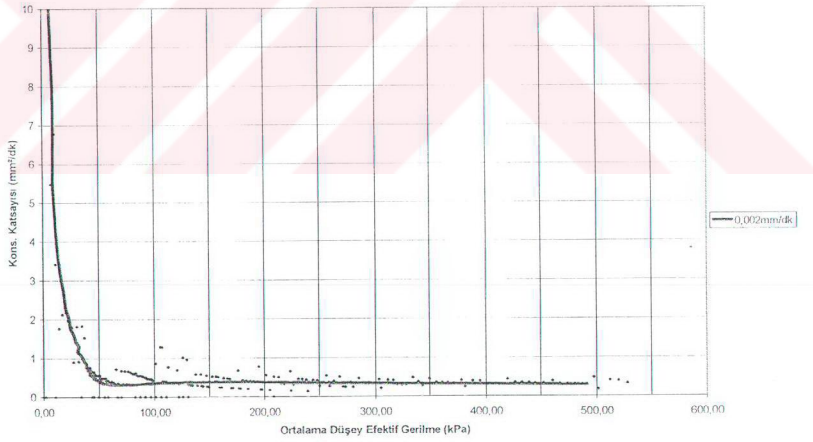
Şekil A.7. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Boşluk Suyu Basıncı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,002mm/dk)



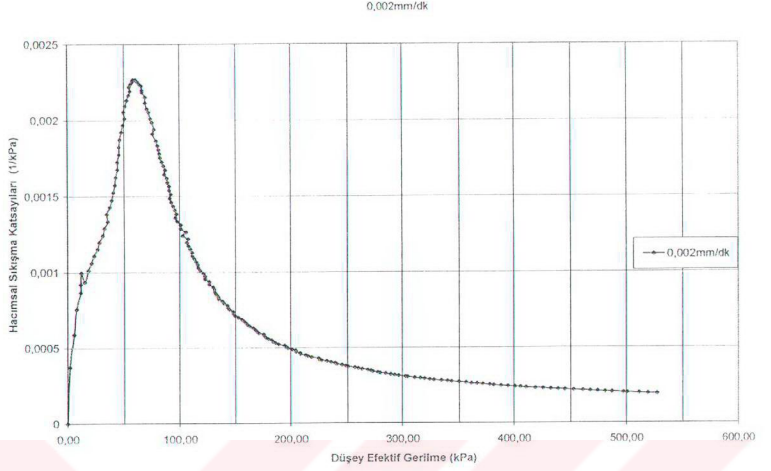
Şekil A.8. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Sıkışma-Efektif Gerilme İlişkisi (0,002mm/dk)



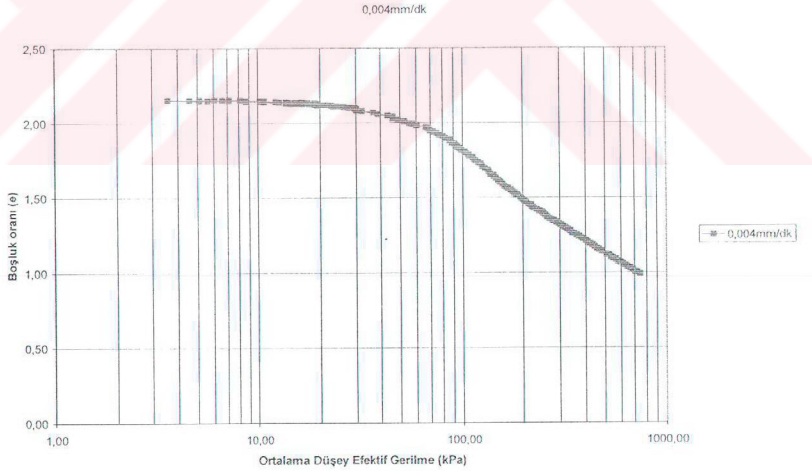
Şekil A.9. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Boşluk Suyu Basıncı Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,002mm/dk)



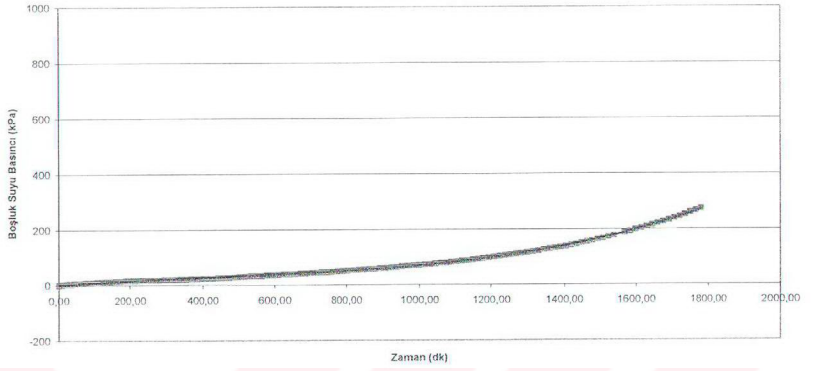
Şekil A.10. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Kons.Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,002mm/dk)



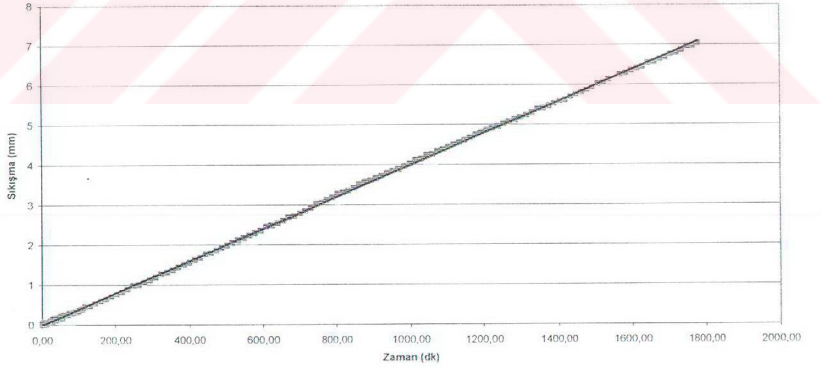
Şekil A.11. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Hacimsel Sıkışma Katsayısı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,002mm/dk)



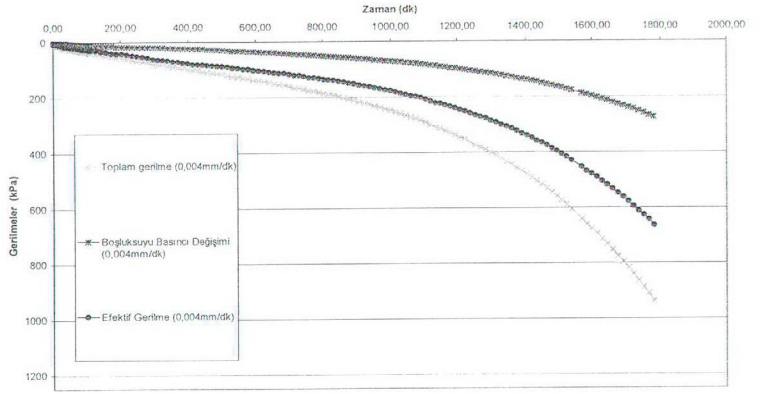
Şekil A.12. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



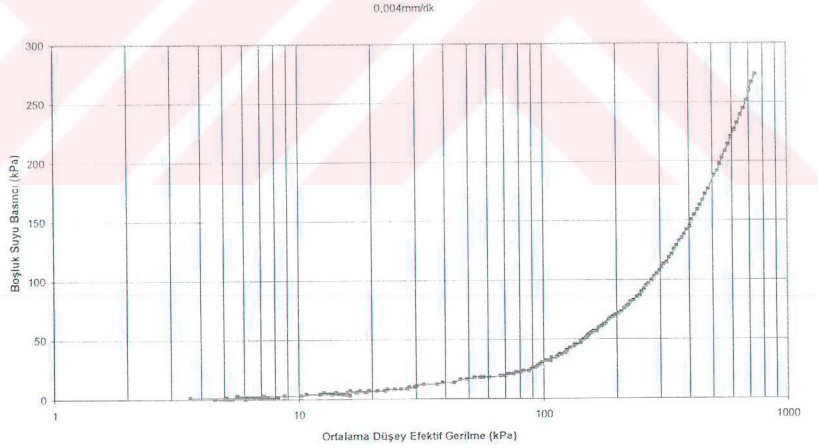
Şekil A.13. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Boşluk Suyu Basıncı –Zaman ile İlişkisi (0,004mm/dk)



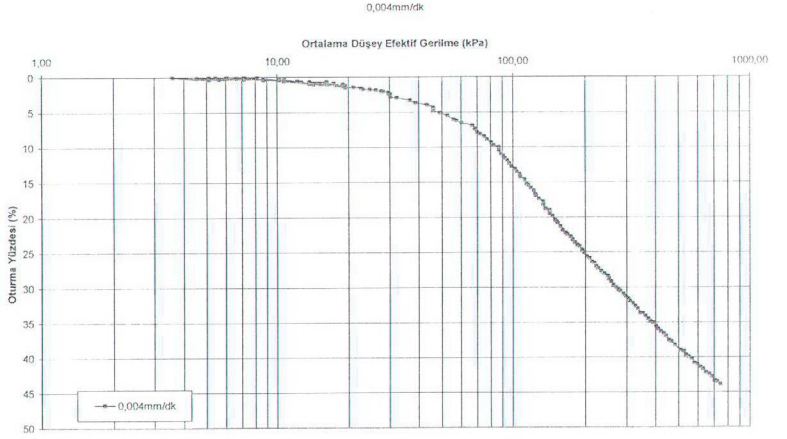
Şekil A.14. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Zaman İlişkisi
(0,004mm/dk)



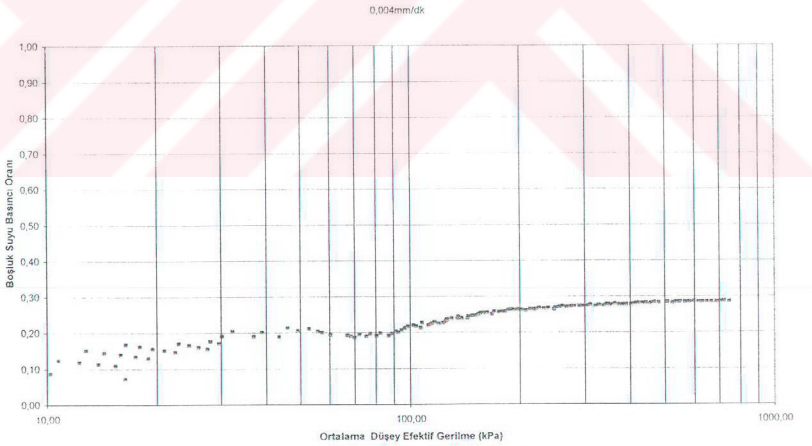
Şekil A.15. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Gerilme-Zaman İlişkisi (0,004mm/dk)



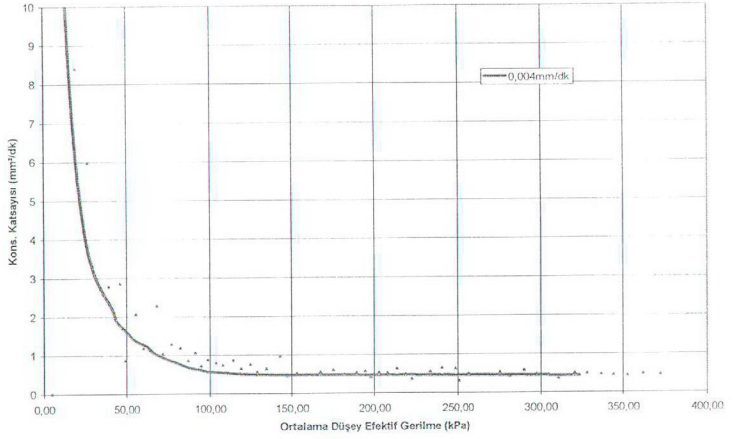
Şekil A.16. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



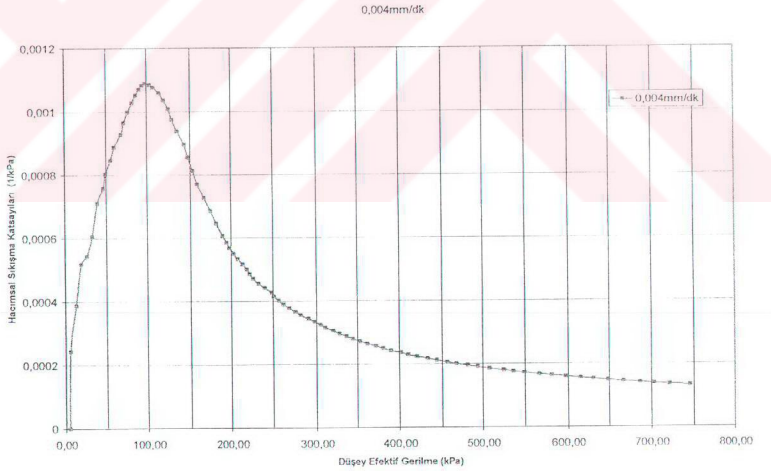
Şekil A.17. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Sıkışma-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



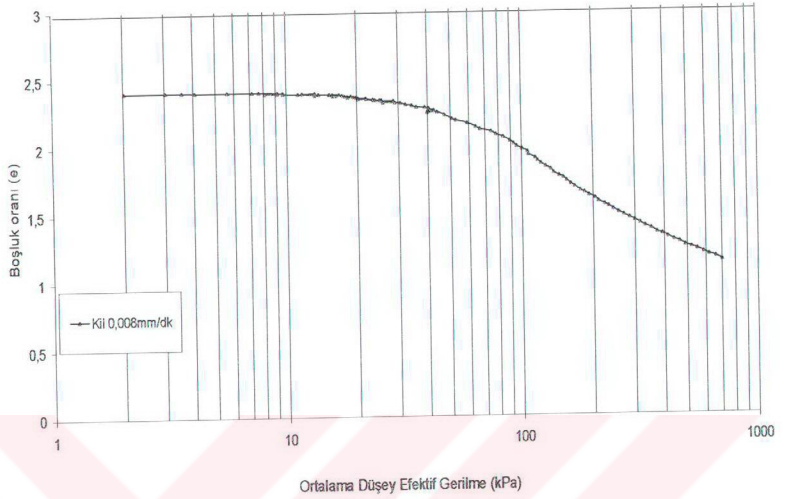
Şekil A.18. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Boşluk Suyu Basıncı Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



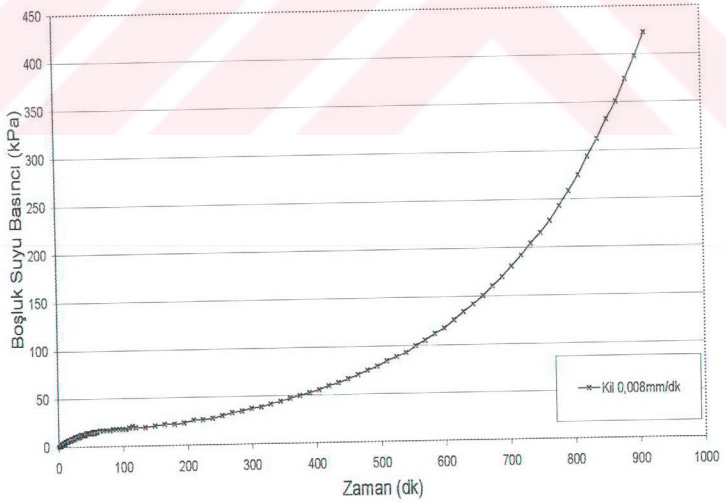
Şekil A.19. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Kons.Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



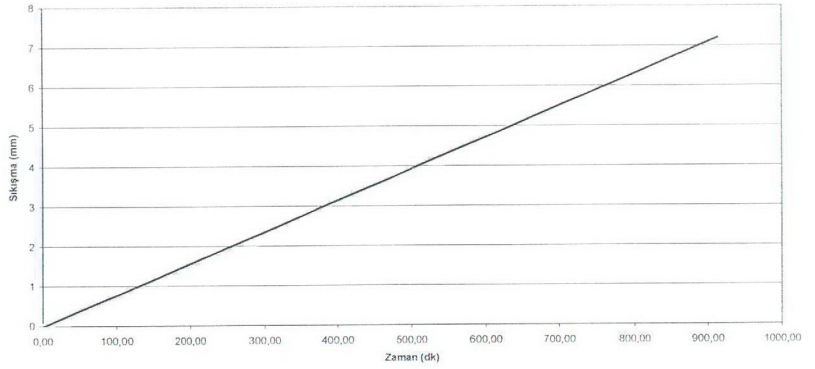
Şekil A.20. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Hacimsal Sıkışma Katsayısı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



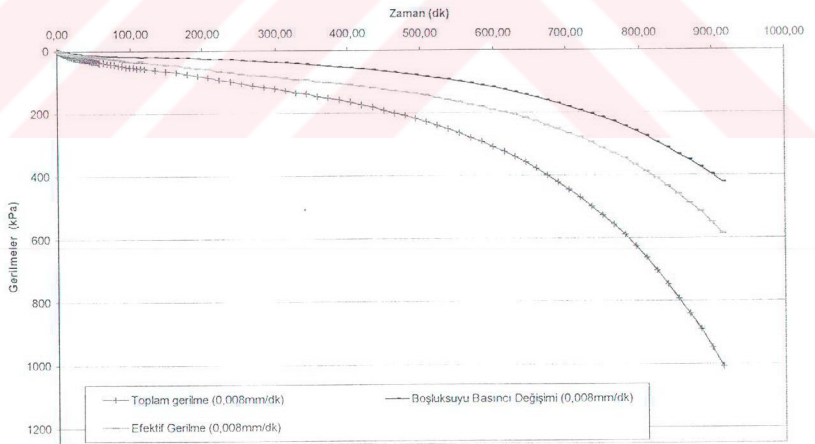
Şekil A.21. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



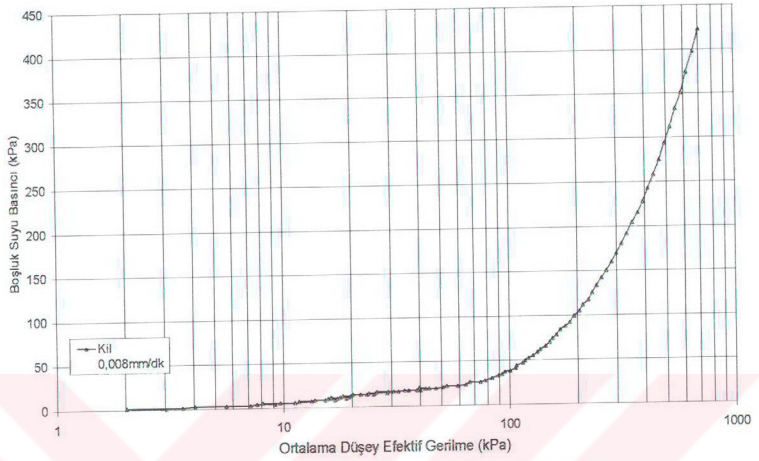
Şekil A.22. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen



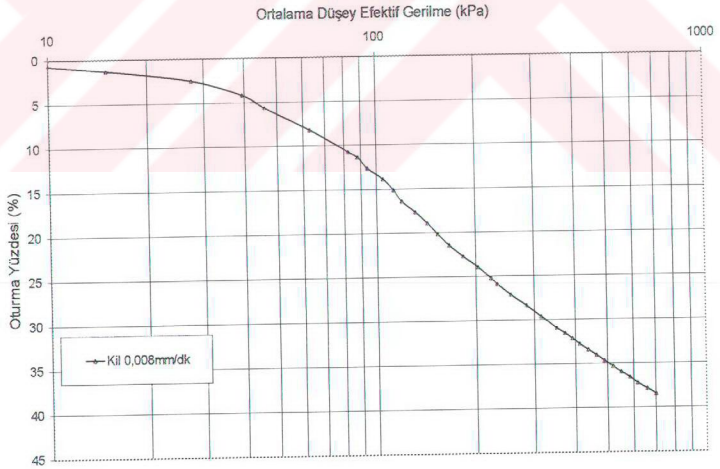
Şekil A.23. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Zaman İlişkisi (0,008mm/dk)



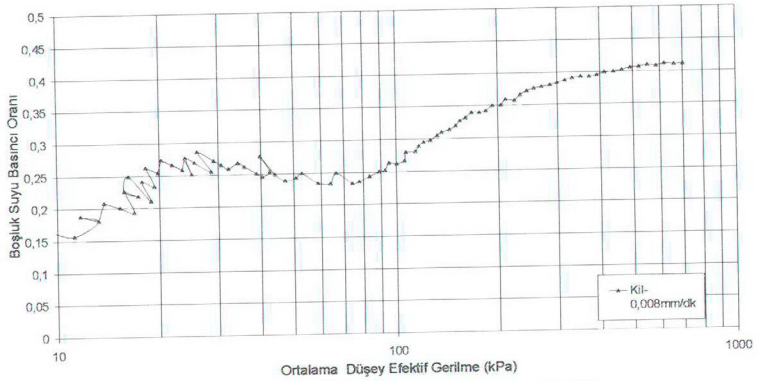
Şekil A.24. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Gerilme-Zaman İlişkisi (0,008mm/dk)



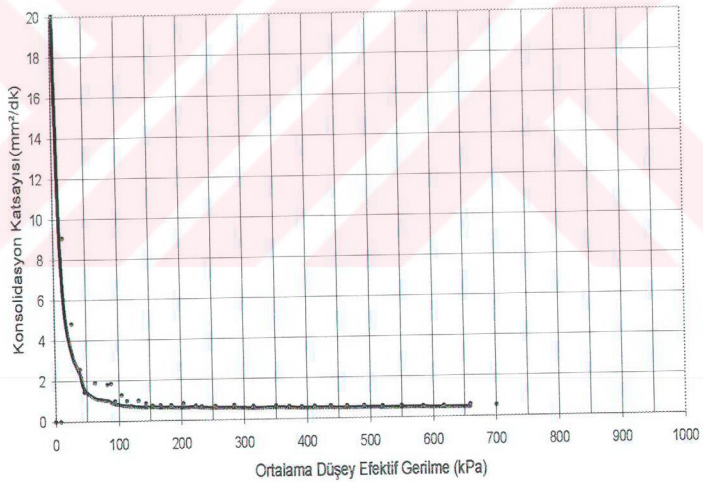
Şekil A.25. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Boşluk Suyu Basıncı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



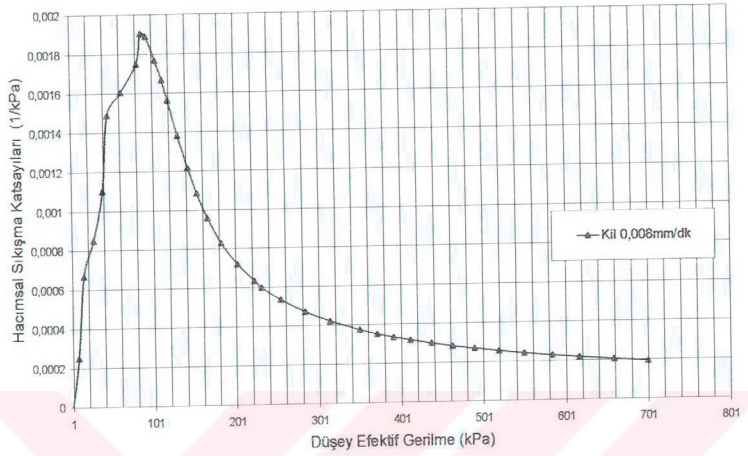
Şekil A.26. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Sıkışma-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



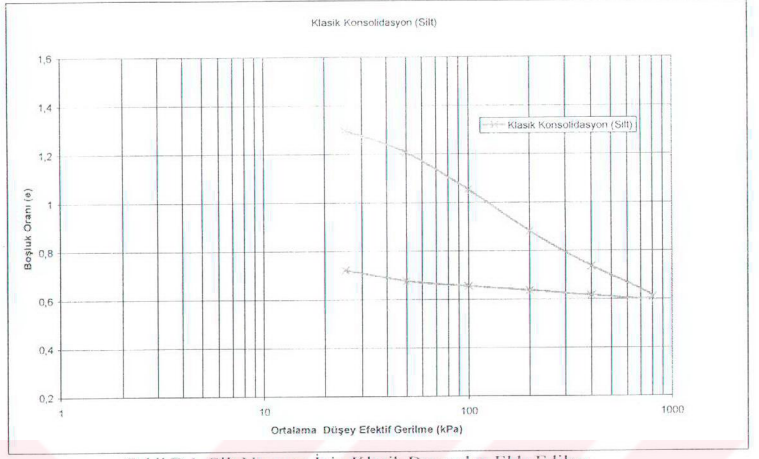
Şekil A.27. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Boşluk Suyu Basıncı Oran-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



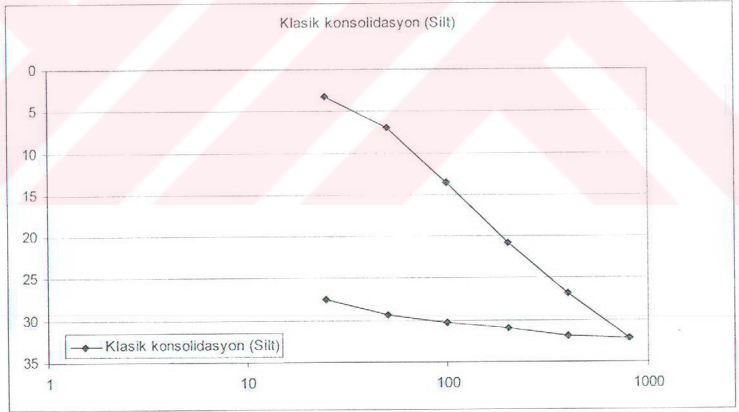
Şekil A.28. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Kons.Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



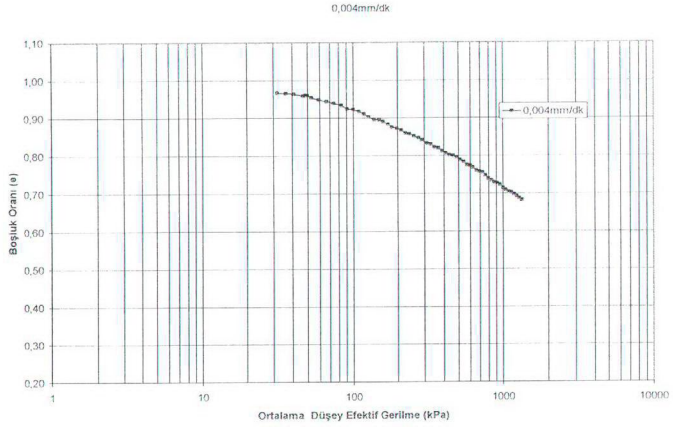
Şekil A.29. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Hacimsal Sıkışma Katsayısı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



Şekil B.1. Silt Numune İçin Klasik Deneyden Elde Edilen Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi



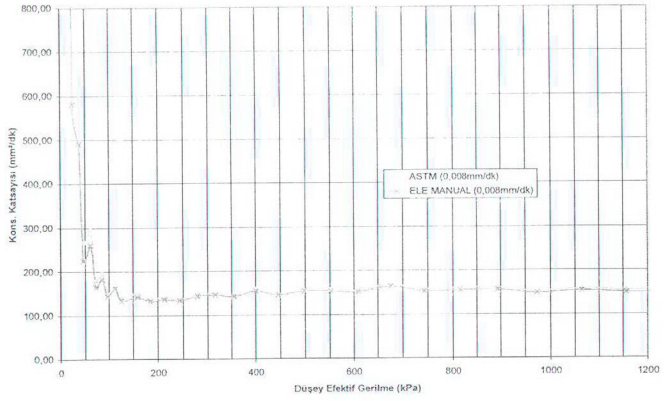
Şekil B.2. Silt Numune İçin Klasik Deneyden Elde Edilen Sıkışma-Efektif Gerilme İlişkisi



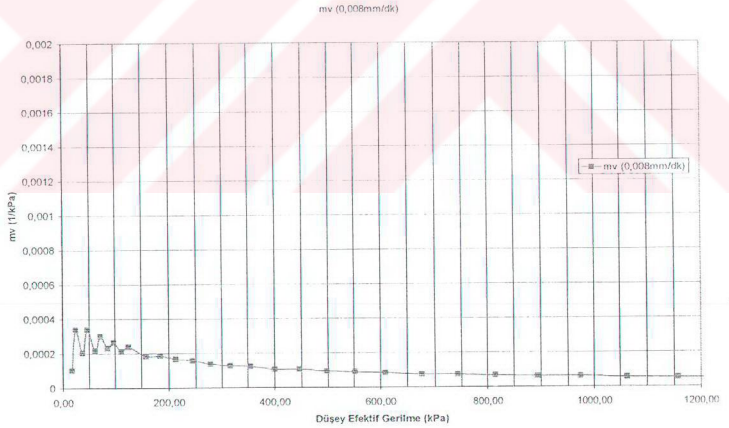
Şekil B.3. Silt Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



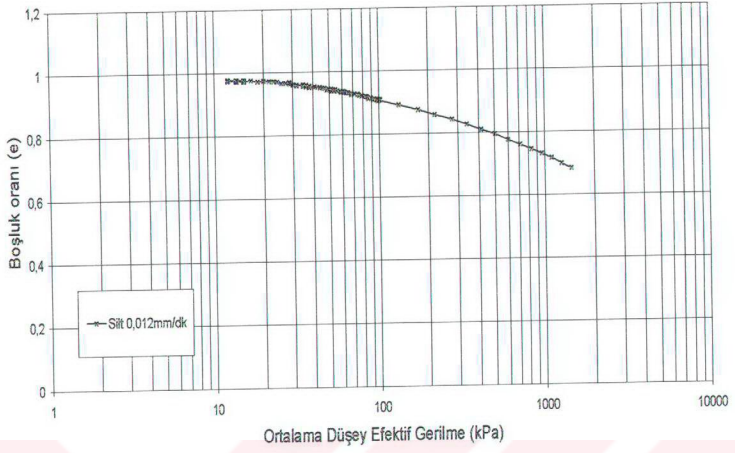
Şekil B.4. Silt Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Oranı - Zaman İlişkisi (0,004mm/dk)



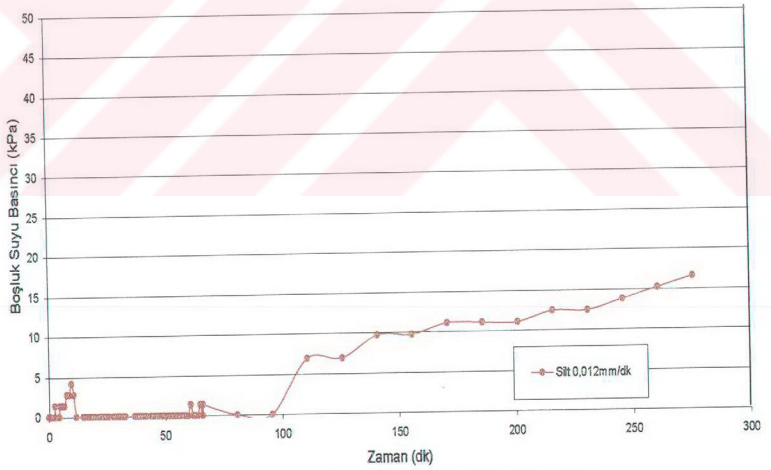
Şekil B.19. Silt Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Kons.Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



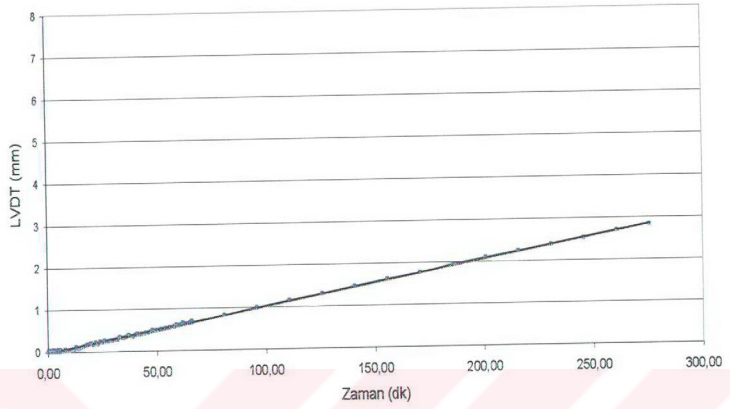
Şekil B.20. Silt Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Hacimsal Sıkışma Katsayısı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



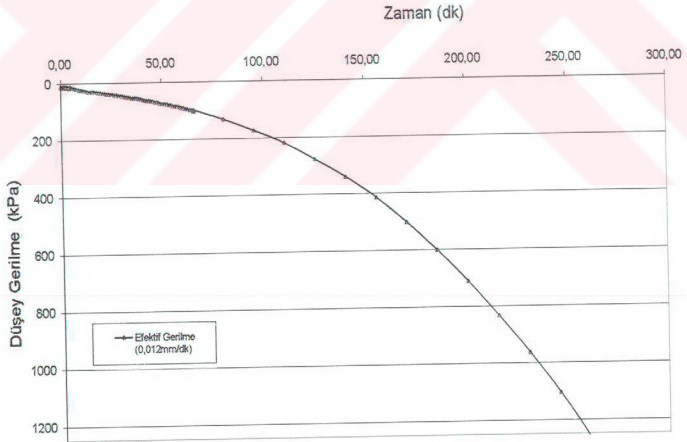
Şekil B.21. Silt Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



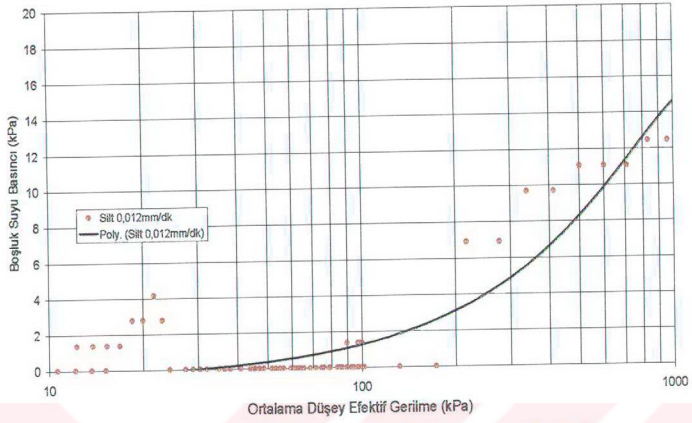
Şekil B.22. Silt Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Boşluk Suyu Basıncı -Zaman ile İlişkisi (0,012mm/dk)



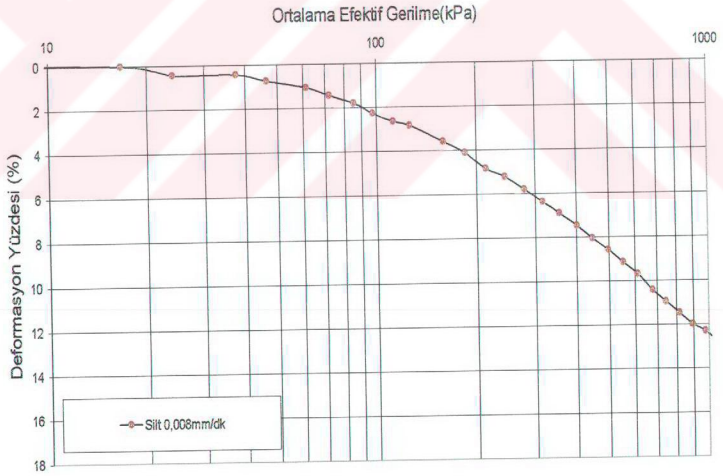
Şekil B.23. Silt Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Zaman İlişkisi (0,012mm/dk)



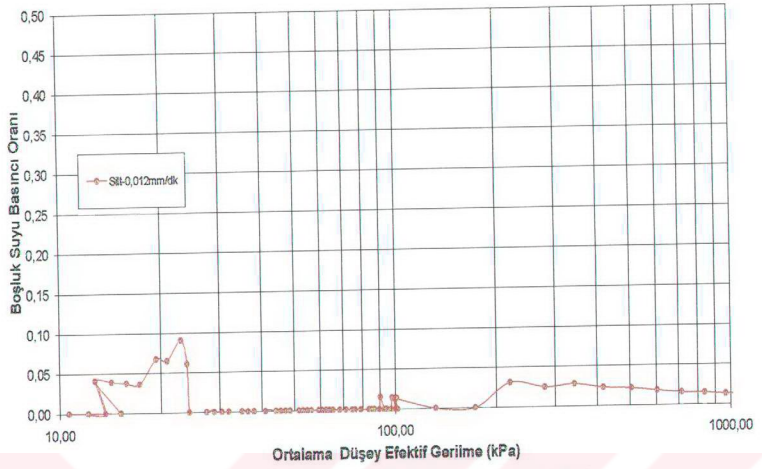
Şekil B.24. Silt Numune İçin SDHK Deneyinden Gerilme-Zaman İlişkisi (0,012mm/dk)



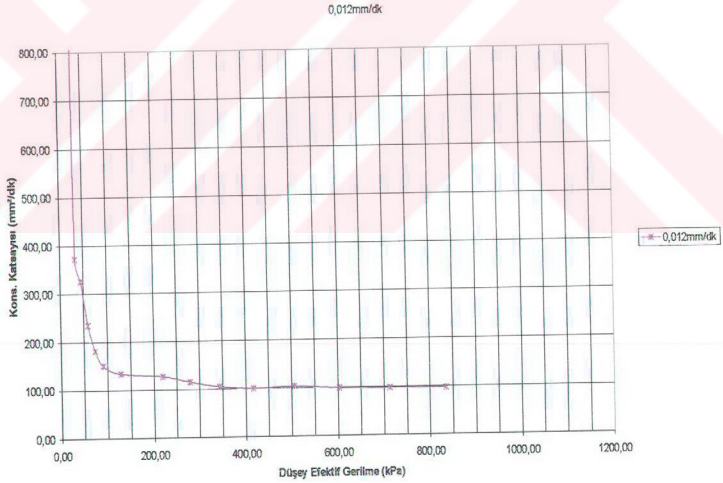
Şekil B.25. Silt Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



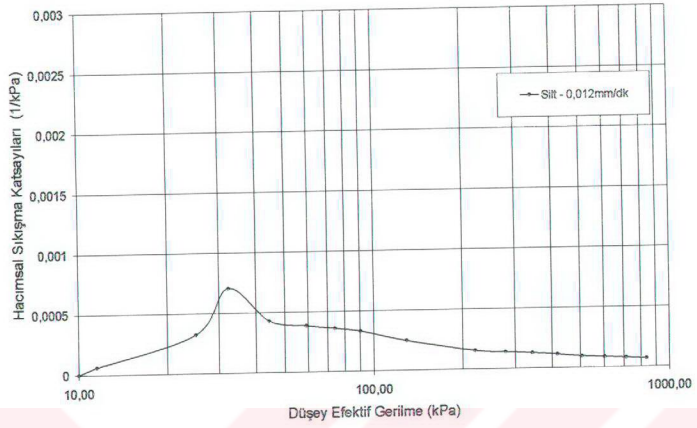
Şekil B.26. Silt Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



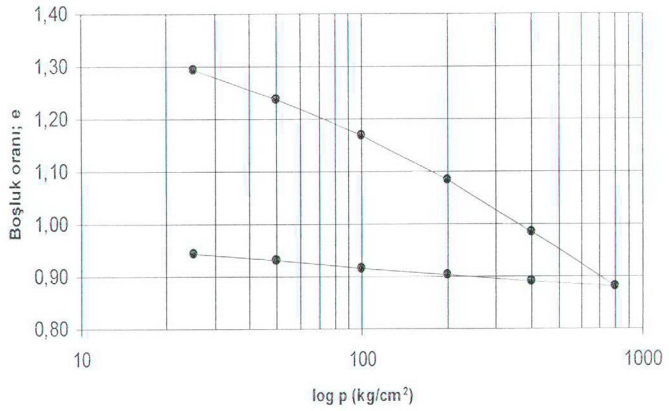
Şekil B.27. Silt Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



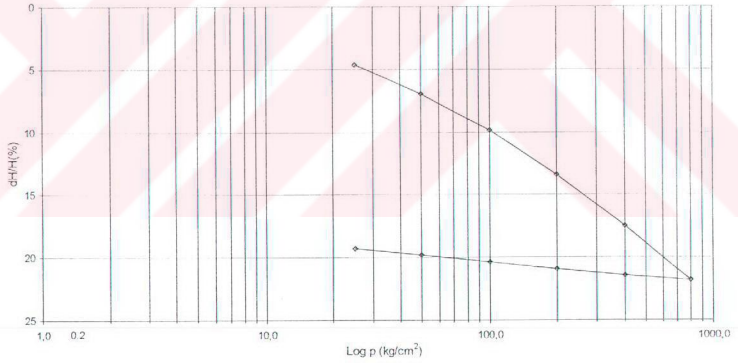
Şekil B.28. Silt Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Kons.Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



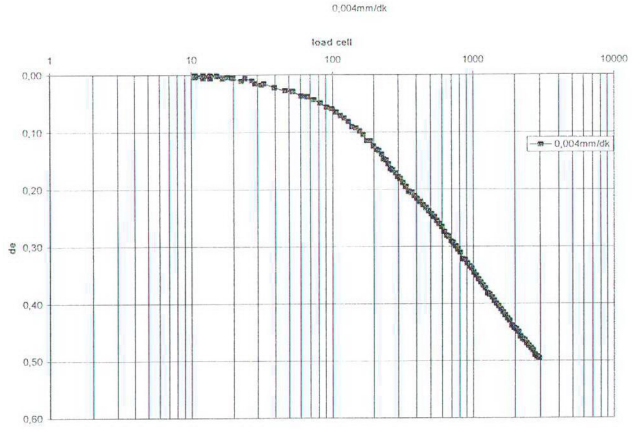
Şekil B.29. Silt Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Hacimsel Sıkışma Katsayısı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



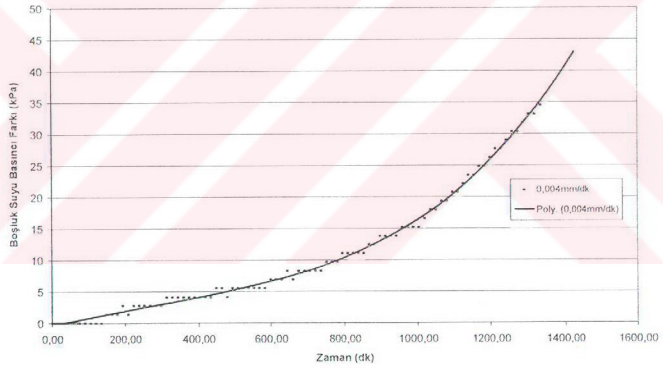
Şekil C.1. Kuru Yakılmış Numune İçin Klasik Deneyden Elde Edilen Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi



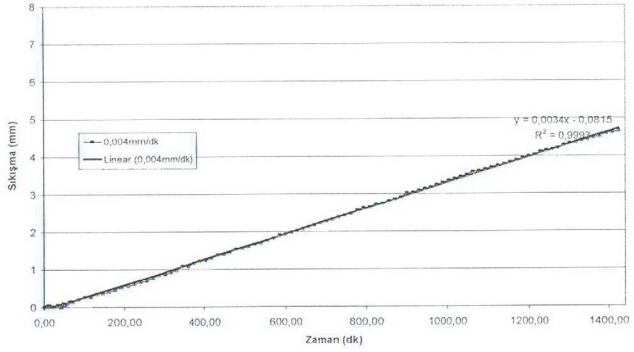
Şekil C.2. Kuru Yakılmış Numune İçin Klasik Deneyden Elde Edilen Sıkışma-Efektif Gerilme İlişkisi



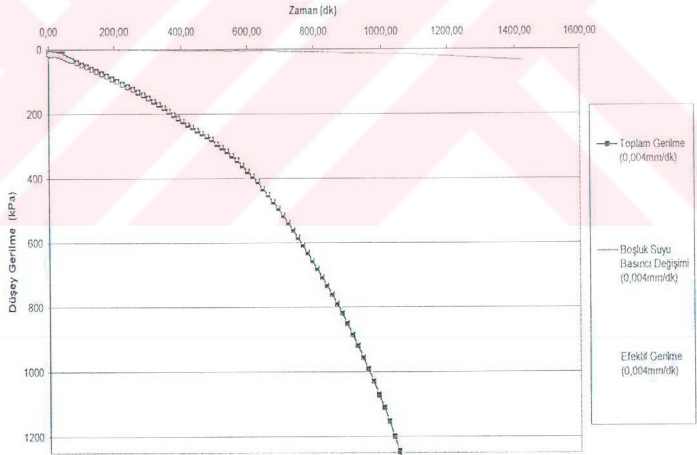
Şekil C.3. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



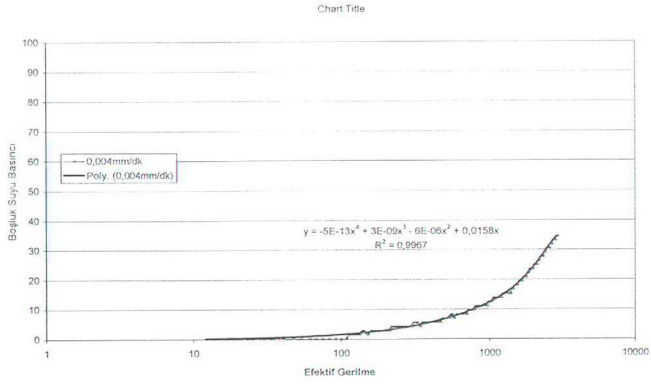
Şekil C.4. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Boşluk Suyu Basıncı – Zaman ile İlişkisi (0,004mm/dk)



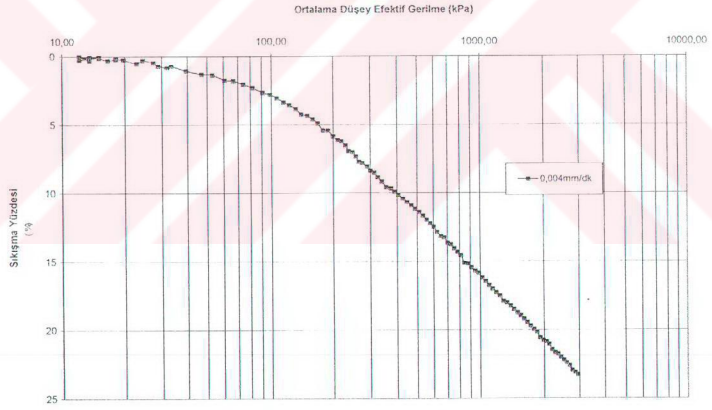
Şekil C.5. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Zaman İlişkisi(0,004mm/dk)



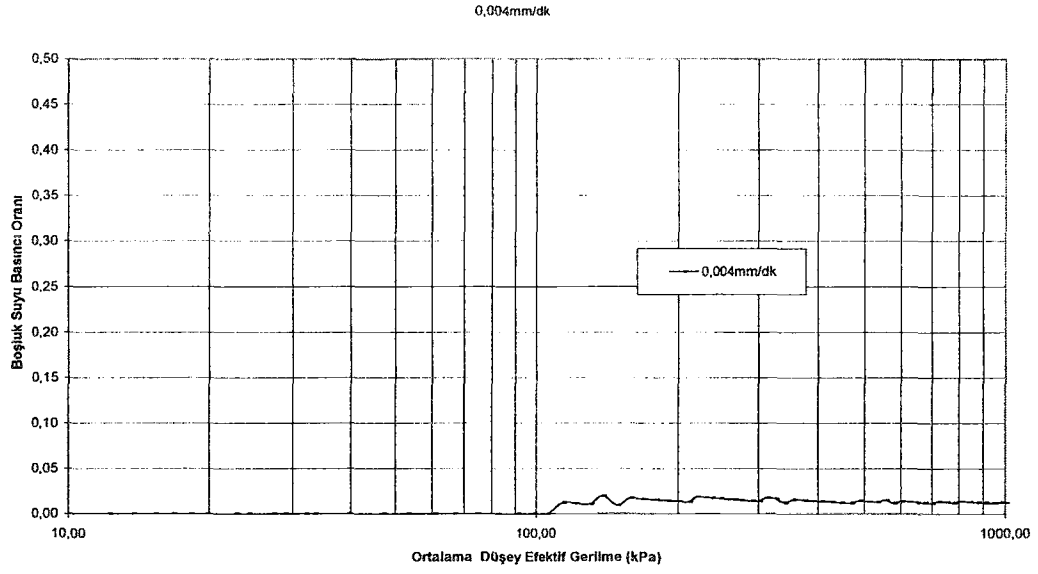
Şekil C.6. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Gerilme-Zaman İlişkisi (0,004mm/dk)



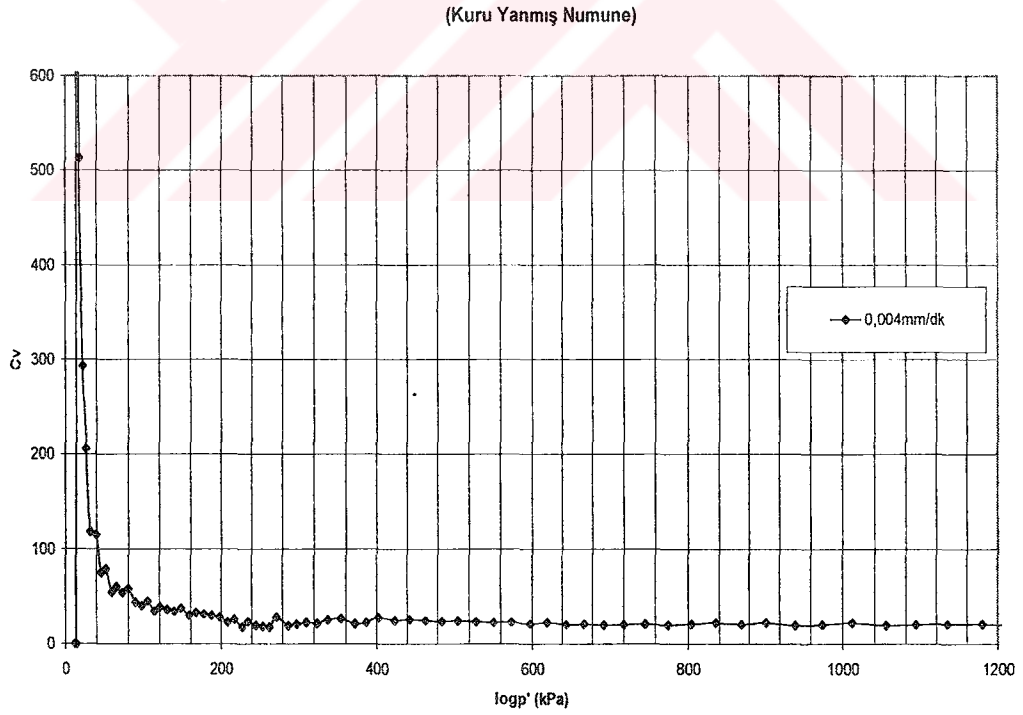
Şekil C.7. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Boşluk Suyu Basıncı-Etkatif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



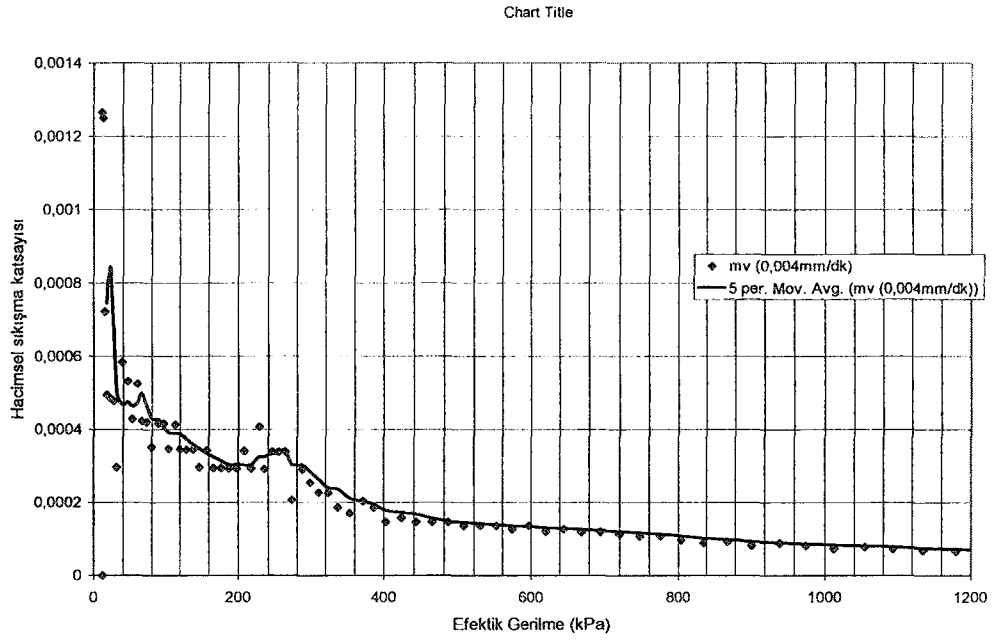
Şekil C.8. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Sıkışma-Etkatif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



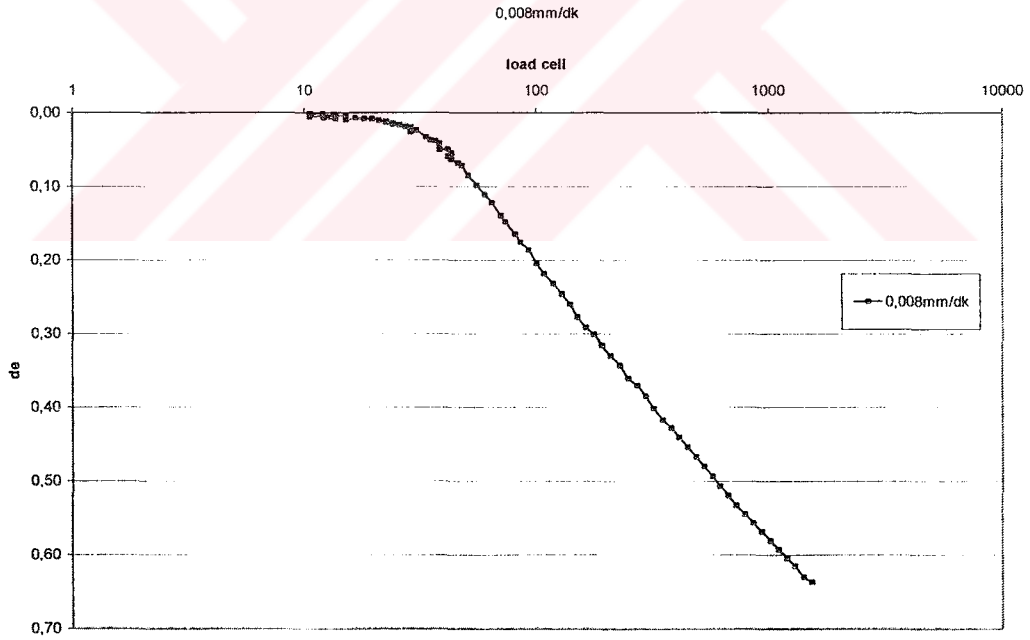
Şekil C.9. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



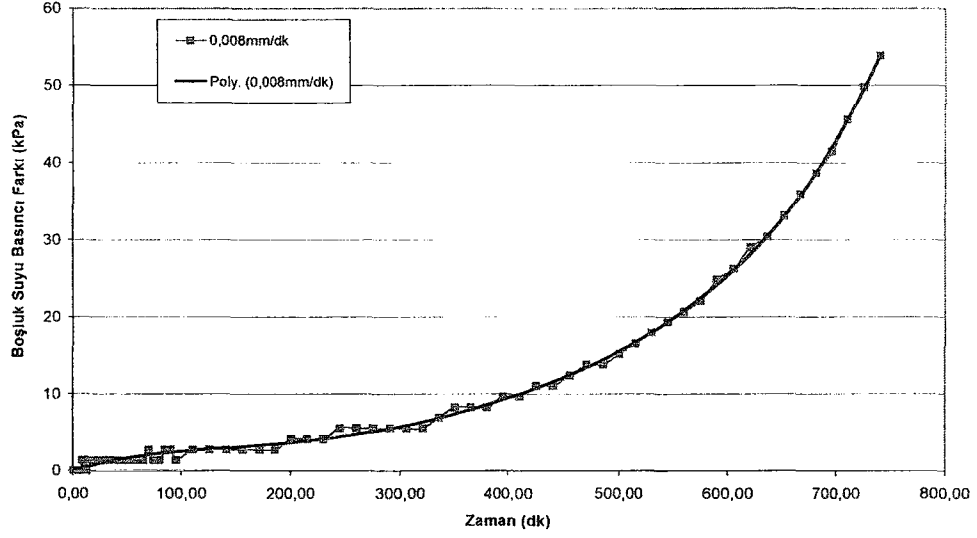
Şekil C. Kuru Yakılmış. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Kons.Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



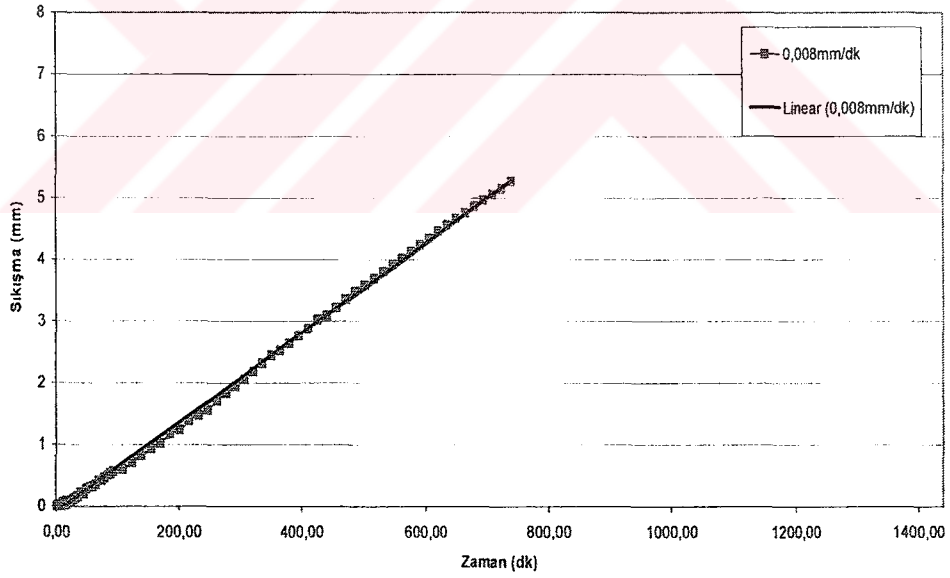
Şekil C.11. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Hacimsel Sıkışma Katsayısı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



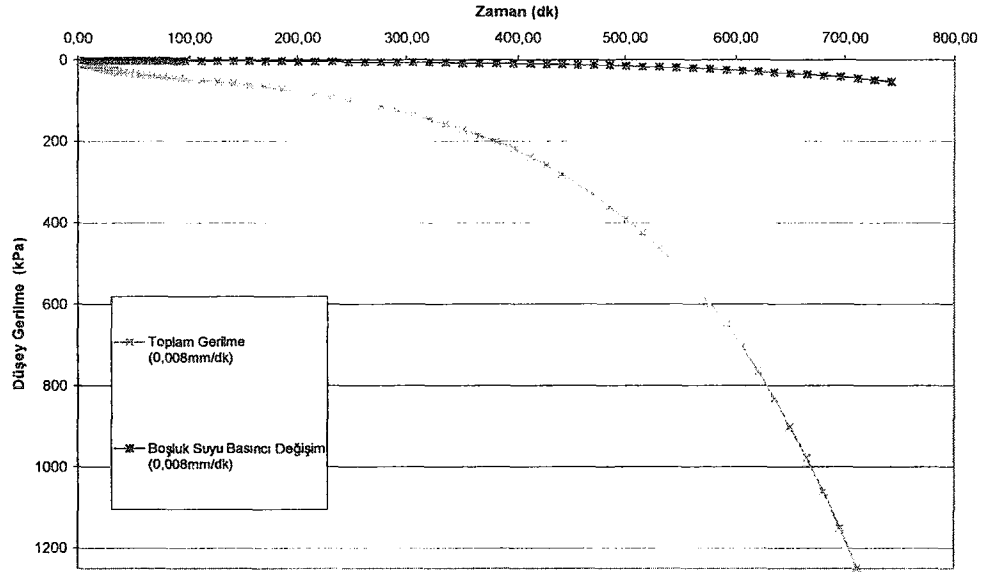
Şekil A.12. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



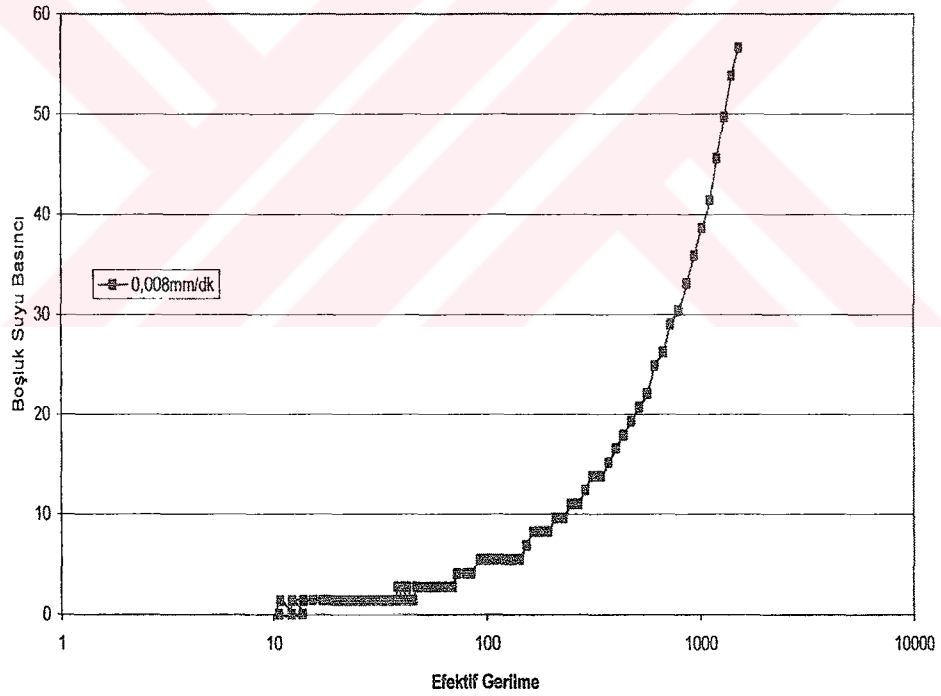
Şekil A.13. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı –Zaman ile İlişkisi (0,008mm/dk)



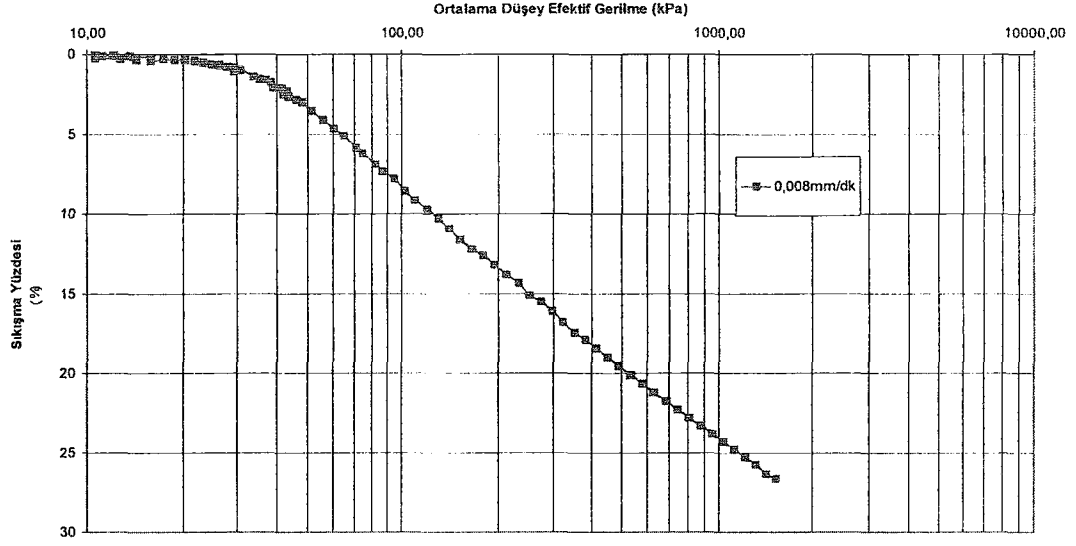
Şekil A.14. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Zaman İlişkisi (0,008mm/dk)



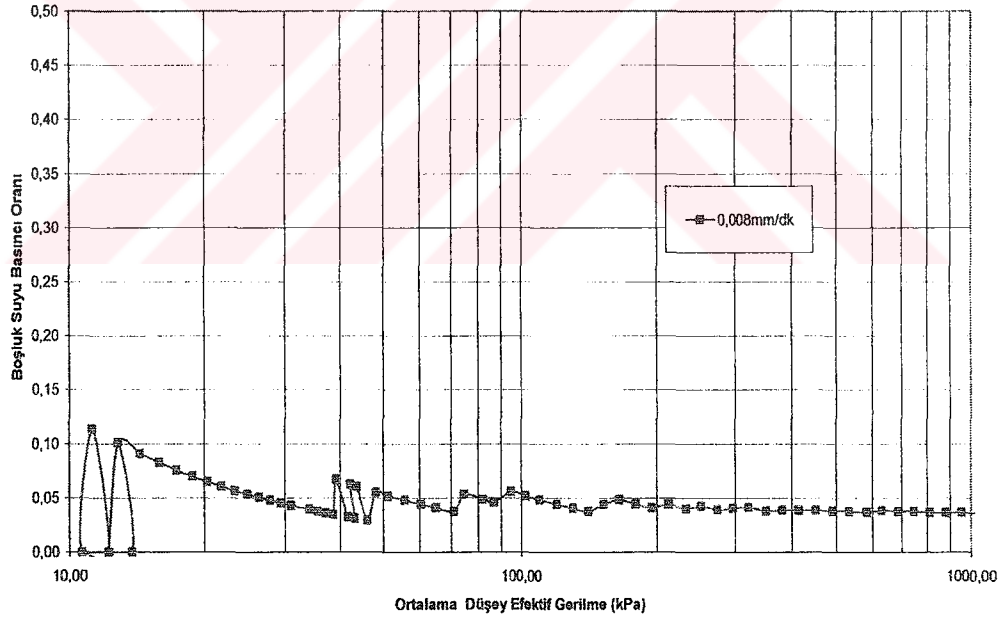
Şekil C.15. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Gerilme-Zaman İlişkisi (0,008mm/dk)



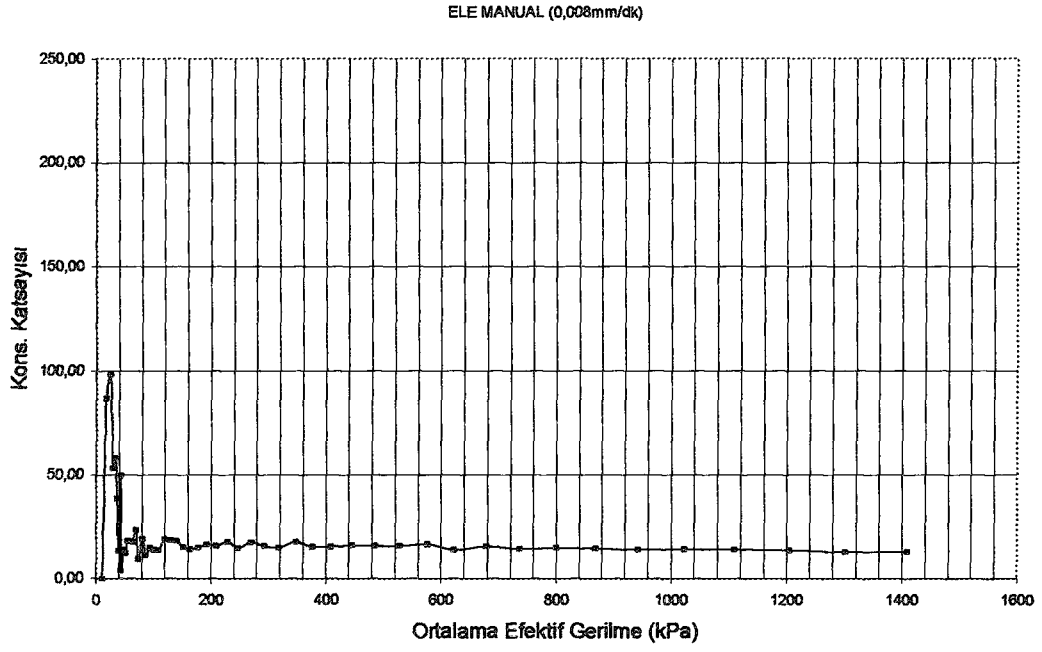
Şekil C.16. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



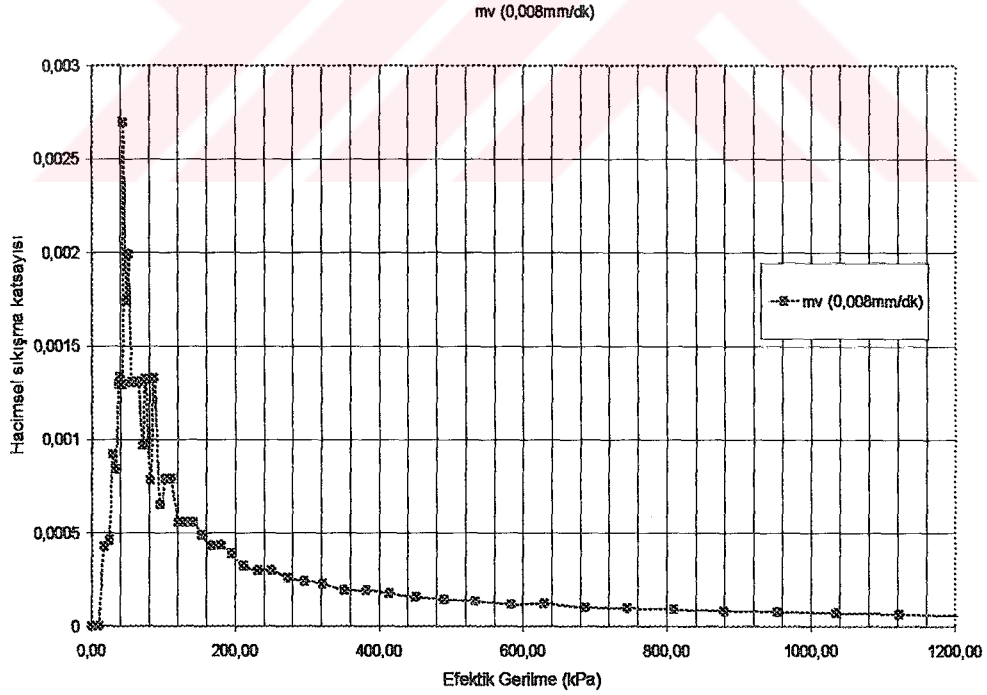
Şekil C.17. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



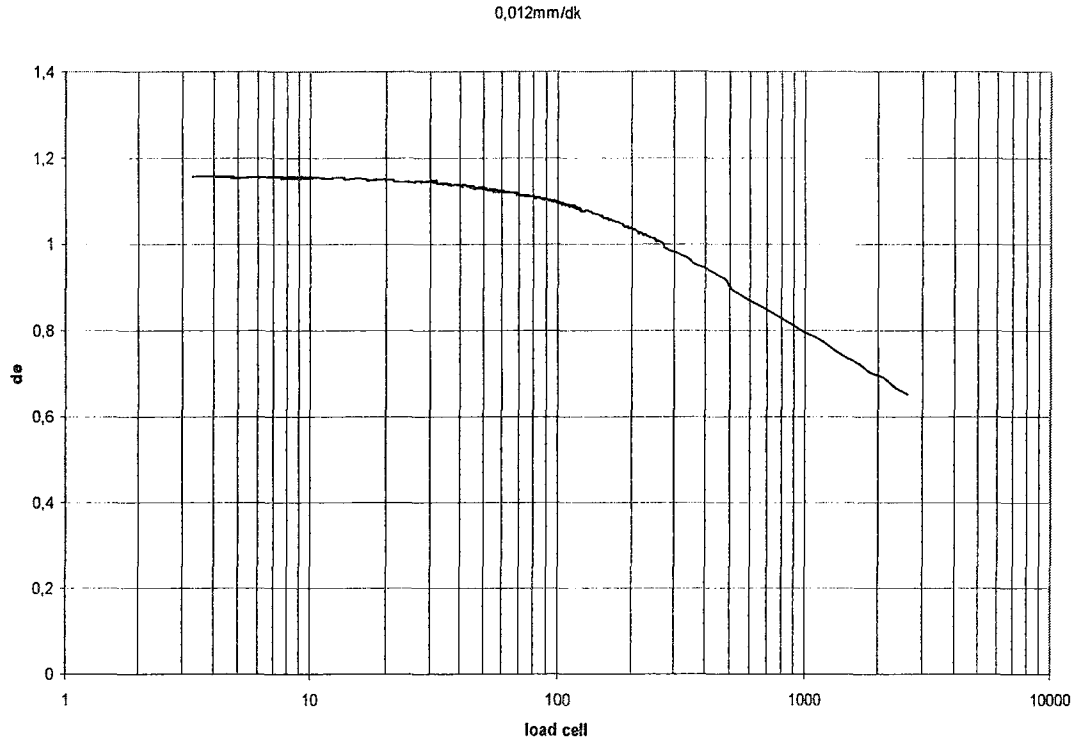
Şekil C.18. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



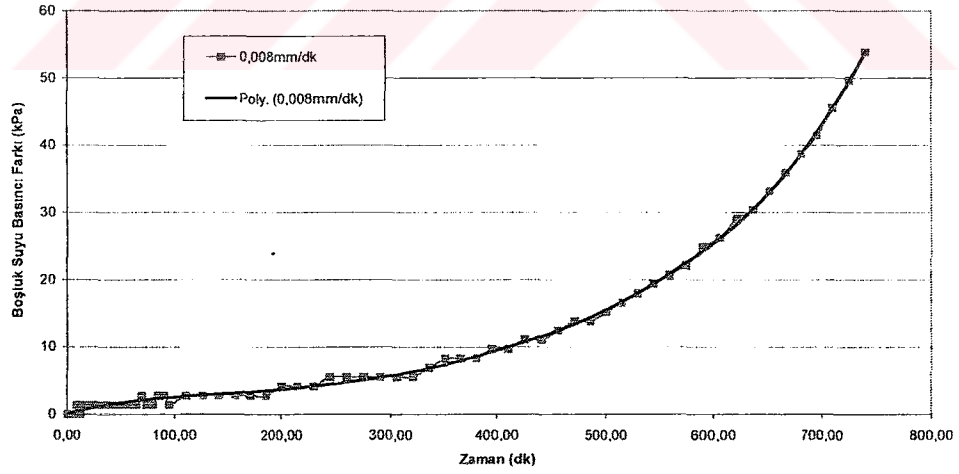
Şekil C.19. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Kons.Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



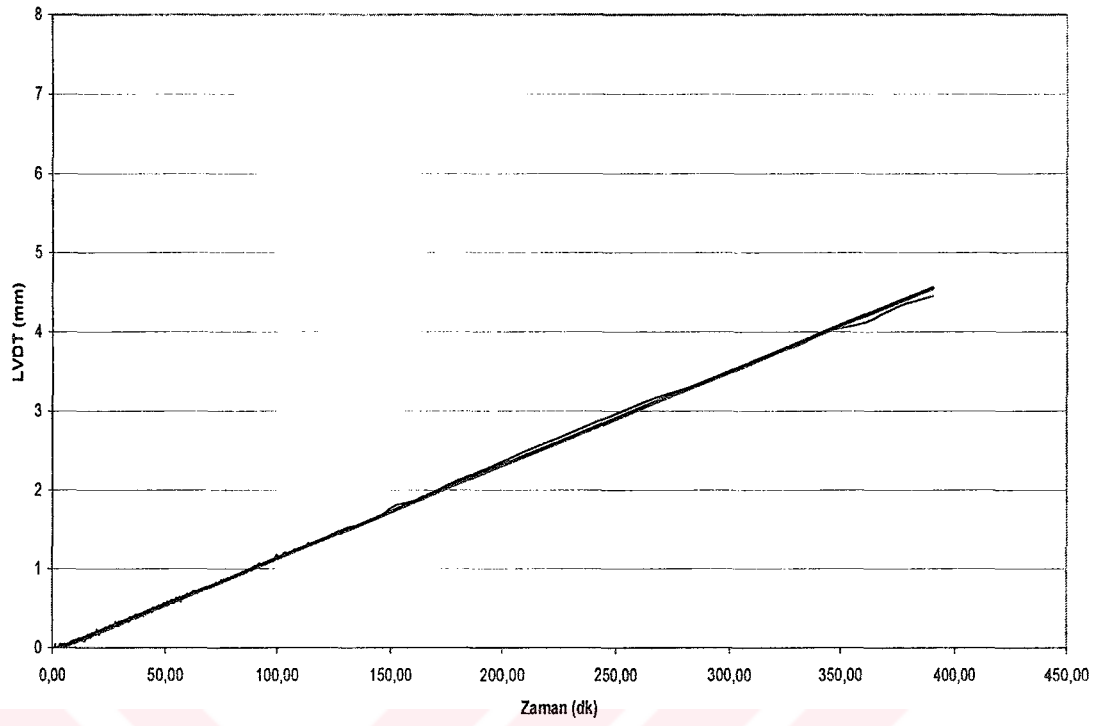
Şekil C.20. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Hacimsal Sıkışma Katsayısı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



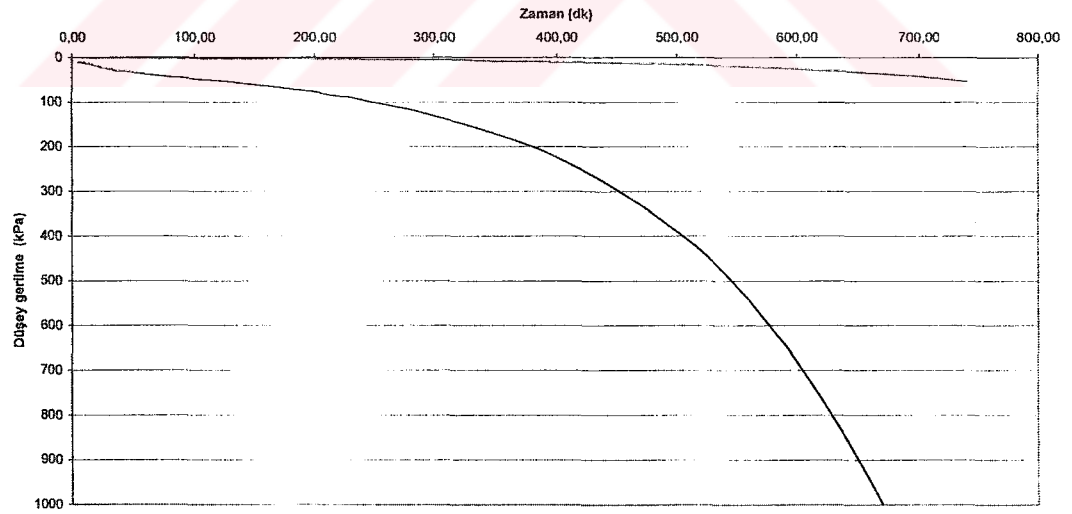
Şekil C.21. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



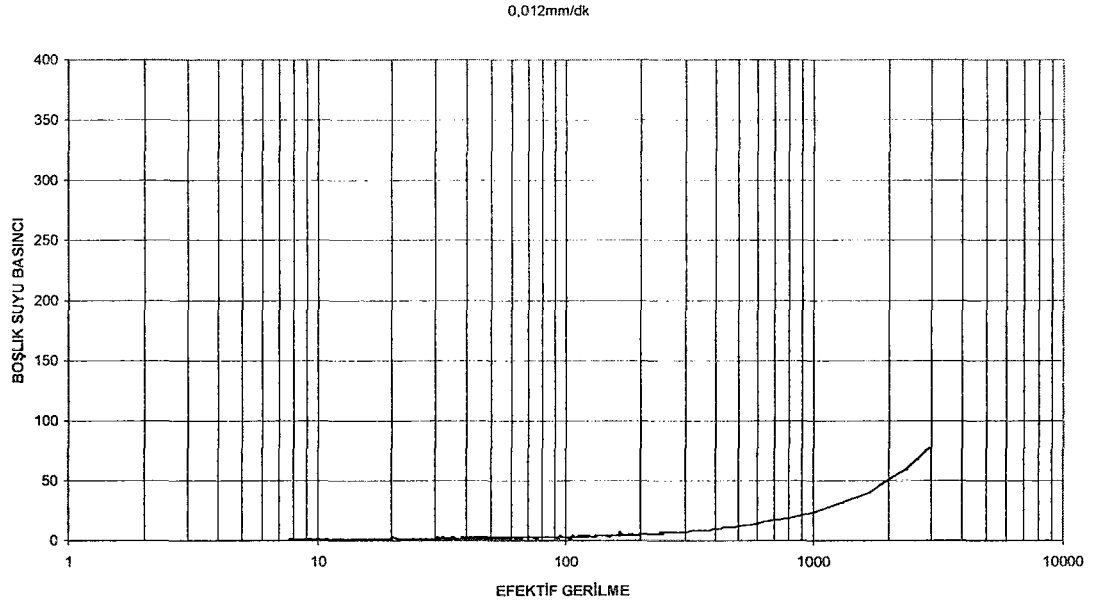
Şekil C.22. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı-Zaman ile İlişkisi (0,012mm/dk)



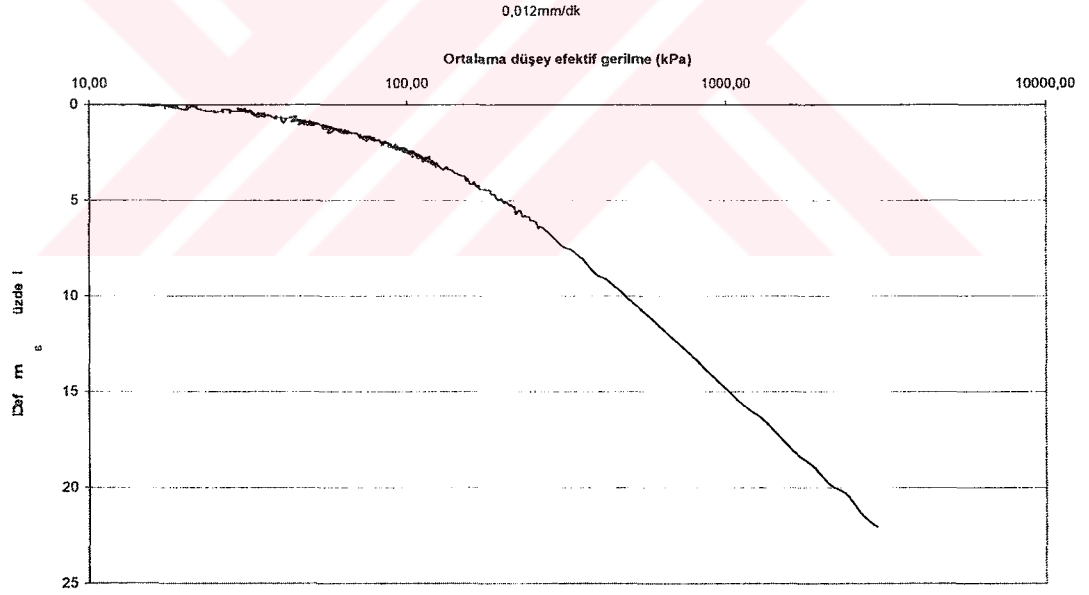
Şekil C.23. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Zaman İlişkisi (0,012mm/dk)



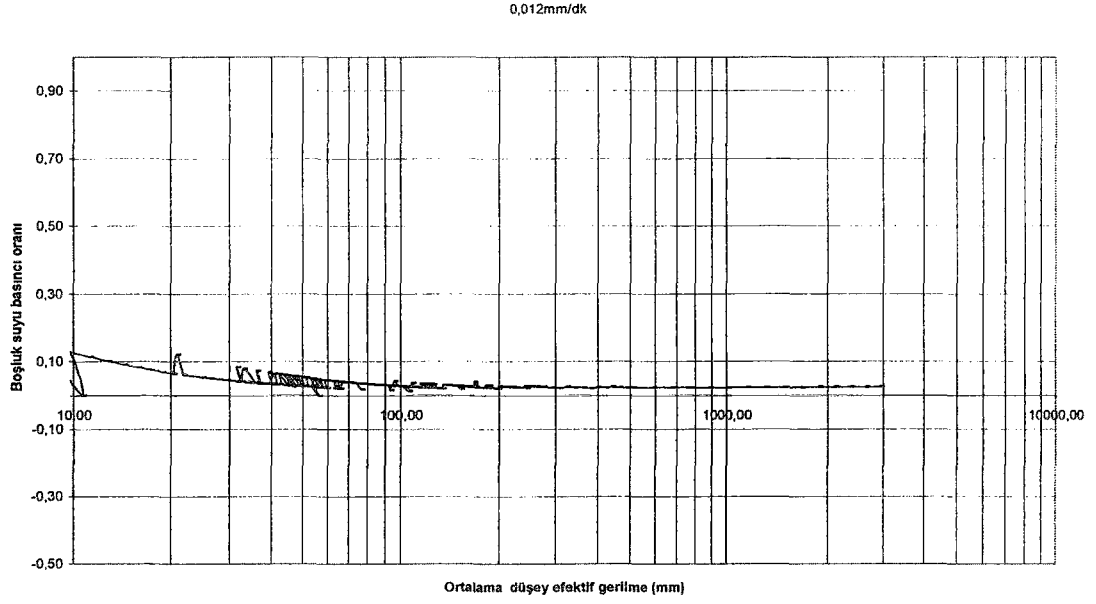
Şekil C.24. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Gerilme-Zaman İlişkisi (0,012mm/dk)



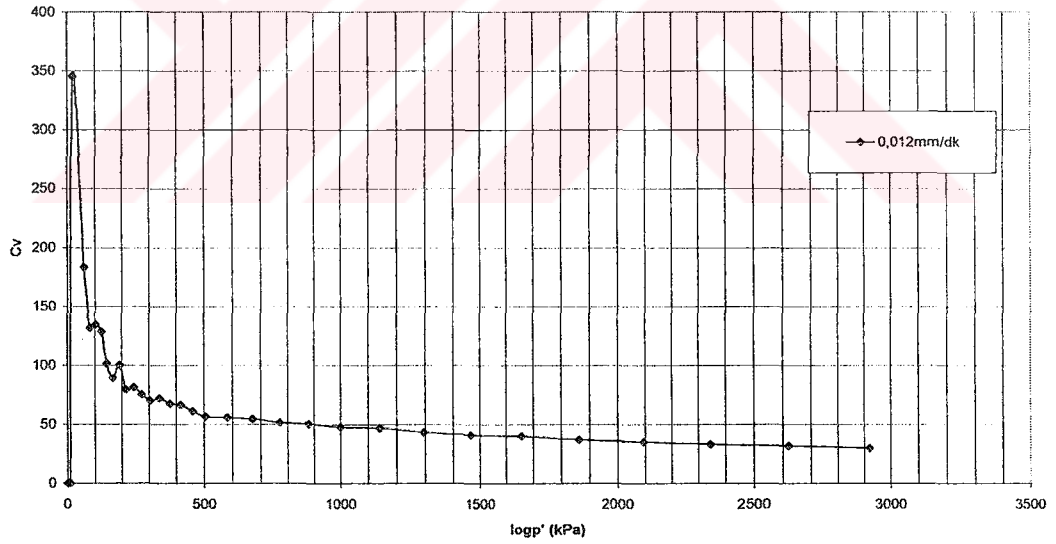
Şekil C.25. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



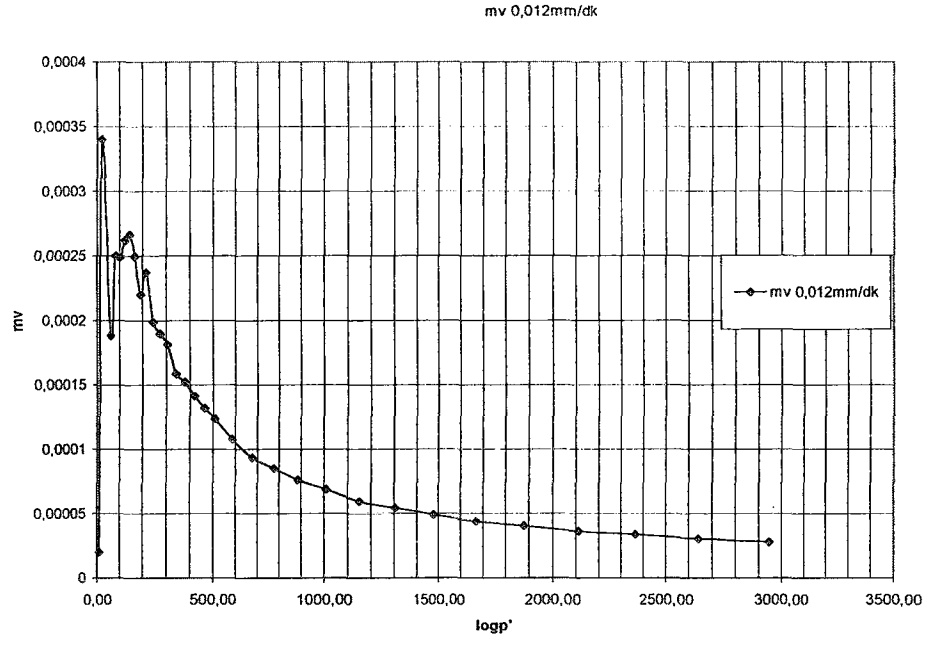
Şekil C.26. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



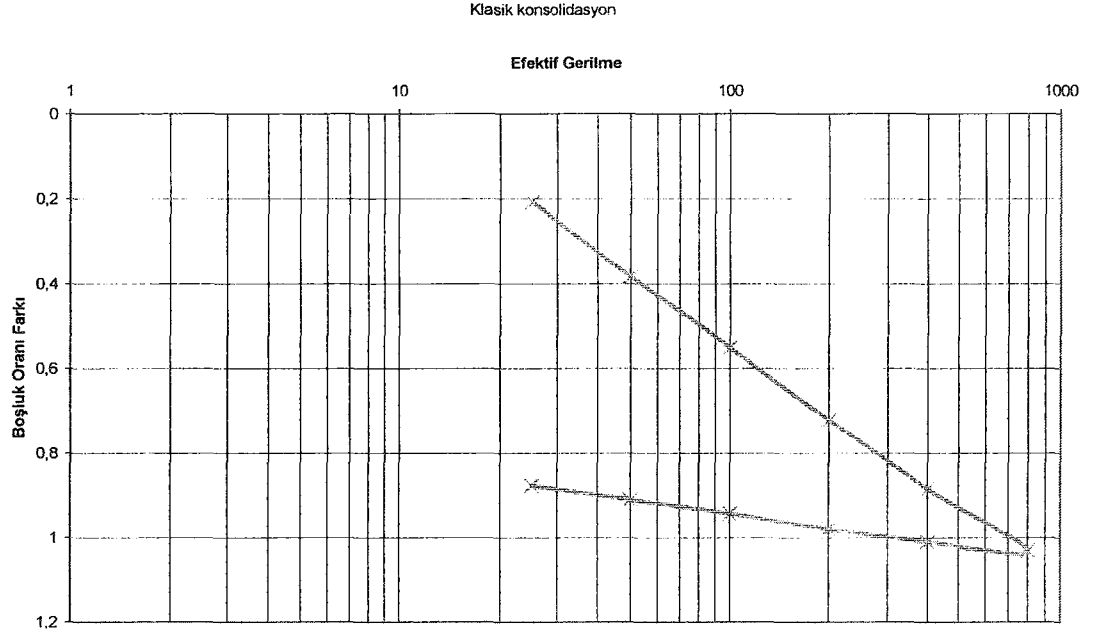
Şekil C.27. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



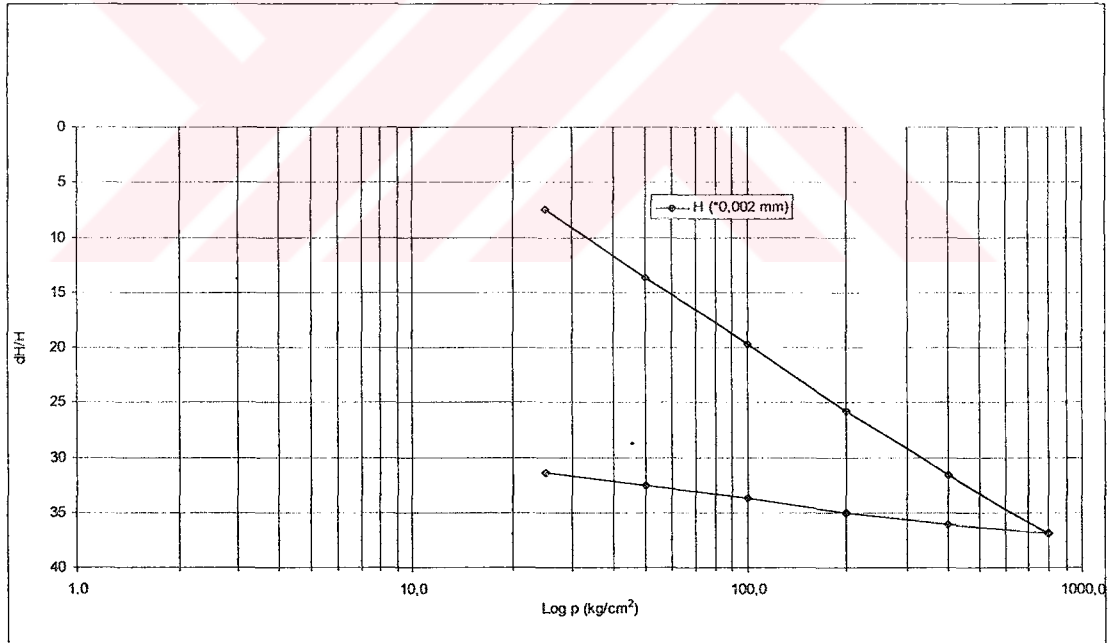
Şekil C.28. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Kons.Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



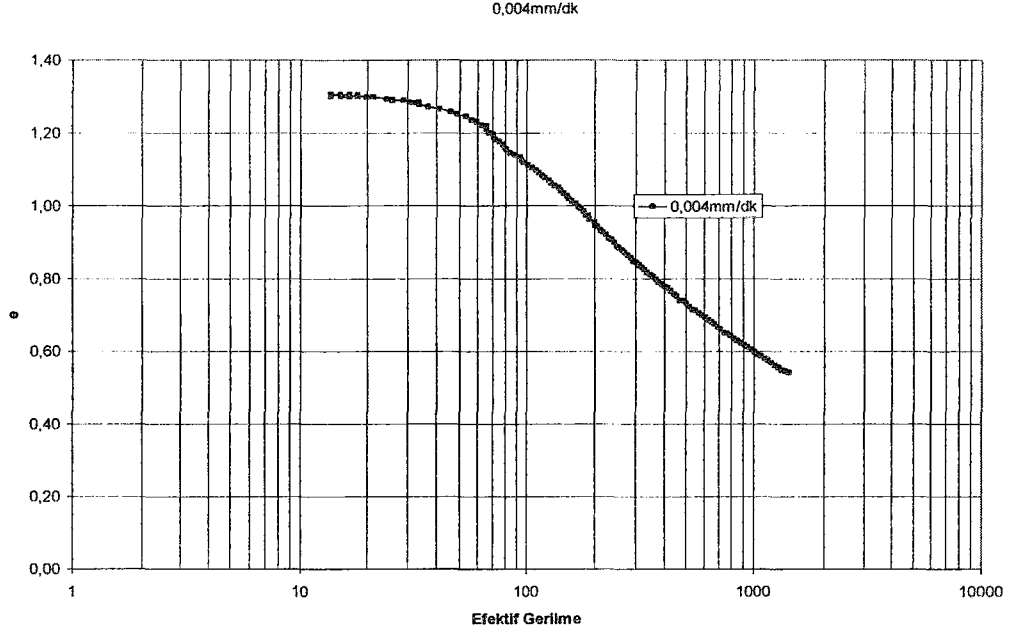
Şekil C.29. Kuru Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Hacımsal Sıkışma Katsayısı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



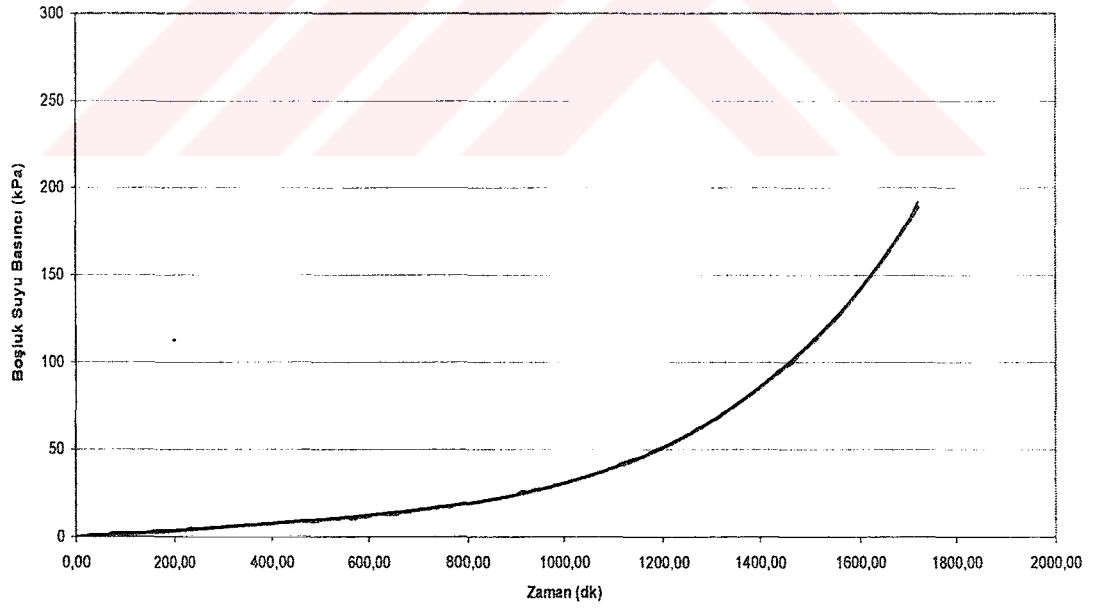
Şekil D.1. Islak Yakılmış Numune İçin Klasik Deneyden Elde Edilen Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi



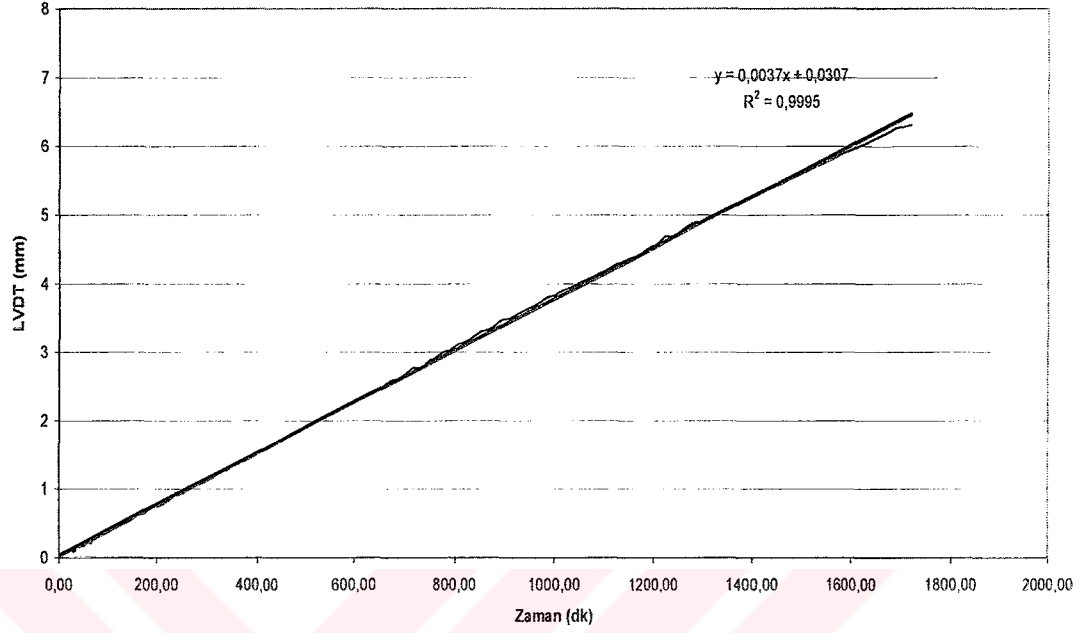
Şekil D.2. Islak Yakılmış Numune İçin Klasik Deneyden Elde Edilen Sıkışma-Efektif Gerilme İlişkisi



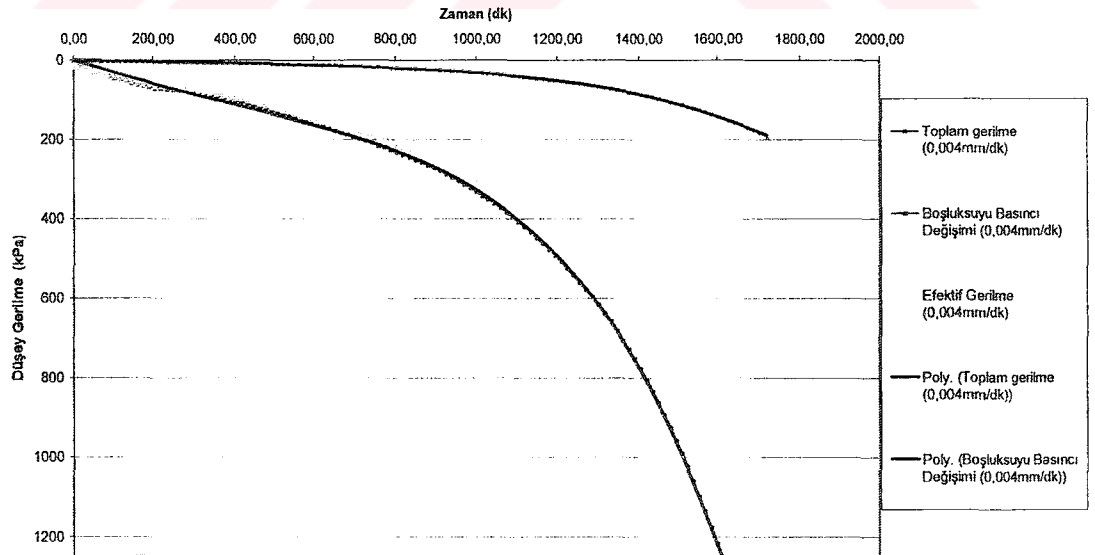
Şekil D.3. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



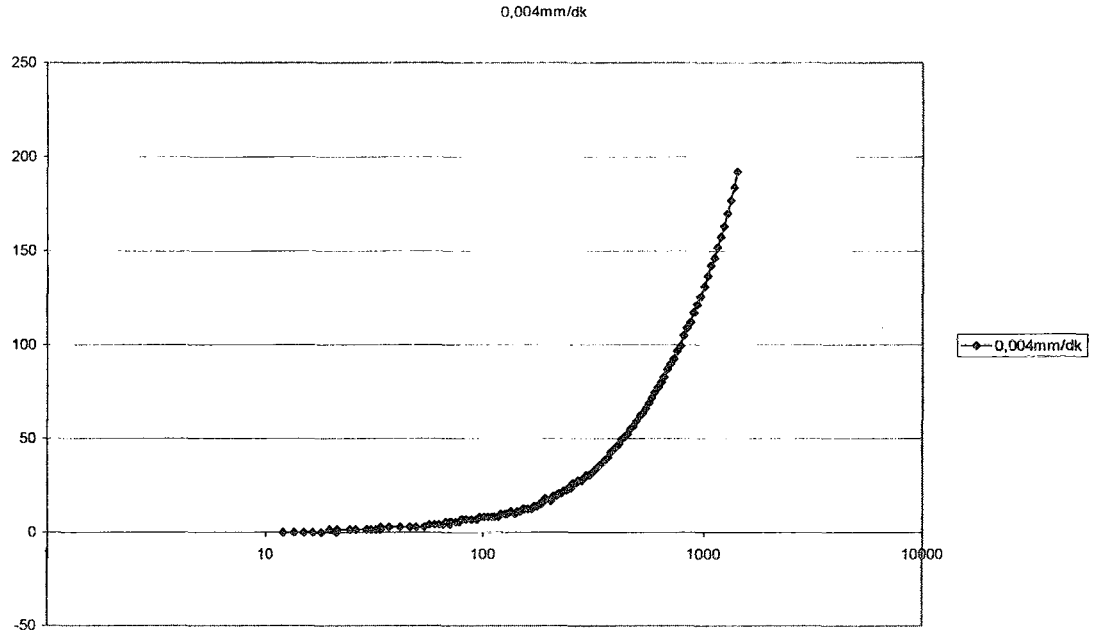
Şekil D.4. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı – Zaman ile İlişkisi (0,004mm/dk)



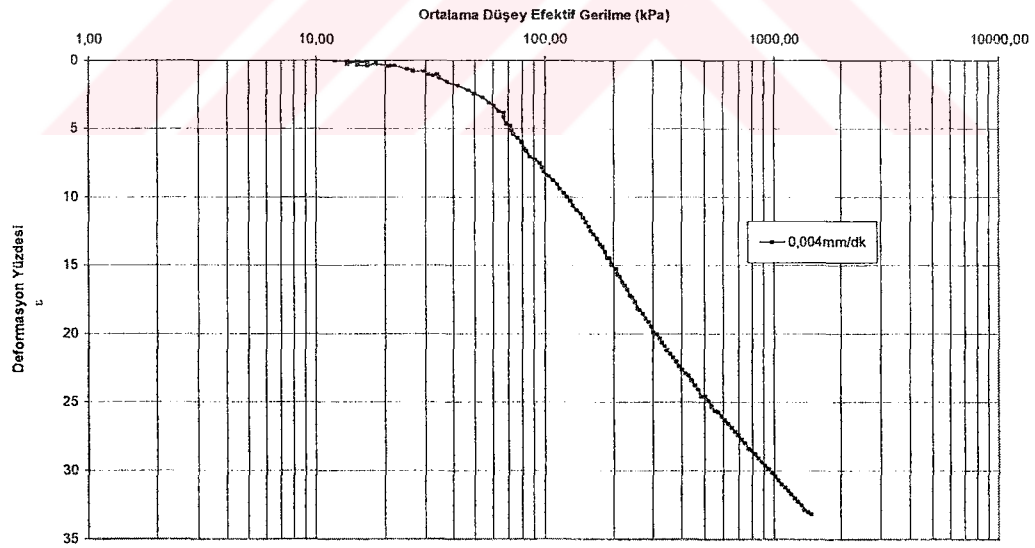
Şekil D.5. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Zaman İlişkisi (0,004mm/dk)



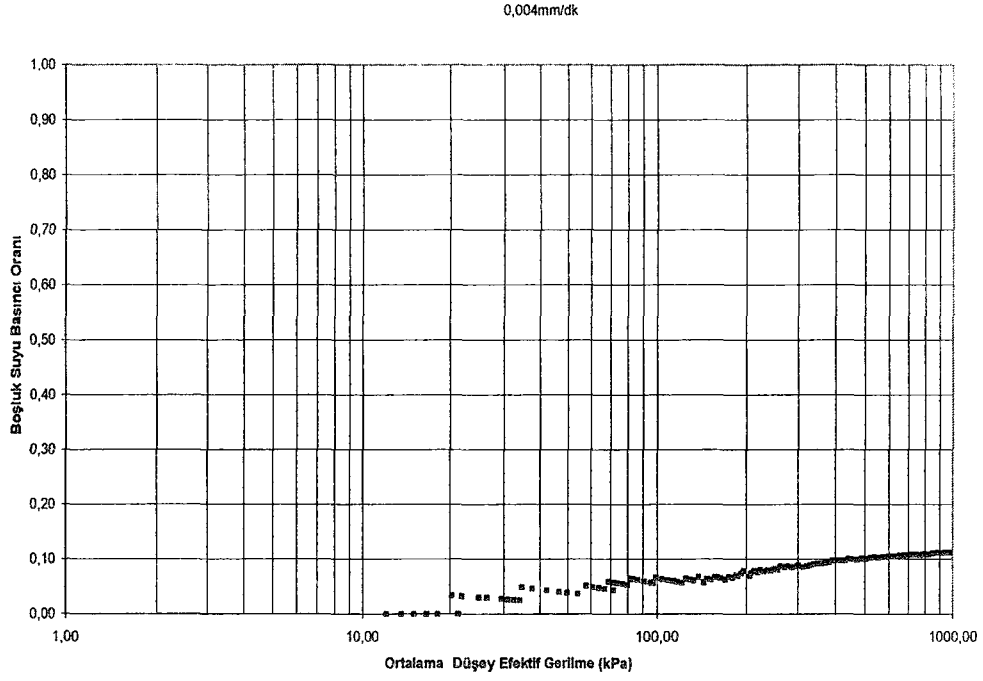
Şekil D.6. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Gerilme-Zaman İlişkisi (0,004mm/dk)



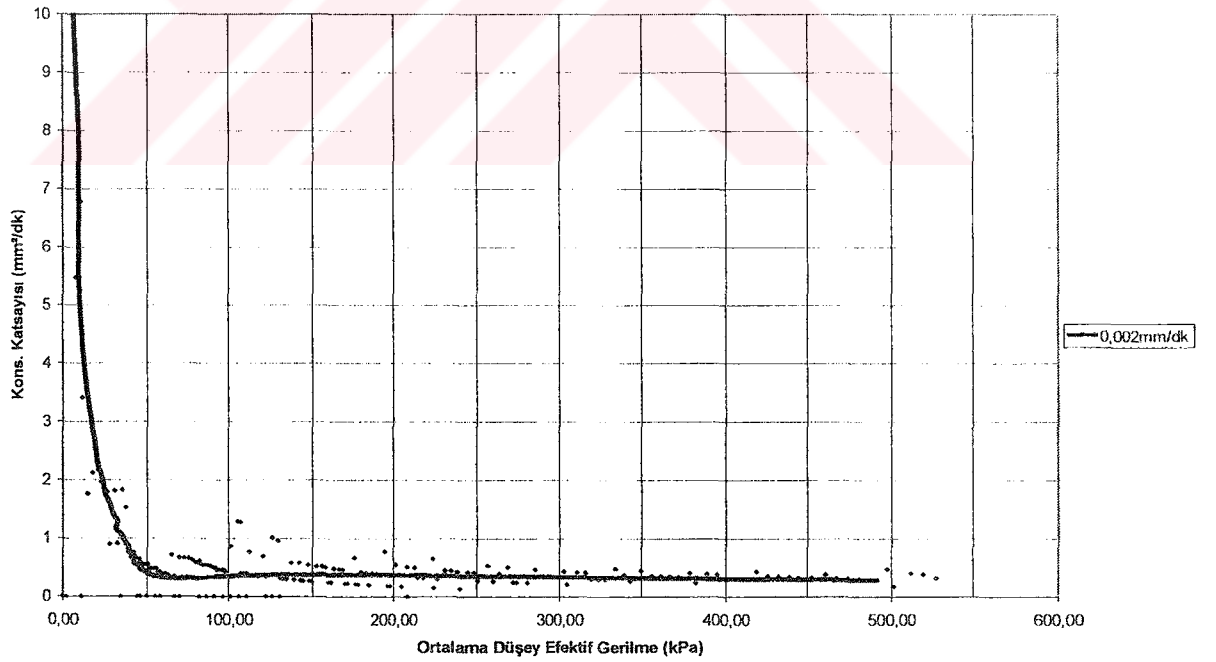
Şekil D.7. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



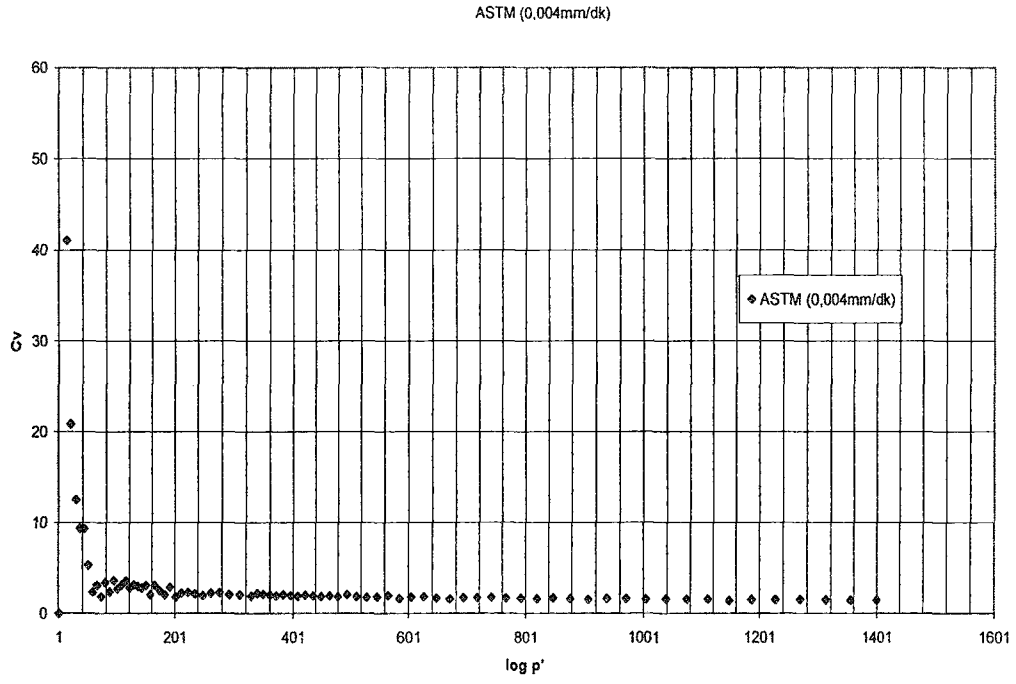
Şekil D.8. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



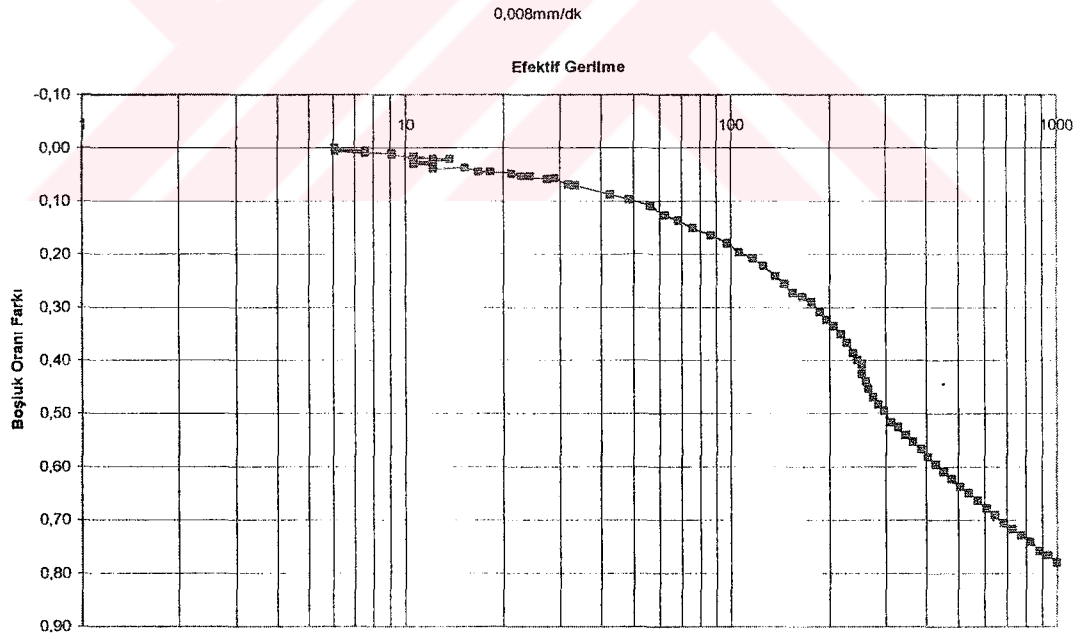
Şekil D.9. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



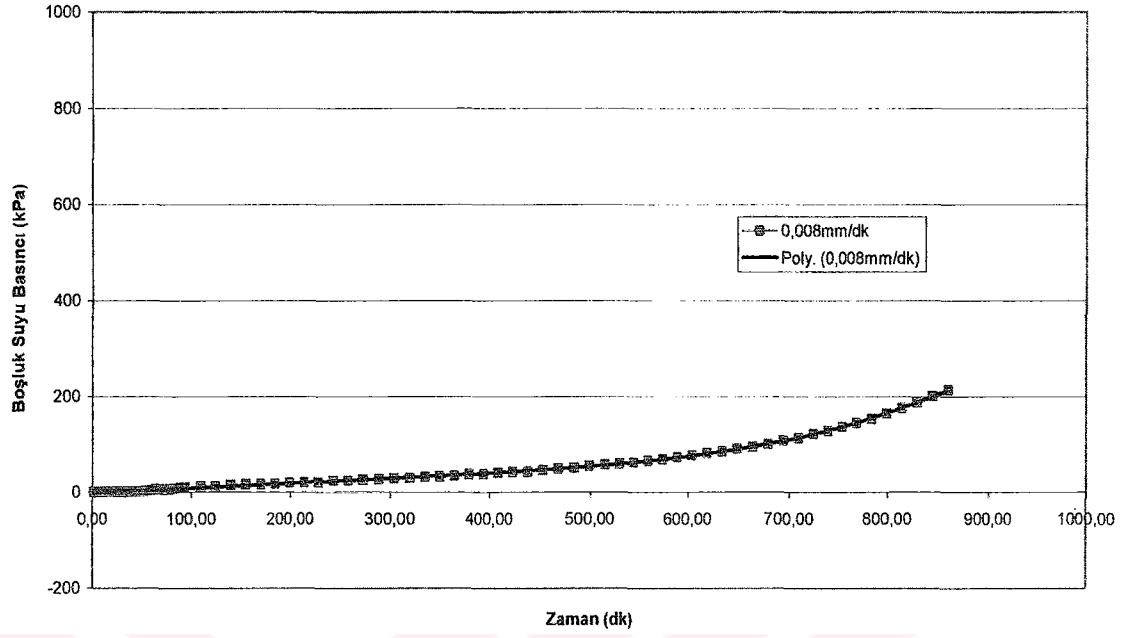
Şekil D. Islak Yakılmış. Kil Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Kons.Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



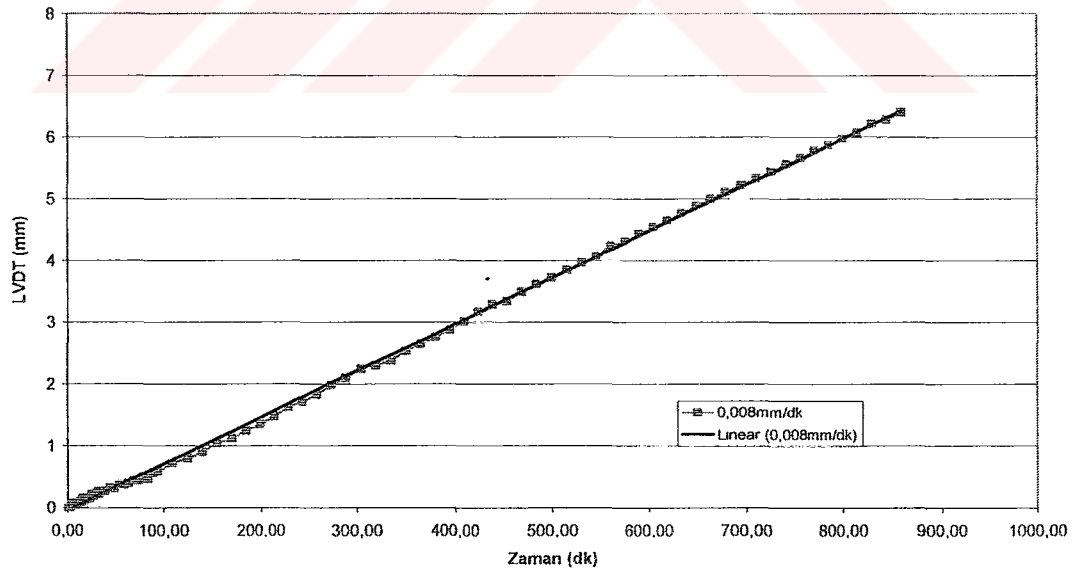
Şekil D. Islak Yakılmış. Kıl Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Hacimsal Sıkışma Katsayısı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



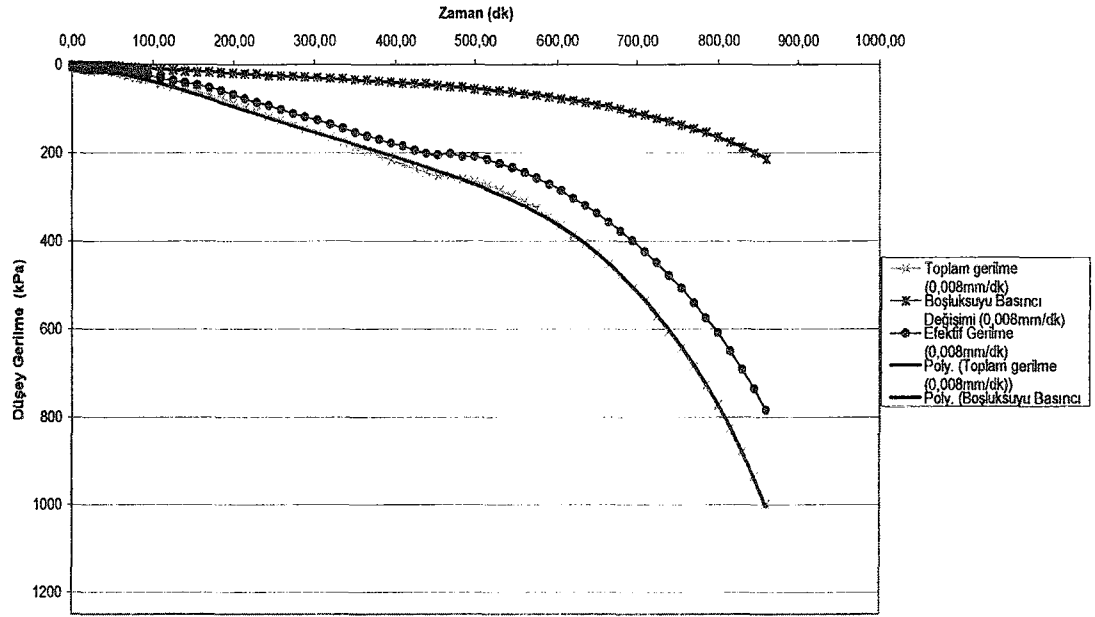
Şekil D.12. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



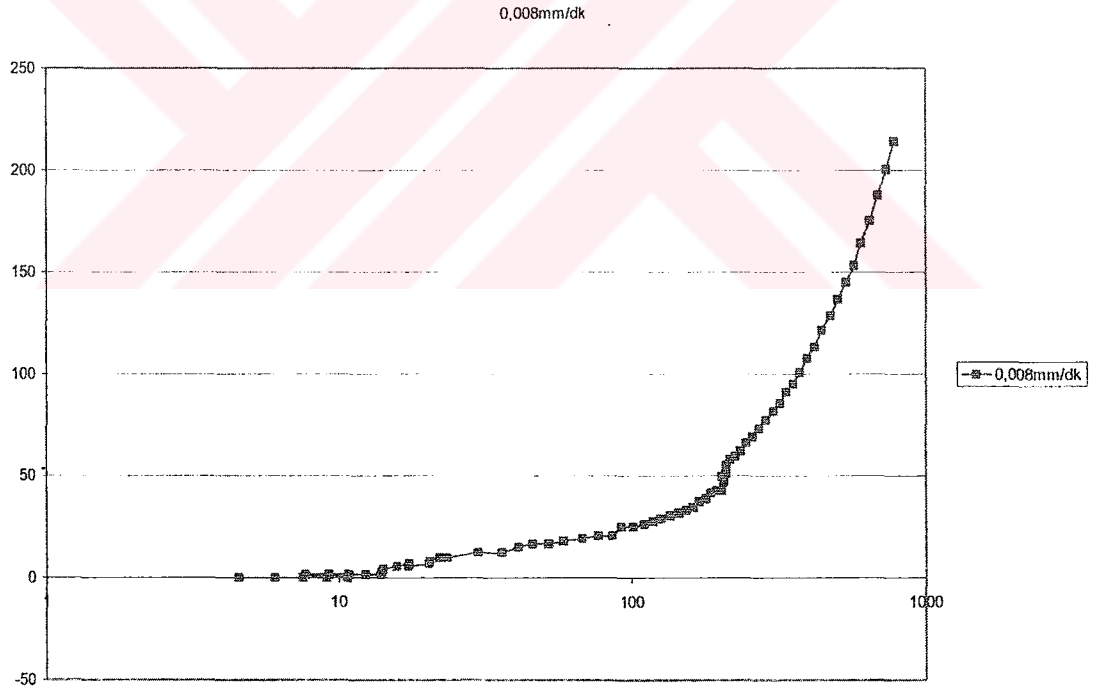
Şekil D.13. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı –Zaman ile İlişkisi (0,008mm/dk)



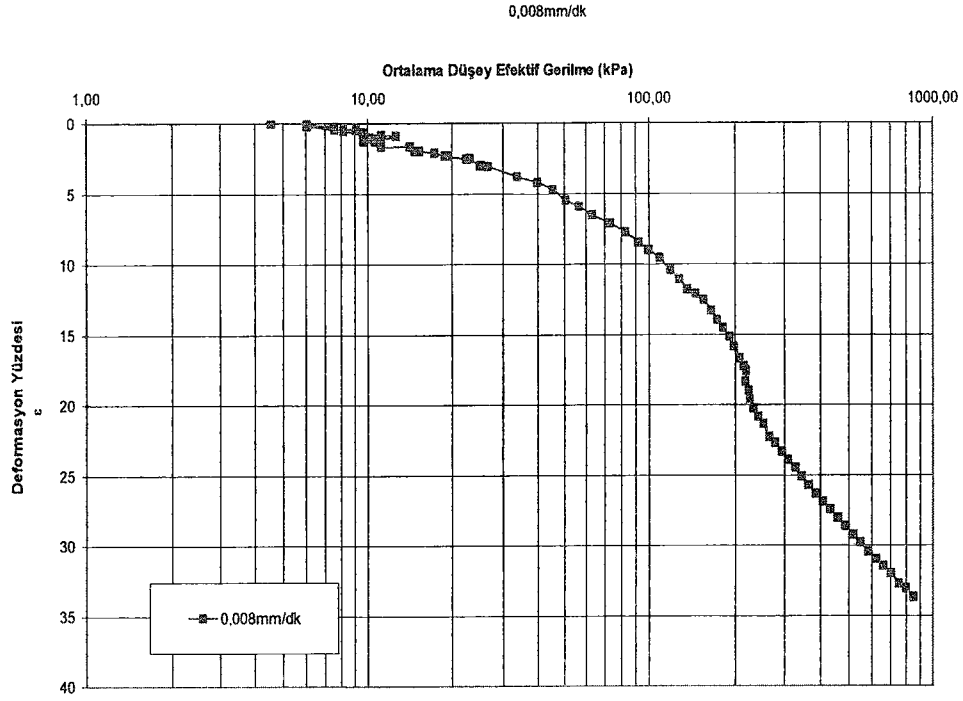
Şekil D.14. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Zaman İlişkisi (0,008mm/dk)



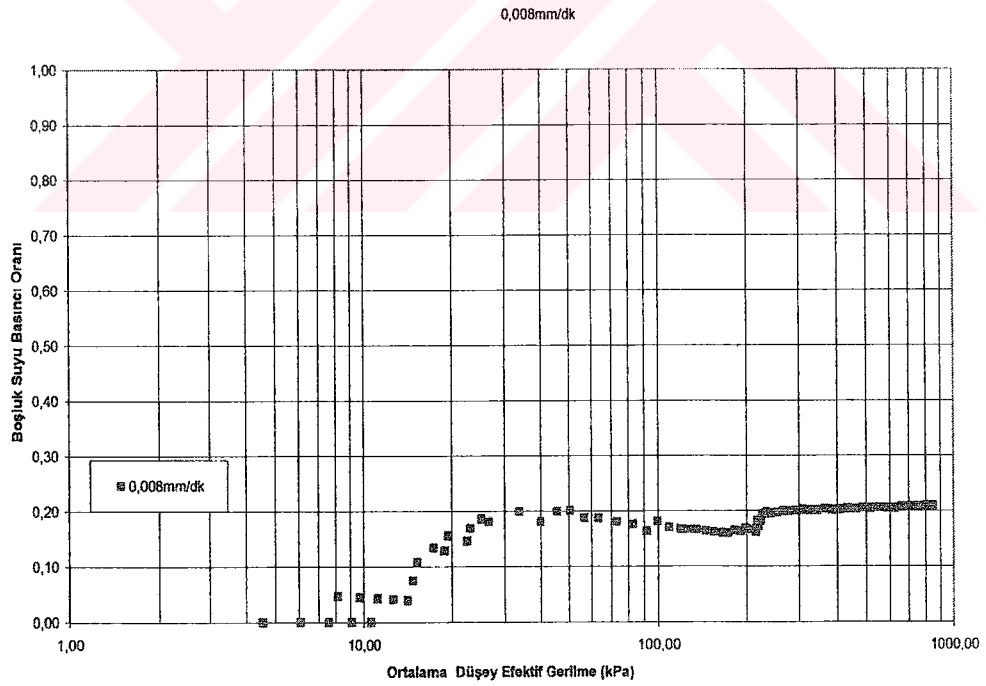
Şekil D.15. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Gerilme-Zaman İlişkisi (0,008mm/dk)



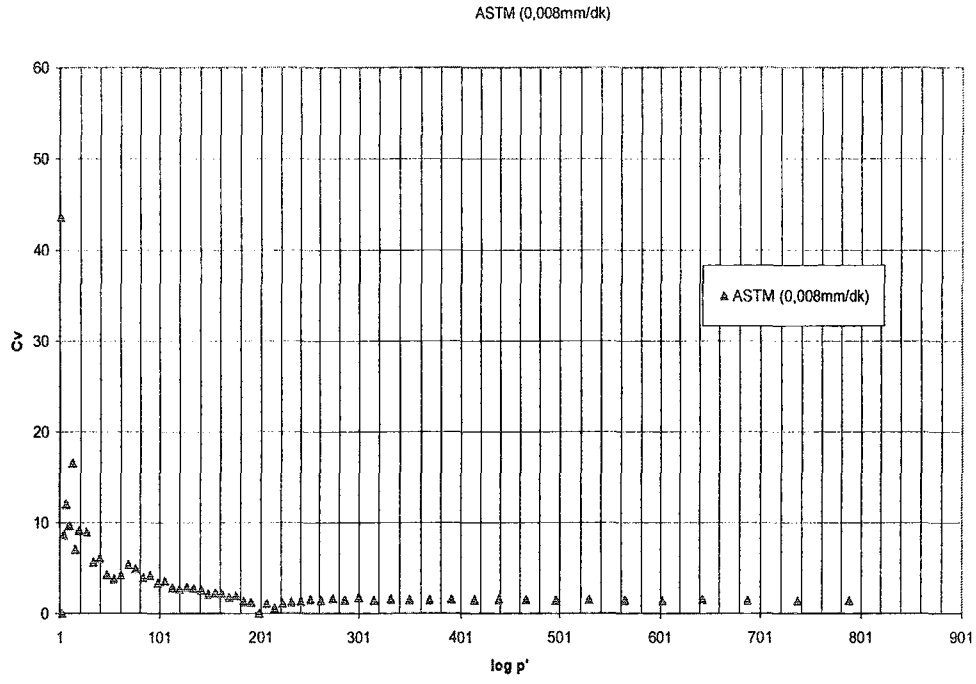
Şekil D.16. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



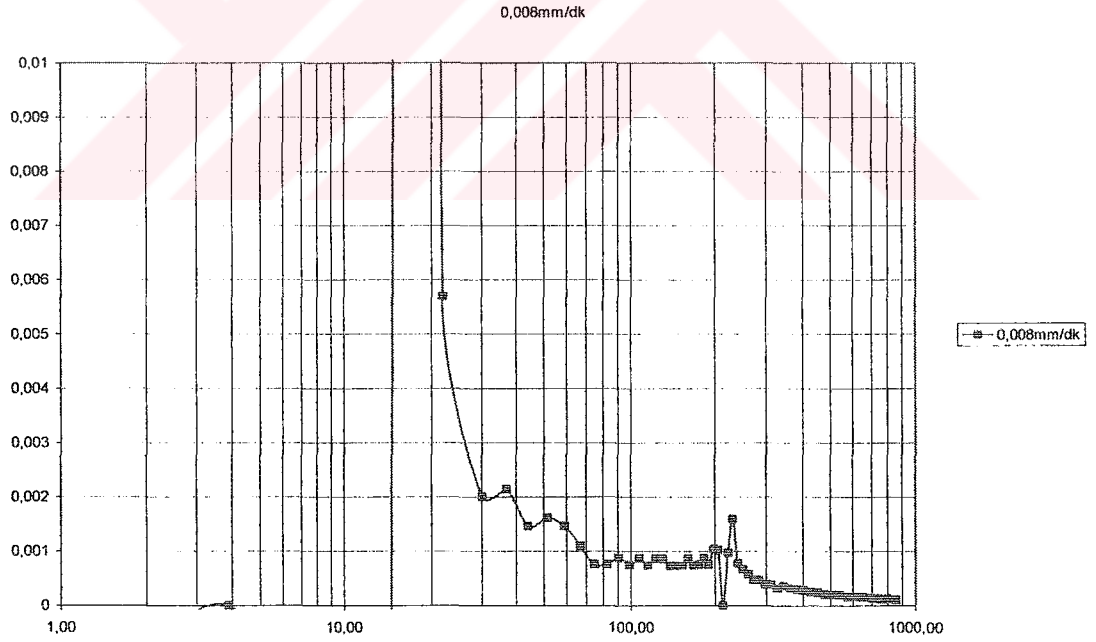
Şekil D.17. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



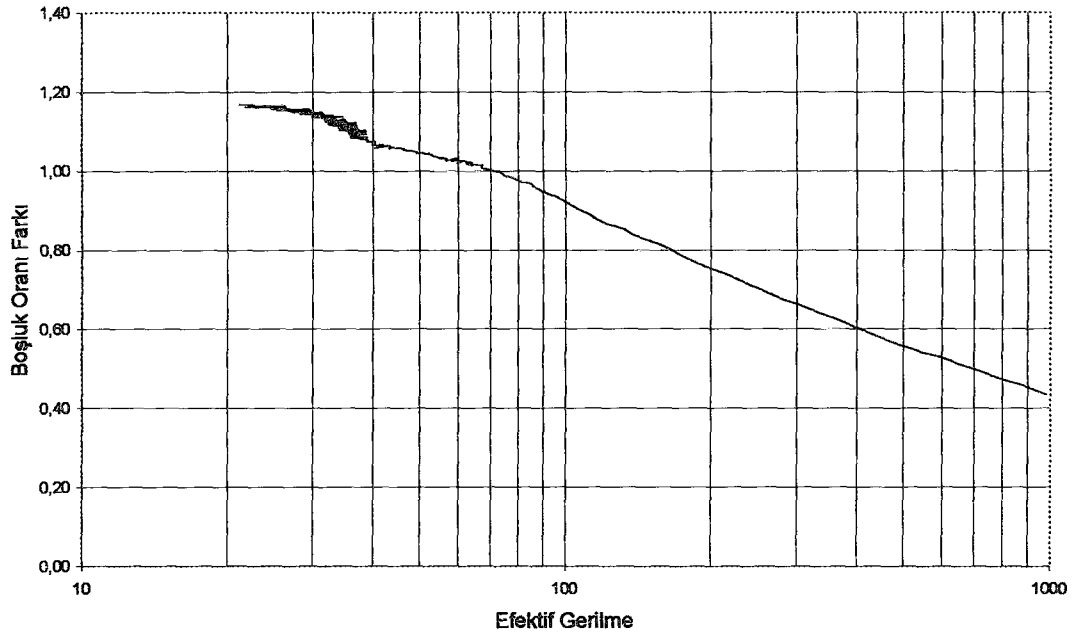
Şekil D.18. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



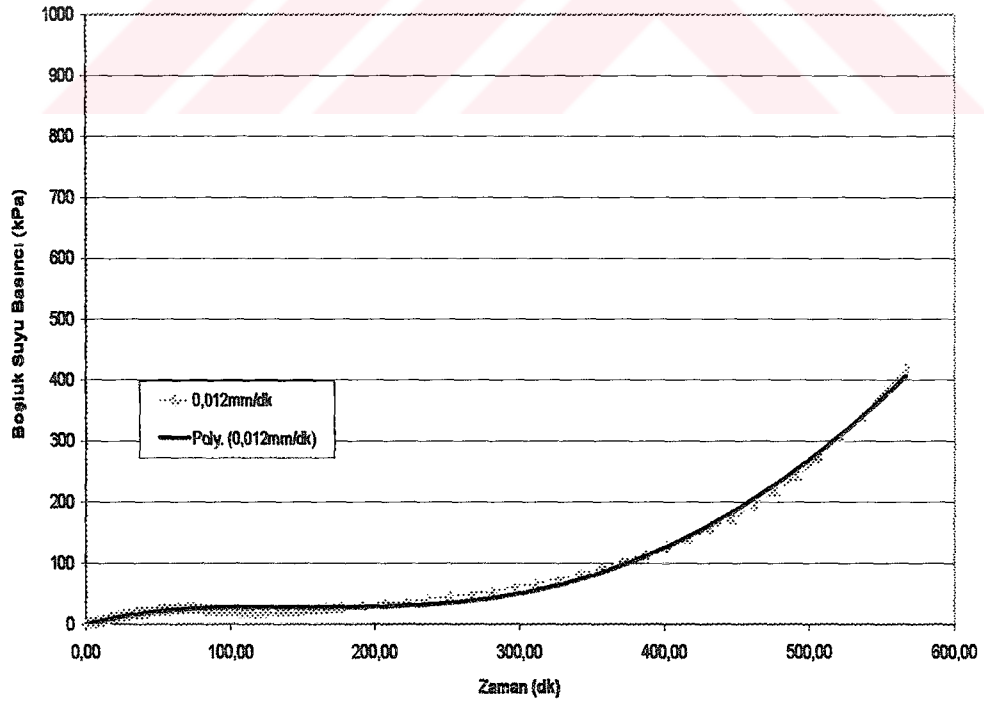
Şekil D.19. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Kons.Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



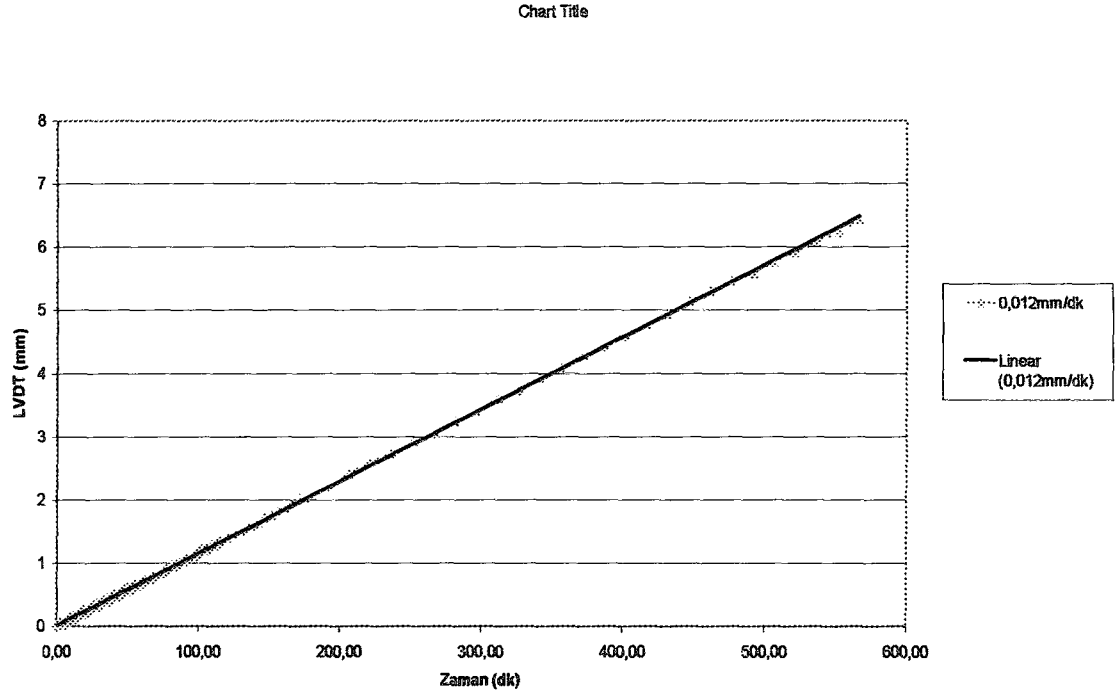
Şekil D.20. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Hacimsal Sıkışma Katsayısı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



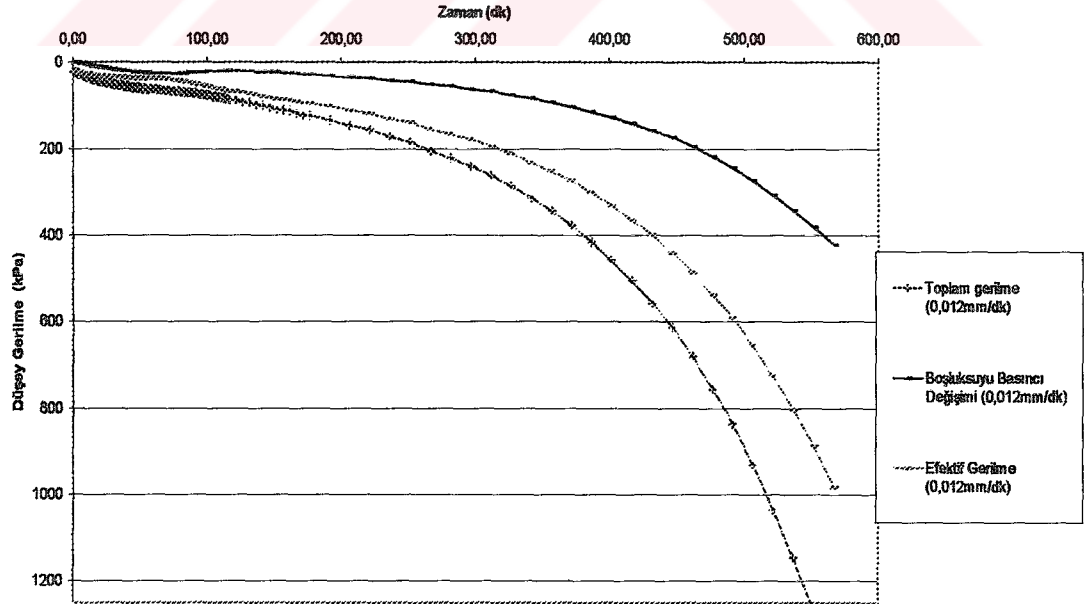
Şekil D.21. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



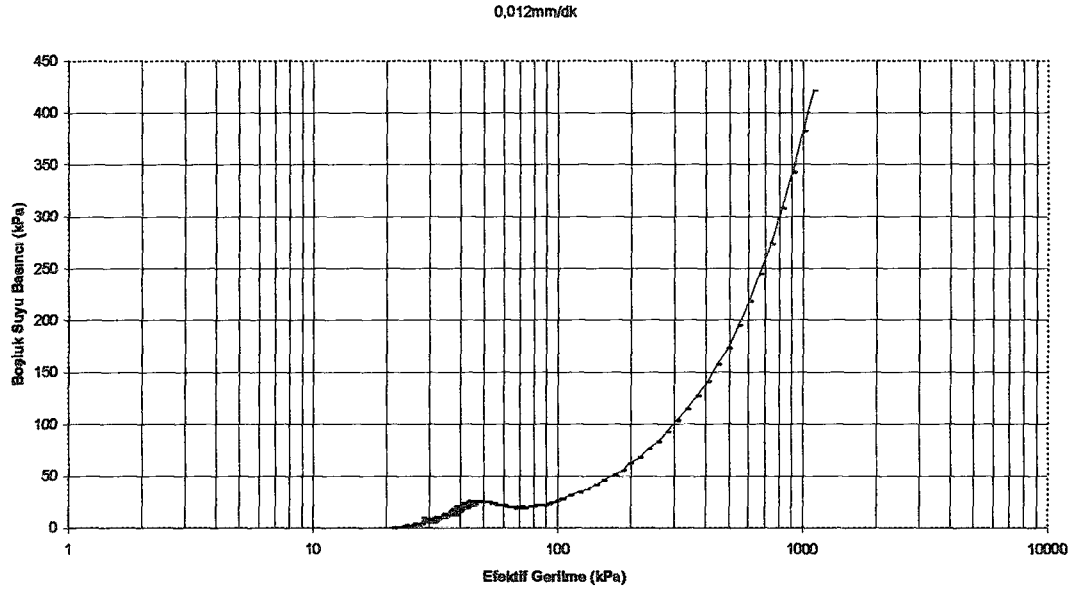
Şekil D.22. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı -Zaman ile İlişkisi (0,012mm/dk)



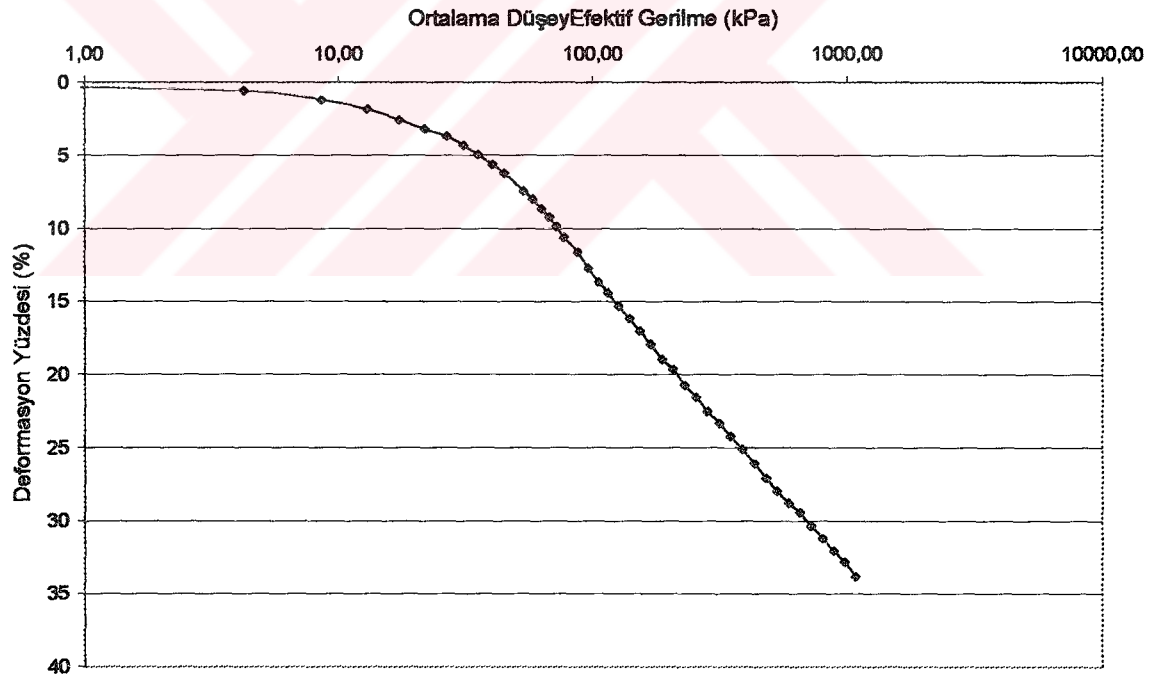
Şekil D.23. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Zaman İlişkisi (0,012mm/dk)



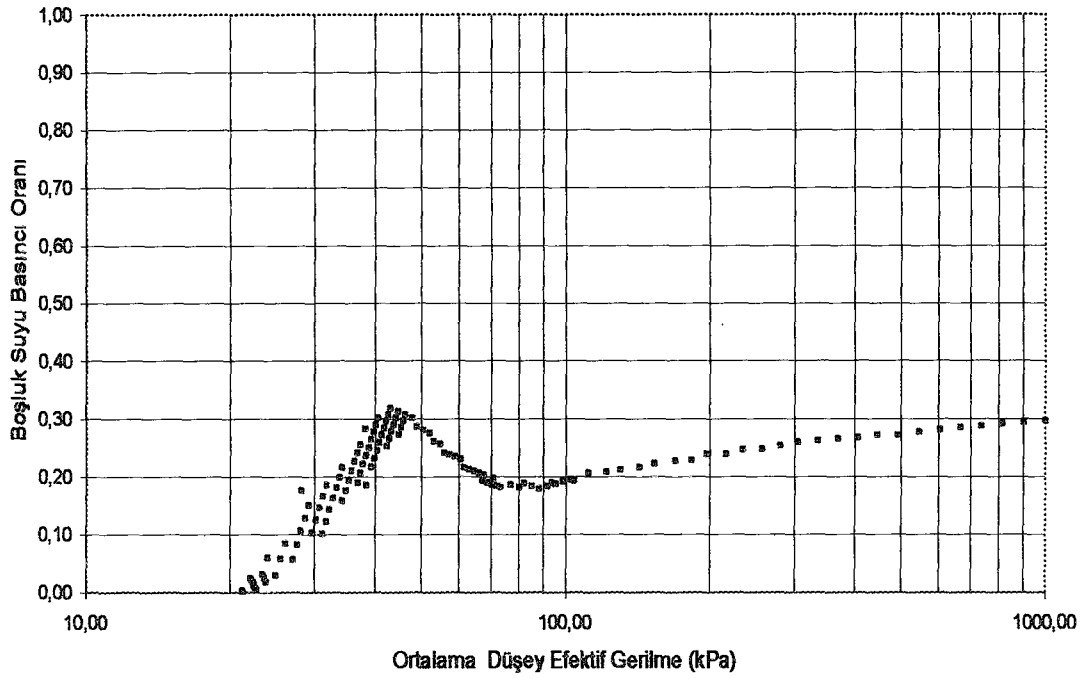
Şekil D.24. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Gerilme-Zaman İlişkisi (0,012mm/dk)



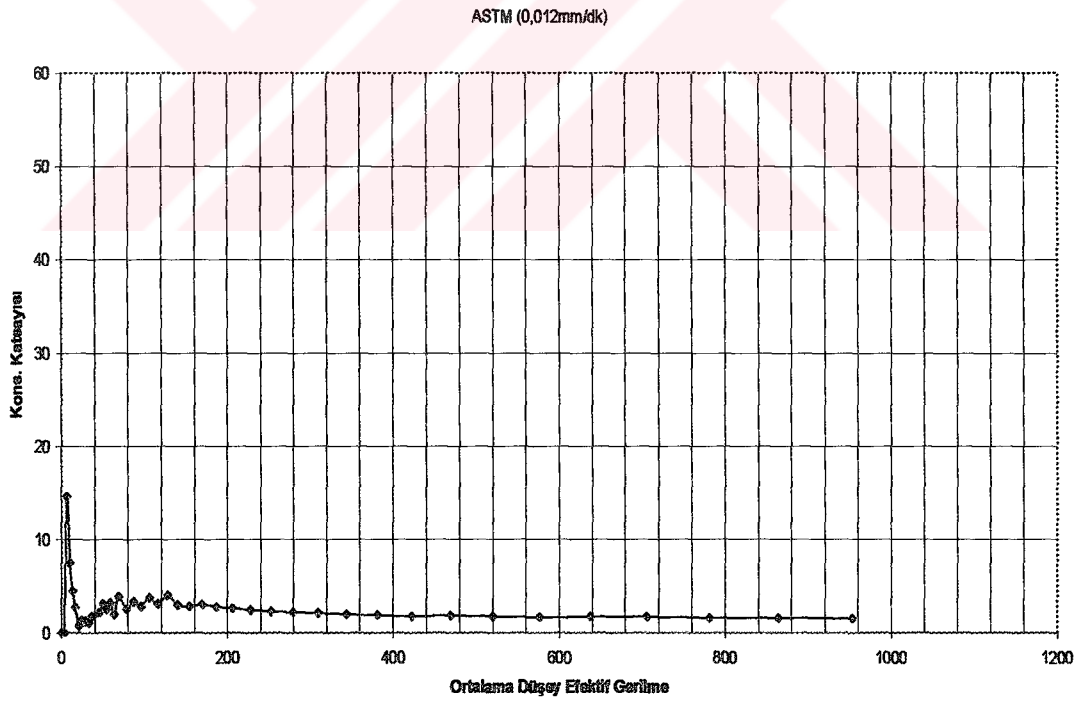
Şekil D.25. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



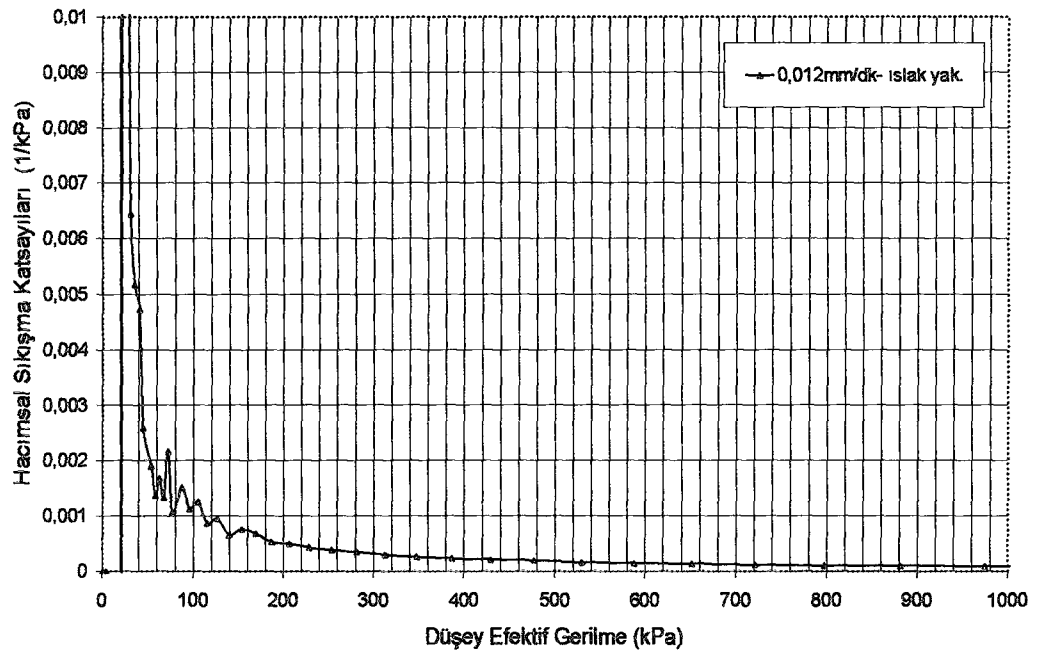
Şekil D.26. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



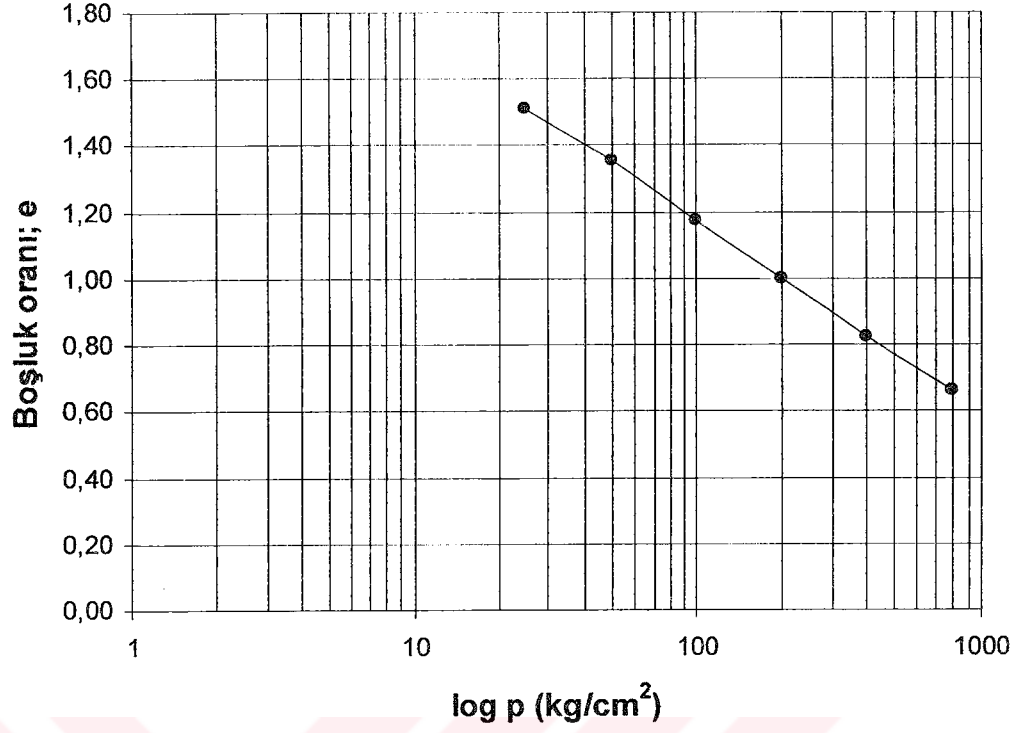
Şekil D.27. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



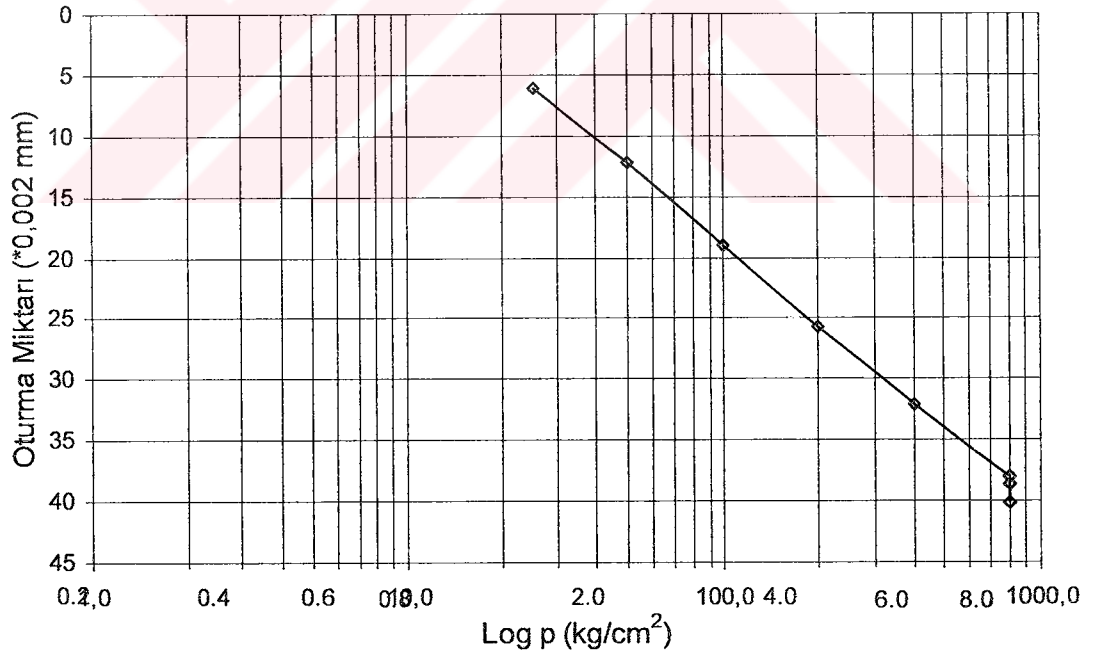
Şekil D.28. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Kons.Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



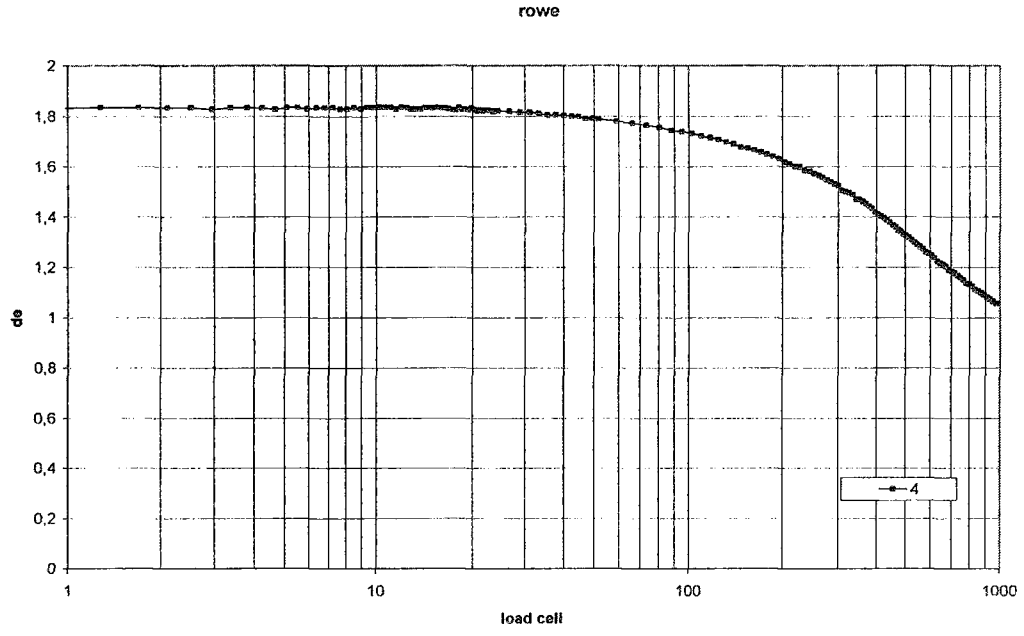
Şekil D.29. Islak Yakılmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen
Hacimsal Sıkışma Katsayısı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



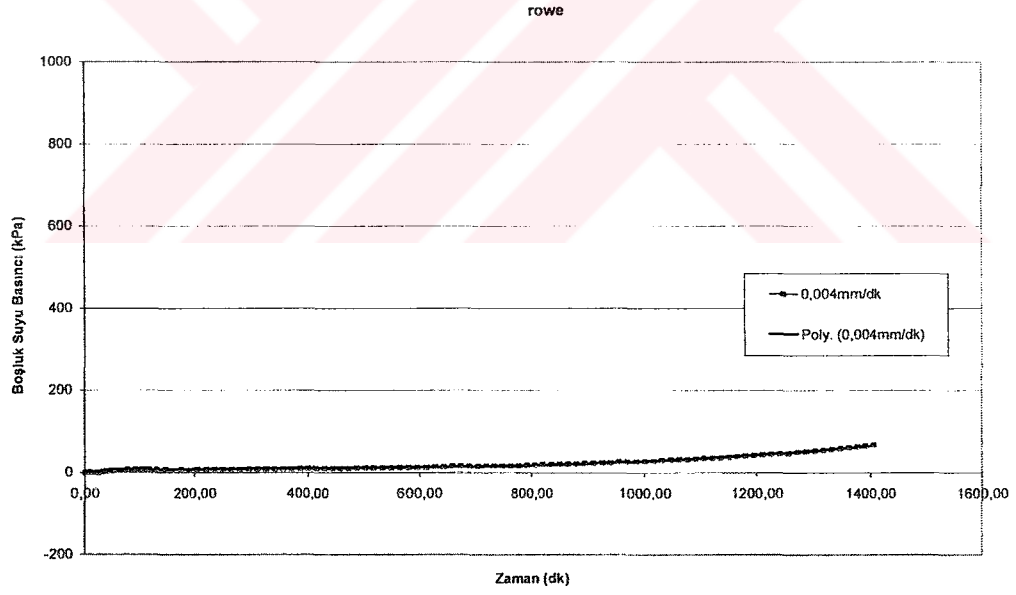
Şekil E.1. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin Klasik Deneyden Elde Edilen Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi



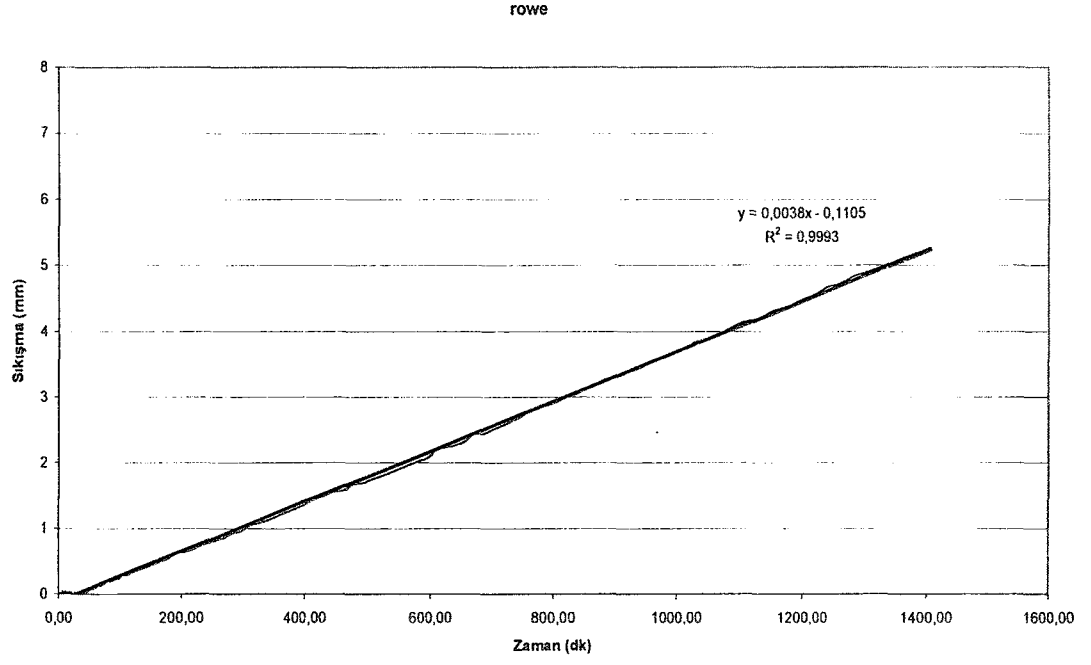
Şekil E.2. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin Klasik Deneyden Elde Edilen Sıkışma-Efektif Gerilme İlişkisi



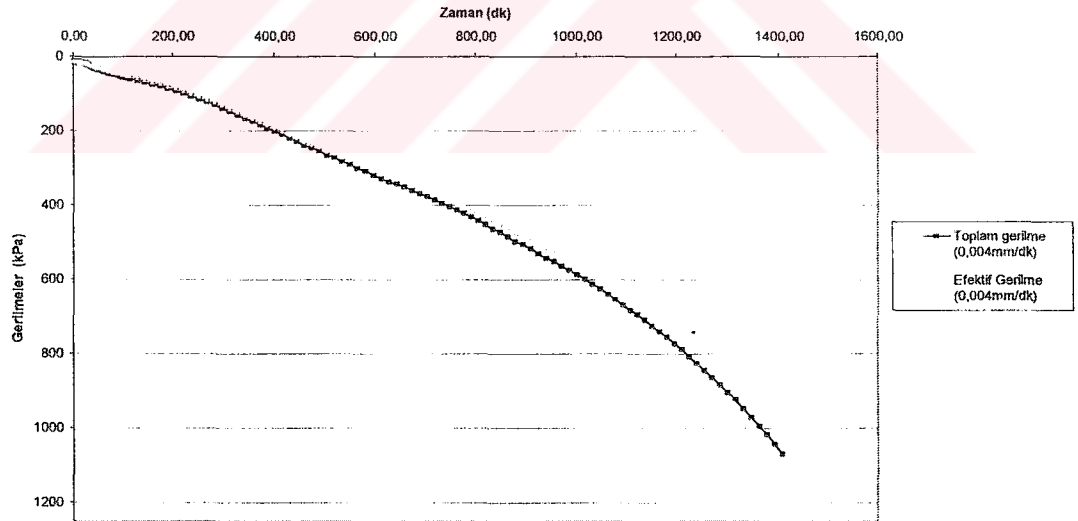
Şekil E.3. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



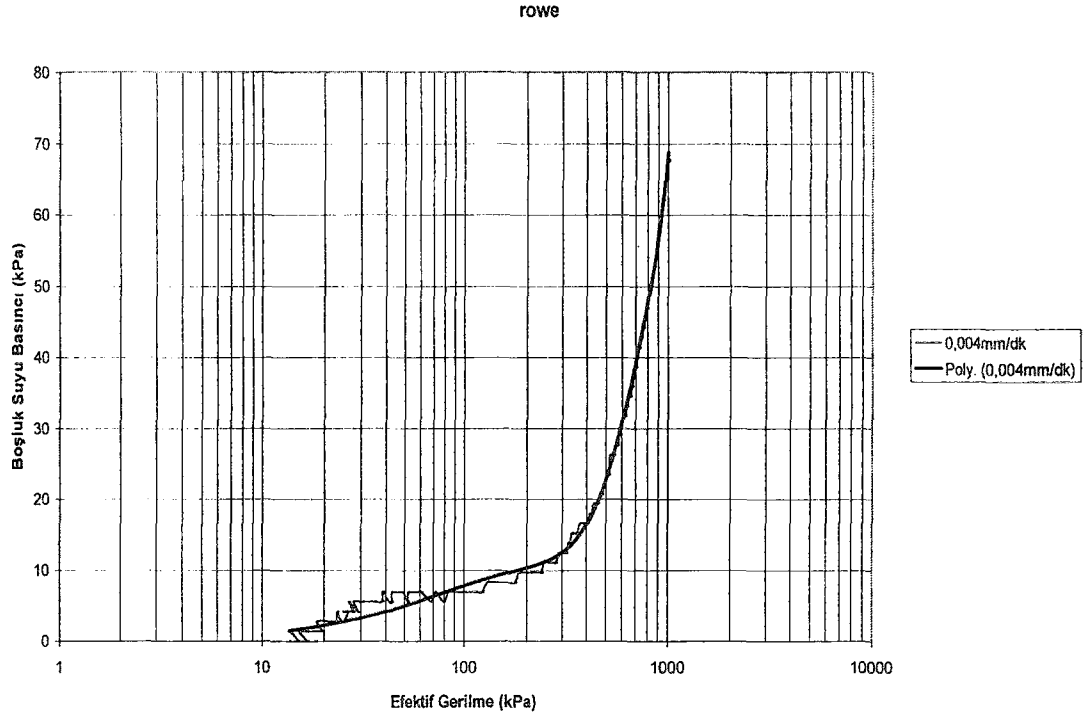
Şekil E.4. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı – Zaman ile İlişkisi (0,004mm/dk)



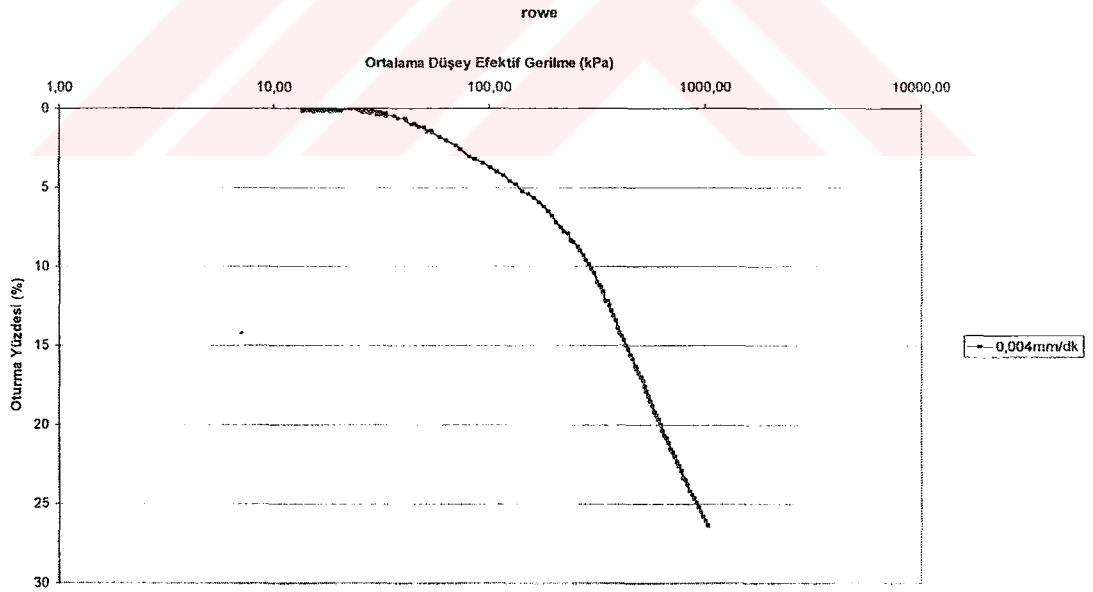
Şekil E.5. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Zaman İlişkisi(0,004mm/dk)



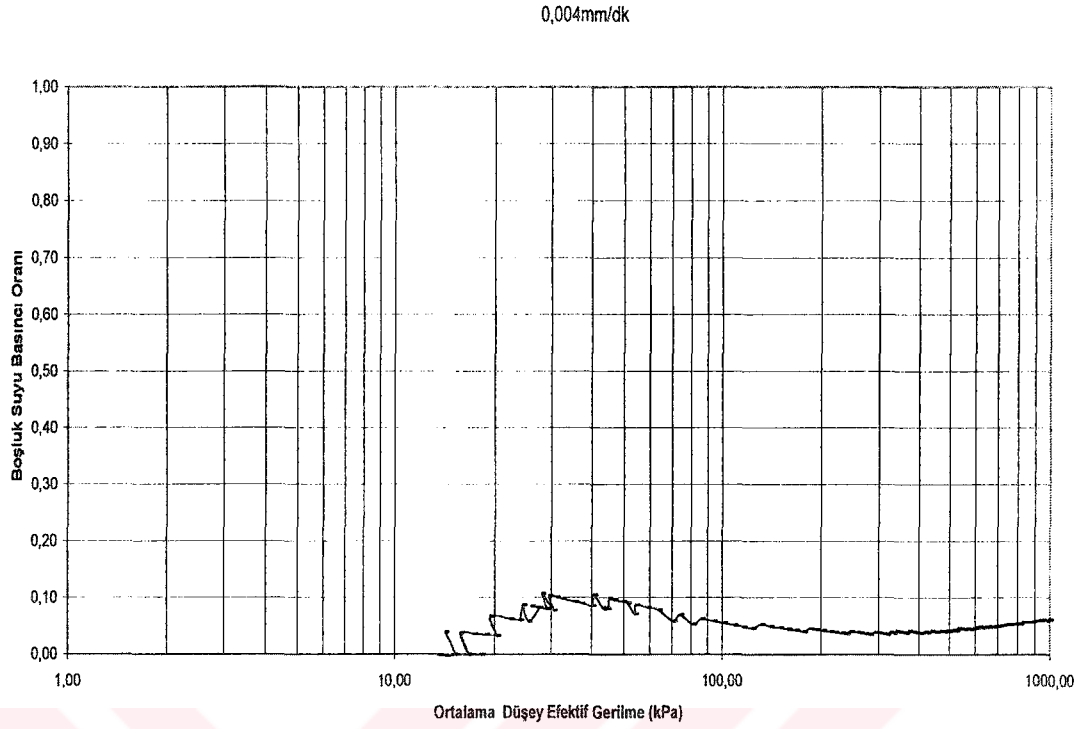
Şekil E.6. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Gerilme-Zaman İlişkisi (0,004mm/dk)



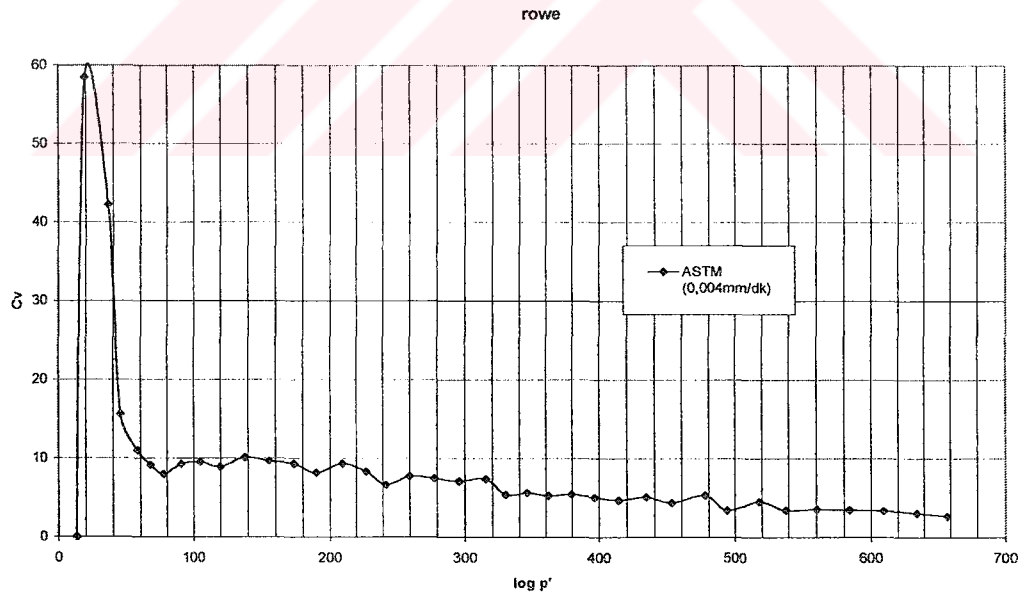
Şekil E.7. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



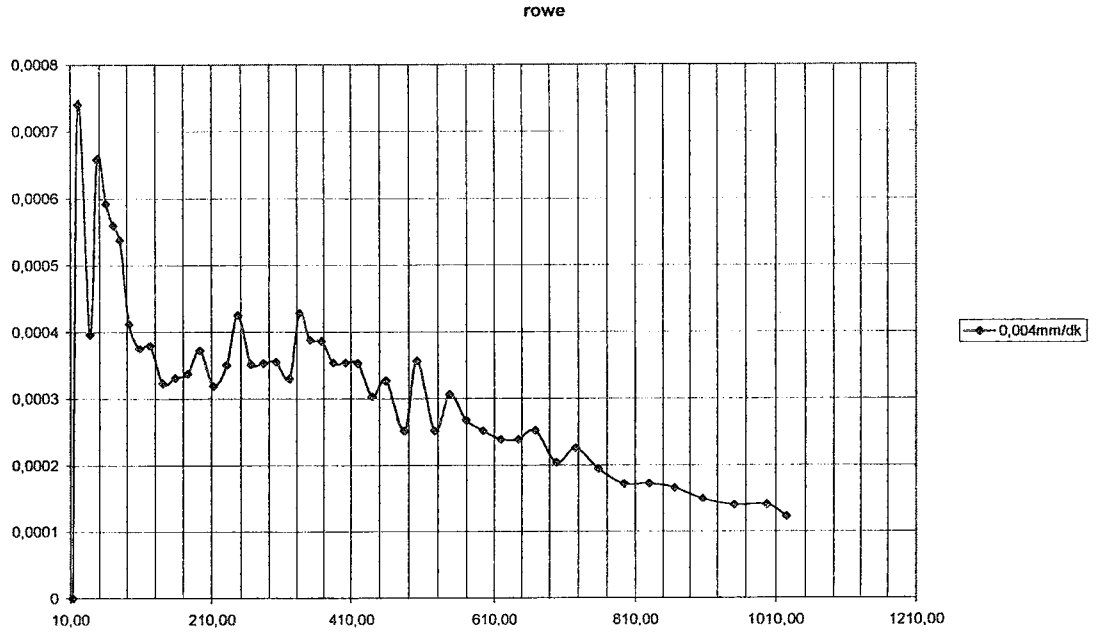
Şekil E.8. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



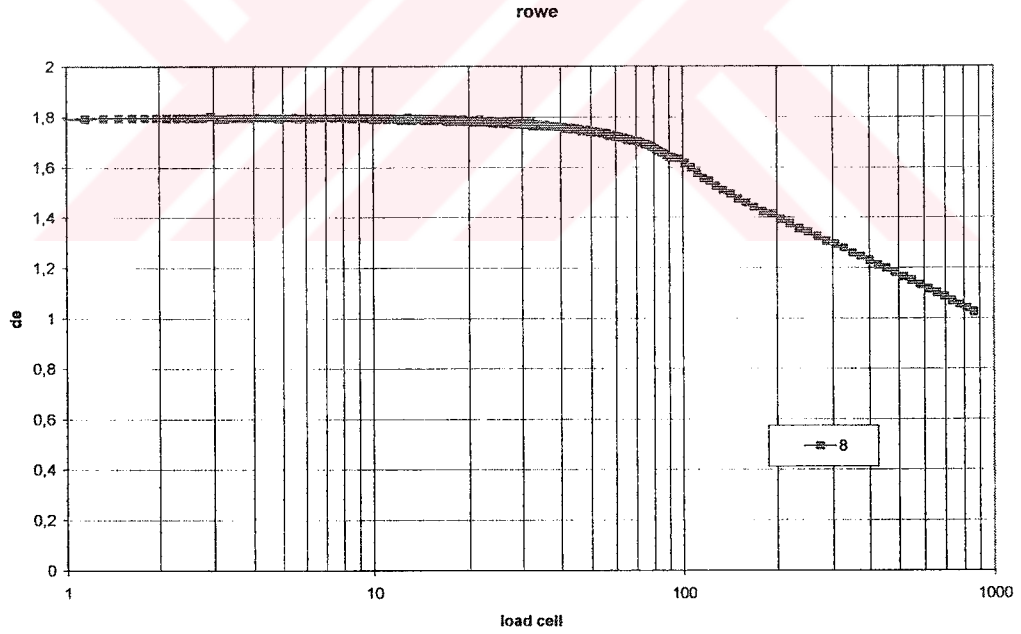
Şekil E.9. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



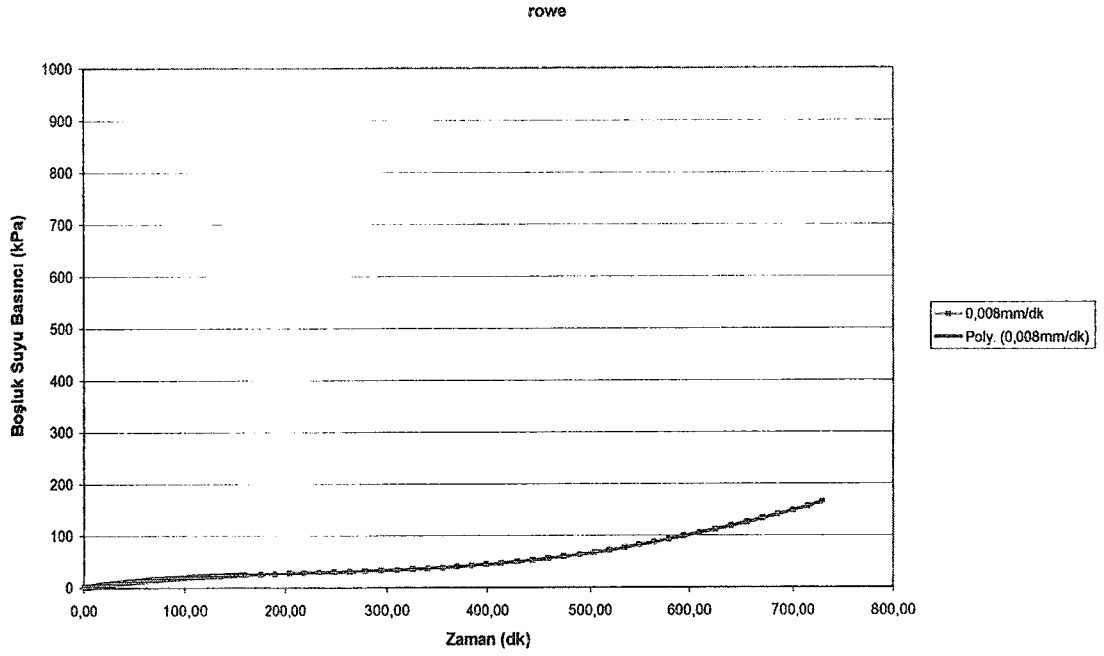
Şekil E.10. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Kons.Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



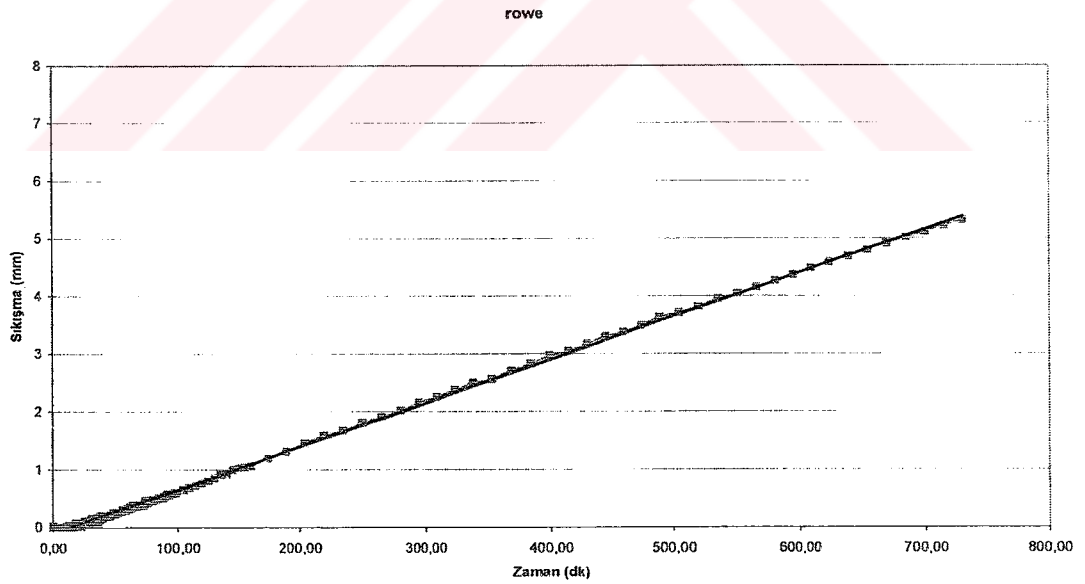
Şekil E.11. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Hacımsal Sıkışma Katsayısı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,004mm/dk)



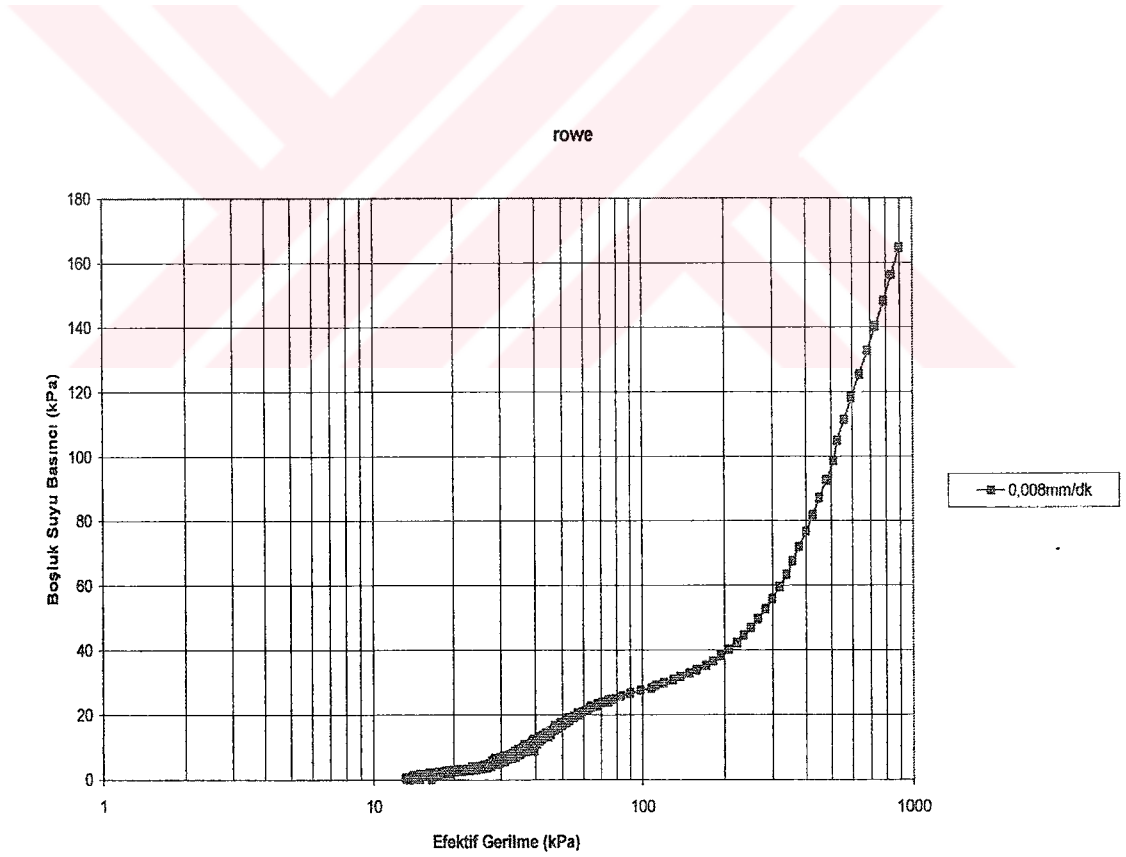
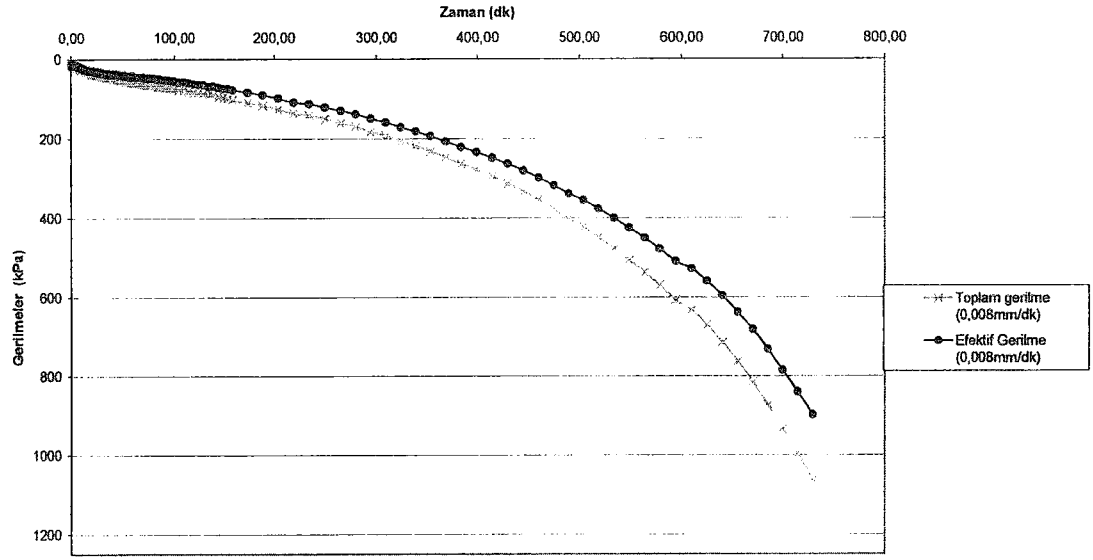
Şekil E.12. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)

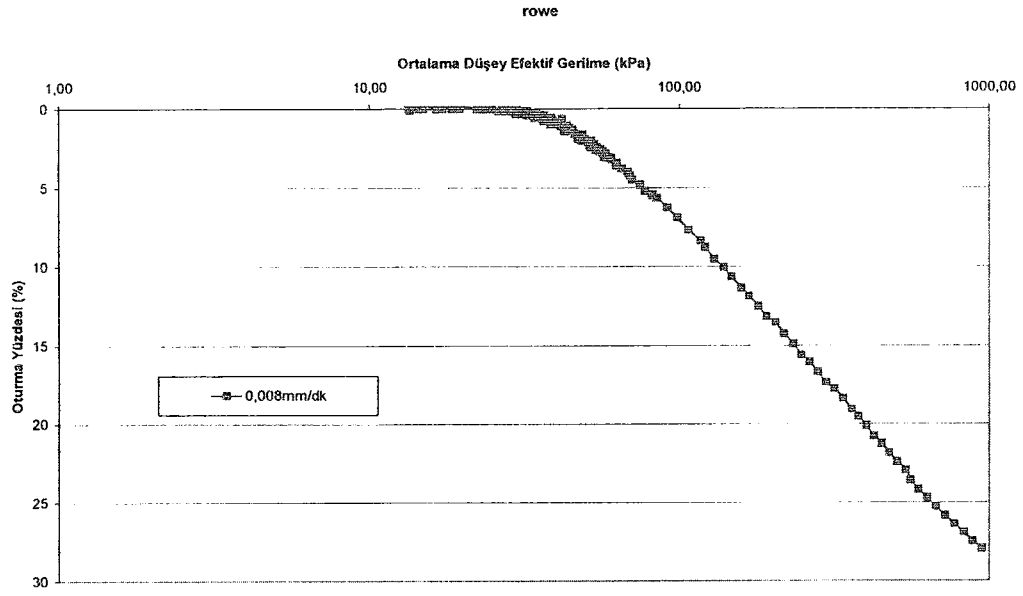


Şekil E.13. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı –Zaman ile İlişkisi (0,008mm/dk)

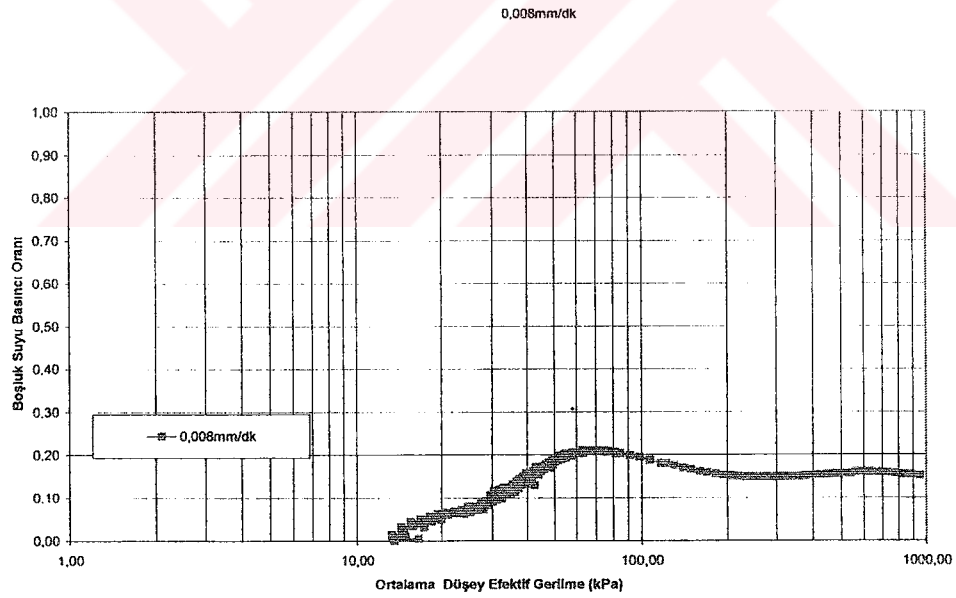


Şekil E.14. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Zaman İlişkisi (0,008mm/dk)

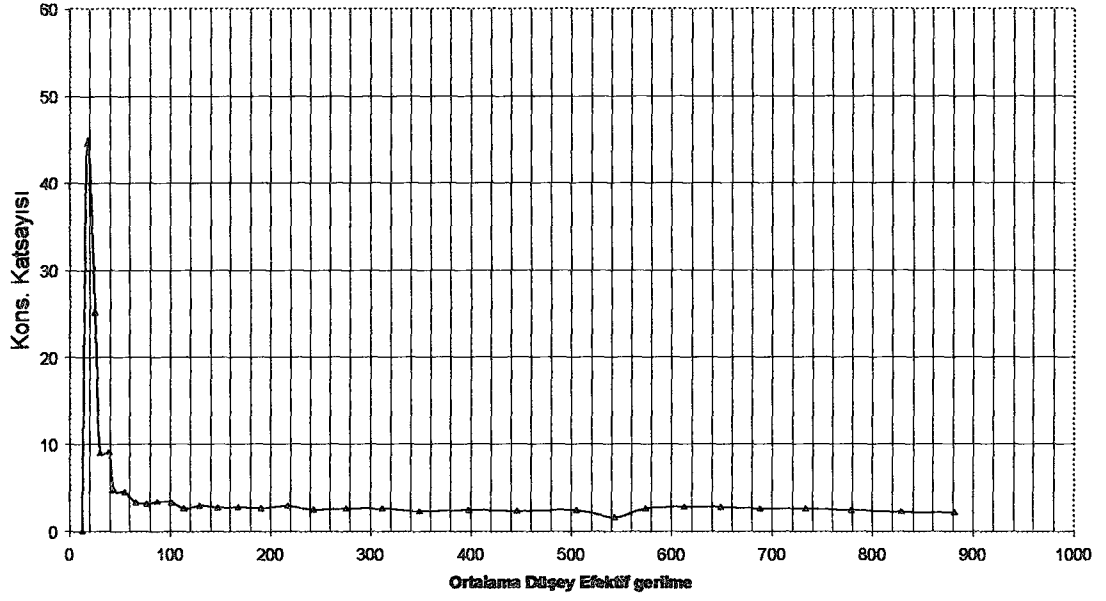




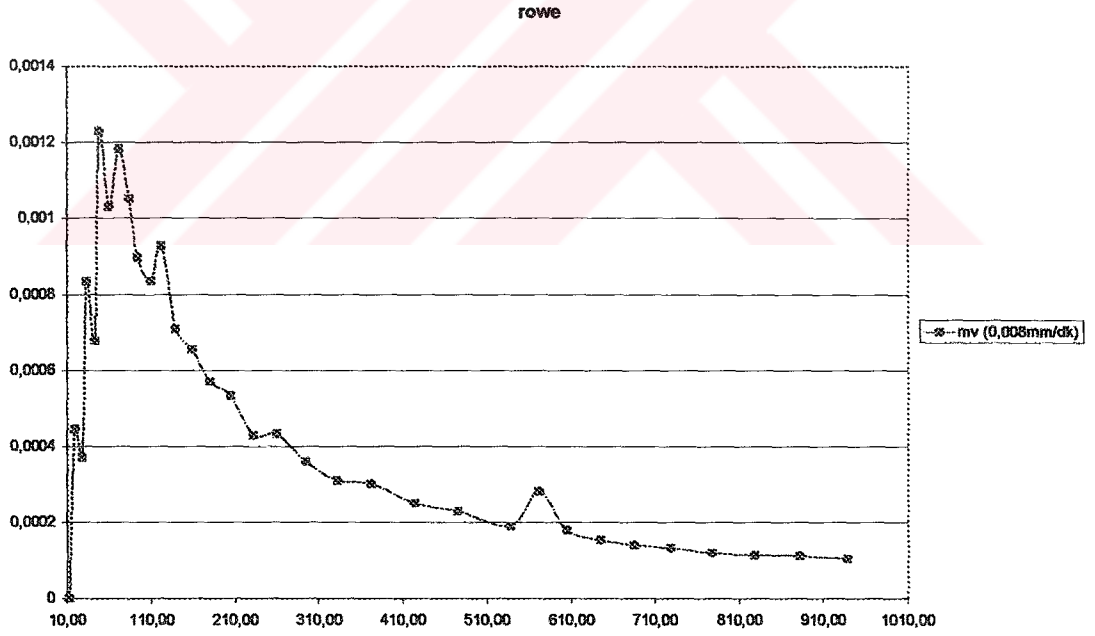
Şekil E.17. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



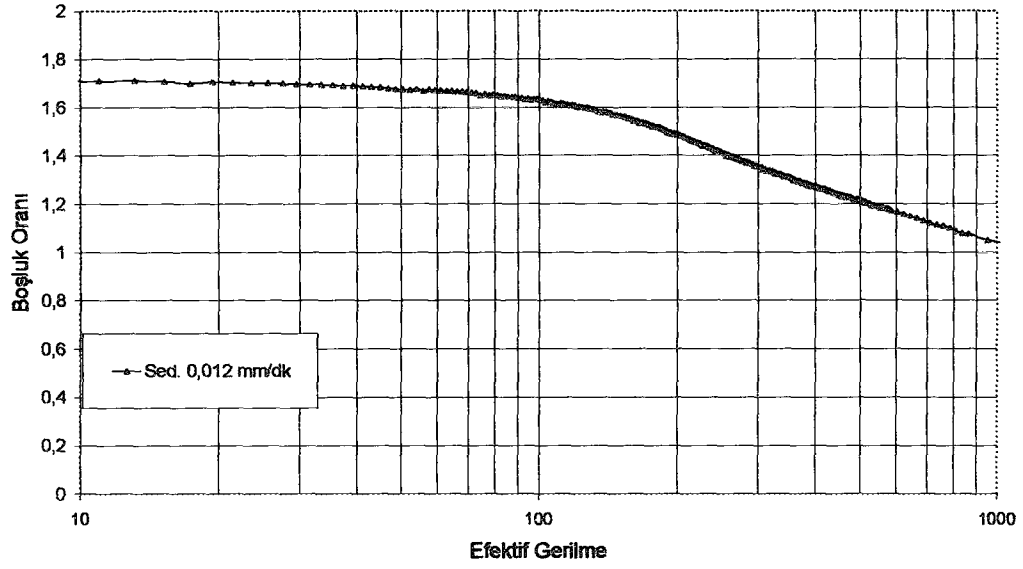
Şekil E.18. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



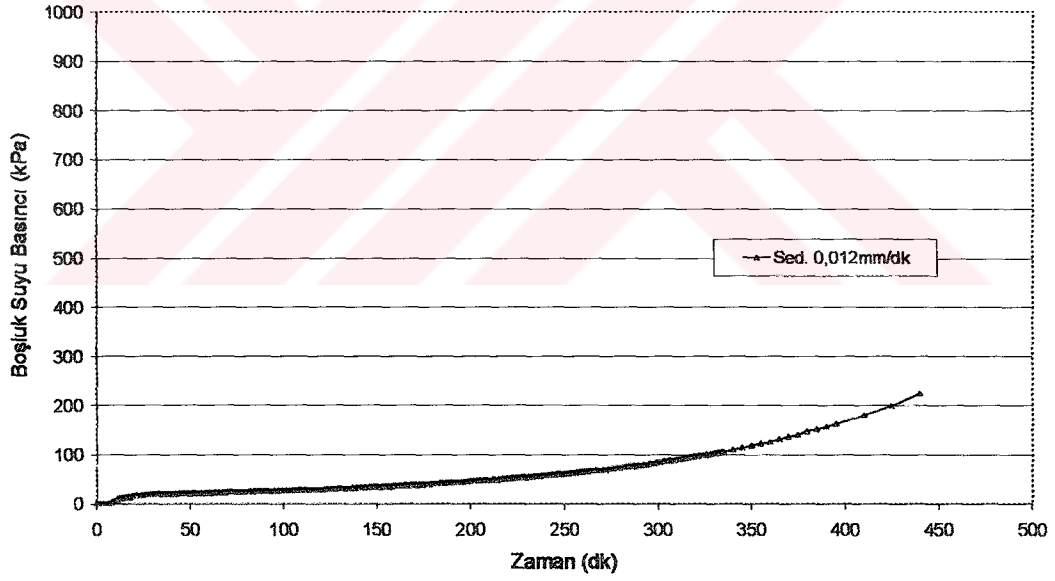
Şekil E.19. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Kons.Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



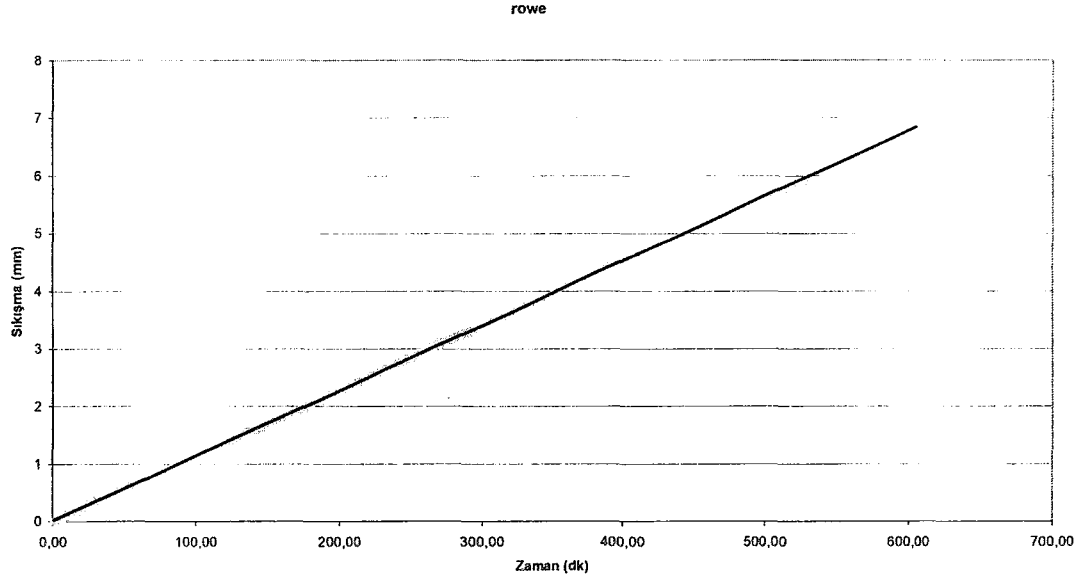
Şekil E.20. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Hacımsal Sıkışma Katsayısı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,008mm/dk)



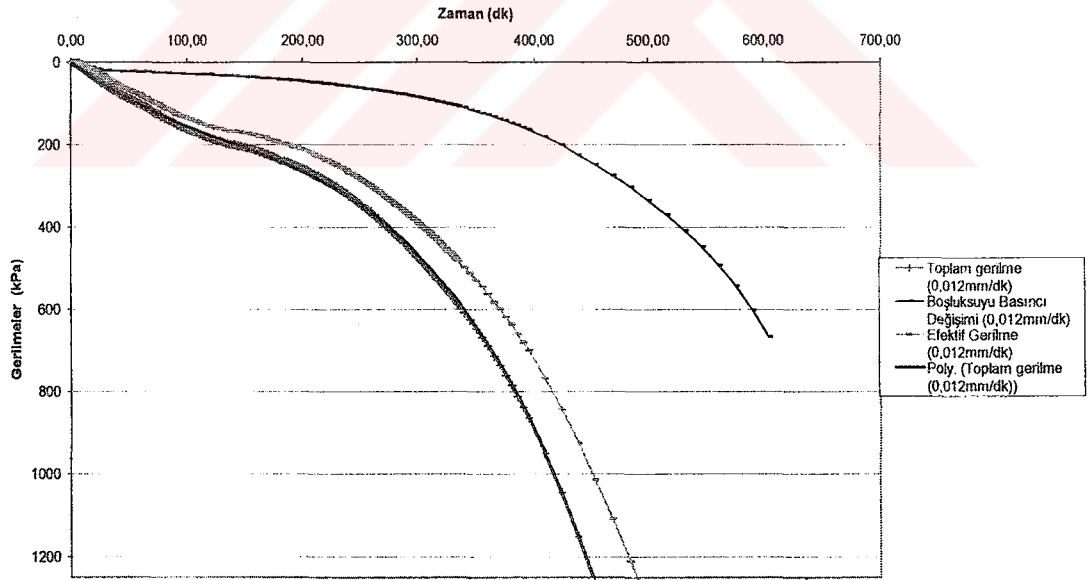
Şekil E.21. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



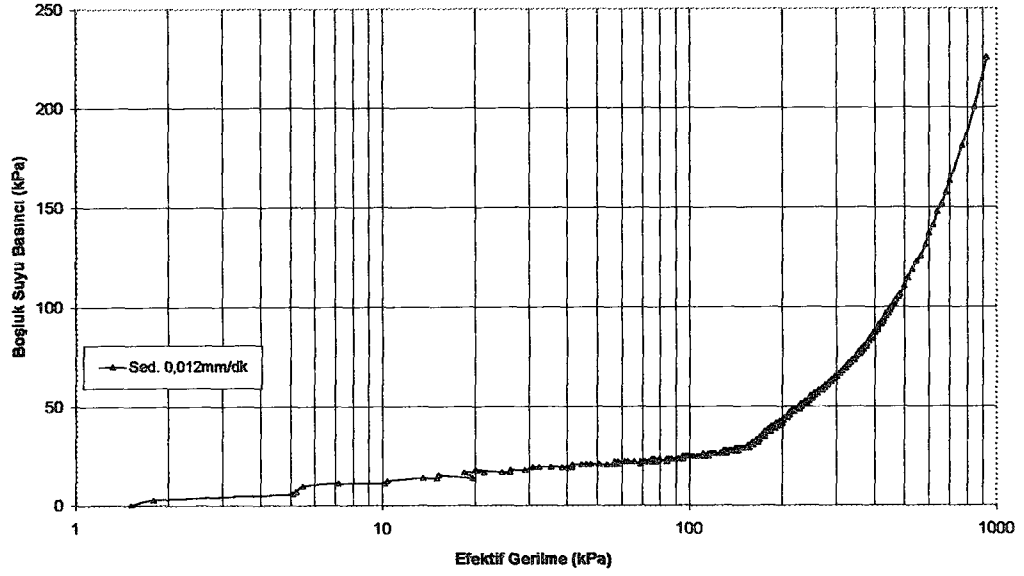
Şekil E.22. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı -Zaman ile İlişkisi (0,012mm/dk)



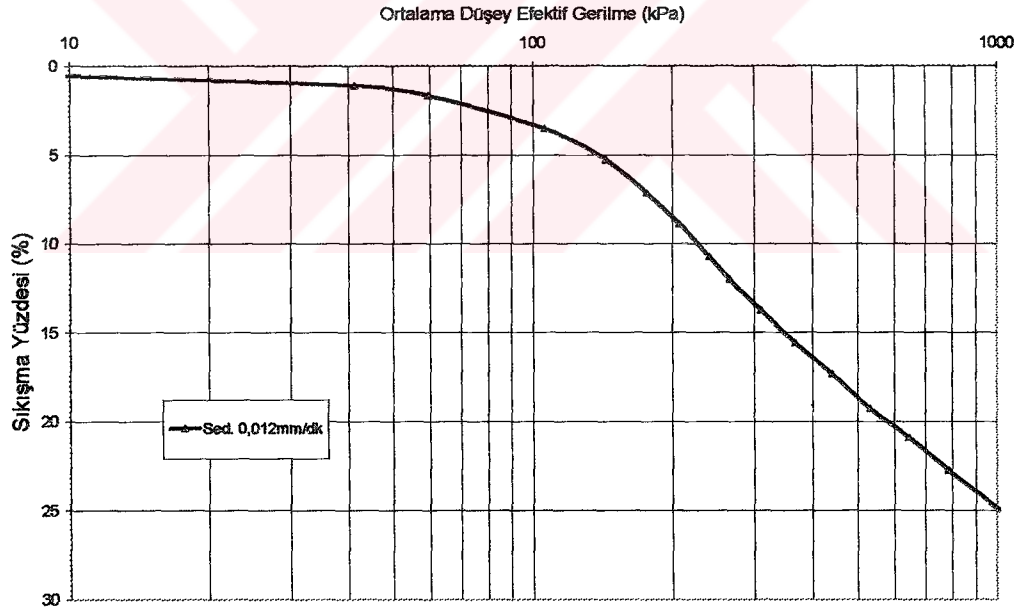
Şekil E.23. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Zaman İlişkisi (0,012mm/dk)



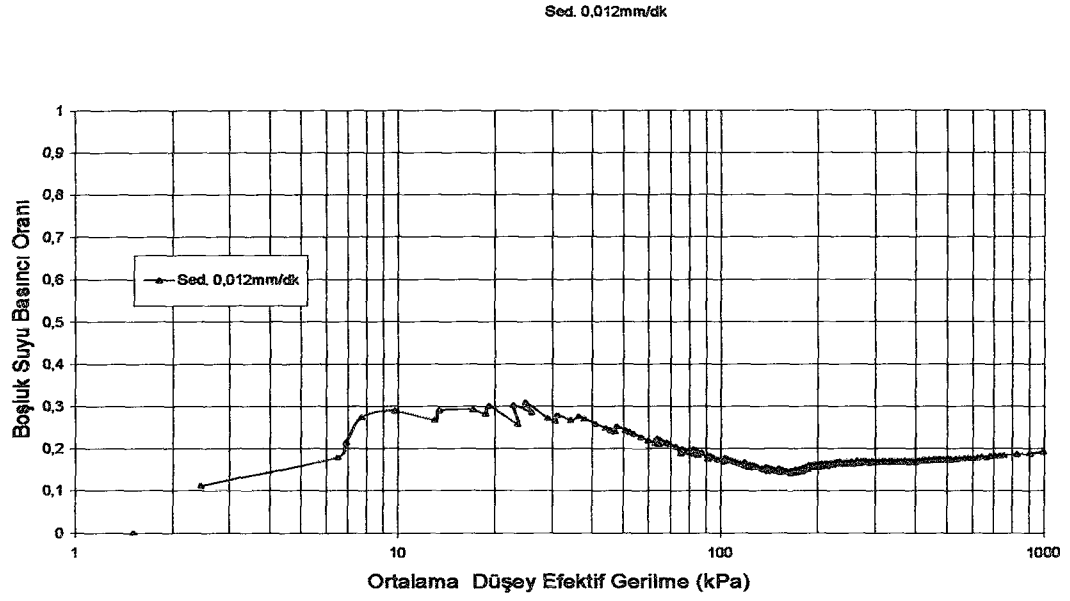
Şekil E.24. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Gerilme-Zaman İlişkisi (0,012mm/dk)



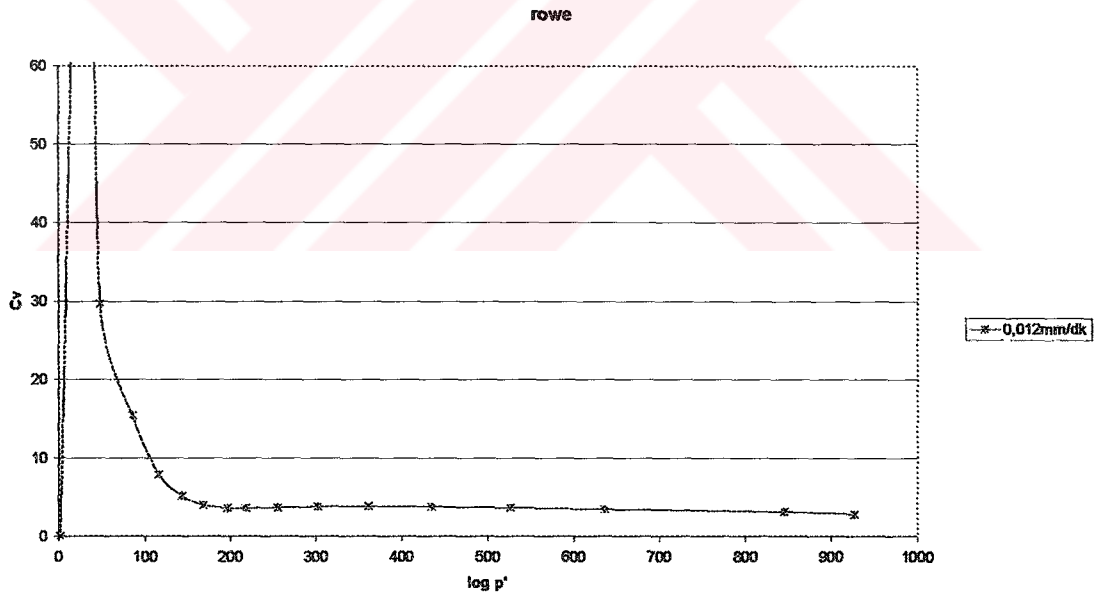
Şekil E.25. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



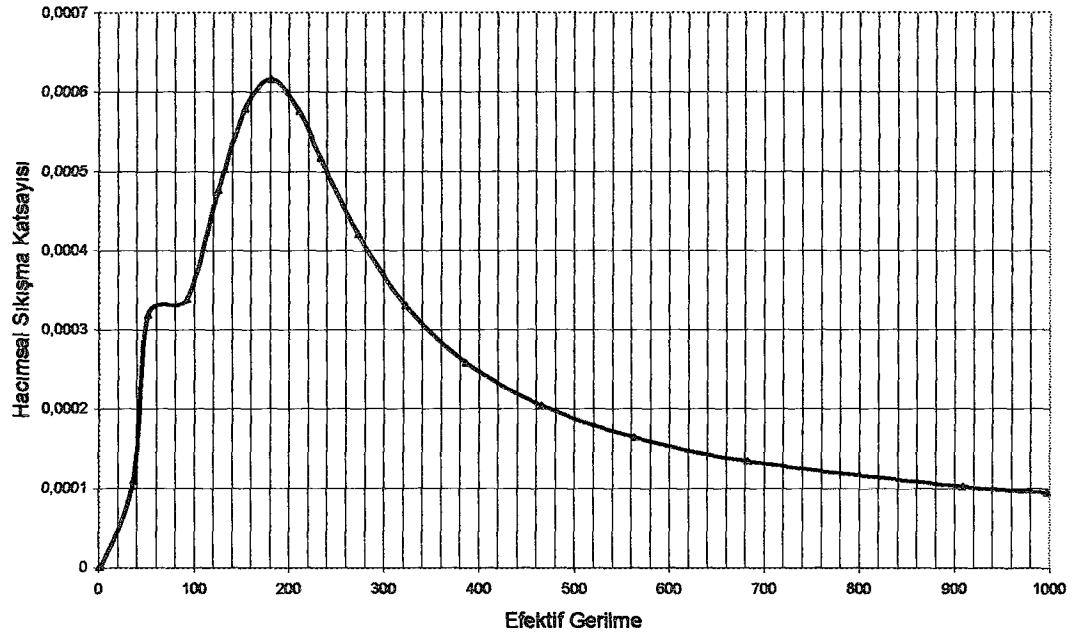
Şekil E.26. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Sıkışma-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



Şekil E.27. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Boşluk Suyu Basıncı Oranı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



Şekil E.28. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Kons.Katsayısı Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)



Şekil E.29. Rowe' da Hazırlanmış Numune İçin SDHK Deneyinden Elde Edilen Hacimsal Sıkışma Katsayısı-Efektif Gerilme İlişkisi (0,012mm/dk)

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini Moda İlkokulunda, orta öğrenimini Bostancı Ortaokulunda ve lise öğrenimini 1996 yılında Haydarpaşa Süper Lisesinde tamamlayan Atilla Yılmaz, 1997 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2002 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu ve aynı sene İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans yapmaya hak kazandı.

