

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇÖP SUYU KATKILI ÖRSELENMEMİŞ KİLLERİN
DİNAMİK DAVRANIŞI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Aytaç YAŞARGÜN**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : DEPREM MÜHENDİSLİĞİ

AĞUSTOS 2008

**ÇÖP SUYU KATKILI ÖRSELENMEMİŞ KİLLERİN
DİNAMİK DAVRANIŞI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Aytaç YAŞARGÜN
(501061204)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Ağustos 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 8 Ağustos 2008**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ayfer ERKEN
Diğer Jüri Üyeleri Doc.Dr. Recep İYİSAN (İ.T.Ü.)
Doc.Dr. Kadir ALP (İ.T.Ü)**

AĞUSTOS 2008

ÖNSÖZ

Bana kendisi ile beraber bilimsel alanda çalışma fırsatı sunan, bilgi birikimini ve tecrübesini benimle paylaşan, karşılaştığım problemlerde güler yüzü ve sakinliği ile beni motive eden, bana bilimsel bakış açısı kazandıran çok saygıdeğer hocam Prof Dr. Ayfer ERKEN'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Verdiği inanılmaz destekle tezime hız kazandıran, gecesini gündüzüne katarak bana yardımcı olan, bilimsel çalışmalardaki plan, program ve disiplinin nasıl olması gerektiğini öğreten sevgili arkadaşım Araş. Gör. Ahmet Şener'e, beni bu programa ve bu çalışmaya teşvik eden, bana yol gösteren, desteğini sürekli arkamda hissettiğim, bölüm sekreterimiz Ç.Müh. Gülçin GÜLEY'e.

Ayrıca başta babam Yazar Abdülkadir YAŞARGÜN ve annem Sevim YAŞARGÜN olmak üzere aileme, Akton İnşaat yönetim kurulu başkanı ve patronum Ahmet Tunç AKAN ile çalışma arkadaşlarıma, kuzenlerim Kıvanç KOLUKISA, Andaç KOLUKISA ve Mert ASLANSOY' a manevi destekleri için teşekkürü bir borç bilirim.

AĞUSTOS, 2008

AYTAÇ YAŞARGÜN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1 GİRİŞ	1
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2 ÇEŞİTLİ KİRLETİCİLERLE KİRLETİLMİŞ KİLLİ ZEMİNLERİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ	3
2.1 Giriş	3
2.2 Zemin-Su Sistemini Etkileyen Faktörler	3
2.2.1 Organik Madde	3
2.2.2 pH	3
2.2.3 İyon Değişimi	4
2.3 Zeminin Mekanik Davranışındaki Değişimler	4
2.3.1 Atterberg Limitleri	4
2.3.2 Kayma Mukavemeti	9
2.3.3 Permeabilite	12
2.3.4 Konsolidasyon Davranışı	19
2.4 Zeminin Dinamik Davranışındaki Değişimler	24
2.5 Sonuçlar	29
3 DENEYLERDE KULLANILAN ZEMİN VE DENEY ALETİ	30
3.1 Giriş	30
3.2 Deneylerde Kullanılan Zemin	30
3.3 Çöp Sızıntı Suyunun Özellikleri	32
3.4 Numune Hazırlanması	33
3.5 Çöp Sızıntı Suyu İle Karıştırılmış Zemin Numunelerinin Özellikleri	33
3.6 Atterberg Limitleri	36
3.6.1 Likit Limit	36
3.6.2 Plastik Limit	38
3.7 Ödometre Deneyi	38
3.7.1 Ödometre Aleti	38
3.7.2 Numune Hazırlanması	39
3.7.3 Deneyin Yapılışı	41
3.8 Dinamik Üç Eksenli Basınç Deneyi	42
3.8.1 Dinamik Üç Eksenli Dinamik Basınç Deney Sistemi	42
3.8.1.1 Yükleme Birimi ve Üç Eksenli Hücre	43
3.8.1.2 Elektriksel Ölçüm Birimi	44
3.8.2 Deney Sisteminin Kalibrasyonu	46

3.8.3 Numune Hazırlanması	47
3.8.4 Deneyin Yapılışı	49
3.8.5 Verilerin Toplanması	51
3.9 Sonuçlar	52
4 DENEY SONUÇLARI	53
4.1 Giriş	53
4.5 Ödometre Deney Sonuçları	54
4.5.1 Boşluk Oranı Değişimi Üzerinde Kür Oranının Etkisi	56
4.5.3 Permeabilite Katsayı Üzerinde Kür Oranı ve Kür Süresinin Etkisi	57
4.6 Zeminin Dinamik Davranışları Üzerine Kür Oranının Etkisi	58
4.6.1 Elastisite Modülü Üzerinde Kür Oranı ve Kür Süresinin Etkisi	58
4.6.2 Dinamik Gerilme Oranı İle Kür Oranı İlişkisi	59
4.6.2 Dinamik Mukavemet Eğrisi	70
4.7 Dinamik ve Dinamik Sonrası Statik Davranışların İncelenmesi	70
4.8 Gerilme Seviyelerinin Statik Davranışa Etkisi	73
5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	76
EK A	80
EK B	93
EK C	132
ÖZGEÇMİŞ	133

KISALTMALAR

TKM	: Toplam katı madde
TUKM	: Toplam uçucu katı madde
TÇM	: Toplam çözünmüş madde
TUÇM	: Toplam uçucu çözünmüş madde
TAM	: Toplam askıda madde
TUAM	: Toplam askıda uçucu madde
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
BOİ	: Biyolojik oksijen ihtiyacı
Çöz.KOİ	: Çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı
TP	: Toplam fosfor
TKN	: Toplam kjeldahl azotu
BSB	: Boşluk Suyu Basıncı

TABLO LİSTESİ**Sayfa No**

Tablo 2.1	: Fosforik Asit Katkılı Killerin Kıvam Limitleri	6
Tablo 2.2	: Fosfatın Zeminin ϕ ve c Değerleri Üzerine Etkisi	10
Tablo 2.3	: Kireç ve Sülfürik Asittin Zeminin Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi.....	11
Tablo 2.4	: Ön Konsolidasyon Basıncının Kür Süresi İle Değişimi	23
Tablo 3.1	: Deney Numunesinin Endeks Özellikleri	31
Tablo 3.2	: K.Burgaz Çöp Sızıntı Suyu Bileşenlerine Ait Analiz Sonucu.	32
Tablo 3.3	: Çamur Konsolidasyon Deney Verileri.....	35
Tablo 4.1	: Ödometre Deneyi $w-\gamma_k$ Değerleri	54
Tablo 4.2	: Ödometre Deney Sonuçları	55
Tablo 4.3	: Kür Oranları – En Büyük Elastisite Modülü Değerleri.....	59

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: Delektrik Sabitinin Likit Limite Etkisi	5
Şekil 2.2	: Fosfat Adsorbsiyonun Kaolinit İçindeki Dane Çapı Dağılımına Etkisi.....	6
Şekil 2.3	: Kimyasal Atıkların Kıvam Limitleri Üzerine Etkisi	7
Şekil 2.4	: Uçucu Külün Kıvam Limitleri Üzerine Etkisi	8
Şekil 2.5	: Atterberg Limiti Üzerine Çimento İçeriğinin ve Kür Süresinin Etkisi.....	9
Şekil 2.6	: Kireç ve Sülfürik Asittin c Üzerine Etkisi	11
Şekil 2.7	: Kireç ve Sülfürik Asittin ϕ Üzerine Etkisi	12
Şekil 2.8	: Boşluk Sıvısının Boşluk Oranı-Permeabilite Üzerine Etkisi	13
Şekil 2.9	: Küre Bırakılmamış Numunelerin Permeabilite Katsayısının Kireç İçeriği İle Değişimi.....	14
Şekil 2.10	: Kür Süresi ve Kireç İçeriği İle Permeabilite Katsayısının Değişimi.....	15
Şekil 2.11	: Permeabilitenin Kür Süresi İle Değişimi	16
Şekil 2.12	: Çöp Sızıntı Suyu İçindeki Askıda Madde Miktarının Permeabilite Katsayısı Üzerine Etkisi.....	17
Şekil 2.13	: Geçirimsizlik Katsayısının Katkı Oranı İle Değişimi	18
Şekil 2.14	: Tuzun Permeabilite Üzerindeki Etkisi	18
Şekil 2.15	: Bentonit ve Na^+ Kaolinitte Sıkışabilirlik Eğrileri.....	19
Şekil 2.16	: Farklı Boşluk Sıvılarında Tek Yönlü Konsolidasyon Eğrileri	20
Şekil 2.17	: Şişme Yüzdesi-Sönmüş Kireç Katkısı İlişkisi	22
Şekil 2.18	: Konsolidasyon Basıncının Çimento Katkısı İle Değişimi	23
Şekil 2.19	: Kireç İçeriğinin G Üzerine Etkisi	24
Şekil 2.20	: Kireç İçeriğinin Sönüm Üzerine Etkisi	25
Şekil 2.21	: Kireç İçeriğinin G- γ Üzerine Etkisi	26
Şekil 2.22	: Kireç İçeriğinin G- γ Üzerine Etkisi	26
Şekil 2.23	: Kireç İçeriğinin G- γ Üzerine Etkisi	27
Şekil 2.24	: Kayma Modülü- Kireç Yüzdesi Arasındaki İlişki	28
Şekil 2.25	: Lif Katkısının Sönümleme Oranına Etkisi	28
Şekil 2.26	: Lif Katkısının Dinamik Kayma Modülü Üzerine Etkisi	29
Şekil 2.27	: Lif Katkısının Young Modülü Üzerine Etkisi	29
Şekil 3.1	: Plastisite Kartı	31
Şekil 3.2	: Granülometri Eğrisi	31
Şekil 3.3	: Çamur Konsolidasyon Deney aleti.....	34
Şekil 3.4	: Konsolidasyon Sonrası Numuneler.....	35
Şekil 3.5	: Casagrande Aleti.....	37
Şekil 3.6	: Ödometre Deney Aleti	39
Şekil 3.7	: Konsolidasyon Deney Numunesinin Hazırlanması	40
Şekil 3.8	: Dinamik Üç Eksenli Basınç Deney Sistemi	42
Şekil 3.9	: Dinamik Üç Eksenli Deney Sisteminin Yan ve Önden Görünüşü	43
Şekil 3.10	: Dinamik Yükleme Ölçüm ve Kayıt Birimi.....	45

Şekil 3.11	: Ölçüm Sistemi Dijital Panosu	46
Şekil 3.12	: Tıraşlama Aleti Kullanılarak Numune Hazırlanması	48
Şekil 4.1	: e-log P (t= 30 gün).....	56
Şekil 4.2	: Konsolidasyon Basıncı ve Permeabilite Katsayısındaki Değişim.	57
Şekil 4.3	: Tekrarlı Yükleme İle Elde Edilen Histerisis İlmği.....	58
Şekil 4.4	: Dinamik Deformasyon – Çevrim Sayısı İlişkisi	60
Şekil 4.5	: Boşluk Suyu Basıncı Oranı – Çevrim Sayısı İlişkisi.....	60
Şekil 4.6	: Dinamik Deformasyon – Çevrim Sayısı İlişkisi	61
Şekil 4.7	: Boşluk Suyu Basıncı Oranı – Çevrim Sayısı İlişkisi.....	61
Şekil 4.8	: Dinamik Deformasyon – Çevrim Sayısı İlişkisi.....	62
Şekil 4.9	: Boşluk Suyu Basıncı Oranı – Çevrim Sayısı İlişkisi.....	62
Şekil 4.10	: Boşluk Suyu Basıncı Oranı – Dinamik Deformasyon İlişkisi.....	63
Şekil 4.11	: Boşluk Suyu Basıncı Oranı – Dinamik Deformasyon İlişkisi.....	63
Şekil 4.12	: Boşluk Suyu Basıncı Oranı – Dinamik Deformasyon İlişkisi	64
Şekil 4.13	: Dinamik Deformasyon – Çevrim Sayısı İlişkisi.....	64
Şekil 4.14	: Boşluk suyu basıncı oranı – Çevrim sayısı ilişkisi.....	65
Şekil 4.15	: Dinamik Deformasyon – Çevrim Sayısı İlişkisi	65
Şekil 4.16	: Boşluk Suyu Basıncı Oranı – Çevrim Sayısı İlişkisi.....	66
Şekil 4.17	: Dinamik Deformasyon – Çevrim Sayısı İlişkisi	66
Şekil 4.18	: Boşluk Suyu Basıncı Oranı – Çevrim Sayısı İlişkisi	67
Şekil 4.19	: Dinamik Deformasyon – Çevrim Sayısı İlişkisi	67
Şekil 4.20	: Boşluk Suyu Basıncı Oranı – Çevrim Sayısı İlişkisi	68
Şekil 4.21	: Dinamik Deformasyon – Çevrim Sayısı İlişkisi	69
Şekil 4.22	: Boşluk Suyu Basıncı Oranı – Çevrim Sayısı İlişkisi	69
Şekil 4.23	: Dinamik Mukavemet Eğrisi.....	70
Şekil 4.24	: Dinamik Deney Sonucu (%20 Kür Oranı).....	72
Şekil 4.25	: Dinamik ve Dinamik Sonrası Statik (%20 Kür Oranı).....	73
Şekil 4.26	: Statik ve Dinamik Sonrası Statik (%20 Kür Oranı).....	74
Şekil A.1	:Deney 1 Sonrası Fotoğrafı (%5 Çöp Suyu).....	80
Şekil A.2	:Deney 2 Sonrası Fotoğrafı (%5 Çöp Suyu).....	81
Şekil A.3	:Deney 3 Sonrası Fotoğrafı (%0 Çöp Suyu).....	81
Şekil A.4	:Deney 4 Sonrası Fotoğrafı (%0 Çöp Suyu).....	82
Şekil A.5	:Deney 5 Sonrası Fotoğrafı (%0 Çöp Suyu).....	82
Şekil A.6	:Deney 6 Sonrası Fotoğrafı (%50 Çöp Suyu)	83
Şekil A.7	:Deney 7 Sonrası Fotoğrafı (%20 Çöp Suyu)	83
Şekil A.8	:Deney 8 Sonrası Fotoğrafı (%100 Çöp Suyu)	84
Şekil A.9	:Deney 9 Sonrası Fotoğrafı (%5 Çöp Suyu)	84
Şekil A.10	:Deney 10 Sonrası Fotoğrafı (%50 Çöp Suyu)	85
Şekil A.11	:Deney 11 Sonrası Fotoğrafı (%100 Çöp Suyu)	85
Şekil A.12	:Deney 12 Sonrası Fotoğrafı (%20 Çöp Suyu)	86
Şekil A.13	:Deney 13 Sonrası Fotoğrafı (%5 Çöp Suyu)	86
Şekil A.14	:Deney 14 Sonrası Fotoğrafı (%0 Çöp Suyu)	87
Şekil A.15	:Deney 15 Sonrası Fotoğrafı (%50 Çöp Suyu)	87
Şekil A.16	:Deney 16 Sonrası Fotoğrafı (%20 Çöp Suyu)	88
Şekil A.17	:Deney 17 Sonrası Fotoğrafı (%100 Çöp Suyu)	88

Şekil A.18	:Deney 18 Sonrası Fotoğrafi (%5 Çöp Suyu)	89
Şekil A.19	:Deney 19 Sonrası Fotoğrafi (%0 Çöp Suyu)	89
Şekil A.20	:Deney 20 Sonrası Fotoğrafi (%100 Çöp Suyu).....	90
Şekil A.21	:Deney 21 Sonrası Fotoğrafi (%20 Çöp Suyu)	90
Şekil A.22	:Deney 22 Sonrası Fotoğrafi (%5 Çöp Suyu)	91
Şekil A.23	:Deney 23 Sonrası Fotoğrafi (%100 Çöp Suyu)	91
Şekil A.24	:Deney 24 Sonrası Fotoğrafi (%50 Çöp Suyu)	92
Şekil B.1	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu %5 Kür Oranı, Degredation)	93
Şekil B.2	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%5 Kür Oranı, Dinamik)....	94
Şekil B.3	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%0 Kür Oranı, Dinamik)....	95
Şekil B.4	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%0 Kür Oranı, Dinamik)....	96
Şekil B.5	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%0 Kür Oranı, Dinamik)....	97
Şekil B.6	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%50 Kür Oranı, Dinamik)...	98
Şekil B.7	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%20 Kür Oranı, Dinamik)..	99
Şekil B.8	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%100 Kür Oranı, Dinamik..	100
Şekil B.9	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%5 Kür Oranı, Dinamik)....	101
Şekil B.10	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%50 Kür Oranı, Dinamik)...	102
Şekil B.11	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%20 Kür Oranı, Dinamik)...	103
Şekil B.12	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%100 Kür Oranı, Dinamik).	104
Şekil B.13	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%5 Kür Oranı, Dinamik)....	105
Şekil B.14	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%0 Kür Oranı, Dinamik)....	106
Şekil B.15	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%100 Kür Oranı, Dinamik).	107
Şekil B.16	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%20 Kür Oranı, Dinamik)...	108
Şekil B.17	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%5 Kür Oranı, Dinamik)....	109
Şekil B.18	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%100 Kür Oranı, Dinamik).	110
Şekil B.19	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%50 Kür Oranı, Dinamik)...	111
Şekil B.20	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%50 Kür Oranı, Statik).....	112
Şekil B.21	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%100 Kür Oranı, Statik)....	113
Şekil B.22	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%20 Kür Oranı, Statik).....	114
Şekil B.23	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%5 Kür Oranı, Statik).....	115
Şekil B.24	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%0 Kür Oranı, Statik).....	116
Şekil B.25	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%50 Kür Oranı, Statik+Dinamik)	117
Şekil B.26	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%100 Kür Oranı, Statik+Dinamik)	118
Şekil B.27	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%5 Kür Oranı, Statik+Dinamik).....	119
Şekil B.28	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%20 Kür Oranı, Statik+Dinamik)	120
Şekil B.29	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%100 Kür Oranı, Statik+Dinamik)	121
Şekil B.30	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%0 Kür Oranı, Statik+Dinamik)	122

Şekil B.31	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%5 Kür Oranı, Statik+Dinamik)	123
Şekil B.32	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%100 Kür Oranı, Statik+Dinamik)	124
Şekil B.33	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%20 Kür Oranı, Statik+Dinamik)	125
Şekil B.34	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%50 Kür Oranı, Statik+Dinamik)	126
Şekil B.35	:Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu (%0 Kür Oranı, Statik+Dinamik).....	127
Şekil B.36	: Statik ve Dinamik Statik Sonrası (%0 Kür Oranı).....	128
Şekil B.37	: Statik ve Dinamik Statik Sonrası (%5 Kür Oranı).....	129
Şekil B.38	: Statik ve Dinamik Statik Sonrası (%50 Kür Oranı).....	130
Şekil B.39	: Statik ve Dinamik Statik Sonrası (%100 Kür Oranı).....	131

SEMBOL LİSTESİ

γ_s	: Dane birim hacim ağırlığı
γ_{kmaks}	: Maksimum kuru birim hacim ağırlık
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlık
w_{opt}	: Optimum su muhtevası
w	: Su muhtevası
e	: Boşluk oranı
LL	: Likit limit
PL	: Plastik limit
PI	: Plastisite indisi
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
c	: Kohezyon
P	: Konsolidasyon basıncı
P_c	: Ön konsolidasyon basıncı
k	: Permeabilite katsayısı
c_v	: Konsolidasyon katsayısı
σ	: Normal gerilme
τ	: Kayma gerilmesi
τ_{maks}	: Maksimum kayma gerilmesi
ΔL	: Yatay deplasman
γ	: Yatay deformasyon
ϵ	: Eksenel boy değişimi
σ_d	: Dinamik tekrarlı gerilme
σ_c	: Çevre basıncı
$\pm \sigma_d/2\sigma_c$	: Dinamik kayma gerilme oranı
E	: Elastisite modülü
N	: Çevrim sayısı

ÇÖP SUYU KATKILI ÖRSELENMEMİŞ KİLLERİN DİNAMİK DAVRANIŞI

ÖZET

Atıkların çevreye zarar vermeden uzaklaştırılması ve değerlendirilmesi amacı ile “Geri Kazanma, Değerlendirme, Yakma, Kompostlaştırma ve Düzenli Katı Atık Depolama” yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde ve diğer birçok ülkede katı atıkların depolanması için düzenli katı atık depolama tesisleri en ekonomik ve çevre için en uygun yöntem olarak kabul edilmektedir.

Katı atık depolama tesislerinde en önemli sorun yeraltı suyu kalitesini etkileyen sızıntı çöp sızıntı suyu oluşumudur. Çöp sızıntı suyunun bu zararlı etkilerini engellemek amacı ile permeabilitesi düşük malzemeden geçirimsiz kil şilte tabakaları oluşturulur. Oluşturulan şilte tabakalarının çöp sızıntı suyunu geçirme riskini en aza indirmek için çöp sızıntı suyu içindeki kimyasal maddeler ile zeminin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü zeminin geoteknik özellikleri üzerinde organik maddeler, pH ve iyon değişimi genel olarak etkili olmaktadır. Örneğin iyon kontrastyonundaki bir artışla veya iyon boyutu ve dielektrik sabitindeki bir azalış ile difüze çift tabaka bastırılır ve permeabilite katsayısı artar.

Bu çalışmada düşük plastisiteli killerin farklı oranlarda sızıntı suyuna maruz kalması ve sızıntı suyu ile kil tabakanın etkileşim süresinin zeminin statik ve dinamik davranışları üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Zeminin statik davranışları olarak; gerilme-şekil değiştirme ve permeabilite konuları esas alınmıştır. Dinamik davranışlar olarak dinamik yükler altında zeminin gerilme-şekil değiştirme ve elastisite modülü incelenmiştir. Bu amaçla CL (düşük plastisiteli kil) sınıfı zemine, su muhtevasının % 5, 20, 50 ve % 100’ ü oranında çöp sızıntı suyu katılarak çamur konsolidasyon deney aletinde örselenmemiş numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin bir kısmı 30 günlük kürde ödometre deneyine, diğerleri ise dinamik üç eksenli deney aletinde deneye alınmıştır.

Ödometre deneyinde , % 5, 20, 50 ve 100 çöp sızıntı suyu oranı ile hazırlanmış zemin numunelerinin ödometre deneyinden elde edilen permeabilite katsayısı ve konsolidasyon katsayısı üzerine çöp sızıntı suyu oranının etkisi araştırılmıştır. Önkonsolidasyon basıncı incelenmiştir.

Çalışma kapsamında ayrıntılı olarak zeminin dinamik elastisite modülü ve gerilme şekil değiştirme davranışı üzerine kür oranının etkisi incelenmiştir. Bu amaçla % 5, 20 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında çamur konsolidasyon aleti ile hazırlanmış numuneler dinamik üç eksenli basınç deney aletinde incelenmiştir. Dinamik deney uygulamalarında numuneler doymun hale getirilmiş ve 100 kPa efektif gerilme altında konsolidasyona bırakılmıştır. Numune içinden su geçirilmeyerek su geçişi sırasında numunenin yıkanarak çöp sızıntı suyunun etkisinin

yok olmasının önüne geçilmiştir. Dinamik mukavemet eğrisinin elde edilmesi için farklı dinamik genlik oranları uygulanmıştır Buna göre aynı dinamik gerilme oranı seviyesinde kür oranı %5 olan numunelerin daha yüksek çevrim sayılarında ± 2.5 deformasyon seviyesine ulaştığı, %20, %50 ve %100 kür oranlarına sahip numunelerin ise birbirine yakın daha düşük çevrim sayılarında ± 2.5 deformasyon seviyesine ulaştığı gözlenmiştir. %0 kür oranına sahip temiz zemin numunesi %20, %50, %100 kür oranlarına göre daha geç çevrim sayısında ± 2.5 deformasyon seviyesine ulaşmakta, %5 kür oranına göre ise daha erken çevrim sayısında ± 2.5 deformasyon seviyesine ulaşmaktadır.

Elastisite modülü üzerinde kür oranının etkisinin belirlenmesi için en büyük elastisite modülü ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümlere göre kür oranı %5 olan numune diğerlerinden daha büyük elastisite modülüne sahiptir

Sonuç olarak bu çalışmada çöp sızıntı suyunun kimyasal yapısı içindeki organik ve inorganik maddeler geçirimsiz kil tabakaların mühendislik özellikleri üzerinde etkilidir.

THE DYNAMIC BEHAVIOUR OF LANDFILL LEACHATE ADDED UNDISTURBED CLAY

SUMMARY

The methods of “Recycling, evaluation, burning, composting and regular solid waste land-fill” are widely used to utilise and remove the waste without harming the environment. Regular solid waste landfill is known as the most economic and the most suitable method for the environment in our country and many other countries.

The most important problem for the landfill foundations is leachate wastewater which affects the quality of groundwater. For the purpose of impeding the harmful effects of leachate wastewater, impermeable clay mattress layers are made up of materials with low permeability. Chemical substances in the wastewater and geotechnical properties of the soil must be determined to minimise the risk of waste water permeability of the mattress layers since organic substances, pH and ion change generally affect the geotechnical properties of soils. For example, with an increase ion concentration or a decrease in ion dimension and dielectric constant diffuse double layer is pressed and consequently permeability coefficient increases.

In this study, the confrontation of clay mattresses with wastewater in different ratios and the effects of the interaction time of the waste water with the clay layer on the static and dynamic behaviour of soil were investigated. Stress-strain, permeability values were studied as the static behaviours of soil. Stress-strain and elasticity module of soil under dynamic load were studied as the dynamic behaviours. For this purpose; wastewater, which is 5 %, 20%, 50%, and 100% moisture content was added to MH (high plasticity silt) class soil and samples were prepared with slurry consolidation apparatus.

The samples which were prepared with 5 %, 20%, 50% and 100 % wastewater ratios subjected to odometer test and the effect of wastewater ratio and curing time on the permeability and consolidation coefficients of soils were investigated.

In this study finally the effect of curing ratio on the dynamic elasticity module and stress-strain behavior of soil were studied. For this purpose, part of 5 %, 20%, 50% and 100 % wastewater ratio samples which were prepared with slurry consolidation . Samples are saturated and consolidated before the dynamic tests. No water was passed through the sample. So as to preserve wastewater affect. Different dynamic loads were used in all of the tests in order to obtain dynamic strength envelope.

Maximum elasticity module measurement was made to determine the effect of curing ratio on the elasticity module. According to this data, it was seen that

the curing ratio of %5 has bigger maximum elasticity module than the others

Consequently, it has been determined in this study that organic and inorganic matters in the chemical composition of leachate wastewater affect the engineering properties of the impermeable clay layer.

1 GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Artan nüfusa paralel olarak yerleşim yerlerinin değişik bölgelerinde kontrolsüz ve gelişigüzel dökülen kentsel atıklar, insan sağlığını tehdit eden çevresel bir sorun oluşturmaktadır. Bu kentsel atıklar nitelikleri itibariyle iki ana grup altında toplanmaktadırlar.

1- Zehirli madde ve ürünlerden oluşan tıbbi ve kimyevi atıklar.

2- Evsel nitelikli katı atıklar (Çöp)

Zehirli .kimyasal madde ve ürünlerden oluşan katı atıkların bertarafı çok özel bilimsel çalışma ve yasal düzenlemeleri gerektirmektedir. Bunların depolanarak izole edilmesi yeni sorunlar doğurabileceğinden yakma ve kimyasal işlemlerle zararsız hale getirme en rasyonel yaklaşım olarak görülmektedir.

Evsel nitelikli katı atıklar; meskun bölgelerde evlerden atılan evsel atıklar park, bahçe ve yeşil alanlardan atılan bitki atıkları, evsel atık su arıtma tesislerinden elde edilen. arıtma çamurları, hafriyat toprağı ve inşaat molozlarından oluşmaktadır,

Evsel nitelikli katı atıkların bertarafı ve değerlendirilmesi için ön görülen başlıca yöntemler:

1. Depozito ve kota uygulaması,
2. İşleme tesisleri (maddesel geri kazanma tesisleri, yakma tesisleri, kompostlaştırma tesisleri),
3. Uygun yer koşullarında düzenli depolamadır.

Bu sorunların önlenmesi için uygulanabilecek bu yöntemler arasında, kentsel katı atıkların uygun yer koşullarında düzenli depolama ile uzaklaştırılması ekonomiklik ve uygulama kolaylığı nedeni ile en uygun çözümü oluşturmaktadır.

Katı atık depolama tesislerinde en önemli sorun sızıntı çöp sızıntı suyu oluşumudur. Sızıntı suyu, ekolojik dengeye ve yeraltı suyu kalitesine etki etmektedir. Sızıntı

suyunun bu tür etkilerini engellemek için şilte tabakaları kullanarak, tesis tecrit edilmektedir. Seçilen şilte tabakasının sızıntı suyunu geçirme riskini en aza indirmek amacı ile sızıntı suyunun kimyasal yapısı ve kullanılan şilte malzemesinin geoteknik özellikleri belirlenir.

Bu çalışmada düzenli katı atık depo tesisinde sızdırmazlık amacı ile kullanılan kil şiltenin farklı oranlarda sızıntı suyuna maruz kalması ve sızıntı suyu ile etkileşim süresinin zeminin mühendislik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla zemine farklı oranlarda çöp sızıntı suyu karıştırılıp deneye alınmıştır. Hazırlanan zemin numunelerinin statik ve dinamik yükler etkisi altında davranış değişimlerini belirlemek amacı ile kıvam limitleri, ödometre ve dinamik üç eksenli deney yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Beş bölümden oluşan bu çalışmada ilk bölümde çalışma konusu ve amacı belirtilmiştir. İkinci bölümde ise çalışma konusu ile ilgili genel bilgileri edinmek amacı ile kirletici maddeler ve özellikleri ele alınmıştır. Ayrıca bu bölümde çeşitli kirletici maddeler kullanılarak zeminin statik ve dinamik yükler etkisi altında davranışındaki değişimleri inceleyen çalışmalara yer verilmiştir. Zeminin kıvam limitleri, konsolidasyon davranışı ele alınmıştır. Zeminin dinamik davranışının incelendiği çalışmalar dahilinde ise en büyük elastisite modülü değişimi konularına yer verilmiştir.

Üçüncü bölümün ilk konusu olarak Kemerburgaz Katı Atık Depo Tesisinden getirilen dolgu malzemesi ve sızıntı çöp sızıntı suyunun özellikleri verilmiştir. Daha sonra ise deney numunelerinin hazırlanma teknikleri detaylı şekilde incelenmiştir. Son olarak kıvam limitleri, ödometre ve dinamik üç eksenli deney aletleri ile deneylerin yapılış teknikleri açıklanmıştır.

Deney sonuçlarının yer aldığı dördüncü bölümde ise Konsolidasyon deney sonuçları kullanılarak zeminin şişme basıncı, ön konsolidasyon basıncı, permeabilite katsayısı ve konsolidasyon katsayısı üzerine çöp sızıntı suyu oranının ve kür süresinin etkisi incelenmiştir. Son olarak dinamik üç eksenli deney sonuçları kullanılarak en büyük elastisite modülü üzerinde çöp sızıntı suyu oranı ve kür süresinin etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Sonuç bölümünde ise diğer bölümlerde yer alan bilgiler doğrultusunda 4. bölümdeki deney sonuçları arasındaki ilişkiler yorumlanmaya çalışılmıştır.

2 ÇEŞİTLİ KİRLETİCİLERLE KİRLETİLMİŞ KİLLİ ZEMİNLERİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

2.1 Giriş

Katı atık depolama alanlarının tasarımında kullanılan ana malzeme, düşük geçirimsizlik özelliğinden dolayı kil şiltelerdir. Kil şilteler, katı atıkların içinden süzülen ve bir takım kimyasal, biyolojik ve fiziksel olaylara maruz kalarak oluşan sızıntı suyundan etkilenir. Bu sızıntılar zeminin dinamik ve mekanik özelliklerini etkilemektedir.

Bu bölümde sızıntının zeminin mekanik davranışı üzerinde etkisi gözlemlenmektedir. Bu amaçla Atterberg limitleri, permeabilite, konsolidasyon davranışı ve kayma mukavemeti özelliklerdeki değişimler incelenmiştir.

2.2 Zemin-Su Sistemlerini Etkileyen Faktörler

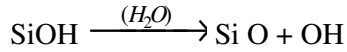
2.2.1 Organik Madde

Genel olarak organik maddelerin varlığı mühendislik özellikleri üzerinde zararlı etkiye sahip kabul edilmektedir. Zeminde mevcut organik madde kimyasal ve fiziksel olarak kompleks olup yaşa ve orjine göre değişebilir organik maddeler zemin içinde; karbonhidratlar, proteinler, yağlar, reçineler ve hidrokarbonlar olarak bulunabilir. Zemin içindeki organik maddeler; yüksek plastisiteye, yüksek derecede rötre, yüksek derecede sıkışabilirliğe, düşük permeabiliteye ve düşük mukavemete neden olabilir. Atterberg limitleri üzerinde büyük miktarda düşmeye neden olabilir. Organik madde kuru birim hacim ağırlık ve serbest basınç dayanımını süratle düşürür, optimum su muhtevasını artırır.

2.2.2 pH

pH değeri, killi çözeltilerin davranışları üzerinde büyük öneme sahiptir (Yılmaz, 1992). Düşük pH ortamında flok yapı oluşur. Stabil süspansiyonlar ise yüksek pH

şartlarına ihtiyaç duyarlar. Kil-su sisteminin davranışı pH etkisi düşünülmeden açıklanamaz. Kil partiküllerinin üzerine yapışık olan OH⁻ iyonun



Şeklinde ayrışma eğilimi içinde olup bu reaksiyon pH değerinden önemli derecede etkilenir. pH artışı ile H⁺ iyonun karışıma girme miktarı artar. Bu durumda partikülün net negatif yükü artar.

pH' ın etkisi kaolinitte maksimum, illitte daha az olup montmorillinitte ise oldukça azdır. Kaolinitte süspansiyondan oluşan yapıyı tayin eden en önemli etken pH olarak kabul edilir.

2.2.3 İyon Değişimi

Katyonların zemin özellikleri üzerine etkisi kilin artan aktivitesi ile artar. Katyonların en önemli özellikleri değerlikleri ile boyutlarıdır. Şişebilen kil mineralleri içeren zeminlerde katyonun çeşidi, şişme miktarı üzerinde etkilidir. Örneğin, Na⁺ ve Li⁺ montmorillinit su mevcut iken sınırsız şişebilirken 2 veya 3 değerlikli katyonlar durumunda şişme miktarı 18 °A dan fazla olamaz. Şişmeyen kil minerallerinden oluşan zeminlerde ise adsorbe katyonun çeşidi süspansiyon davranışında ve oluşacak yapının belirlenmesinde büyük öneme sahiptir.

Tek değerlikli katyonlar deflikasyon oluştururken iki veya üç değerlikli katyonlar kilerde flokülasyon oluştururlar.

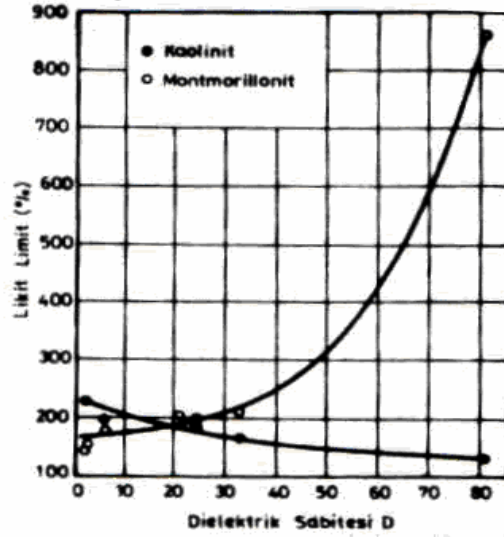
2.3 Zeminin Mekanik Davranışındaki Değişimler

2.3.1 Atterberg Limitleri

Likit Limit (LL) ve Plastik Limit (PL) değerleri belirli herhangi bir kil minerali ve belirli bir adsorbe katyonu için geniş bir aralıkta değişim gösterir. LL değer aralığı PL değer aralığına göre daha büyüktür ve farklı kil mineralleri için LL' deki değişebilirlik PL' deki değişebilirliğe göre daha fazladır.

Boşluk sıvısının dielektrik sabitinin likit limit üzerindeki etkisi çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. **Sridharan ve Rao (1975)** konik penetrometre ile farklı organik çözelti içindeki kaolinit ve montmorillonit türü kilerin likit limit değerlerini belirlemişlerdir. Şekil 2.1' de bu deneye ait sonuçlar gösterilmiştir. Dielektrik

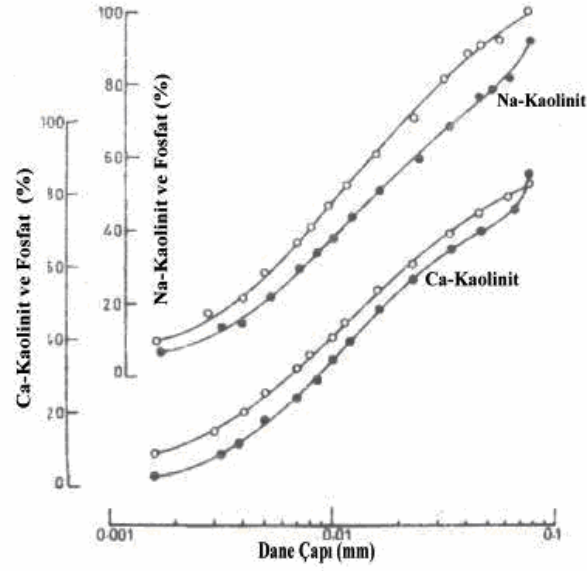
sabitindeki artım kaolinit kilinin likit limitinde azalmaya neden olurken, montmorillonit kilinin likit limitinde ise artışa neden olmaktadır.



Şekil 2.1 : Dielektrik Sabitinin Likit Limite Etkisi (Sridharan ve Rao, 1975)

Rao (1982) tarafından yapılan çalışma sonucunda fosfat katılmış killerin modifiye olmuş davranışları özetlenirse;

1. Kaolinit türü killerde katyon etkisi ihmal edilebilirken, montmorillonit türü killerde katyon etkisi oldukça önemlidir.
2. Fosfat adsorbsiyonu özgül ağırlığın azalmasına neden olur.
3. Fosfat adsorbsiyonu ile kaolinit türü kil daneleri büyür (Şekil 2.2)
4. Fosfat adsorbsiyonu sonucunda kaolinit türü killerde kil danelerinin flokülasyonu nedeni ile likit limitin yanı sıra yüzey alanı ve serbest şişme artar. Na-Montmorillonit kilinde ise agregasyon nedeni ile likit limit ve serbest hacimsel şişme azalır. Ca-Montmorillonit kilinde ise iki değerlikli katyonun tek değerlikli ile değişmesi sonucunda başlangıçta alınan değerler azalmış ve daha sonra artmıştır.
5. Anyon adsorbsiyonu ile tüm killer daha az plastik olmuştur.



Şekil 2.2 : Fosfat Adsorbsiyonun Kaolinit İçindeki Dane Çapı Dağılımına Etkisi (Rao, 1982)

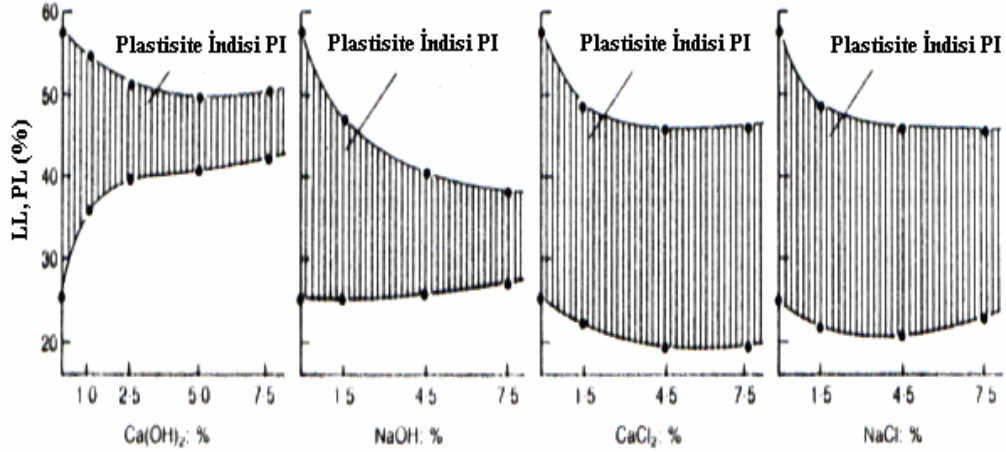
Tablo 2.1' de Fosforik asit karıştırılmış Montmorillonit ve kaolinit killeriine ait fizikokimyasal özellikler gösterilmiştir.

Tablo 2.1 : Fosforik Asit Katkılı Killerin Kıvam Limitleri (Rao, 1982)

Kil cinsi	Kür Süresi	LL (%)	PL (%)
Na Kaolinit			
1	0	52	39,3
2	1000	90	NP
Ca Kaolinit			
3	0	48	35
4	1000	93	NP
Na Montmorillonit			
5	0	354	52
6	1000	73	NP
Ca Montmorillonit			
7	0	114	49
8	1000	106	NP

Brandl (1992) kimyasal atıkların depo alanlarındaki geçirimsiz kil tabakaların Atterberg limitleri üzerine etkilerini ve plastisite indisi ile permeabilite arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bu amaçla siltli zemin $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH , CaCl_2 ve NaCl ile karıştırılarak 60 gün küre bırakılmıştır. Kür süresinin sonunda likit limit ve plastik

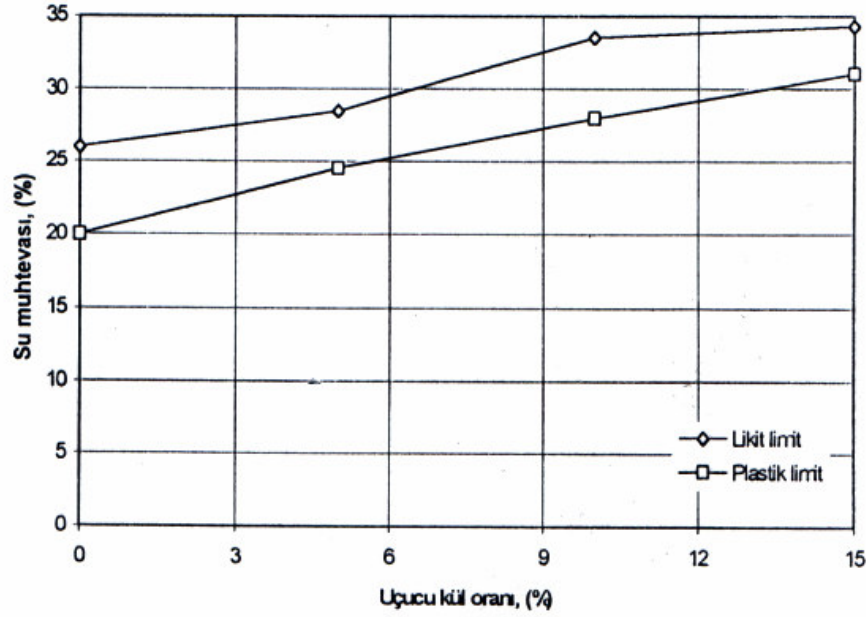
limit deneylerine tabi tutulmuştur. Şekil 2.3' de dört kimyasal maddenin farklı oranlarda karıştırılması ile Atterberg limitlerindeki değişimler verilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre likit limit değerindeki önemli azalmalardan dolayı plastisite indisi azalmaktadır.



Şekil 2.3 : Kimyasal Atıkların Kıvam Limitleri Üzerine Etkisi (Brandl, 1992)

Bell (1996) yaptığı çalışmada kirecin montmorilinit türü zeminin plastisitesini düşürdüğünü, kaolinit ve kuvars türü killerin ise plastisitesini arttırdığını belirlemiştir. Ayrıca her üç zeminde optimum su muhtevasının arttığını ve maksimum kuru birim hacim ağırlığının azaldığını gözlemlemiştir.

Erşan (1996) uçucu kül katkısının zeminin kıvam limitleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu amaçla zemine farklı oranlarda uçucu kül katılarak hazırlanmış numuneler üzerinde likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Şekil 2.4' de görüldüğü gibi uçucu kül oranı arttıkça zeminin likit limit ve plastik limit değerleri artmaktadır. Likit limitteki artış oranı % 32 olurken plastik limitteki artış % 55 olarak belirlenmiştir. Buna karşılık plastisite indisi uçucu kül oranındaki artışla azalmıştır.

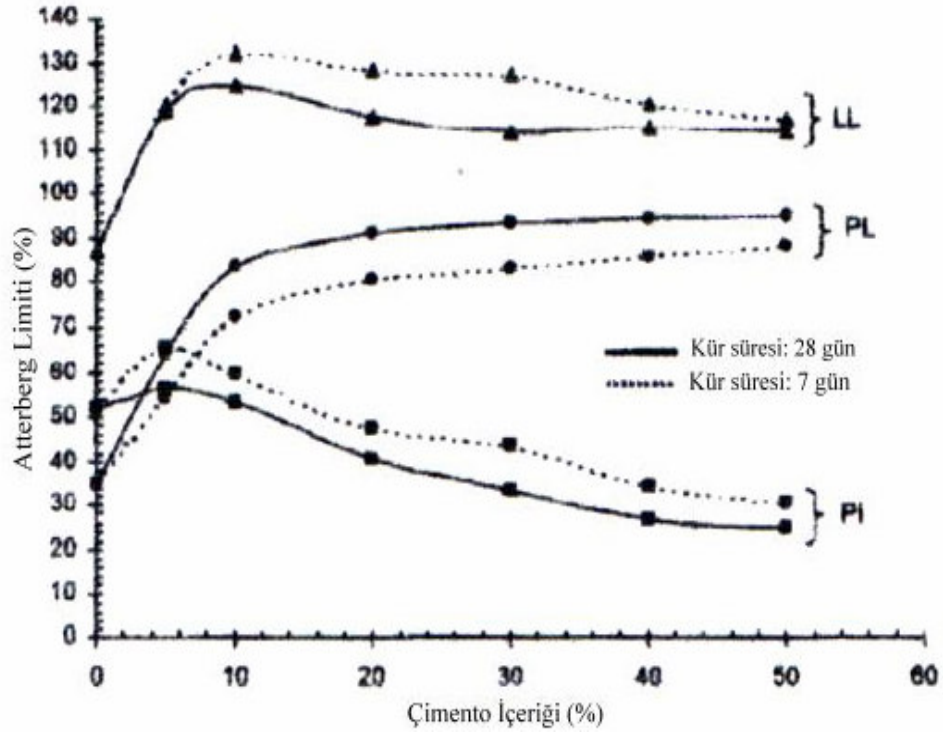


Şekil 2.4 : Uçucu Külün Kıvam Limitleri Üzerine Etkisi (Erşan, 1996)

Chew ve diğ. (2004) kireç katkısının deniz killерinin mühendislik özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Deneylerde kullanılan zeminin likit limiti % 87, plastik limiti % 35 ve plastisite indisi % 52 olarak belirlenmiştir. 105 C⁰ etüvde kurutulmuş zemin numunesi içine su eklenerek su içeriği % 90 ve % 120 olan numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra bu karışım içine su/kireç oranı 1 olarak hazırlanan çimento şerbeti eklenerek 10 dakika karıştırılarak üniform bir karışım elde edilmiştir. Hazırlanan numuneler 7 ve 28 gün küre bırakılmıştır. Numunelerin likit limitinin belirlenmesinde düşen koni penetrasyon deneyi uygulanmıştır.

Şekil 2.5’ de kireç içeriği ve kür süresinin kıvam limitlerine olan etkisi görülmektedir. Plastisite indisi (PI) % 5 çimento içeriğine kadar artmıştır. Bu değerden sonra plastisite indisi düşmüştür. Plastik limit (PL) çimento içeriğindeki artışla artmıştır. Kür süresi 28 gün olan numunelerin PL değeri kür süresi 7 gün olan numunelerden büyüktür.

Likit limit % 10 ve daha düşük çimento içeriklerinde önemli miktarda artarken, daha büyük çimento içeriklerinde düşmektedir. Likit limit değeri kür süresi ve çimento miktarındaki artışla düşmektedir.



Şekil 2.5 : Atterberg Limiti Üzerine Çimento İçeriğinin ve Kür Süresinin Etkisi (Chew ve diğ, 2004)

2.3.2 Kayma Mukavemeti

Kil zeminlerin kayma mukavemeti üzerinde katkı maddelerinin etkisi çeşitli araştırmacılar tarafından ele alınmıştır. Bu bölümde konu ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

Rao (1982) fosfatla hemoiyonize edilen doymun killen üzerinde yaptıkları çalışma sonucunda anyon adsorbsiyonunun killerin kayma mukavemetini arttırdığını doğrulamışlardır. Çalışmalar sonucunda elde edilen tipik sonuçlar Tablo 2.2' de belirtilmiştir.

Tablo 2.2 : Fosfatın Zeminin ϕ ve c Değerleri Üzerine Etkisi(Rao, 1982)

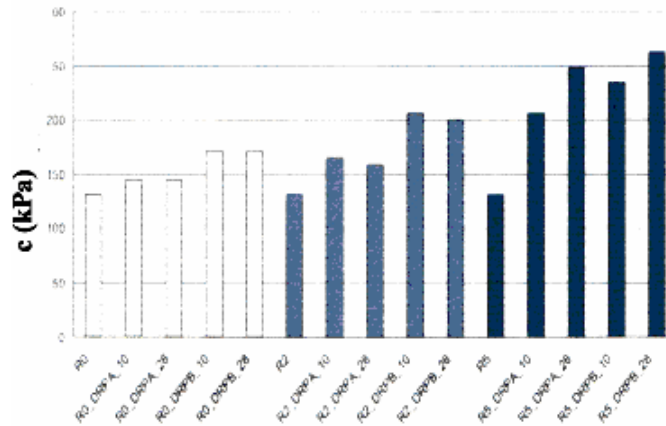
Zemin Cinsi	c (kg/cm²)	ϕ (°)
Na Kaolinit Doğal halde İşlenmiş halde	0,02 0,27	30,5 38
Ca Kaolinit Doğal halde İşlenmiş halde	0 0	22 41
Na Montmorillonit Doğal halde İşlenmiş halde	0,07 0,07	18,5 39,5
Ca Montmorillonit Doğal halde İşlenmiş halde	0,03 0,16	18,5 44

Puppala ve Hanchanloet (1999) farklı katkı maddelerinin zemin davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak amacı ile kireç ve sülfürik asit ile karıştırılmış siltli kil numuneleri üzerinde incelemeler yapmışlardır. Tablo 2.3’ de bu çalışma sonucunda elde edilen fiziksel özelliklere ait değerler verilmiştir. Sülfürik asit ile kimyasal tepkimeye girmiş zeminin optimum su muhtevası artarken, maksimum kuru birim hacim ağırlığı azalmıştır. Kireç ve sülfürik asitle hazırlanmış her iki numunede de likit limit ve plastik limit biraz düşüş göstermiştir. Sülfürik asitle hazırlanmış zemin numunesinin serbest basınç dayanımı % 70–120 oranında artarken, kireçle hazırlanmış numunede ise % 30–50 oranında artmıştır. Yapılan UU deneyleri sonucunda kohezyondaki artış % 10–98 ve içsel sürtünme açısı da benzer oranda artış göstermiştir. Şekil 2.6’ da sülfürik asit ve kireç oranına bağlı olarak zeminin kohezyon değişimi, Şekil 2.7’ de içsel sürtünme açısının değişimi görülmektedir.

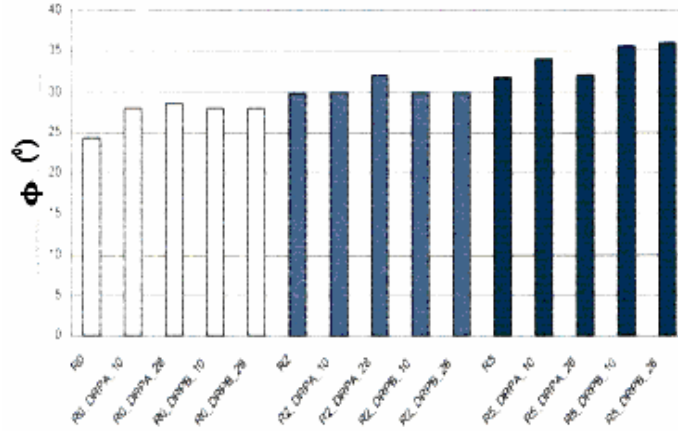
Tablo 2.3 : Kireç ve Sülfürik Asittin Zeminin Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi
(Puppala ve Hanchanloet, 1999)

Zemin Türü	W_L (%)	PI (%)	γ_{maks} (kN/m ³)	W_{opt} (%)
R0	26.6	9.4	20.2	9.4
R0-DRPA-10	23.6	7.4	20.4	9.7
R0-DRPA-28	23.6	7.7	20.0	10.1
R0-DRPB-10	24.1	7.3	20.6	9.1
R0-DRPB-28	24.1	7.4	20.4	9.3
R2	23.0	3.0	19.0	12.3
R2-DRPA-10	21.4	2.0	18.7	12.9
R2-DRPA-28	21.2	2.0	18.7	13.4
R2-DRPB-10	21.1	2.0	19.1	13.1
R2-DRPB-28	21.6	2.0	19.0	13.1
R5	21.0	2.0	17.7	15.5
R5-DRPA-10	20.0	1.0	17.9	15.7
R5-DRPA-28	20.0	1.0	17.6	16.0
R5-DRPB-10	20.0	0.6	17.8	15.9
R5-DRPB-28	19.0	0.7	17.4	16.7

* R0: Saf zemin, R2: % 2 kireç+ saf zemin, R5: % 5 kireç+ saf zemin, DRPA: 1: 200 sülfürik asit + kireç (%) + saf zemin, B: 1:300 sülfürik asit + kireç (%) + saf zemin.



Şekil 2.6 : Kireç ve Sülfürik Asittin c Üzerine Etkisi (UU Deneyi) (Puppala ve Hanchanloet, 1999)

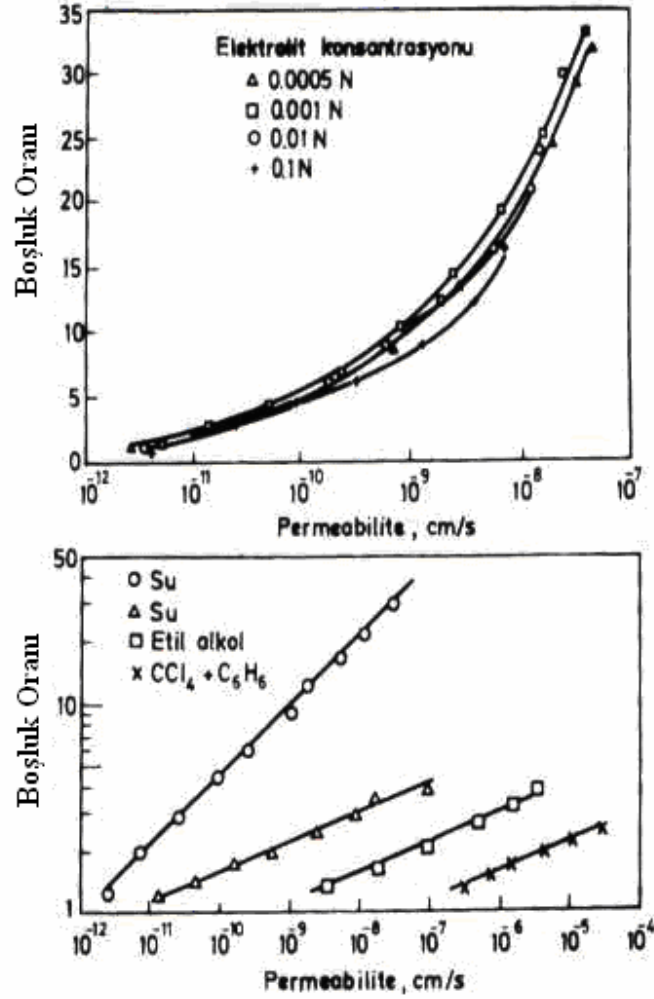


Şekil 2.7 : Kireç ve Sülfürik Asit'in ϕ Üzerine Etkisi (UUDeneyi) (Puppala ve Hanchanloet, 1999)

2.3.3 Permeabilite

Yüzeysel kirlenme probleminde en önemli zemin parametresi permeabilite katsayısıdır. Çünkü kirleticilerin zemine sızması ancak zeminin permeabilitesine bağlıdır. Bu nedenle atık depo alanlarında yeraltı suyunun kimyasal kirleticiler tarafından kirlenmesini önlemek için permeabilitesi düşük kil malzemeden geçirimsiz tabakalar yapılmaktadır.

Sridharan ve Jayadeva (1982) Killerin permeabilitesi difüze çift tabakanın kalınlığına, iyon valansına, iyonik konstrasyona ve boşluk sıvısının yapısına bağlıdır. İyon konstrasyonundaki ve/veya valans değerindeki bir artış ile veya iyon boyutu ve dielektrik sabitindeki bir azalış ile difüze çift tabaka bastırılır ve permeabilite katsayısı artar. Şekil 2.8' de montmorillonit türü kilin farklı dielektrik sabitlerine sahip olan sıvılar için boşluk oranı- permeabilite ilişkisi verilmektedir.

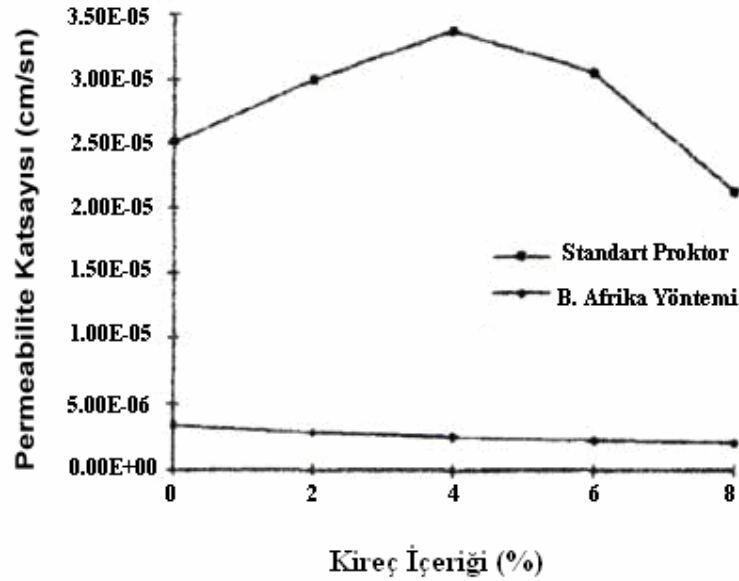


Şekil 2.8 : Boşluk Sıvısının Boşluk Oranı- Permeabilite Üzerine Etkisi (Sridharan ve Jayadeva, 1982)

Osinubi (1998) tortul zeminlerin permeabilitesinin kireç oranı, kür süresi ve kompaksiyon enerjisi ile değişimini incelemiştir. Deneylerde likit limiti % 44, plastik limiti % 24 ve plastisite indisi % 20 olan düşük plastisiteli kil (CL) kullanmıştır. Kompaksiyon enerjisinin permeabiliteye etkisini araştırmak için numuneler Standart Proktor ve Batı Afrika standartlarına göre iki grup olarak hazırlanmıştır. Standart Proktor yönteminde zemin üç tabaka olarak serilir ve 30.5 cm yükseklikten 2.5 kg'lık tokmak her tabakaya 25 kez düşürülerek tabakaların kompaksiyonu sağlanır. Batı Afrika standartlarına göre tabaka sayısı beş, tokmak ağırlığı 4.5 kg ve düşüş yüksekliği 45 cm' dir. Her bir tabaka için tokmak 45 cm yükseklikten düşürülerek kompaksiyon sağlanır. Kireç oranı % 0, % 2, % 4, % 6 ve % 8 olan numuneler hazırlanarak iki Proktor yöntemi kullanılarak numuneler kompakte edilmiştir.

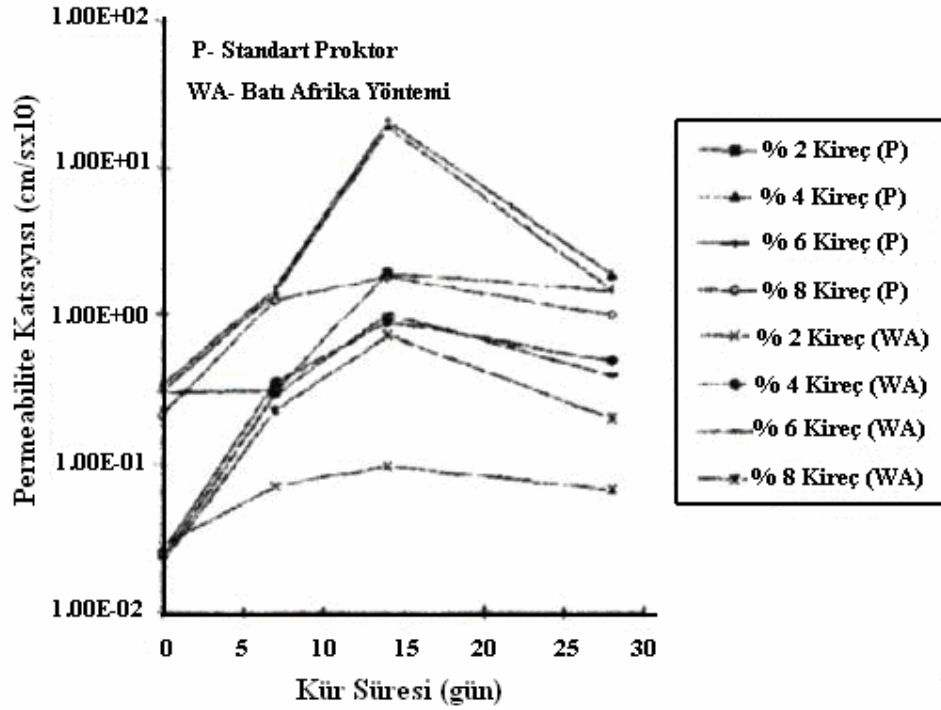
Hazırlanan numuneler 0, 7, 14 ve 28 gün küre bırakılmıştır. Numunelerin permeabilite değişimlerini belirlemek için düşen seviyeli permeabilite yöntemi kullanılmıştır.

Şekil 2.9’ da kireç içeriği ile permeabilitenin değişimi küre bırakılmamış numuneler için verilmiştir. Standart Proktor ile hazırlanmış numunelerde % 4 kireç içeriğinde permeabilite katsayısı (3.38×10^{-5} cm/s) maksimum değerine ulaşmıştır. Bu değer üstündeki kireç içeriklerinde ise permeabilite düşmüştür. Batı Afrika yönteminde ise kireç katkısı olmayan numunenin permeabilite katsayısı (3.38×10^{-6} cm/s) maksimumdur ve kireç içeriği arttıkça permeabilite düşmüştür.



Şekil 2.9 : Küre Bırakılmamış Numunelerin Permeabilite Katsayısının Kireç İçeriği İle Değişimi (Osinubi, 1998)

Şekil 2.10’ da ise kür süresi ve kireç içeriği ile permeabilite katsayısının değişimi verilmiştir. Standart Proktor ile hazırlanan numunelerde maksimum permeabiliteye % 4 kireç içeriğinde ulaşılmıştır. Batı Afrika Standartlarına göre hazırlanan numunelerde ise % 6 kireç içeriğinde maksimum değere ulaşılmıştır. Her iki kompaksiyon yönteminde de 14 gün küre sahip numunelerin permeabilitesi en yüksektir ve kür süresi 28 gün olan numunelerin permeabilitesi düşmüştür.



Şekil 2.10 : Kür Süresi ve Kireç İçeriği İle Permeabilite Katsayısının Değişimi (Osinubi, 1998)

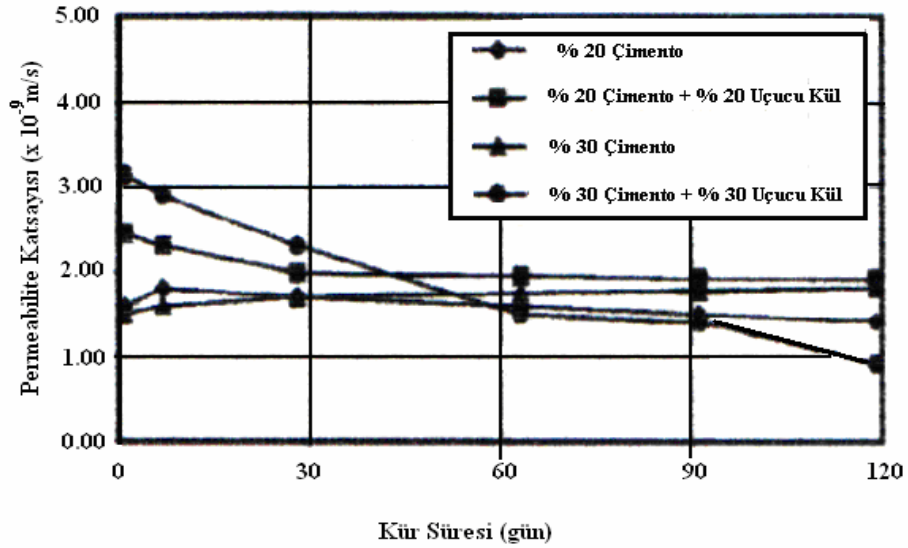
Aytekin (2002) şişen killi zeminin değirmen artığı ile belli oranlarda (% 5, % 15 ve % 25) karıştırılması ile zeminin geçirimliliğindeki değişimi incelemiştir. Değirmen artığı, klinker üretiminde kullanılan kalker, tras ve kireçtaşının çimento fabrikalarında işlenmesi sonucu oluşan atık maddeler olarak adlandırılmaktadır.

Permeabilite deneyleri sonucunda görülmüştür ki değirmen artığı oranı arttıkça geçirimlilik katsayısı artmaktadır. % 15 katkı oranında en büyük geçirimlilik katsayısı elde edilmektedir. % 15 katkı için geçirimlilik 2.25×10^{-7} cm/s olmakta, bu da katkısız durumdaki zeminin geçirimlilik katsayısı olan 1.10×10^{-7} cm/s değerine göre 1.25×10^{-7} cm/s artış demektir.

Show ve diğerleri (2003) evsel katı atıkların yakılması ile elde edilen uçucu kül ve çimento katkısının kil zeminin permeabilitesi üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla % 20 çimento, % 20 çimento + % 20 uçucu kül, % 30 çimento ve % 30 çimento + % 20 uçucu kül kullanarak numuneler hazırlamışlardır. Hazırladıkları bu numuneleri 1, 7, 30, 90 ve 120 gün küre bırakarak kür süresi ve uçucu kül oranının permeabiliteye olan etkisini araştırmışlardır.

Şekil 2.11’ de konsolidasyon deneyi sonunda permeabilite değerlerinin kür süresi ile olan değişimi gösterilmiştir. Sadece çimento katkıli zemin numunelerinin permeabilitesi kür süreleri ile fazla değişim göstermemiştir. Çimento ve uçucu kül katkıli zemin numunelerinin permeabilitesi kür süresi ile düşmektedir. Uçucu kül konsolidasyon deneyi başında boşlukları arttırır ve puzolanik reaksiyonun artması ile boşlukları doldurur. Reaksiyonun tamamlanması ile permeabilite düşer.

Katkısız zemine ait permeabilite değeri 1.97×10^{-10} m/s’ dir. Bu değer deney sonuçları ile karşılaştırıldığında evsel atık uçucu külün drenaj özelliklerini arttırıcı role sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca evsel uçucu kül çimentoya oranla daha fazla permeabilite değerini düşürmektedir.



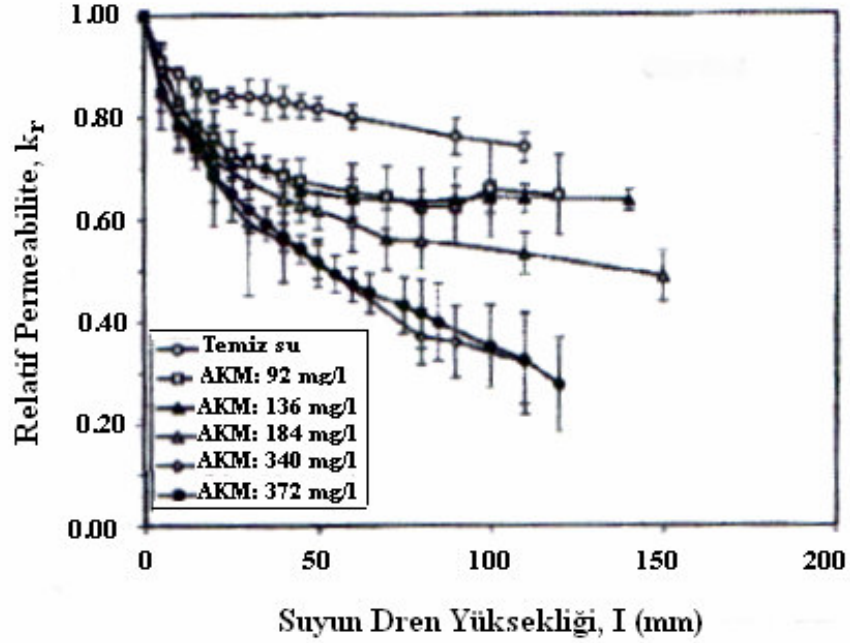
Şekil 2.11 : Permeabilitenin Kür Süresi İle Değişimi (Show ve diğ., 2003)

Viviani ve Iovino (2004) çöp sızıntı suyu içindeki askıda katı madde miktarının permeabilite katsayısı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla farklı oranlarda askıda katı madde oranına sahip evsel atıklara ait sızıntı suları kullanılarak kil numuneler üzerinde sabit seviyeli permeabilite deneyleri yapmışlardır. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde permeabilite katsayısı denklem 2.1’ de gösterildiği gibi relatif olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda Şekil 2.12’ de gösterilen grafik elde edilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi askıda katı madde miktarındaki artışla permeabilite katsayısı azalmıştır.

$$k_r = \frac{k_s}{k_{s0}} \quad (2.1)$$

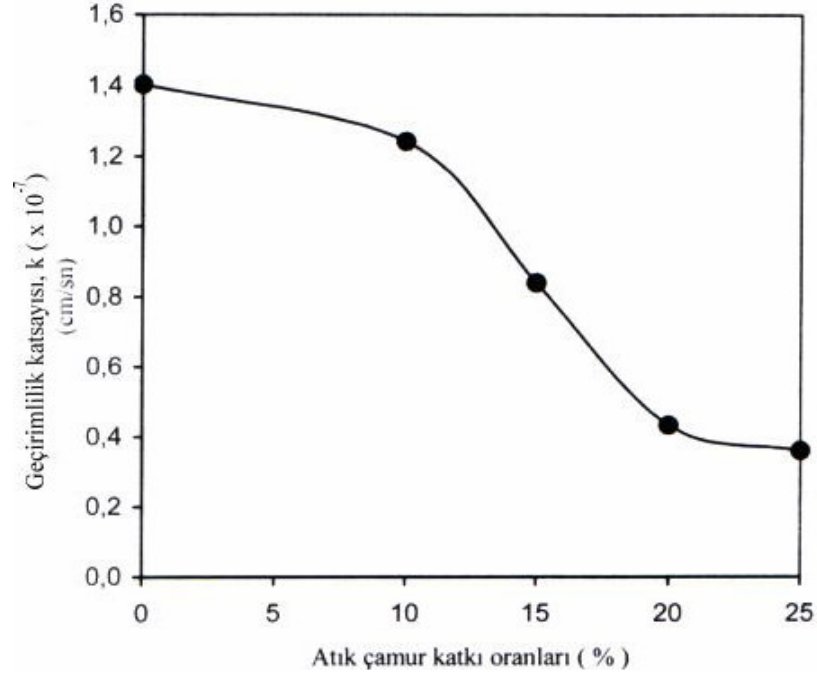
k_{s0} : Numunenin doymun haldeki permeabilite katsayısı

k_s : Suyun ölçülen bir dren yüksekliğine karşı gelen permeabilite katsayısı



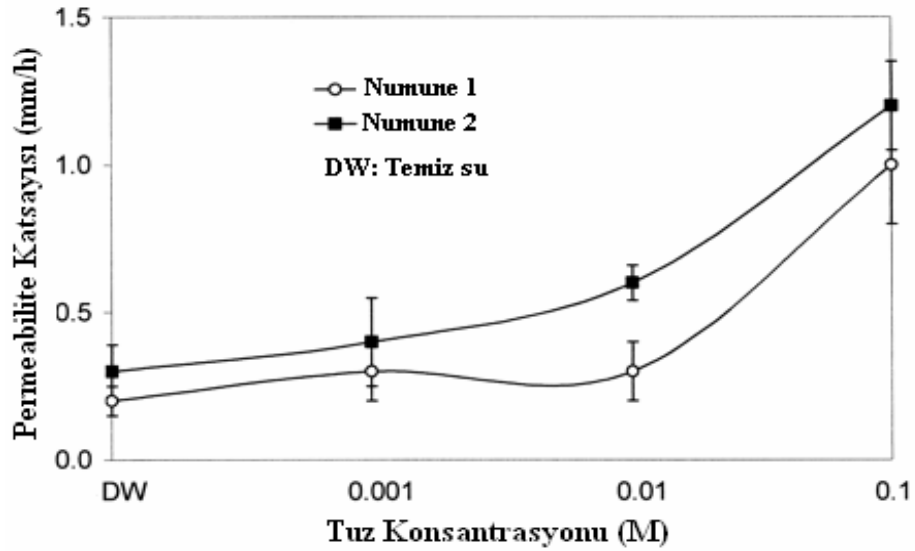
Şekil 2.12 : Çöp Sızıntı Suyu İçindeki Askıda Madde Miktarının Permeabilite Katsayısı Üzerine Etkisi (Viviani ve Iovino, 2004)

Angın ve Üçüncü (2004) tarafından düşük plastisiteli kil (CL) zemine farklı oranlarda (% 10, % 15, % 20, % 25) atık çamur katılarak permeabilitedeki değişimler incelenmişlerdir. Geçirimlilik (permeabilite) katsayısının belirlenmesinde düşen seviyeli permeabilite deneyi yapılmış ve deney öncesinde katkılı zemin tamamen doymun hale geldikten sonra deney gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen geçirimsizlik katsayılarının atık çamur katkı oranı ile değişimi Şekil 2.13' de görülmektedir. Katkı oranı arttıkça permeabilite katsayıları azalmaktadır.



Şekil 2.13 : Geçirimlik Katsayısının Katkı Oranına Göre Değişimi (Aydın ve Üçüncü, 2004)

Aydın ve diğ. (2004) tuz (NaCl) çözeltisi kullanarak Japonya (Numune 1) ve Kazakistan (Numune 2) killeri üzerinde yaptıkları permeabilite deneyleri sonucunda tuz oranındaki artışla permeabilitenin arttığı belirlenmiştir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 : Tuzun Permeabilite Üzerindeki Etkisi (Aydın ve diğ., 2004)

2.3.4 Konsolidasyon Davranışı

Zeminin hacim değıştirme davranışı oturma ile direkt ilişkili olduğu için oldukça önemlidir. Hacim değıştirme zeminin dayanım ve deformasyon özellikleri üzerinde de değışime neden olur. Saf killerin sıkışabilirliği niceliksel olarak çift tabakadaki iyon değışimlerinden kaynaklanan itim kuvvetleri ile ilgilidir. Guoy-Chapman elektriksel çift tabaka teorisi sıkışabilirlik davranışını açıklamada kullanılır.

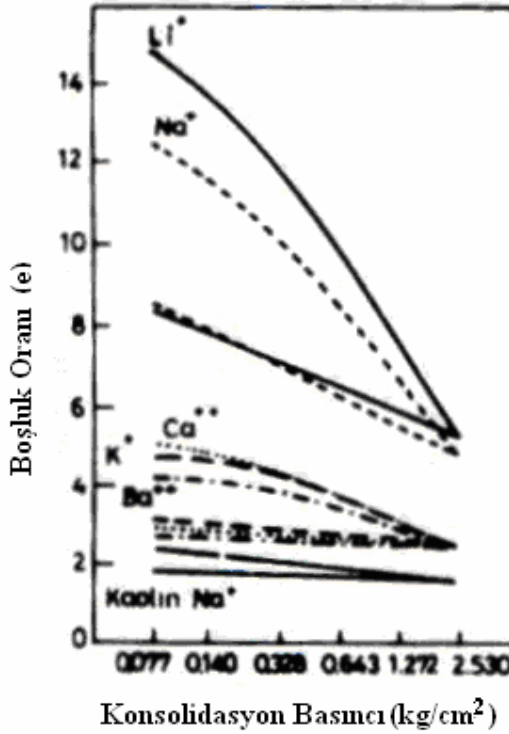
Montmorillonit türü killerin konsolidasyon özellikleri kil-su sistemindeki katyon boyutlarına bağlıdır. Boşluk sıvısının elektrolit konstrasyonundaki değışimin, e - $\log \sigma$ ilişkisine etkisi su için Ca-montmorillinitte azdır. Çünkü çift tabakanın etkisi klasik teori tarafından önerilenden daha küçüktür.

Bentonit için sıkışabilirlik sırası katyonlara göre;

$$Li^+ > Na^+ > K^+ > Ca^{++} > Ba^{++}$$

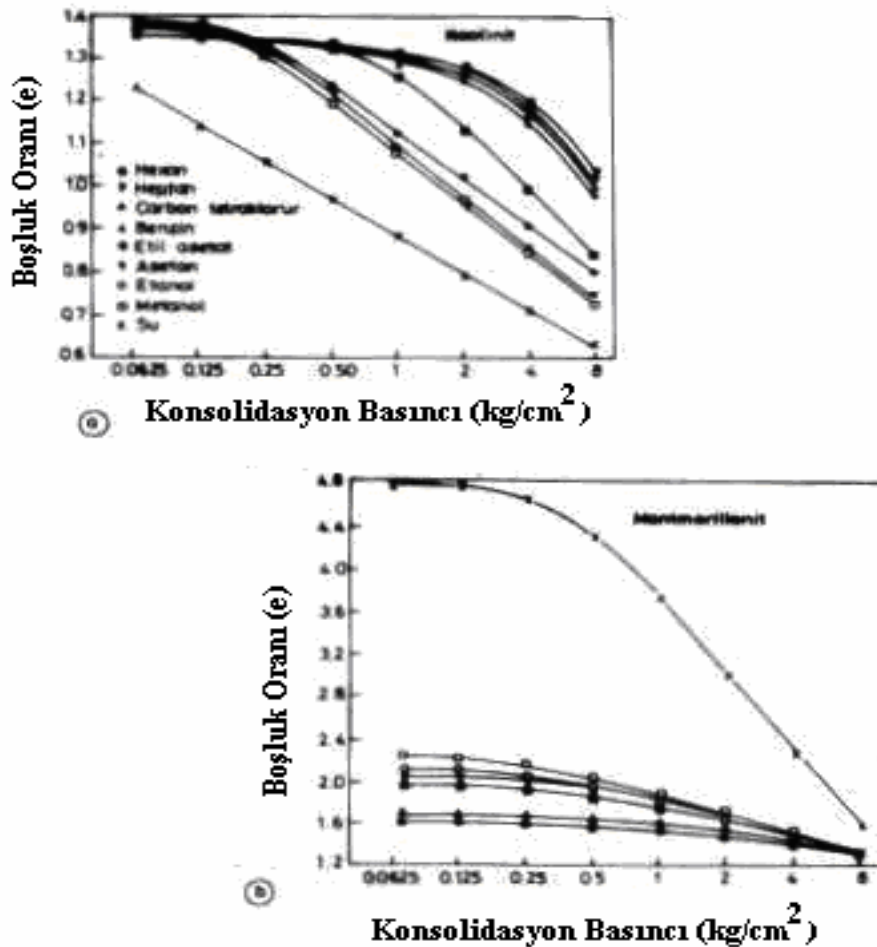
Olarak verilmektedir. (Mitchell, 1976)

Şekil 2.15' de Bentonit ve Na^+ Kaolinit sıkışabilirlik eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 2.15 : Bentonit ve Na^+ Kaolinitte Sıkışabilirlik Eğrileri (Mitchell, 1976)

Sridharan ve Rao (1973), farklı organik sıvıları kullanarak dielektrik sabitinin etkisinin montmorillinit ve kaolinit türü killeri için sıkışabilirlik davranışı üzerinde farklı olduğunu göstermişlerdir. Montmorillinit türü kilde, sabit dış yük altında dielektrik sabitindeki artım nedeni ile önemli oranda şişme davranışı görülürken, kaolinit türü kil de ise hacimsel azalma görülür (Şekil 2.16). Bu davranış iki mekanizma ile açıklanmaktadır. Mekanizma 1' e göre, hacim değişimi iç yüzeydeki partiküllerdeki kayma direnci tarafından yönetilir ve mekanizma 2' ye göre, hacim değişimi çift difüze tabakadaki itici kuvvet tarafından yönetilmektedir. Bu iki mekanizmanın çalışması eş zamanlı olmasına rağmen, mekanizma 1 kaolinit gibi genleşmeyen kil zeminlerin hacim değişimini kontrol eder. Mekanizma 2 ise montmorillinit gibi genleşebilen kil zeminlerin hacim değişimini kontrol eder.



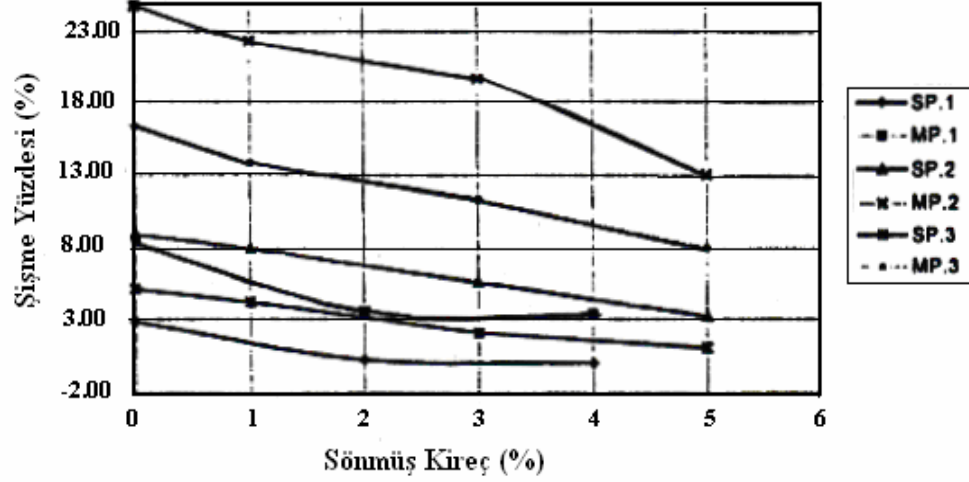
Şekil 2.16 : Farklı Boşluk Sıvılarında Tek Yönlü Konsolidasyon Eğrileri (Sridharan ve Rao, 1973)

,Sridharan ve Sivapullaiah (1987) tarafından fosfat adsorbsiyonun hacim değiştirme davranışı üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu belirlenmiştir. Fosfat adsorbe edilmiş Ca-kaolinitler Na-kaolinitlere göre daha fazla şişme davranışı gösterirler.

Killerin hacim değiştirme davranışı üzerinde boşluk sıvısının özellikleri ile dielektrik sabitindeki değişimler etkili olmaktadır. Dış yükler hiç değiştirilmediği halde sadece boşluk sıvısının değiştirilmesi ile aynı kilin sıkışma veya şişme davranışı gösterebileceği ispatlanmıştır. Boşluk sıvısı dielektrik sabiti ve iyon konstrasyon parametreleri ile karakterize edilir.

Tosun ve Trkz (2000) tarafından snmş kirecin zeminin şişme davranışı üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla üç ayrı bölgeden numuneler alınmıştır. Numunelerin likit limit ve plastik limit değerleri sırası ile % 56.2- 70.2 ve % 28.9-30.0 aralığında değişmektedir. Bütünüyle ince daneli olan numuneler “yüksek plastisiteli kil (CH) ve silt-kil (CH-MH)” olarak sınıflandırılmıştır. Araştırmanın ilk aşamasında numuneler Standart Proktor sıklığında ve farklı snmş kireç katkı seviyelerinde (% 0, 1, 3 ve 5) hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin şişme yüzdeleri ödometre aleti ile belirlenmiştir. İkinci aşamada ise aynı kireç katkı içerikleri kullanılarak Modifiye Proktor sıklığında numuneler hazırlanıp şişme yüzdeleri ödometre aleti ile belirlenmiştir.

şişme yüzdesi ile kuru zeminin ağırlıkça yüzdesi olarak snmş kireç katkısı arasındaki ilişki; altı ayrı seri için şekil 2.17’ de sunulmaktadır. Bu şekilden de görülebileceği gibi, snmş kireç katkısının artması ile serbest şişme yüzdesi azalmaktadır. Özellikle katkısız halde yüksek şişme değerleri veren Modifiye Proktor sıklığındaki numunelerde, kireç katkısının serbest şişme yüzdesinin kontrolünde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu araştırma sonunda görülmüştür ki; sıkıştırılmış numunelerin serbest şişme yüzdesi, yüksek enerji seviyesinde daha fazladır. Bu serilerde yüksek kireç katkı oranlarında nispi olarak daha üniform ve yüksek performans elde edilmiştir. Ayrıca katkılı numunelerde nihai olarak şişme miktarının büyük bir kısmı kısa sürede meydana gelmektedir. Fakat katkısız serilerde bu süre nispi olarak daha uzundur. Bu etkinin nedeni olarak, katkının yarattığı hidrasyon reaksiyonu gösterilmektedir.



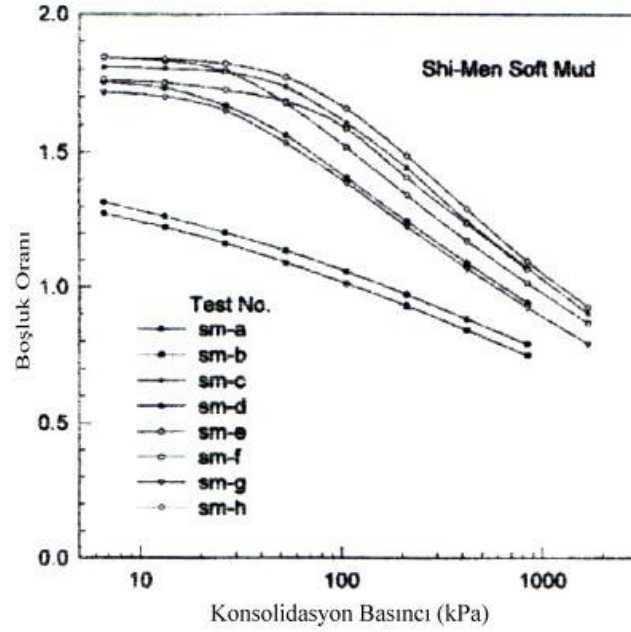
Şekil 2.17 : Şişme Yüzdesi-Sönmüş Kireç Katkısı İlişkisi (Tosun ve Türköz, 2000)

Tao ve diğ. (2001) düşük çimento içeriğinin yumuşak kıvamdaki zeminlerin konsolidasyon davranışı üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada likit limiti % 47, plastik limiti % 22 olan CL sınıfı Shi-Men bataklık zemini ve katkı maddesi olarak portland çimentosu kullanmışlardır. Çimento miktarının ve kür süresinin konsolidasyon davranışına olan etkisini iyi gözlemleyebilmek için üç tür numune hazırlamışlardır. İlk numuneler (sm-a, sm-b) kireç katkısız olarak hazırlanmıştır. Diğer grup numuneler (sm-d, sm-e, sm-f, sm-g) ise zemin içine su/çimento oranı 0.6 olan su-çimento karışımı ilave edilerek hazırlanan karışımdan alınarak hazırlanan numunelerdir. Son grup numuneler (sm-c, sm-h) ise çimento içeriği % 6 olacak şekilde tek tek hazırlanmışlardır.

Hazırlanan numuneler konsolidasyon deneyine tabi tutulmuştur. Şekil 2.18' de çimentolu ve çimentosuz numunelere ait boşluk oranı-konsolidasyon basıncı grafiği verilmiştir. Bu şekle göre, çimento katkısı ön konsolidasyon basıncının artmasına neden olmuştur. Tablo 2.4' de görüldüğü gibi % 6 çimento katkılı zemin numunelerinin ön konsolidasyon basıncı kür süresi ile artmaktadır. sm-d, sm-e, sm-f, sm-g numunelerinde ise ön konsolidasyon basıncı 36–90 kPa arasında değişmekte ve kür süresi ile küçük bir artım görülmektedir. Bu numunelerdeki bu davranış numunelerin üniform olmamasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışma sonunda ön konsolidasyon basıncının ve konsolidasyon katsayısının düşük çimento içeriği ve zamanla arttığı görülmüştür. Ayrıca, düşük çimento katkısı

ön konsolidasyon basıncı seviyesindeki yüklemelerde zemindeki oturma miktarının katkısız halden daha düşük olmasını sağlamıştır.



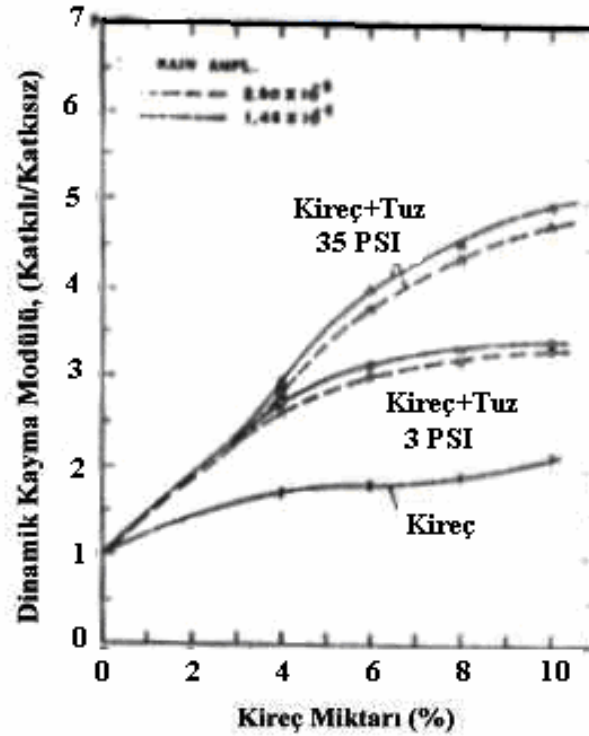
Şekil 2.18 : Konsolidasyon Basıncının Çimento Katkısı İle Değişimi (Tao ve diğ, 2001)

Tablo 2.4 : Önkonsolidasyon Basıncının Kür Süresi İle Değişimi (Tao ve diğ, 2001)

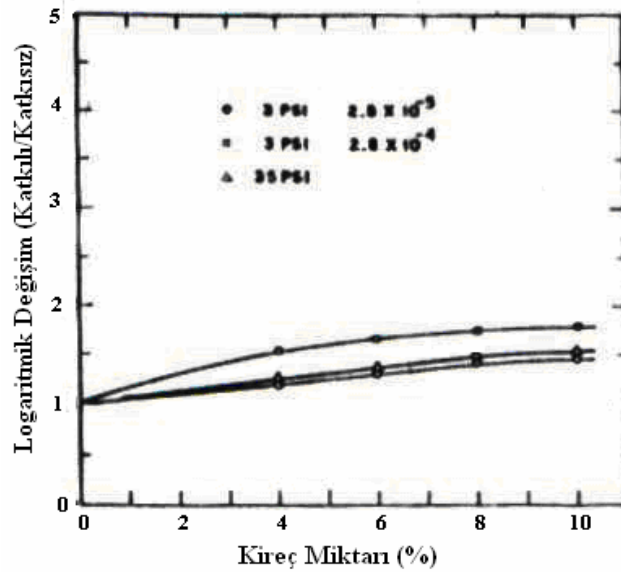
Test No	Kür Süresi (Gün)	Önkonsolidasyon Basıncı (kPa)
sm-c	3	80
sm-h	7	85
sm-d	7	40
sm-e	40	90
sm-f	47	36
sm-g	52	36

2.4 Zeminin Dinamik Davranışındaki Değişimler

Chae ve Au (1980) kireç ve tuzun şişen zeminlerin dinamik kayma modülü (G) ve sönüm özelliği üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla optimum su muhtevası % 24.3 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{maks}) 12.6 kN/m^3 olan bentonit kiline % 4, 6, 8 ve % 10 tuz (S), kireç (L) ve kireç-tuz (L+S) karışımı ilave ederek numuneler hazırlamışlardır. Hazırlanan bu numuneler rezonant kolon deneyine tabi tutularak katkı miktarı ile zeminin dinamik davranışlarındaki değişimler incelenmiştir. Şekil 2.19' da görüldüğü gibi katkı oranı arttıkça zeminin dinamik kayma modülü artmaktadır. Kireç-tuz karışımı şişen zeminin rijitliğini artırarak kirece göre dinamik kayma modülünün daha fazla artmasına neden olmaktadır. Şişen bu zeminin sönüm kapasitesi de Şekil 2.20' de görüldüğü gibi kireç katkısındaki artışla artmaktadır. Kireç-tuz karışımında kireç katkısının etkisi tek kireç katkısına göre daha düşüktür. Yaptıkları bu çalışma sonucunda şişen zeminlerin dinamik özelliklerinin iyileştirilmesinde kireç-tuz karışımının sadece tuz veya kireç katkısına göre daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

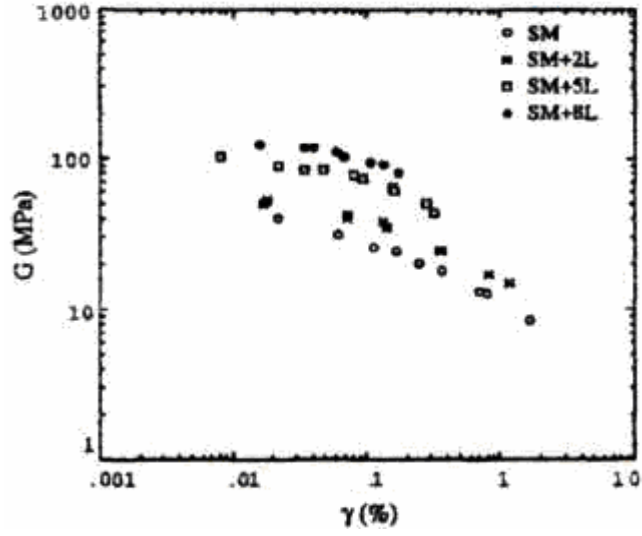


Şekil 2.19 : Kireç İçeriğinin G Üzerine Etkisi (Chae ve Au, 1980)



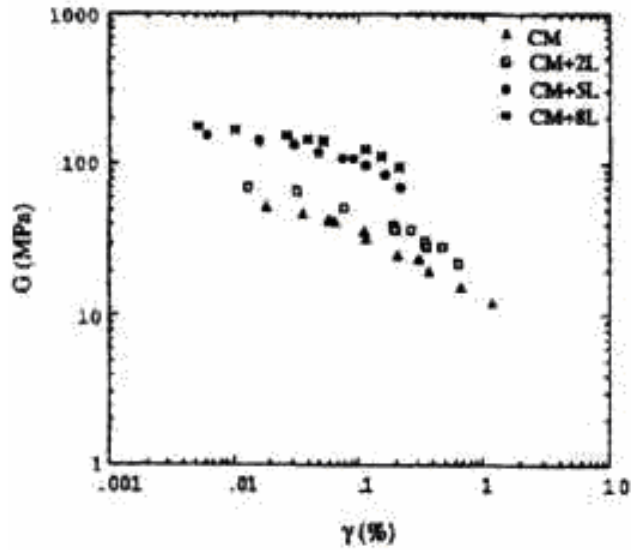
Şekil 2.20 : Kireç İçeriğinin Sönüm Üzerine Etkisi (Chae ve Au, 1980)

Fahom ve diğerleri (1996) tarafından kirecin kohezyonlu zeminlerin dinamik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada kaolinit (PI: % 18), sodyum montmorilinit (PI: % 514) ve kalsiyum montmorilinit (PI: % 35) türü zeminler kullanılmıştır. Numuneler Standart Proktor enerjisine eşit bir enerji ile sıkıştırılarak otomatik üç eksenli sistemde deneye tabi tutulmuştur. Şekil 2.21’ de sodyum montmorilinit (SM) ait kayma modülü (G)-kayma deformasyonu (γ) eğrisi verilmiştir. Kayma modülü, kayma deformasyonu ile azalmaktadır. Dinamik yüke maruz kalmış zeminin beklenen davranışı olan; kayma modülünün kayma deformasyonu ile azalması görülmektedir. Örneğin deformasyon oranı % 0.1 iken G değeri % 240 oranında artış göstermektedir. SM numunesine % 8 kireç katılması durumunda diğer katkı oranlarına göre en büyük G değerlerine ulaşılır. Bu durum kireç ile zemin arasında oluşan puzulonik reaksiyon ile açıklanmaktadır.

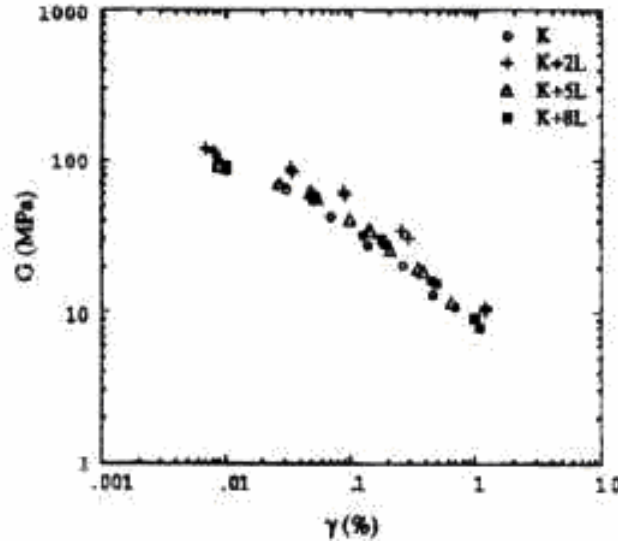


Şekil 2.21 : Kireç İçeriğinin G - γ Üzerine Etkisi (SM, $\sigma_3=150$ kPa) (Fahom ve diğ, 1996)

Şekil 2.22' de kalsiyum montmorilinit (CM) için G - γ grafiği gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi SM numunesine benzer davranış görülmektedir. G deformasyonla azalır ve % 8 kireç katkısında G değerleri diğer kireç oranlarına göre en yüksektir.



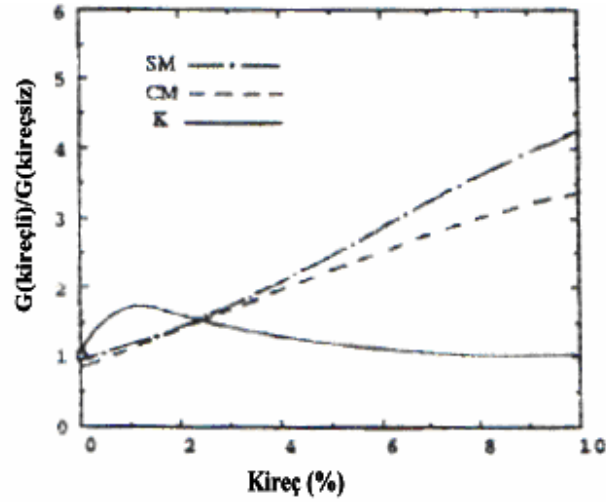
Şekil 2.22 : Kireç İçeriğinin G - γ Üzerine Etkisi (CM, $\sigma_3=150$ kPa) (Fahom ve diğ, 1996)



Şekil 2.23 : Kireç İçeriğinin $G-\gamma$ Üzerine Etkisi (K , $\sigma_3=150$ kPa) (Fahom ve diğ, 1996)

Şekil 2.23' de kaolinit (K) ait $G-\gamma$ grafiği verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi yine G değeri deformasyonla azalır fakat G ' nin en büyük değerlerine % 2 kireç katkısında ulaşılır.

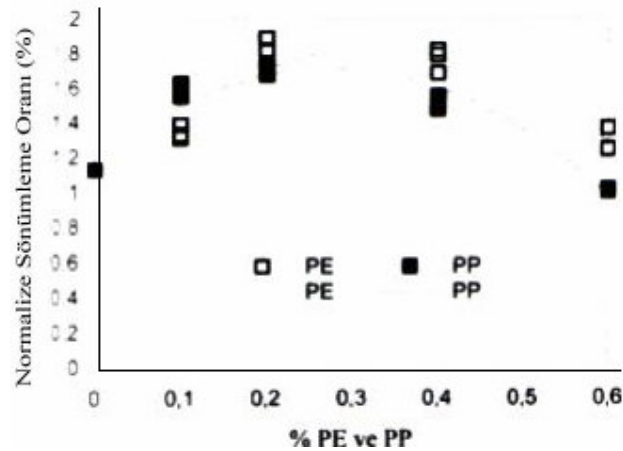
Kireç katkılı ve katkısız numunelere ait tüm değerler normalize edilerek Şekil 2.24' de görülen grafik elde edilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sodyum montmorilinitin kayma modülü kireç oranı arttıkça artar. Sodyum montmorilinitin kayma modülündeki maksimum artış oranı kireç miktarının % 7-8 olduğu durumda maksimumdur. Kayma modülündeki artım oranının maksimum olduğu kireç miktarı dinamik optimum kireç içeriği (DOLC) olarak tanımlanır. Buna göre sodyum montmorilinitin DOLC değeri % 7-8' dir. Benzer davranışlar kalsiyum montmorilinitte de görülmektedir ve DOLC % 3-4 arasındadır. Kaolinit için DOLC % 1-2 olarak belirlenmiştir. Bu çalışma ile zemine kireç katılarak zeminin dinamik özelliklerinin iyileştirilebileceği sonucuna varılmıştır.



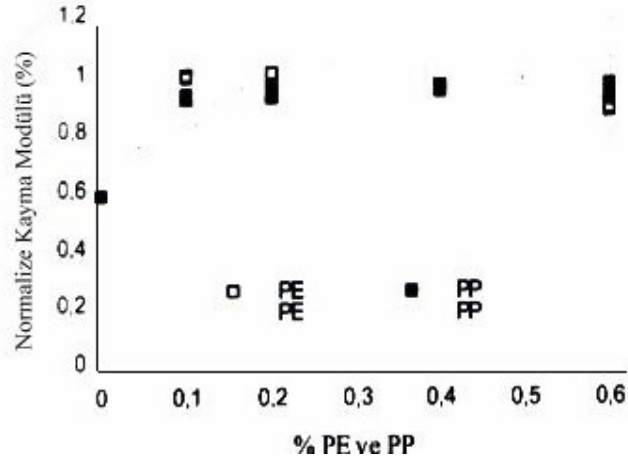
Şekil 2.24 : Kayma Modülü- Kireç Yüzdesi Arasındaki İlişkisi (Fahom ve diğ., 1996)

Akbulut ve Arasan (2004) tarafından sentetik liflerin kil zeminlerin dinamik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Kil zeminin toplam kuru ağırlığının % 0.1, 0.2, 0.4 ve 0.6' sı oranında sentetik lifler (polipropilen ve polietilen) katılarak deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde sönümleme, boyuna ve burulma deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları normalize edilerek Şekil 2.25, 2.26 ve 2.27' de görülen grafikler elde edilmiştir.

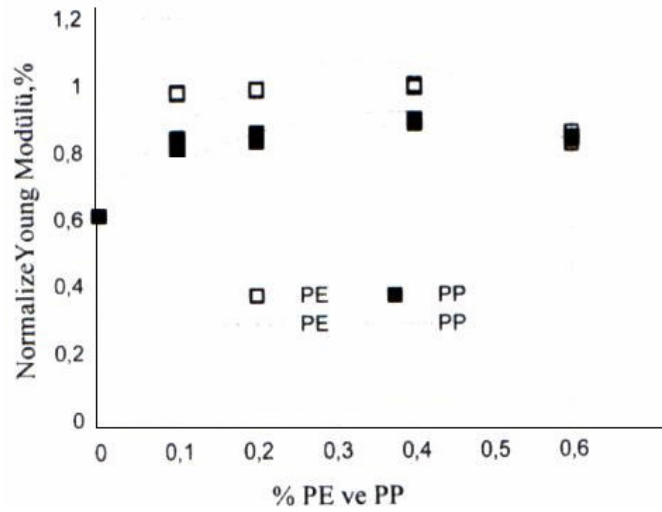
Deney sonuçlarına göre; lif katkısı dinamik özellikler üzerinde olumlu etki yapmaktadır ve en iyi sonucu % 0.2 oranında polietilen lif katkısı sağlamaktadır. Bu katkı oranında polietilen lif katkısı sönüm oranı, dinamik kayma modülü ve Young modülü değerlerinde sırası ile % 67, % 75, % 64 oranlarında artışlar sağlamıştır.



Şekil 2.25 : Lif Katkısının Sönümleme Oranına Etkisi (Akbulut ve Arasan, 2004)



Şekil 2.26 : Lif Katkısının Dinamik Kayma Modülü Üzerine Etkisi (Akbulut ve Arasan, 2004)



Şekil 2.27 : Lif Katkısının Young Modülü Üzerine Etkisi (Akbulut ve Arasan, 2004)

2.5 Sonuçlar

Bu bölümde kimyasal atıklar, kireç ve uçucu kül gibi kirletici maddelerin zeminin statik ve dinamik yükler etkisi altında davranışındaki değişimleri inceleyen çalışmalara yer verilmiştir. Bu çalışmalar dahilinde zeminin kıvam limitleri, kayma mukavemeti parametreleri, konsolidasyon davranışı, permeabilite katsayısındaki değişimler ele alınmıştır. Zeminin dinamik davranışının incelendiği çalışmalar dahilinde ise farklı dinamik gerilme değerlerinin kür oranına etkisi ve elastisite modülü konularına yer verilmiştir.

3 DENEYLERDE KULLANILAN ZEMİN VE DENEY ALETİ

3.1 Giriş

Katı atık depo alanlarında geçirimsizlik amacı ile oluşturulan kil tabakalarında iklim, hidrolojik döngü, buharlaşma, kapiler basınç ve atık sızıntı sularının etkisi ile ıslanma kuruma çevrimleri oluşmaktadır. Bu olaylar sonucunda, kil tabakaları kirlenmekte ve kilin geoteknik, mikroyapısal ve kimyasal özellikleri değişmektedir.

Bu çalışmada atık sızıntı sularının geçirimsiz örtü tabakalarının mekanik ve dinamik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla geçirimsiz örtü tabaka malzemesi farklı oranlarda (% 0, 5, 20, 50 ve % 100) çöp sızıntı suyu ile karıştırılmış ve küre bırakılmıştır. Daha sonra kürdeki bu numuneler kullanılarak zeminin kıvam limitleri, permeabilitesi, kayma mukavemeti ve dinamik özelliklerinin kür oranı ile değişimi incelenmiştir.

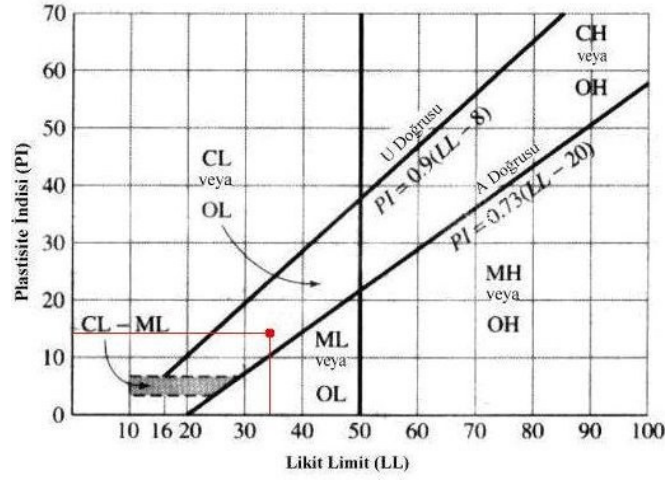
Bu bölümde zemin numunelerinin hazırlanma yöntemi, kullanılan malzemenin mühendislik özellikleri, Atterberg kıvam limitleri, ödometre ve dinamik üç eksenli deney sistemleri ve uygulama teknikleri ele alınmıştır.

3.2 Deneylerde Kullanılan Zemin

Deneylerde Kemerburgaz Katı Atık Depo Tesis Alanından temin edilmiş olan Casagrande Plastisite kartında düşük plastisiteli inorganik killer ve siltli killer (CL) sınıfına giren zemin kullanılmıştır. Şekil 3.1' de bu zeminin Plastisite kartı üzerindeki yeri, Tablo 3.1' de ise endeks özellikleri belirtilmiştir.

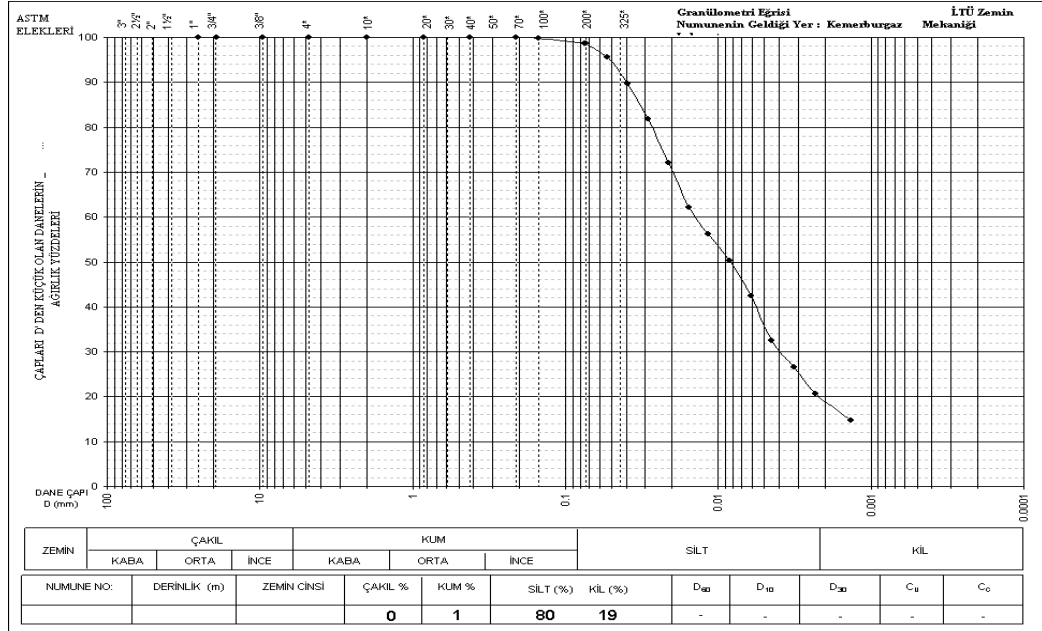
Tablo 3.1 : Deney Numunesinin Endeks Özellikleri

Zemin Sınıfı	LL (%)	PL (%)	PI (%)	γ_s (kN/m³)
CL	34	20	14	27.0



Şekil 3.1 : Plastisite Kartı

Zemin numunesinin granülometrik özelliği ise elek ve hidrometre (ıslak analiz) deneyleri yapılarak tespit edilmiştir. Danelerin tamamına yakını 200 nolu elekten (0.0042 mm) geçtiği için numuneye ait dane dağılım eğrisi, hidrometre analiziyle belirlenmiştir. Sonuçlara ait Granülometri eğrisi Şekil 3.2’ de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, malzemenin % 1’i Kum, % 19’ u Kil, % 80’ i Silt olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.2 : Granülometri Eğrisi

3.3 Çöp Sızıntı Suyunun Özellikleri

Deneylerde kullanılmak üzere Kemerburgaz Düzenli Katı Atık Depo tesisinden getirilmiş olan sızıntı suyu üzerinde İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği Laboratuvarında yapılan analiz sonuçları Tablo 3.2' de verilmiştir.

Tablo 3.2 : K.Burgaz Çöp Sızıntı Suyu Bileşenlerine Ait Analiz Sonucu

Leachete Analizleri		
Parametreler	Birimler	*Numune
pH		6.73
TKM	mg/l	51932
TUKM	mg/l	21522
TÇM	mg/l	10980
TUÇM	mg/l	2790
Alkalinite	mg/l CaCO ₃	7250
KOİ	mg/l	65230
Çöz.KOİ	mg/l	7500
BOİ	mg/l	3935
T.P	mg/l	16.2
TKN	mg/l	2510
NH ₃ -N	mg/l	2112
Klorür	mg/l	2850
Sülfat	mg/l	165
Ca.Sertliği	mg/l CaCO ₃	660
T.Sertlik	mg/l CaCO ₃	1700
Ca	mg/l	264
Mg	mg/l	249.6
Na	mg/l	2054
K	mg/l	1240
Fe	mg/l	253
Ni	mg/l	1.73
Cr	mg/l	0.461
Zn	mg/l	2.1

*Numune : Deney başı çöp sızıntı suyu

3.4 Numune Hazırlanması

Deneylerde kullanılmak üzere İTÜ Zemin Mekaniği Laboratuvarına Kemerburgaz Düzenli Katı Atık Depo tesisinden daha önce getirilen ortalama 50 şer kilonun üzerinde 8 çuval numune bir bölümü daha önceki arkadaşlar tarafından kullanılarak 5 çuval olarak teslim alınmıştır. Numunelerin bir kısmı, 105⁰C etüvde 24 saat kurutulup, elek ve hidrometre analizleri yapılarak, zeminin endeks ve granülometri özellikleri belirlenmiştir. Kalan numuneler büyük danelileri çeneli kırma makineleri ile küçük daneler haline getirilip, 40 nolu eleklerden elenmiştir. Elek altı bu zemin numuneleri etüvde kurutularak deneye hazır hale getirilmiştir.

3.5 Çöp Sızıntı Suyu İle Karıştırılmış Zemin Numunelerinin Hazırlanması

Temiz toz halindeki zemin numunesinin hazırlanmasının ardından, içerisine belli oranlarda çöp sızıntı suyu karıştırılarak oluşturulacak zemin numunelerinin hazırlanmasına geçilmiştir. İlk olarak 105⁰C etüvde kurutulmuş temiz zemine % 5, 20, 50 ve % 100 karışım oranlarında çöp sızıntı suyu karıştırarak, deneye hazır hale getirilecektir. Bunun için karışımın çöp suyu oranı likit limit değerinin 1,5 katı, yani %51 olmaktadır. Başka bir deyişle %50 çöp suyu içeren bir numune hazırlamak için numuneye ağırlığının %25,5 kadar damıtılmış su ve %25,5 kadar çöp suyu homojen bir şekilde karıştırılacaktır. Daha önceden hazırlanan 40 nolu elek altı 16 kg numune karışım kolaylığı açısından 2 şer set halinde mikserler vasıtasıyla istenilen çöp suyu oranlarında karıştırılır.

Hazırlanan bu karışım, hazne çapı $\phi = 20$ cm ve yüksekliği 80 cm olan sert plastikten yapılmış çamur konsolidasyon deney aletine, alt başlık ve drenaj vanası kapalı vaziyette dökülmüştür. Çamur konsolidasyon deney aletinin alt başlığında ve ağırlıkların oturduğu, sıkıştırıcı piston üzerinde, su geçirme özelliğine sahip, poroz taşlar ve drenaj kanalları yer alır. Alt başlık ve üst pistonda yer alan poroz taşlarının gözeneklerinin çamur karışımı ile dolmasını önlemek amacıyla poroz taşlarının üzeri iki kat filtre kağıdı ile kaplanmıştır. Karışımın dökülmesi sonrasında numune içerisinde kalması muhtemel havanın, bir karıştırıcı kullanarak veya konsolidasyon aletine titreşim uygulayarak dışarı çıkarılması sağlanmıştır.

Üst başlığın kapatılması ile piston hafifçe itilerek numune ile sadece teması sağlanmış ve numuneye ek yük gelmemesine özen gösterilmiştir. Bundan sonra

pistonun yatay yönde hareketini engelleyen ve ortasında piston kolu çapına eşit delik ile üst başlıktan suyun drenajını sağlayan hortum bağlantısı bulunan plaka, 4 adet vida yardımıyla çamur konsolidasyon deney aletine sabitlenmiştir. Son olarak numuneyi konsolide etmek için simetrik yük uygulamasına imkan veren yük askısı, üst başlık pistonun üst ucuna sabitlenip, tüm drenaj vanaları açılmıştır. Böylece sistem konsolidasyon basınçlarının uygulanması için hazır hale gelmiştir.

Çamur konsolidasyon deney aletinde 25 kPa değerinden başlayarak 50 kPa, 75 kPa ve 100 kPa düşey efektif gerilme değerlerine, yük askısına her hafta eşit oranlarda ağırlık yüklenerek çıkılmıştır. Şekil 3.3' de görülen konsolidasyon aleti üzerindeki yükler, konsolidasyonun 1 ay sonra tamamlanması ile yük askısından indirilerek, numuneye ilave yüklerin gelmemesine özen gösterilmiştir. Alt başlık çıkarıldıktan sonra, aletin üst başlık pistonu, numunenin örselenmesini önlemek amacıyla çok yavaş itilerek numune bir bütün olarak çıkarılmıştır.



Şekil 3.3 : Çamur konsolidasyon Deney Aleti

Hazırlanan numunelerin karışım oranları, kür süreleri, çıkan numunelerin boy ve çap değerleri ile deney başlangıç ve bitiş tarihleri Tablo 3.3’ de verilmiştir.

Tablo 3.3 : Çamur Konsolidasyon Deneyi Verileri

Çöp Suyu Oranı (%)	Kür Süresi (gün)	Toz Numune Ağırlığı (kg)	Çöp Suyu Oranı (%)	Çıkan Numune Yüksekliği (cm)	Çıkan Numune Çapı (cm)	Deney Başlangıç Tarihi	Deney Bitiş Tarihi
0	30	16	51	30,8	20.0	30/03/08	30/04/08
5	30	16	51	30.6	20.0	01/05/08	01/06/08
20	30	16	51	31.5	20.0	12/05/08	12/06/08
50	30	16	51	31.4	20.0	12/05/08	12/06/08
100	30	16	51	31.2	20.0	03/06/08	03/07/08

Çamur konsolidasyon aleti sayesinde, bir aylık konsolide olmuş 100 kPa efektif gerilmeye maruz bırakılmış aynı tip zeminler elde etmekteyiz. Daha sonra bu zeminleri dinamik üç eksenli basınç ve ödometre deneylerinde kullanmak için kıl testere vasıtası ile 3 parçaya bölünmüştür. Bu parçaların 2 adedi Dinamik 3 eksenli deneyler, 1 adedi ise ödometre deneyleri için kullanılmaktadır. Bölünen numunelerin hem mevcut su muhtevasını kaybetmesini önlemek, hem de hava ile temasını kesmek için film folyo ile sarılarak, deneyler yapılana kadar kür odasında, desikatörler içerisinde saklanmıştır.

Deney sonucu çıkan ve küre hazır hale gelen numuneler Şekil 3.4’ de görülmektedir.



a)



b)

Şekil 3.4 Konsolidasyon sonrası numuneler

3.6 Atterberg Limitleri

Bu çalışmada sızıntı suyu miktarına göre zeminin likit limit ve plastik limiti üzerindeki değişiklikleri araştırılmıştır. Bu amaçla üç eksenli dinamik deney öncesi numuneden tıraşlanan kısım etüvde bir gün kurutulduktan sonra çeneli taş kırma makinesi vasıtası ile küçük hale getirilip daha sonra no 40 elek altı numunesi aynı çöp sızıntı suyu içeriğine sahip su karışımı ile zemin karıştırılarak likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır.

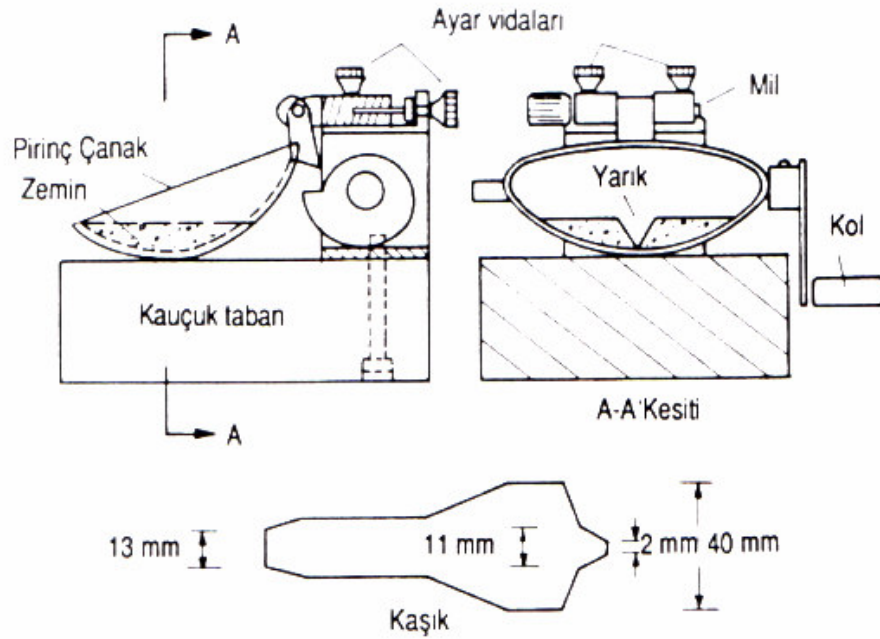
3.6.1 Likit Limit Deneyi

Likit limit deneyinde ASTM D 4318–2000 standartları uygulanmıştır. Bu deneyde yukarıda da bahsedildiği gibi tıraşlanan zemin numuneleri kullanılmaktadır 105 °C ‘ deki etüvde 24 saat kurutulan % 0, 5, 20, 50 ve 100 çöp sızıntı oranındaki zeminler öncelikle çeneli kırma makinesinden öğütülerek 40 no’lu elek için hazır hale getirilir ve 40 no’lu elekten elenir. Hazır hale gelen bu numunelerden her deney için 250 gr kullanılır. Karışım suyu her numunenin kendi oranında olacak şekilde hazırlanır. Hazırlanan numune ve karışım suyu bir kapta spatula yardımı ile homojen bir şekilde karıştırılır ve deneye başlanır.

Oyuk açma bıçağının arka sap kısmı 1 cm kalınlıkta tasarlanmıştır. Deneye başlamadan önce Casagrande aletinin düşüş yüksekliği sap kısmı vasıtası ile kontrol edilir ve farklılık var ise 1 cm’ e ayarlanarak düzeltilir. Şekil 3.5’ de gösterilen Casagrande aletinin içine hazır durumdaki numuneden spatula yardımı ile bir miktar alınarak yerleştirilir. Yerleştirme sırasında numunenin içinde hava kabarcıkları kalmamasına özen gösterilir. Kap içerisine yerleştirilen numunenin düzeltilmesi için spatula küresel kabın kenar kısımlarında hareket ettirilir. Kap içine yerleştirilen numunenin en kalın kısmı yaklaşık olarak 1 cm olmalıdır. Kap içine yerleştirilen numunenin ortasından standart oyuk açma bıçağı ile elin bilek kısmı sabit tutularak dikkatli ve seri biçimde bir yarık açılır. Krank kolu vasıtasıyla saniyede iki düşüş yapacak şekilde çevrilir ve düşüşler sayılır. Bu sırada numune ortasında açılmış olan yarığın tabanındaki kapanma gözlenir ve kapanmanın 13 mm olması durumunda çevirme işlemi durdurulmalıdır. 13 mm’ lik kapanmanın olduğu bölgeden bir miktar numune alınarak tartılır. Bu numune 105 C⁰ de etüvde 24 saat kurutulur (Irene, 2003). Ertesi gün kurutulmuş numune tartılır ve su muhtevası belirlenir. Aynı

numune kullanılarak ve su içeriği gittikçe artırılarak aynı işlemler en az üç kez tekrarlanır.

Seçilen başlangıç su içeriği ve deney sırasında eklenen su miktarları elde edilen düşüş sayılarının 10 ile 50 arasında eşit aralıklarla dağılmasını sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Deney, kesinlikle numunenin su içeriği artırılarak yürütülmelidir. Numuneye su eklemek amacıyla likit limit kabından her alınışında kap ve oyuk açma bıçağı yıkanıp kurutulmalıdır.



Şekil 3.5 : Casagrande Aleti (Toğrol ve Özüdoğru, 1992)

Deney sonunda elde edilen su muhtevası ve ilgili düşüş sayısı, yarı logaritmik bir grafik üzerinde işaretlenir. Bu işlem için su muhtevaları doğrusal olarak ordinat eksenini boyunca, düşüş sayıları ise logaritmik olarak apsis eksenini boyunca işaretlenir. Elde edilen noktalara en uygun doğru çizilir. Bu doğru üzerinde 25 düşüş karşısındaki su muhtevası zeminin likit limitini verir.

Çalışmam sırasında temiz zemin ve dinamik üç eksenli deney öncesi belirli kür oranındaki numuneler likit limit deneyine tabi tutulmuştur.

3.6.2 Plastik Limit Deneyi

Likit limit deneyinde ASTM D 4318–2000 standartları uygulanmıştır. Bu deney, zeminin henüz plastikliğini kaybetmediği en düşük su içeriğini kapsar. Likit limit deneyi için hazırlanmış numuneden bir miktar alınır. Numunenin cam levha üzerine konularak avuç içi ile yuvarlayarak zemin çubukları haline getirilmesine çalışılır. Zemin çubukları 3 mm çapında silindirik çubuklar haline gelmeden çatlamalar oluşursa numune üzerine biraz daha su ilave edilerek yoğrulur ve avuç içi ile yuvarlanarak 3 mm çapında silindirler yapılmaya çalışılır. Zemin çubukları 3 mm çapında silindirik çubuklar haline geldiğinde çatlamalar hala oluşmamışsa numune parmaklar arasında yoğrularak havalandırılıp su muhtevası azaltılır. Aynı işlemler zemin çubuklarının 3 mm çapında çubuklar haline geldiğinde çatlamalar oluşuncaya kadar tekrarlanır. Numunenin kopmaya başladığı andaki kıvam, plastik limit kıvamıdır. İki ayrı kaba 3 mm çapa ulaşıncaya kopan numuneler konularak yaş ağırlıkları tespit edilir ve numuneler 105 C ‘ deki etüvde 24 saat kurutulur. Kuru numune ağırlığı belirlenir. Kuru ve ıslak ağırlıklar kullanılarak numunelerin su muhtevası bulunur. Elde edilen su muhtevalarının ortalaması alınarak plastik limit değeri belirlenir. Su muhtevasının belirlenmesi için yaş numune ağırlığının en az 5 g olması gerekir. Aynı işlemler hazırlanmış olan tüm zemin numuneleri için tekrarlanır.

Likit limit (LL) ve plastik limit (PL) belirlenmesinin ardından zemin numunelerine ait plastisite indisi 3.1 bağıntısı kullanılarak hesaplanır

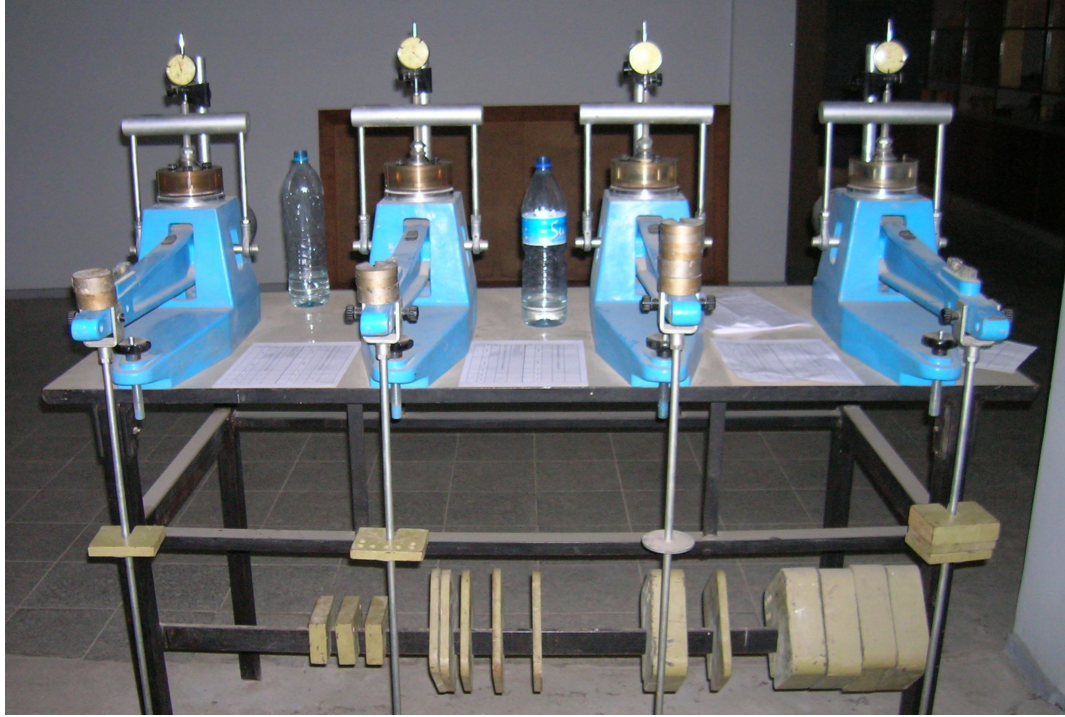
$$PI=LL-PL \quad (3.1)$$

3.7 Ödometre Deneyi

3.7.1 Ödometre Aleti

Şekil 3.6’ da görülen ödometre deney aletleri yükleme askısı ve yükleme kirişinden oluşan yükleme elemanları ve konsolidasyon hücresinden oluşmaktadır. Yükleme elemanları numuneye eksenel yük uygulamaktadır. Bu nedenle yükün uygulanması sırasında dikkat edilmesi gereken yükleme kirişinin yatay olmasıdır. Kirişin yataylığı kiriş üzerindeki su terazisi ile kontrol edilmektedir. Eğer yataylık bozulmuşsa hareket çarkı çevrilerek yükleme kirişi yatay konuma getirilir. Yaygın olarak kullanılan iki tür konsolidasyon hücresi bulunmaktadır: sabit ringli hücre ve Şekil 3.8’ de

görüldüğü gibi sabit olmayan (seyyar) ringli hücredir. Sabit ringli hücreye numune yerleştirilmesi sırasında ring yan duvarlarında sürtünme direnci oluşmaktadır. Seyyar ring hücresinde ise numune ile ring duvarları arasında oluşan sürtünme çok daha azdır. Bu çalışmada 50 mm çapında, 20 mm boyunda seyyar ring kullanılmıştır.



Şekil 3.6 : Ödometre Deney Aletleri

3.7.2 Numune Hazırlanması

Ödometre deneyinde kullanılmak üzere numune hazırlanması için önce, çamur konsolidasyon deney aletinden çıkarılan, 30 gün kür süreli örselenmemiş kil zemin numunesinden yaklaşık 25 mm kalınlığında bir parça kesilir. Şekil 3.7' de görüldüğü gibi parça üzerine 50 mm çapında 20 mm yüksekliğindeki ring yerleştirilir. Numunenin ring dışında kalan kısımları bıçak ile kesilir. Daha sonra ring numune içine batırılır ve ring içindeki numunenin her iki yüzeyi düzeltilir.



a)



b)



c)



d)

Şekil 3.7 : Konsolidasyon Deney Numunesinin Hazırlanması

3.7.3 Deneyin Yapılışı

Ödometre deneyinde ASTM D 2435–2004 standartları uygulanmıştır. Deneye başlamadan önce ring içindeki numunenin kalınlığı ve çapı ölçülür. Numune kuru birim hacim ağırlığının belirlenebilmesi için hassas terazide tartılır. Numuneye ait başlangıç değerleri deney föyüne yazılır. Poroz taşlar damıtık su içine konularak birkaç dakika beklenerek doymun hale getirilir. Böylece zemin numunesinden su emmeleri engellenir. Ödometre hücresinin tabanına poroz taş konur ve üzerine filtre kağıdı yerleştirilir. Ring içindeki numune yerleştirilir ve üzerine filtre kağıdı konur. Numunenin alt ve üst yüzeylerine filtre kağıdının konulmasının sebebi; poroz taşların gözeneklerinin dolmasını engellemektir. Yükleme halkası poroz taşın üzerine yerleştirilir. Okuma saati düşey oturmaları ölçebilecek şekilde yükleme halkasının üzerine yerleştirilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta zeminin deneye başlamadan yüklenmemesidir. Zemin numunesi doymun durumda deneye tabi tutulacağı için hazne daha önce belirlenmiş olan çöp sızıntı suyu (% 0, 5, 20, 50 ve 100)

Deneyin ilk aşaması olarak zemin numunesine 0.25 kgf/cm^2 düşey gerilme uygulanmış ve 24 saatlik konsolidasyon oturmaları kaydedilmiştir. Bu yüklemeyi takip eden her gün, ödometrenin yük askısına bir önceki günün iki katı kadar yük eklenerek, 0.50 kgf/cm^2 , 1.00 kgf/cm^2 , 2.00 kgf/cm^2 , 4.00 kgf/cm^2 , 8.00 kgf/cm^2 yük kademelerine çıkılmıştır. Bahsedilen yük kademelerinde ağırlıklar yüklenerek, okuma saatinden 1/4, 1/2 ve 1, 2, 4, 8, 15, 30 dakikalarında ve 1, 2, 4, 8, 16, 24 saatlerinde okuma alınır. Yükleme aşaması 8 kgf/cm^2 gerilme kademesine kadar aynı zaman aralıklarında okuma alınarak devam ettirilir. Zemin numunesinin yük kalktıktan sonraki davranışını belirlemek amacı ile uygulanan gerilmeler aynı yük kademeleri kullanılarak boşaltılır.

Uygulanan gerilme kademeleri tamamlandıktan sonra yükler kaldırılır. Ring ve numune birlikte alınır, üzerinde bulunan sular uzaklaştırılarak zemin numunesinin ıslak ağırlığı belirlenir. Sonra numune 105°C deki etüvde 24 saat kurutulur. Etüvden çıkarılan numune tartılarak kuru ağırlığı bulunur ve su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlığı hesaplanır.

3.8 Dinamik Üç Eksenli Basınç Deneyi

3.8.1 Dinamik Üç Eksenli Basınç Deney Sistemi

Bu araştırmada dinamik deneylerin yapıldığı deney sistemi klasik üç eksenli dinamik basınç deney sisteminin Japon ‘‘Seiken Inc’’ şirketi tarafından geliştirilmiş bir modeli olup İ.T.Ü-JICA projesi (Japonya Uluslararası İşbirliği Kuruluşu) kapsamında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Zemin Dinamiği laboratuvarına getirilmiştir.

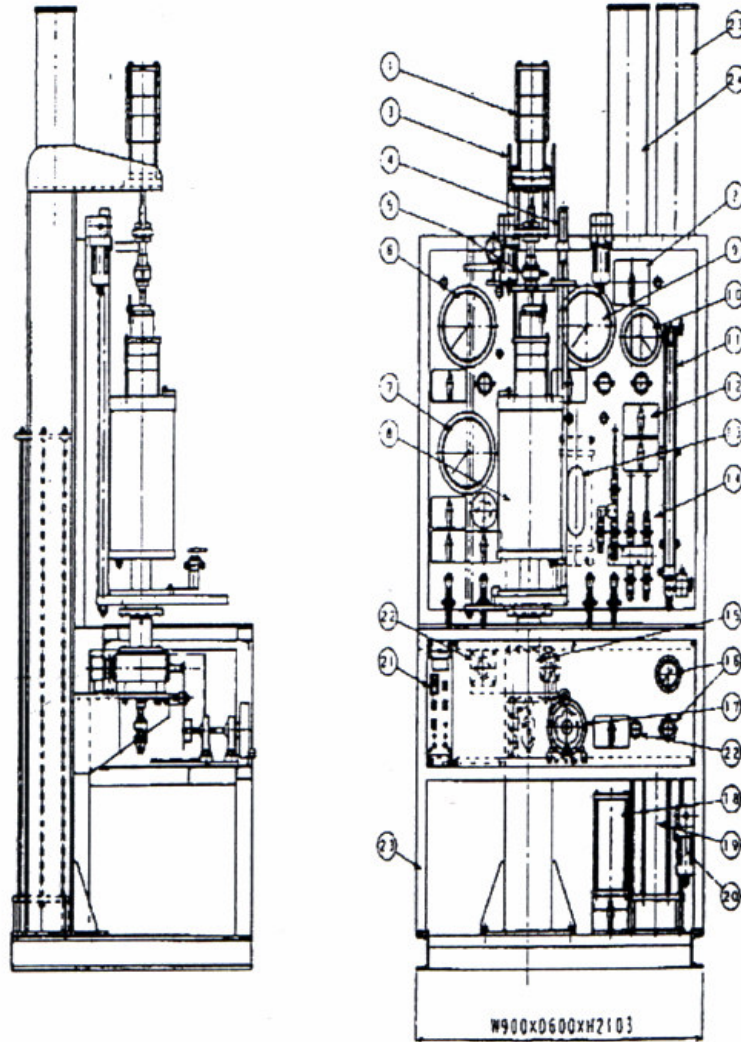
Şekil 3.8’ de görüldüğü gibi deney sistemi iki ana üniteden oluşmaktadır. Bunlar ünite A ölçüm ve ünite B yükleme birimi olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 3.8 : Dinamik Üç Eksenli Basınç Deney Sistemi

3.8.1.1 Yükleme Birimi ve Üç Eksenli Hücre

Şekil 3.9’ da dinamik üç eksenli deney sisteminin yandan ve önden görünüşü ile üniteleri görülmektedir. Numunenin yerleştirildiği üç eksenli hücrenin 500 kgf düşey yük kapasitesi, 10 kg/cm² lik yatay yük kapasitesi veya hücre basıncı kapasitesi mevcuttur. Üst ve alt başlık parçaları değiştirilerek $\phi = 50, 60, 75$ mm çaplarında ve 100, 120, 150 mm yüksekliğinde numuneler ile deney yapılması mümkün olmaktadır. Düşey yük yükleme aletinin 200 kgf dinamik yük kapasitesi mevcuttur.



Şekil 3.9 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sisteminin Yandan ve Önden Görünüşü (Özay, 2002)

Yükleme çerçevesinin içerisinde düşey yönde hareket eden piston vasıtası ile düşey dinamik yük üst başlığa aktarılmaktadır. Statik üç eksenli basınç deneyinin uygulamasında ise yükleme kapasitesi 500 kgf ve yükleme hızı 0.002 -2 mm/dak' dır. Bu sistemin güç kaynağı 100 V' tur. Hava-Su ölçüm sistemi 0 ile 10 kg/cm² basınç ayarlanmasına uygundur. Çevre basıncı ile ters basıncın 0–10 kg/cm² değerleri arasında verilmesi regülatör yardımı ile düzenlenmektedir. Ayrıca bias vana yardımı ile düşey basınç, ters basınç ve çevre basıncı aynı anda arttırılabilmektedir. Alt ve üst başlıktan gelen drenaj kanallarına bağlı 25 ml' lik buretten hacim değişimi ölçülmekte ve ters basınç uygulanmaktadır. Sistemde 5 litrelik su tankı ve 5 litrelik damıtık vakum tankı mevcuttur. Basınç ayarlamaları SI ve metrik sisteme göre yapılabilmektedir.

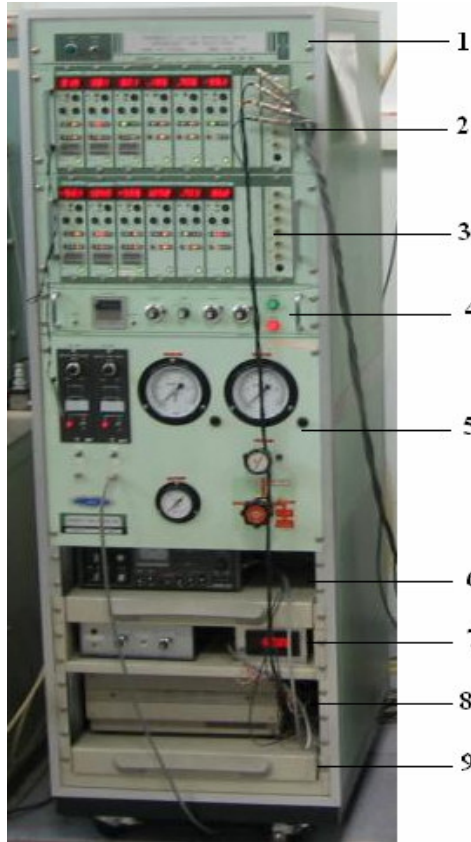
3.8.1.2 Elektriksel Ölçüm Birimi

Şekil 3.10' da dinamik yükleme ölçüm ve kayıt ünitesi görülmektedir. Elektriksel ölçüm ve kayıt birimi hem yüklemeyi kontrol etmekte hem de verilerin toplanıp aktarılmasında kullanılmaktadır. Pnömatik sinüzoidal yükleme birimi hem bir deprem kaydını yüklemeye hem de değişik frekanslarda sinüzoidal yük yüklemeye göre tasarlanmıştır. Sinüzoidal yüklerin frekansları 0.001 ile 2 Hz arasında değişebilecek şekilde ayarlanabilir. Elektriksel ölçüm ünitesi düşey yükleme transdüseri, düşey yer değiştirme transdüseri, boşluk suyu basıncı transdüseri, küçük yer değiştirme transdüseri, hacim değiştirme transdüserleri olmak üzere beş ana bölümden oluşmaktadır.

Elektriksel voltaj değişimine göre çalışan bu ünitelerde yük uygulandığı zaman sistemde voltlar değişir. Yük kaldırıldığı zaman sistem otomatik olarak ilk denge durumuna getirilir.

Düşey dinamik yük üç değişik maksimum değerde uygulanmaktadır. Bu değerler 200 kgf, 100 kgf ve 40 kgf' ten ibarettir. Kullanılan zemin özelliğine göre uygulanacak düşey yük aralığı belirlenir. Düşey yer değişiminin ölçümü için de 20 mm, 10 mm ve 4 mm' olmak üzere üç seçenek bulunmaktadır. Boşluk suyu basıncı transdüserinden de üç değişik aralıkta ölçüm yapma imkanı vardır. Bu aralıklar 10 kgf/cm², 5 kgf/cm² ve 2 kgf/cm² dir. Küçük deplasmanlar ise hücre içerisinde üst başlığın bağlı olduğu düşey mile monte edilen biri sağda biri solda olmak üzere iki adet ACE–55 PAN model Gap-Sensor vasıtası ile algılanmaktadır. Üst başlığın çok küçük düşey yer

değiştirme yapması buradaki algılayıcıları etkilemekte ve bunun sonucunda Gap-Sensorun çıkış voltajında bir değişiklik meydana gelmektedir. Bu sistemin klasik üç eksenli sistemlerden farkı budur. Maksimum çıkış voltajı 0.5 olan bu transdüserler de 1 mm, 0.5 mm ve 0.2 mm aralıklarında küçük deformasyon ölçümü yapmaya olanak sağlamaktadır. Üst başlığın iki yanında bulunan dairesel metal parçaları çok küçük yer değiştirme olması halinde bile sinyal almakta ve alınan sinyaller çıkış voltajını değiştirmektedir. Oluşan voltaj değişimi bir yer değiştirme sonucu olduğundan sistemin de yer değiştirmeden önceki denge durumu bilindiğinden ne kadar yer değiştirme olduğu iki pozisyon farkından hesaplanabilir. Ayrıca 25 mm' lik burete bağlı bir transdüser ile hacim değişimleri de elektriksel olarak ölçülmektedir. Deney sisteminde üst başlığa bağlı deformasyon mikrometresinden düşey yer değişimleri ve bürette oluşan su seviyesi değişiminden de hacimsel değişimler elde edilmektedir. Ölçülen bu değerler kişisel bilgisayara Virtuel Bench Logger programı aracılığı ile aktarılıp kaydedilmektedir. Aynı zamanda sisteme bağlı grafik çizici yardımı ile değerler grafik olarak kaydedilebilmektedir.



1	Ana elektrik kaynağı
2	Amplifikatörler CH1: Düşey yük, 200 kgf CH2: Düşey deplasman, ± 20 mm CH3: Boşluk suyu basıncı ölçer, 10 kgf/cm ² CH4: Düşey deplasman ölçer, ± 1 mm CH5: Düşey deplasman ölçer, ± 1 mm CH6: Hacim değişimi ölçer, 25 ml 6 kanal veri çıkış ünitesi
3	Amplifikatörler CH1: Düşey yük, 200 kgf CH2: Düşey deplasman, ± 20 mm CH3: Boşluk suyu basıncı ölçer, 10 kgf/cm ² CH4: Düşey deplasman ölçer, ± 1 mm CH5: Düşey deplasman ölçer, ± 1 mm CH6: Hacim değişimi ölçer, 25 ml 6 kanal veri çıkış ünitesi
4	Dinamik yükleme kontrol birimi
5	Dinamik yükleme basınç birimi
6	Veri kayıt birimi
7	Direkt akım amplifikatör
8	Kayıt cihazı (8 kanal)
9	Elektrik ölçüm birimleri

Şekil 3.10 : Dinamik Yükleme Ölçüm ve Kayıt Birimleri

3.8.2 Deney Sisteminin Kalibrasyonu

Deneyisel çalışmalar yapıldığında ölçülen verilerin doğruluk derecesinin belirlenmesi için sistemlerin düzgün çalışmasının yanında alınan verilerin kontrol edilerek çalışmalarda kullanılması, çalışmanın sağlıklı şekilde yürütmesi ve geçerlilik kazanması için gerekli bir işlemdir. Bu kontroller çeşitli veri alma tekniklerinin birbiri ile karşılaştırılmasıyla ve ölçüm cihazlarının çeşitli yollardan kontrolü ile sağlanabilir.

Dinamik üç eksenli deney aletinde kalibrasyonlar dijital panodaki deformasyon verilerinin karşılaştırılması ve panodaki değerlerin kontrolleri ile sağlanmaktadır. Ölçüm panosunda dijital değerler ve ayar düğmeleri Şekil 3.11’ de görülmektedir.



Şekil 3.11 : Ölçüm Sistemi Dijital Panosu

Panonun kalibrasyonu başlangıç olarak sistem çalıştırıldığında kazanç düğmesi, ATT5 düğmesi ve CAL.µε düğmelerinin ışıklarının yandığının kontrolü ile başlar. ATT düğmesi ölçümlerin hassaslığını kontrol eden bu düğmelerden 5’e basıldığında sistem 5 kez hassalaşır. Hassaslık düzeyi ATT 2 ve 1 içinde aynı şekilde ayarlanabilir. CAL.µε anahtarı ise giriş kalibrasyon anahtarı olarak adlandırılır ve CALL.ON anahtarına basıldığında kalibrasyon başlar. AUTO anahtarına basılarak voltmetredeki “0.00” okuması sağlanır ve CALL. ON düğmesine basılır GAIN kontrol düğmesi kullanılarak dijital voltmetre değeri “5.00” değerine ayarlanır. GAIN düğmesi amplifikatörün hassaslığını kontrol eder ve ATT düğmesi ile birlikte çalışır. Ölçüm değişim anahtarı olan ZERO-C-BAL anahtarı ZERO pozisyonundayken köprü denge direnci ZERO CONTROLLER ayarı kullanılarak voltmetre göstergesi “0.00”değerine getirilir. ZERO-C-BAL anahtarı C-BAL

pozisyonundayken sabit tutulur ve voltmetre göstergesi C-BAL kontrolü kullanılarak “0.00” değerine ayarlanmalıdır. Sistemde ZERO-C-BAL anahtarı her iki durumda da “0.00” değerini gösterene kadar yukarıda anlatılan adımlar tekrar edilmelidir. Bu arada ölçümün hassalığının ayarlanması için ATT1,2 ya da 5 anahtarlarından biri seçilir ve kalibrasyon anahtarı olan CAL’ın MEAS yada GAIN durumunda olmasının önemi olmadan seçilen ATT ve altındaki anahtar devreye sokulmalıdır. GAIN anahtarı devrede iken voltaj çıkışını göstermektedir ve MEAS anahtarı da açıldığında ölçülen voltaj değeri başlangıçta ayarlanan gerçek büyüklüğü gösterecektir. Yani eğer yük hücresinde 5 volt 200kgf değerine ayarlanmışsa, gösterge GAIN konumunda 5 volt gösteriyor ise MEAS konumunda 200kgf göstermelidir. Örneğin ATT-1 anahtarına basıldığında CAL 10 anahtarına da basılmalıdır. AUTO anahtarına basılarak değerler”0.00”a ayarlanmalı ve CALL-ON anahtarına basılarak ve GAIN kontrolü kullanılarak voltmetre değeri “5.00” değerine getirilir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra AUTO anahtarına tekrar basılır ve değerlerin”0.00” a gelmesi sağlanır, daha sonra CAL anahtarı açılır ve GAIN kontrolü kullanılarak voltmetre değeri “5.00” a ayarlanır ve CAL anahtarı devreden çıkarılır. Böylelikle deneye hazır hale getirilen pano kayıt almaya hazır hale getirilmiş olur.

Dijital değerlerin kalibrasyonu yapıldıktan sonra ölçüm panosundaki dijital deformasyon okumalarının kalibrasyonu sistemin üzerine yerleştirilen mekanik deformasyon saatlerinden aynı anda alınan okumaların arasındaki bağıntının belirlenmesiyle yapılmaktadır. Mekanik saat okumaları sık okuma aralıkları belirlenir ve bu deformasyon miktarlarında düşey deformasyon ve küçük deformasyon okumaları dijital sayaçlardan kayıt edilir. Daha sonra bu verilerin mekanik saat verileri ile ilişkisi belirlenir ve kayıta alınan değerler bu katsayılarla çarpılarak deney sonuçlarının hazırlanması sırasında kullanılır.

3.8.3 Numune Hazırlanması

Çamur konsolidasyon deney aletinde hazırlanmış numunelerin dinamik deney için hazırlanmasında, JGS T 520–1990 standartlarına uyulmuştur. Numunelerin deney için uygun çapa getirilmesi için tıraşlama aleti kullanılmıştır. Şekil 3.12’ de görüldüğü gibi numuneden uygunca kesilen parça numune tıraşlama aletine yerleştirilir ve tıraşlama bıçağı kullanılarak numune istenilen çapa (50 mm) getirilir.

İstenilen çapa göre tıraşlanan numune aynı çapta boyu standart (100 mm) olan metal kalıplar arasına yerleştirilerek standart boyu aşan kısımları ince tel testere ile kesilir. Böylece çapı ve boyu mm hassasiyetinde silindirik numune kısa sürede hazırlanmış olur



a)



b)



c)



d)

Şekil 3.12 : Tıraşlama Aleti Kullanılarak Numune Hazırlanması

Dinamik deney uygulamasında, çamur konsolidasyon deney aletinden çıkarılan, çöp sızıntı suyu içeriği % 0, 5, 20, 50 ve 100 olan örselenmemiş kil numuneleri kullanılmıştır. Bu numuneler üzerinde, konsolidasyonlu olarak düzenli dinamik ve statik deneyler yapılmıştır. Bu deneyler öncesinde istenilen çap'a ve boyuta getirilen çöpsülu zeminler dinamik 3 eksenli basıç deney aletinde 24 saat süresince efektif basıncı 1 kgf/cm² ve drenajları açık bir şekilde konsolidasyona bırakılmıştır

3.8.4 Deneyin Yapılışı

Deneye başlamadan önce numunenin çapı şerit mikrometre ile üstten, ortadan ve alttan olmak üzere üç farklı yerden ölçülür ve kaydedilir. Numunenin boyu, boy kumpası ile ölçülür. Numunenin birim hacim ağırlığının bulunabilmesi için hassas terazide tartılır. Daha sonra 5 cm çapında, 10 cm yüksekliğindeki kalıp içine membran geçirilir ve membranın içine numune yerleştirilir. Alt piston üzerine suya doymun hale getirilmiş filtre kağıdı konularak membran içindeki numune buraya yerleştirilir. Membran alt pistonu O-ring ile sabitlenir. Sonra şerit şeklinde kesilip hazırlanan membran bantı ile başlık üzerindeki membran sıkıca çevrelenerek bağlanır. Bu işlem yapılırken arada boşluk kalmamasına, membranın düzgün ve gergin durmasına özen gösterilmelidir. Membran alt başlığa bu şekilde tespit edildikten sonra üst başlığın bulunduğu üç düşey kolonlu parça alt düzlem üzerine getirilip üç kolon ayağı da ilgili yerlere vidalanarak alt düzleme bağlı hale getirilir. Piston vidası gevşetilerek üst başlığın numune üzerine değmesi sağlanır. Üst başlığın ağırlığından dolayı numunenin şişmemesini engellemek için başlık numuneye değmez daha önce gevşetilen başlığın düşey yönde hareket etmesini engelleyen vida sıkılır. Numune üzerine suya doymun hale getirilmiş filtre kağıdı konur. Üstteki kıvrılmış membran uçları üst başlığa geçirilir ve O-ring de membran üzerine getirilir. Alt başlıkta yapıldığı gibi plastik membran şeridi ile üst başlık etrafına sarılarak membran içerisine hava ve hücreden su girişi engellenir. Fleksiglas malzemeden yapılmış olan hücre alt düzlem üzerindeki yerine yerleştirilir. Hücre altından su sızıntı olmaması için silindirin O-ring üzerine iyice oturması ve arada toz, kum danesinin olmamasına özen gösterilmelidir. Hücre üst başlığı yerine tespit edilir ve üç adet vida sıkılarak hücre ile montajı sağlanır. Hücre grubu hava basıncı yardımı ile kaydırılarak yerine itilir. Yükleme pistonu aksı ile düşey yükü pistonu aktaran elemanın aynı hizaya gelmesi sağlandıktan sonra iki yandaki kelepçeler sıkılarak sistemin stabil hale gelmesi sağlanır. Düşey deformasyonların ölçülebilmesi için yükleme pistonuna tespit edilmiş iki adet elemanın soldakine mikrometre bağlanır. Sağdaki elemana ise elektrikli amplifikatörün 2 no' lu kanalından gelen dial gage bağlanır. Su tankına düşük basınç uygulanarak ve hücreye su temin eden musluk açılarak hücre damıtık su ile doldurulur. Hücre içindeki su seviyesi üst kotu üst başlık ortası civarındadır. Anlatılan bu işlemler sırasında tüm drenaj muslukları kapalı olmalıdır. Hücre su ile dolduktan sonra su tankındaki basınç sıfıra indirilir.

Elektrikli amplifikatörden gelen 1, 2, 3, 4 no' lu data hatları hücre üzerindeki ilgili soketlerine bağlanır. 1 no' lu kanal düşey yükleme kanalıdır. Numunenin kıvamına göre uygulanacak yükleme aralığı seçilir. Ör, ATT 1 seçilirse 5 volt = 200 kgf bağlantısı geçerlidir. Bu durumda numune orta katı veya katı kıvamda ise seçilen aralık uygundur. Bu aralık seçildikten sonra gain ve zero dengeleme tuşları ile kanalın kalibrasyonu yapılır ve otomatik dengeleme ile sıfırlanır. Sonra ikinci kanal olan düşey yer değiştirme kanalının çalışma aralığı seçilir ve benzer şekilde kalibrasyonu yapılır. Boşluk suyu basıncı ölçümleri için 3 no' lu kanalın kalibrasyonu yapılır ve sıfırlanır. Küçük deformasyonların ölçüldüğü 4 no' lu kanalın kalibrasyonu yapılır ve sıfırlanır.

Çevre basıncı ve düşey basınç vanası açılarak hücre içerisine 0.1 kg/cm^2 lik basınç uygulanır. Yükleme pistonunu tutan vida gevşetilerek numunenin düşey yöndeki hareketi serbest bırakılır. Çevre basıncı ve düşey basıncı 1 kg/cm^2 değerine getirilir ve düşey deformasyon saatinden boy değişimi kaydedilir.

Tüm hazırlıklar tamamlandıktan sonra panodaki değerler herhangi bir kalibrasyon yapmadan sadece AUTO anahtarı ile sıfırlanır. STATİK Dial düğmesi saat ibresi yönünde yavaşça döndürülerek düşey yükleme pistonunun numunenin üzerine değmesi sağlanır. Bu işlemin ardından, düşey basınç düğmesi yavaşça eksoz durumuna getirilir. Böylece düşey yükün pistonu aktarımı sağlanır. Bu işlem sırasında numunede boy değişiminin olmamasına özen gösterilmelidir. Yük aktarımından sonra birinci kanaldaki DV değeri '0.00'dan biraz değişmişse statik düğmenin çok az sağa veya sola döndürülmesi ile bu değer '0.00' a getirilir. Bu işlemlerin ardından ana panodan istenen yük değeri, frekans ayarlanır ve bilgisayarda verinin kayıt edilme aralığı, verinin saklanacağı dosya ismi belirlendikten sonra verilerin kaydını sağlayan programda başla butonuna basılarak kayıt almaya başlanır. Hemen ardından sistem son kez kontrol edilir ve ana panodan yüklemeyi başlatmak için "Başla" butonuna basılarak yüklemenin başlaması sağlanır. Sistem başlatılana kadar kayıt edilen datalar sonuçların değerlendirilmesi sırasında dikkate alınmaz. Deneyin ilk kısmı olan başlangıç Elastisite modülü değerlerinin belirlenmesinin ardından deneyin ikinci kısmına geçilir. Önce kanallardaki DV gösterge değerleri Auto tuşlarından sıfırlanır. Virtuel Bench Logger programında yeni bir dosya açılır. Programda kayıt almaya başlanır ve ardından deney aletindeki start düğmesine basılarak yükleme başlatılır. Yükleme bitince deneyin ilk kısmında olduğu gibi önce

yükleme panosundaki stop düğmesine basılır. Bilgisayar kaydı durdurulur. Sıra ile önce dinamik yük sıfırlanır. Sonra düşey çevre basıncı uygulanarak statik düşey yük de kaldırılır. Hücredeki su basınç yardımı ile boşaltıldıktan sonra tüm basınçlar sıfıra indirilerek numune hücreden alınır. Numunede hiç kayıp olmayacak şekilde membran içindeki numune çıkarılır. Numunenin su muhtevasının belirlenmesi için hemen tartılır. 24 saat süre ile 105 C⁰ deki etüve konur.

3.8.5 Verilerin Toplanması

Dinamik üç eksenli deney sisteminden tekrarlı düşey sinüzoidal yük, düşey yer değiştirmeler, boşluk suyu basınçları ve küçük yer değiştirmeler sayısal volt olarak kişisel bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Deneye başlamadan önce amplifikatörün data alınan kanallarının ATT butonları yardımı ile çalışma aralıkları seçilir. Örneğin 1. kanalda ATT 5' e 2. kanalda ATT 1' e 3. kanalda ATT 2' ye ve 4. kanalda ATT 5' e basılırsa sırası ile 1.kanal değeri 5 volt = 40 kgf, 2.kanal değeri 5 volt = 200 mm, 3. kanal değeri 5 volt = 5 kg/cm² ve 4. kanal değeri 0.5 volt = 0.2 mm olur. Bu kanallardaki değerler data hatları yardımı ile Virtuel Bench programına aktarılır. Hardware' den gelen bu 4 kanal kişisel bilgisayarın software' ine bağlanmıştır. Bu softwair 12 kanallıdır. Virtuel Bench programının deneye başlamadan önce veri toplamaya hazır hale getirilmesi gerekir. Bunun için Programın Loger dosyasına girilerek kanallar seçilir. Bu kanalların yukarıdaki örnekteki ölçeğe göre volt ayarları yapılır. Dosya bölümünden log uzantılı deney adını belirten dosya seçilir. Scan konfigürasyonu bölümünden saniyede kaç veri alınacağı seçilir. Eğer deneyin hızı küçükse saniyedeki veri alma aralığını büyük seçmek gerekir. Aksi takdirde hafıza çabuk dolar ve deney sırasında veri almaya devam edilemez. Filtre ayarı ve deneye başlayınca data almaya başlama ayarı yapılır. Bu ayarlardan sonra ekranda grafik olarak veri alma şekli gelir. Deneyin start tuşuna basmadan önce logon'a basılır. Önce bilgisayarın start tuşuna sonra dinamik deney aletinin start tuşuna basılarak deney başlatılır. Virtuel-Bench programında açtığımız dosyada kaydedilen bu data Microsoft Office Excel programından açılarak log dosyası xls dosyası olarak kaydedilir. Burada dört kolon halindeki veriler kalibrasyon ile elde edilen katsayılarla çarpılarak fiziksel büyüklükler haline getirilir.

3.9 Sonuçlar

Bu bölümde yapılan çalışma kapsamında deneylerde kullanılan numune zellikleri, Atterberg limitleri, ödometre ve dinamik üç eksenli deney yöntemleri ele alınmıştır. Bölüm 4' de ise deney sonuçları incelenecektir.

4 DENEY SONUÇLARI

4.1 Giriş

Bu bölümde çöp suyu oranının ve bu suyun zeminle etkileşim süresinin zeminin statik ve dinamik yükler altındaki davranışları üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla ödometre ve dinamik üç eksenli deney sonuçları detaylı şekilde ele alınmıştır

Deney numunelerinin aynı özellikte olmasını sağlamak amacı ile tüm deney numuneleri aynı karışım oranlarında çamur konsolidasyon deney aleti kullanılarak hazırlanmıştır. Ayrıca, çöp suyu içermeyen temiz zemin numunesi de yine, çöp suyu karışım oranları ile aynı oranda temiz su içerecek şekilde çamur konsolidasyon deney aleti ile hazırlanmıştır. Ödometre deneyinde yine çamur konsolidasyon deney aleti ile hazırlanmış, çöp sızıntı suyu oranları % 5, 20, 50 ve % 100 olan, kür süresi 30 günlük numuneler ile temiz zemin numunesi ele alınmıştır. Bu deney ile 30 günlük kür süresi içerisinde, kür oranının zeminin hacim değiştirme davranışı, permeabilite katsayısı ve konsolidasyon katsayısı üzerine etkisi incelenmiştir. Bundan sonra ise değişik kür sürelerinde olan, %0, 5, 20, 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında numuneler üç eksenli dinamik basınç deney aletinde farklı gerilme seviyelerine maruz bırakılarak dinamik ve statik deneyler yapılmıştır. Üç eksenli basınç deney aletinde yapılan tekrarlı ve kapsamlı deneyler sonunda , zeminlerin dinamik yükler altındaki davranışları, şekil değiştirme davranışları, Elastisite modülü ve boşluk suyu basıncı değişimi gibi parametreler, değişik kür oranlarında gözlemlenmiştir. Bütün bu parametreler ışığında datalar grafikler halinde kıyaslanarak yorumlanmış ve kirlenmiş zeminlerdeki kür oranı etkisi incelenmiştir.

Deney sonuçlarının gerçekçi ve güvenilir olması için deneylerde Kemerburgaz Katı Atık Tesis alanından getirilen dolgu malzemesi ve çöp sızıntı suyu kullanılmıştır. CL (Düşük plastisiteli inorganik killeri) sınıfı bu zeminin LL= (%) 34, PL (%)= 20 ve PI (%)= 14 olarak belirlenmiştir

4.2 Ödometre Deney Sonuçları

% 5, 20, 50 ve 100 çöp sızıntı suyu oranı ile hazırlanmış numuneler ödometre deneyine tabi tutularak zeminin hacim değiştirme davranışı ve permeabilite katsayısı üzerine çöp sızıntı suyu oranının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla elde edilen deney sonuçları iki aşamada ele alınacaktır. İlk olarak konsolidasyon katsayısındaki değişim daha sonra ise permeabilite katsayısındaki değişim ele alınacaktır. Tablo 4.5' de ödometre deneyine ait w ve γ değerleri belirtilmiştir. Tablo 4.6' de ise ödometre deney sonuçlarına göre hesaplanan, konsolidasyon katsayısı (c_v) ve permeabilite katsayısı (k) değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1 : Ödometre Deneyi w ve γ Değerleri

Çöp sızıntı suyu Muhtevası (%)	Kür Süresi (gün)	Deney Başı w_{ilk} (%)	Deney Sonu w_{son} (%)	Deney Başı γ_{ilk} (kN/m³)	Deney Sonu γ_{son} (kN/m³)
5	30	28	21	18.90	20.90
20	30	28.91	20.84	19.00	20.30
50	30	31	22	19.10	20.30
100	30	29.80	21.80	19.50	21.10

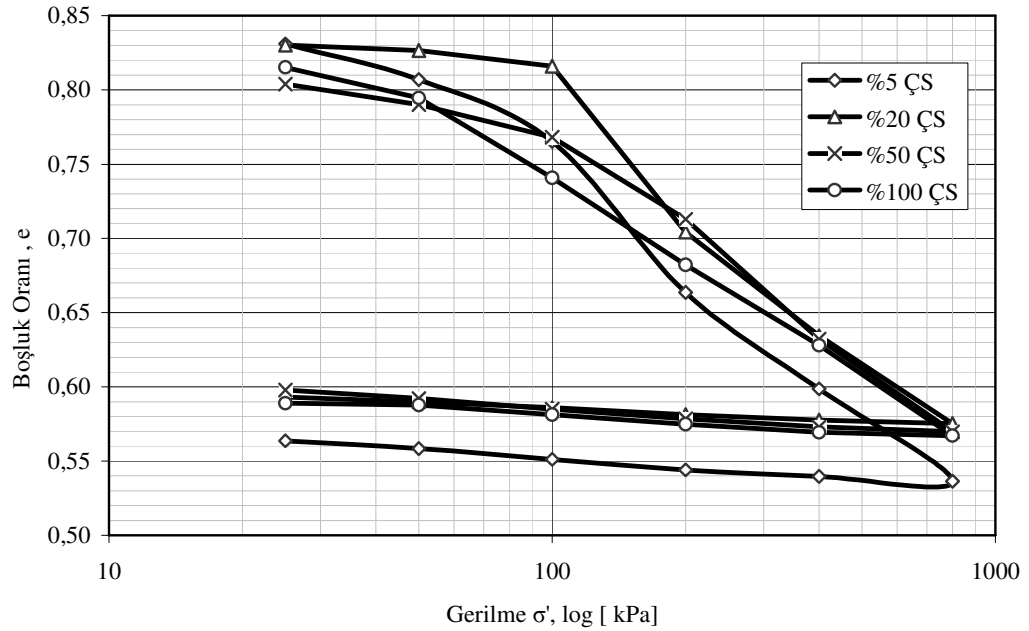
Tablo 4.2 : Ödometre Deney Sonuçları Hesaplanan c_v ve k Değerleri

Çöp sızıntı suyu(%)	P (kPa)	Kür S: 30 gün	
		c_v (cm ² /sn) 10^{-4}	k (cm/sn) 10^{-8}
5	25	38.05	16.61
	50	16.18	15.58
	100	27.50	26.52
	200	49.62	55.75
	400	25.34	19.94
	800	60.11	30.72
20	25	24.13	21.76
	50	30.82	52.61
	100	41.98	84.80
	200	27.65	21.13
	400	69.33	42.40
	800	86.48	35.56
50	25	49.92	40.75
	50	44.63	50.48
	100	25.48	20.95
	200	32.08	23.96
	400	77.00	49.17
	800	66.70	28.79
100	25	21.73	9.22
	50	35.25	31.34
	100	46.74	50.23
	200	79.13	71.62
	400	64.93	41.15
	800	60.40	25.76

4.5.1 Boşluk Oranı Değişimi Üzerinde Kür Oranının Etkisi

Zeminin boşluk oranı, oturma ile olan direkt ilişkisinden dolayı önemlidir. Hacim değiştirme davranışı zeminin dayanım ve deformasyon özellikleri üzerinde etkilidir. Bu nedenle farklı oranlarda çöp sızıntı suyu ile kirletilmiş ve küre bırakılmış zemin numunelerinin hacim değiştirme davranışındaki değişimler incelenmiştir. Bu amaçla ödometre deney sonuçlarından yararlanılmıştır. Şekil 4.16' da kür süresi $t=30$ gün olan 100 kPa ön konsolidasyon basıncına sahip numunelere ait boşluk oranı-konsolidasyon grafikleri verilmiştir.

Şekil 4.1' de görüldüğü üzere numuneler ön konsolidasyon basıncı olan 100 kPa' dan sonra eğimin artmaya başladığı noktadan itibaren şekil değiştirme oranı artmıştır. Genel olarak oturmalar incelendiğinde ise boşluk oranları kür oranının artması ile artış eğilimindedir.



Şekil 4.1 : e-log P (t= 30 gün)

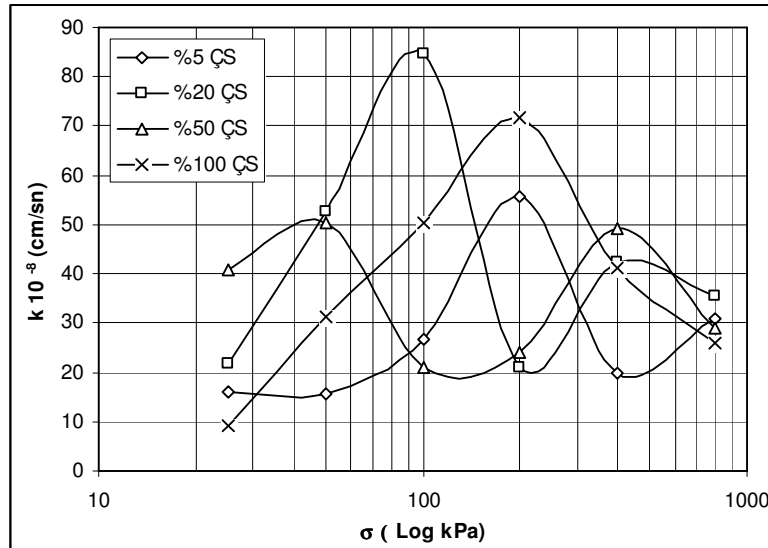
4.5.2 Permeabilite Katsayısı Üzerinde Kür Oranının Etkisi

% 5, 20, 50 ve 100 çöp sızıntı suyu oranları ile hazırlanan numuneler 30 gün kür süresi sonunda ödometre deneyine tabi tutularak permeabilite üzerinde kür oranı etkisi araştırılmıştır.

Çöp sızıntı suyu ile hazırlanan numuneler üzerinde sabit seviyeli veya düşen seviyeli permeabilite deney yöntemleri uygulanması halinde numune içinden sadece temiz su geçişi yapılabilecek ve numune yıkanarak çöp sızıntı suyunun etkisi kaybolacaktı. Bu nedenle çöp sızıntı suyunun etkisinin yok olmasını engellemek için ödometre deney yöntemi uygulanmıştır. Deneylerin uygulanması sırasında su haznesine numunenin içerdiği çöp sızıntı suyu oranında su katılarak deneyin amacına uygun yapılması sağlanmıştır.

Permeabilite katsayısı 25, 50, 100, 200, 400 ve 800 kPa yük kademeleri için Logaritma Zaman Yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntemle Şekil 4.17' de elde edilmiş permeabilite katsayılarının 25, 50, 100, 200, 400, 800 kPa konsolidasyon basınçlarında değişimleri aynı grafik içinde gösterilmiştir.

Şekil 4.2' de teorik konsolidasyon basıncı (100 kPa) altında %100 kür oranındaki permeabilite değeri en yüksek olup %20 kür oranındaki permeabilite değeri en düşüktür.

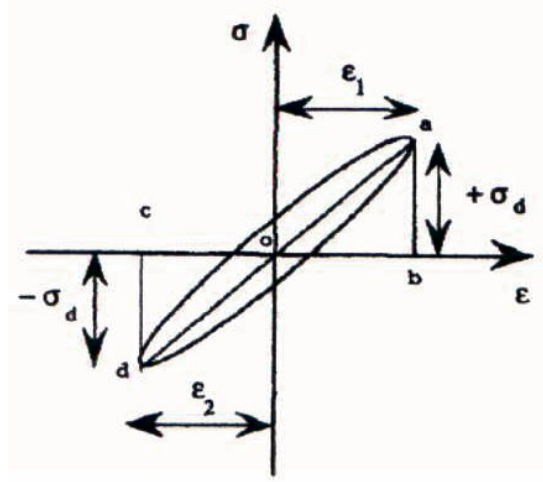


Şekil 4.2: Konsolidasyon Basıncı ve Permeabilite Katsayısındaki Değişim

4.6 Zeminin Dinamik Davranışları Üzerine Kür Oranının Etkisi

4.6.1 Elastisite Modülü Üzerinde Kür Oranının Etkisi

Bu çalışmada zeminin elastisite modülü üzerinde kür oranının etkisinin belirlenmesi için en büyük elastisite modülü ölçümü yapılmıştır. Bu ölçüm sırasında gerilme oranları plastik şekil değiştirmelere izin vermeyecek şekilde 5 çevrimde bir kademeli olarak artırılarak uygulanmıştır. Daha sonra tekrarlı gerilme (σ) ve eksenel boy değişimi (ϵ) 3. Bölümde anlatılan hesaplama yöntemine benzer şekilde hesaplanarak histeresis ilmikleri çizilmiştir. Elastisite modülünün hesaplanması sırasında Şekil 4.3' de gösterildiği gibi histeresis ilmiklerinin eğimi hesaplanır. Bağıntı 4.5' de görüldüğü gibi gerilme eksenel boy değişimine bölünerek eğim hesaplanır.



Şekil 4.3 : Tekrarlı Yükleme İle Elde Edilen Histeresis İlmikliği (Fahoum, 1996)

$$E = \frac{2\sigma_d}{\epsilon_1 + \epsilon_2} \quad (4.5)$$

σ_d = deviyatör gerilme

ϵ_1 ve ϵ_2 = eksenel deformasyon

Dinamik deney uygulamaları deney numunelerinin en büyük elastisite modülü ölçümleri yapılmış. Bu ölçümlerin ardından elde edilen elastisite modülleri Tablo 4.3. te gösterildiği gibidir.

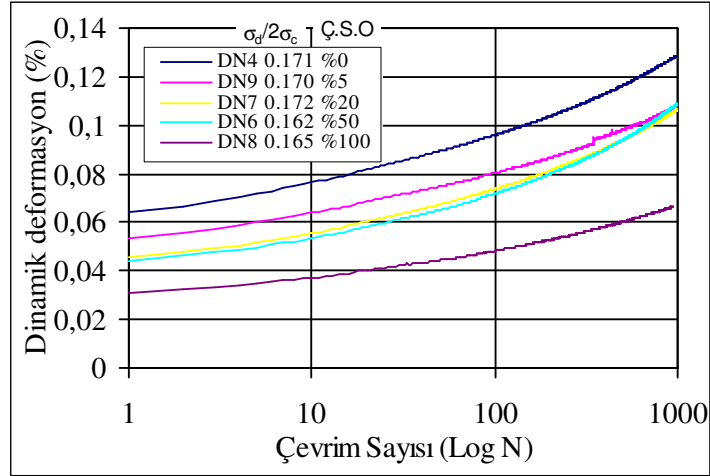
Tablo 4.3: Kür oranları – En büyük elastisite modülü değerleri

Kür oranı	Emaks (MPa)
0%	250
5%	260
20%	225
50%	110
100%	110

Bu çalışmada değişik kür süreli % 0, 5, 20 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranları ile hazırlanmış numuneler numunelerin tamamı dinamik üç eksenli basınç deney aletinde 100 kPa efektif gerilme altında 24 saat konsolide edildikten sonra deneylere başlanmıştır.

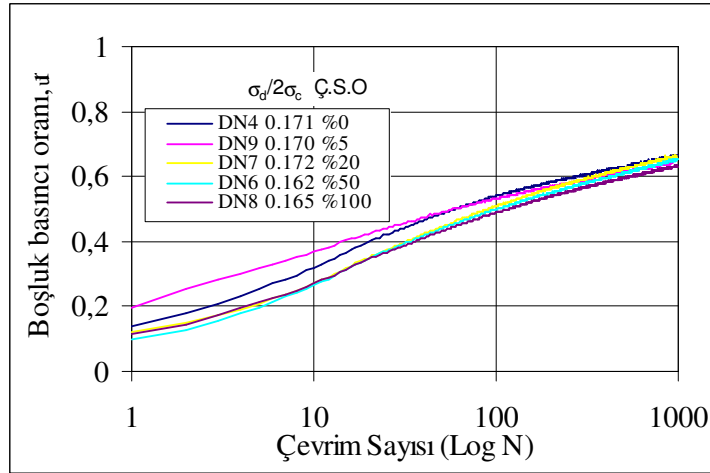
4.6.2 Dinamik Gerilme Oranı ile Kür Oranın İlişkisi

Bu çalışma kapsamında her kür oranındaki numunelere farklı dinamik gerilme oranlarında ($\sigma_d/2\sigma_c$) deneyler yapılarak şekil değiştirme davranışı ve boşluk suyu basıncı davranışı incelenmiştir. Şekil 4.4.'de görüldüğü üzere farklı kür oranlarıdaki numunelere yaklaşık ± 0.17 dinamik gerilme oranı uygulanmıştır. Grafikte aynı dinamik gerilme oranında en fazla şekil değiştirme temiz zeminde , en küçük şekil değiştirme ise %100 kür oranındaki numunede görülmüştür. Bu grafiğe göre kür oranı arttıkça arttıkça , numunelerin şekil değiştirme direnci artmaktadır.



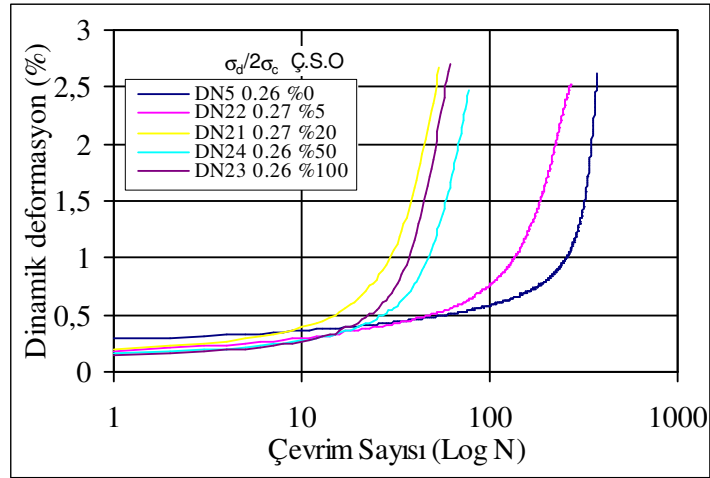
Şekil 4.4: Dinamik deformasyon – Çevrim sayısı ilişkisi

Şekil 4.5. te yine aynı dinamik gerilme oranı uygulanmış numunelerin boşluk suyu basınç oranının (r_u) çevrim sayısı ile ilişkisi görülmektedir. Bu şekle göre numunelerde çevrim sayısı arttıkça boşluk suyu basınçları birbirine yaklaşılmaya başlamaktadır.



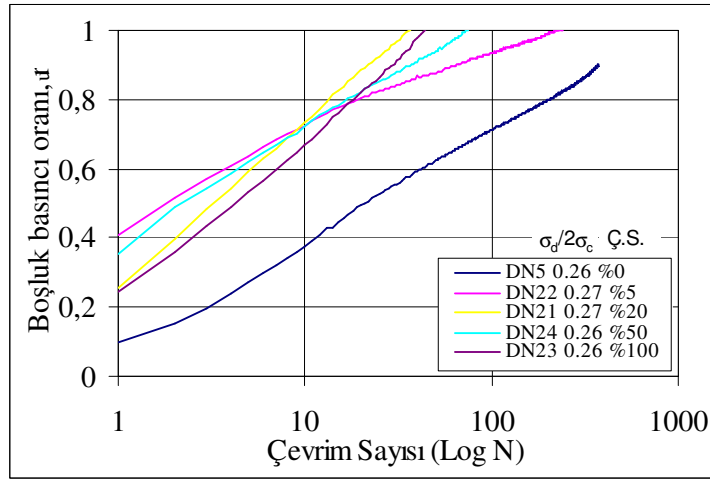
Şekil 4.5: Boşluk suyu basıncı oranı – Çevrim sayısı ilişkisi

Şekil 4.6' da dinamik gerilme oranı $\pm 0,26$ uygulanan numuneler gösterilmiştir. Kür oranı arttıkça numuneler daha düşük çevrim sayılarında $\pm 2,5$ dinamik deformasyon seviyesine ulaşmıştır yani kür oranı arttıkça numunelerin şekil değiştirme direnci azalmaktadır.



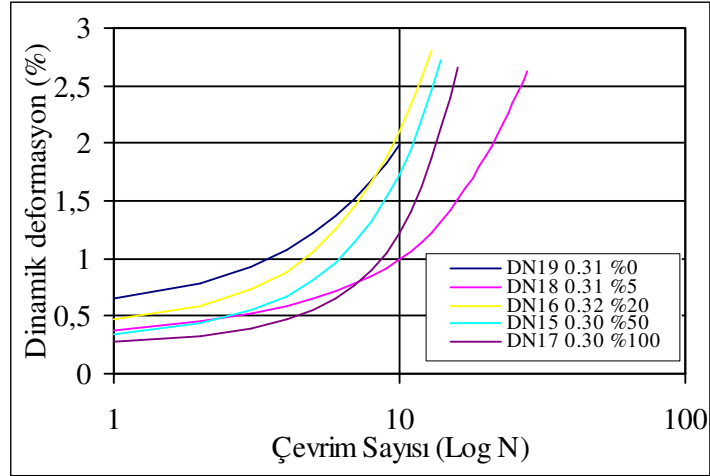
Şekil 4.6: Dinamik Deformasyon – Çevrim Sayısı İlişkisi

Şekil 4.7’ de Boşluk suyu basıncı oranının çevrim sayısı ile ilişkisi görülmektedir. Kür oranı yüksek numunelerin temiz zemin numunesine göre boşluk suyu basıncı artışının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



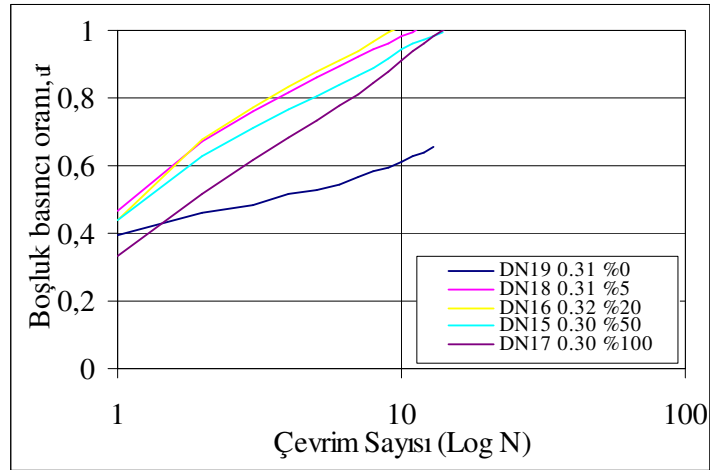
Şekil 4.7: Boşluk suyu basıncı oranı – Çevrim Sayısı İlişkisi

Şekil 4.8’ de dinamik gerilme oranı ± 0.31 uygulanan numuneler gösterilmiştir. Kür oranı arttıkça numuneler daha yüksek çevrim sayılarında ± 2.5 dinamik deformasyon seviyesine ulaşmaktadır. Bu gerilme oranında kür oranı arttıkça şekil değiştirme artmaktadır.



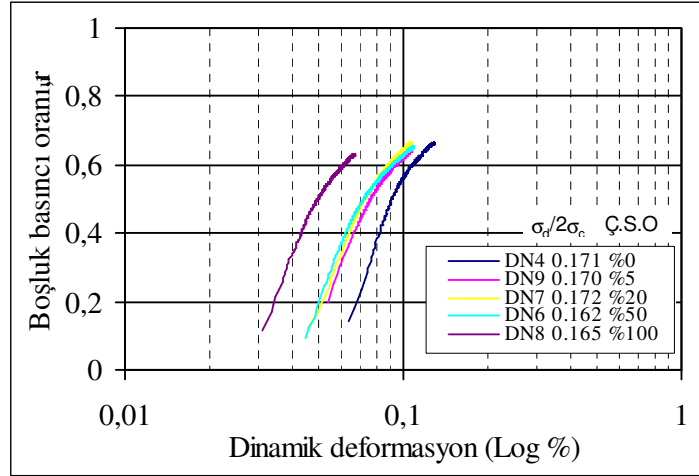
Şekil 4.8: Dinamik deformasyon – Çevrim Sayısı İlişkisi

Şekil 4.9’ da ± 0.31 dinamik gerilme oranı uygulanan numunelerin boşluk suyu basıncı oranı ile çevrim sayısı ilişkisi görülmektedir. Kür oranı arttıkça boşluk suyu basıncının oluşumundaki direnç artmaktadır.



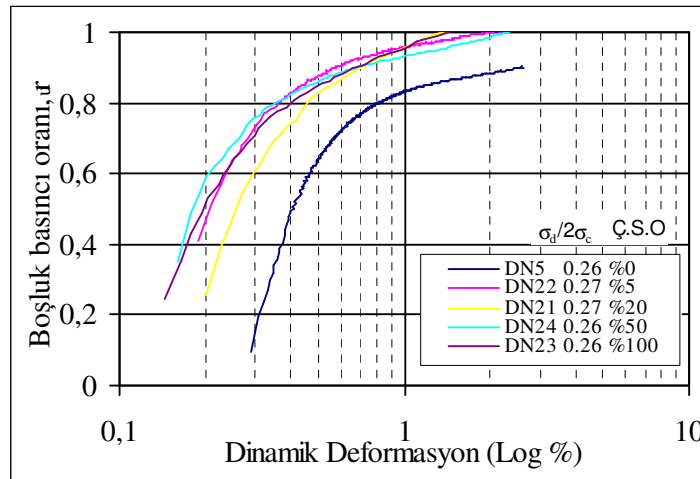
Şekil 4.9: Boşluk Basıncı Oranı – Çevrim Sayısı İlişkisi

Aynı dinamik genlik oranı uygulanan farklı kür oranlarındaki numunelerin boşluk suyu basıncı oranı ile dinamik deformasyon davranışı incelenmiştir. Şekil 4.10’ da ± 0.17 dinamik gerilme oranı uygulanmış numuneler görülmektedir. ± 0.17 gerilme oranında, Şekil 4.10’da kür oranı azaldıkça, daha küçük dinamik deformasyonlarda boşluk suyu basıncı artmaya başlamaktadır.



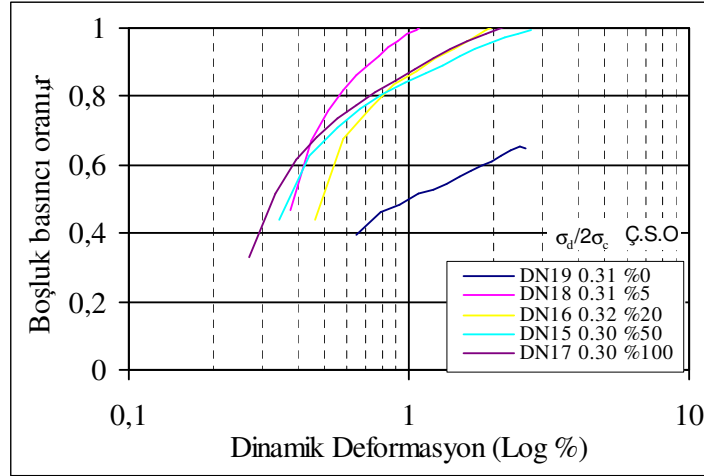
Şekil 4.10: Boşluk Suyu Basıncı Oranı – Dinamik Deformasyon İlişkisi

Şekil 4.11 de ± 0.26 dinamik genlik oranı uygulanan numunelerin deformasyon ile boşluk suyu basıncı oranının ilişkisi görülmektedir. Bu gerilme oranında kür oranı arttıkça boşluk suyu basıncı oluşumlarının daha düşük deformasyon seviyelerinde başladığı gözlemlenmiştir.



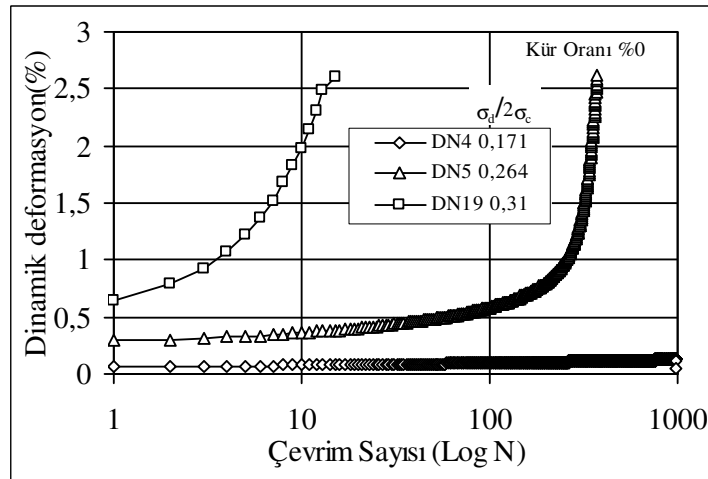
Şekil 4.11: Boşluk Suyu Basıncı Oranı – Dinamik Deformasyon ilişkisi

Şekil 4.12' de ± 0.31 dinamik genlik oranı uygulanan numunelerin deformasyon ile boşluk suyu basıncı oranının ilişkisi görülmektedir. Kür oranı arttıkça boşluk suyu basıncı oluşumlarının daha düşük deformasyon seviyelerinde başladığı gözlemlenmiştir. Önceki dinamik gerilme oranlarındaki davranışın aynısı bu grafikte de görülmektedir.



Şekil 4.12: Boşluk Suyu Basıncı oranı – Dinamik Deformasyon ilişkisi

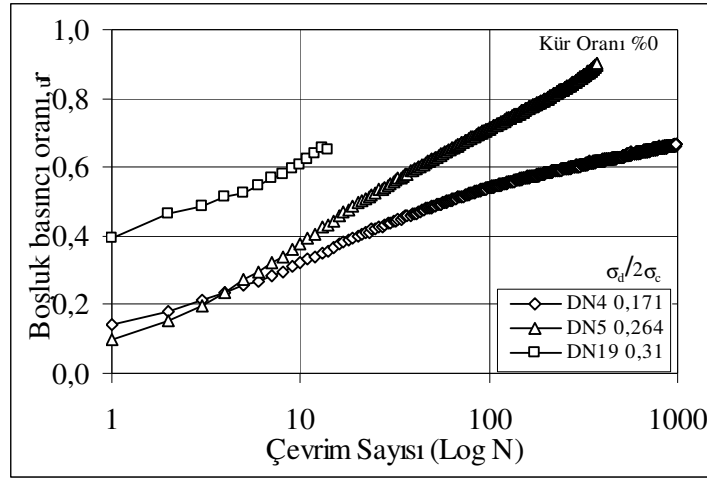
Şekil 4.13’de kütür oranı %0 olan numunelerin farklı dinamik gerilme oranları altındaki dinamik deformasyon ile çevrim sayısı ilişkisi gösterilmiştir. ± 0.17 dinamik gerilme oranında numune $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaşmamıştır. ± 0.264 dinamik gerilme oranında numune 379 çevrimde $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaşmıştır. ± 0.31 dinamik gerilme oranında numune 15 çevrimde $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaşmıştır.



Şekil 4.13: Dinamik deformasyon – Çevrim Sayısı ilişkisi

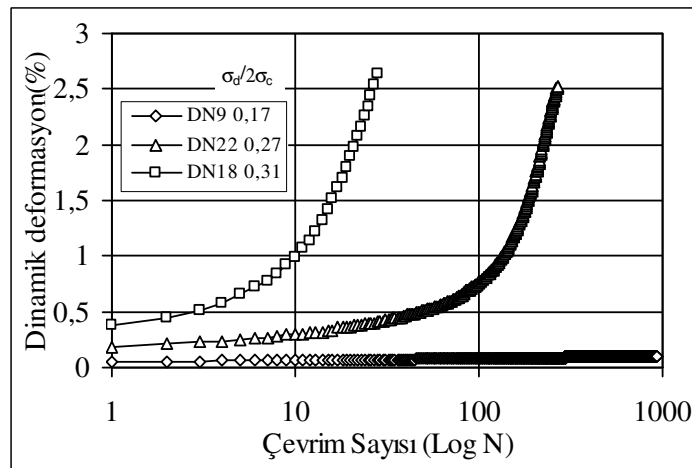
Şekil 4.14’de kütür oranı %0 olan numunelerin farklı dinamik gerilme oranları altındaki boşluk suyu basıncı oranı ile çevrim sayısı ilişkisi gösterilmiştir. ± 0.17 dinamik gerilme oranında numunenin 1000 çevrim sonundaki boşluk suyu basıncı oranı 0.66’dır. ± 0.264 dinamik gerilme oranında numune $\pm \%2.5$ deformasyon

seviyesine ulaştığında boşluk suyu basıncı oranı 0.90'dır. ± 0.31 dinamik gerilme oranında numune $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaştığında boşluk suyu basıncı oranı 0.65'dir.



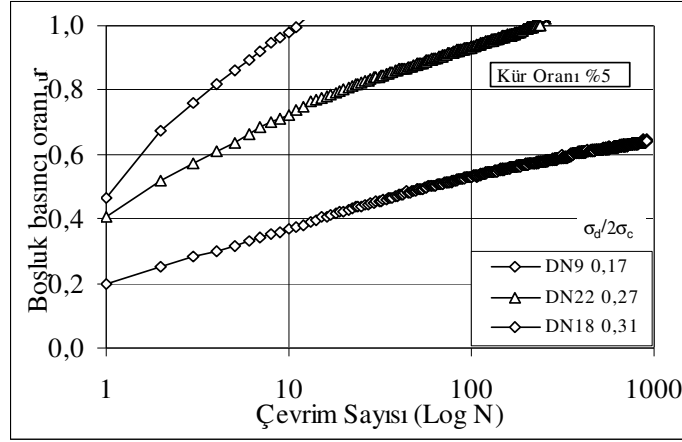
Şekil 4.14: Boşluk suyu basıncı oranı – çevrim sayısı ilişkisi

$\% 5$ kür oranındaki numunelere de farklı dinamik gerilme oranları uygulanmıştır. Buna göre şekil 4.15.'da görüldüğü gibi ± 0.17 dinamik gerilme oranında numune $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaşmamıştır ve deney bin çevrimde sona erdirilmiştir. ± 0.27 dinamik gerilme oranında numune 273 çevrimde $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaşmıştır. ± 0.31 dinamik gerilme oranında numune ise 27 çevrimde $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaşmıştır.



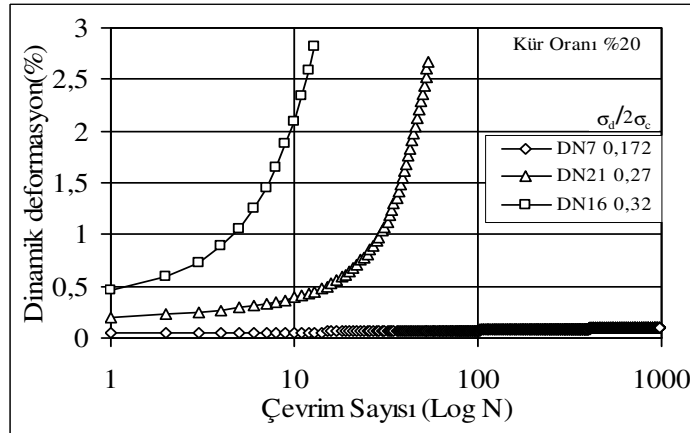
Şekil 4.15: Dinamik deformasyon – Çevrim Sayısı İlişkisi

Şekil 4.16’de %5 kür oranındaki numunelerin farklı dinamik gerilme oranları altındaki Boşluk suyu basıncı oranı ile çevrim sayısı ilişkisi gösterilmiştir. ± 0.17 dinamik gerilme oranında numunenin 1000 çevrim sonundaki boşluk suyu basıncı oranı 0.64’dır. ± 0.27 dinamik gerilme oranında numune $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaştığında boşluk suyu basıncı oranı 1.0’dır. ± 0.31 dinamik gerilme oranında numune $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaştığında boşluk suyu basıncı oranı 1.0’dır.



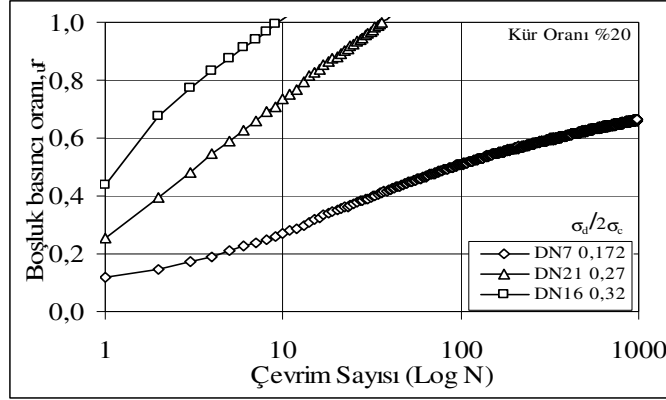
Şekil 4.16: Boşluk suyu basıncı oranı – çevrim sayısı ilişkisi

Dinamik deformasyon – çevrim sayısı ilişkisi şekil 4.17 ‘deki gibi olan % 20 kür oranındaki numuneler sırası ile ± 0.17 ± 0.27 ve ± 0.32 gerilme oranlarında deneye tabi tutulmuştur. Buna göre %20 kür oranındaki numune ± 0.17 gerilme oranında $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaşmamıştır. Diğerlerinde ise yine sırasıyla $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine 54 ve 12 çevrimde ulaşmıştır.



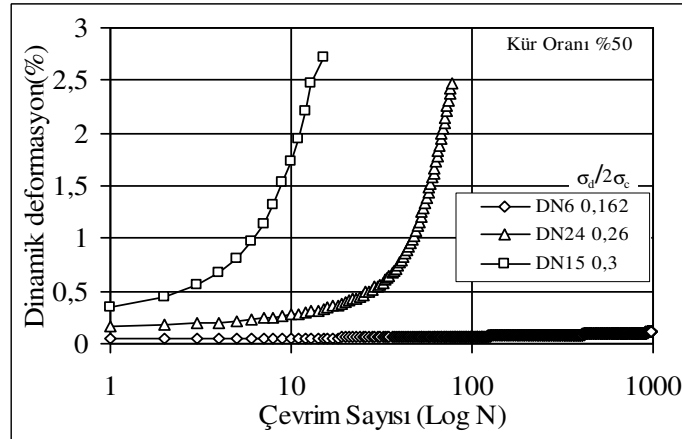
Şekil 4.17: Dinamik deformasyon – Çevrim Sayısı İlişkisi

Şekil 4.18’de kür oranı %20 olan numunelerin farklı dinamik gerilme oranları altındaki Boşluk suyu basıncı oranı ile çevrim sayısı ilişkisine göre ± 0.172 dinamik gerilme oranında numunenin 1000 çevrim sonundaki boşluk suyu basıncı oranı 0.65’dir. ± 0.27 dinamik gerilme oranında numune $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaştığında boşluk suyu basıncı oranı 1.0’dır. ± 0.32 dinamik gerilme oranında numune $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaştığında boşluk suyu basıncı oranı 1.0’dır.



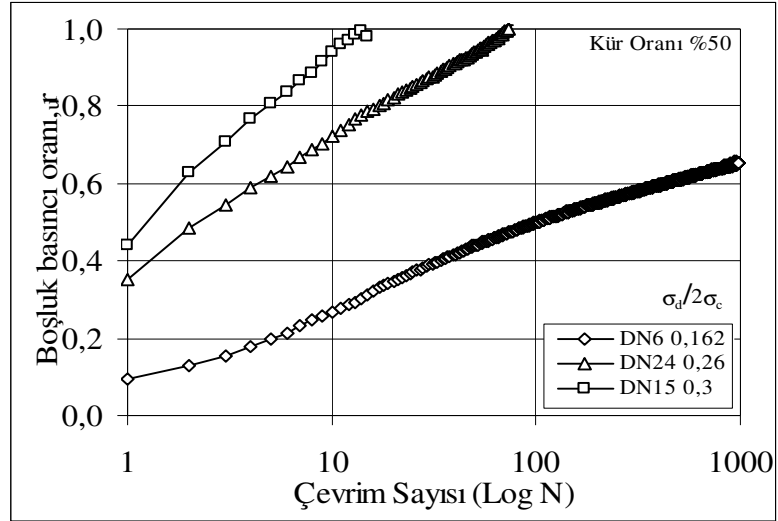
Şekil 4.18: Boşluk suyu basıncı oranı – çevrim sayısı ilişkisi

Şekil 4.19’de kür oranı %50 olan numunelerin farklı dinamik gerilme oranları altındaki dinamik deformasyon ile çevrim sayısı ilişkisi gösterilmiştir. ± 0.162 dinamik gerilme oranında numune $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaşmamıştır. ± 0.26 dinamik gerilme oranında numune 79 çevrimde $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaşmıştır. ± 0.30 dinamik gerilme oranında numune 15 çevrimde $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaşmıştır.



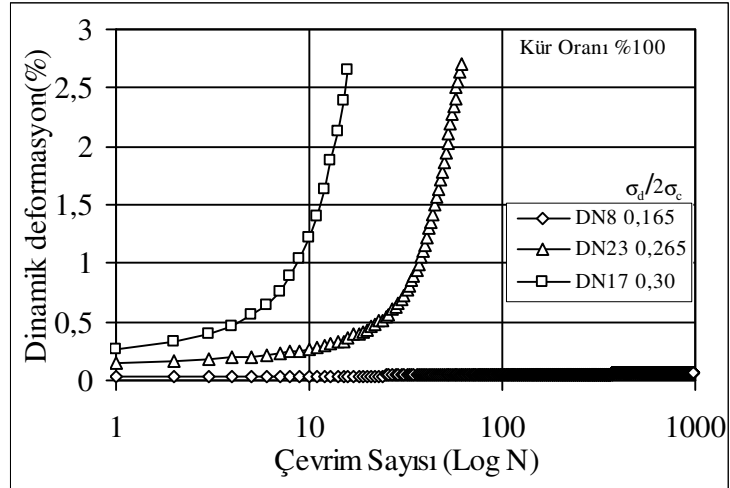
Şekil 4.19: Dinamik deformasyon – Çevrim Sayısı İlişkisi

Şekil 4.20’de kür oranı %50 olan numunelerin farklı dinamik gerilme oranları altındaki Boşluk suyu basıncı oranı ile çevrim sayısı ilişkisi gösterilmiştir. ± 0.162 dinamik gerilme oranında numunenin 1000 çevrim sonundaki boşluk suyu basıncı oranı 0.66’dır. ± 0.26 dinamik gerilme oranında numune $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaştığında boşluk suyu basıncı oranı 1.0’dır. ± 0.30 dinamik gerilme oranında numune $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaştığında boşluk suyu basıncı oranı yine 1.0 ‘dır.



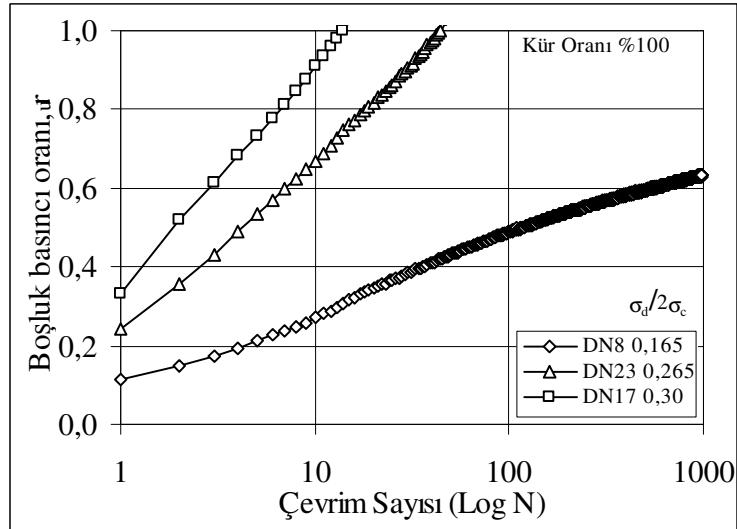
Şekil 4.20:Boşluk suyu basıncı oranı – çevrim sayısı ilişkisi

% 5 kür oranındaki numunelere de farklı dinamik gerilme oranları uygulanmıştır. Buna göre şekil 4.21.’de görüldüğü gibi ± 0.165 dinamik gerilme oranında numune $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaşmamıştır ve deney bin çevrimde sona erdirilmiştir. ± 0.265 dinamik gerilme oranında numune 62 çevrimde $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaşmıştır. ± 0.30 dinamik gerilme oranında numune ise 16 çevrimde $\pm \%2.5$ deformasyon seviyesine ulaşmıştır.



Şekil 4.21: Dinamik deformasyon – Çevrim Sayısı İlişkisi

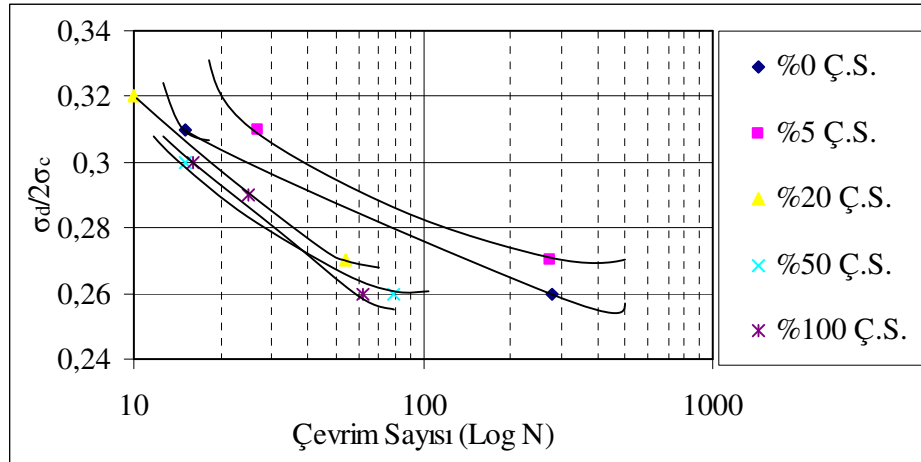
Şekil 4.22’de kür oranı %100 olan numunelerin farklı dinamik gerilme oranları altındaki Boşluk suyu basıncı oranı ile çevrim sayısı ilişkisi gösterilmiştir. ± 0.165 dinamik gerilme oranında numunenin 1000 çevrim sonundaki boşluk suyu basıncı oranı 0.63’dir. ± 0.265 dinamik gerilme oranında numune ± 2.5 deformasyon seviyesine ulaştığında boşluk suyu basıncı oranı 1.0’dır. ± 0.30 dinamik gerilme oranında numune ± 2.5 deformasyon seviyesine ulaştığında boşluk suyu basıncı oranı yine 1.0’dır.



Şekil 4.22: Boşluk suyu basıncı oranı – çevrim sayısı ilişkisi

4.6.3 Dinamik Mukavemet Eğrisi

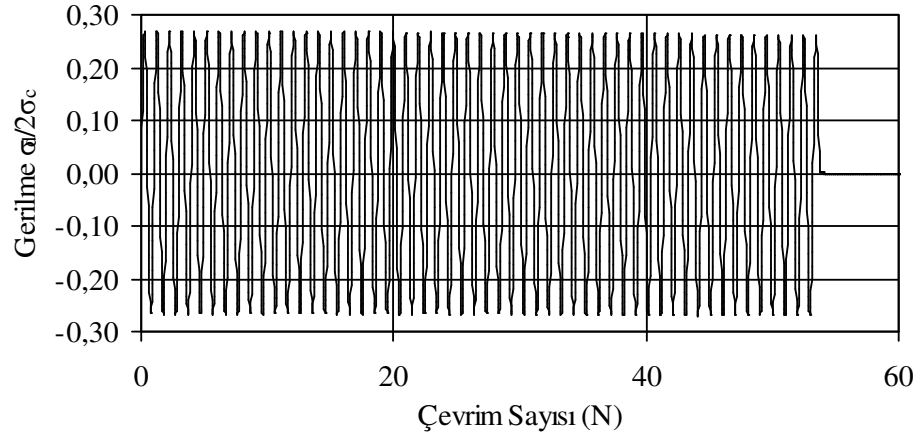
Şekil 4.23'te dinamik üç eksenli basınç deneyinde ± 2.5 deformasyon seviyesinde seviyesine ulaşan numunelerin, bu deformasyon seviyesine ulaştığındaki çevrim sayısı ve dinamik gerilme oranı gösterilmiştir. Buna göre aynı dinamik gerilme oranı seviyesinde kür oranı %5 olan numunelerin daha yüksek çevrim sayılarında ± 2.5 deformasyon seviyesine ulaştığı, %20, %50 ve %100 kür oranlarına sahip numunelerin ise birbirine yakın daha düşük çevrim sayılarında ± 2.5 deformasyon seviyesine ulaştığı gözlenmiştir. %0 kür oranına sahip temiz zemin numunesi %20, %50, %100 kür oranlarına göre daha geç çevrim sayısında ± 2.5 deformasyon seviyesine ulaşmakta, %5 kür oranına göre ise daha erken çevrim sayısında ± 2.5 deformasyon seviyesine ulaşmaktadır.



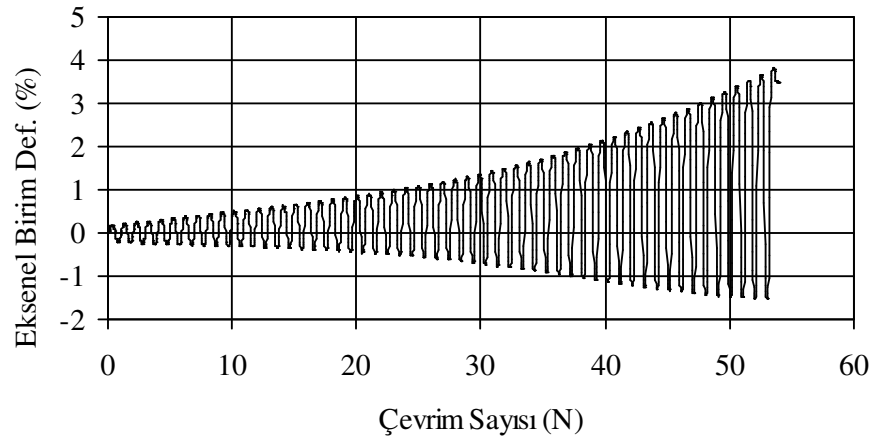
Şekil 4.23: Dinamik gerilme oranı – çevrim sayısı ilişkisi

4.7 Dinamik ve Dinamik Sonrası Statik Davranışların İncelenmesi

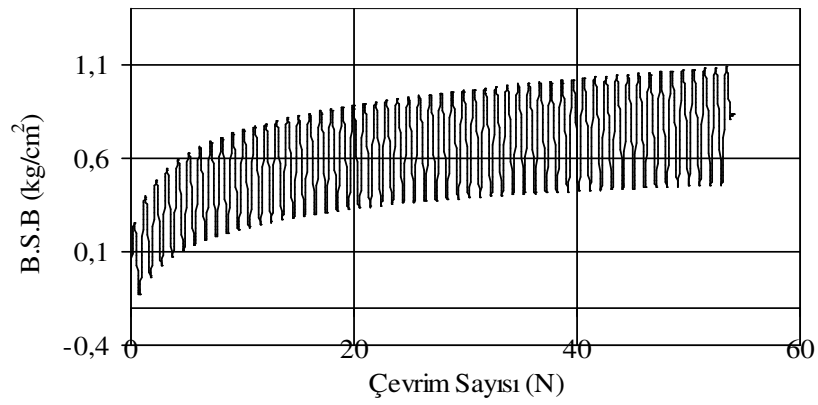
Yapılan deneysel çalışmalarda numuneleri örselemeden daha fazla deneysel veri toplamak için önce maksimum elastisite modülleri incelenmiş, daha sonra dinamik deneyler yapılmış, hemen ardından ise numuneler maksimum deformasyona ulaşınca kadar statik deneye tabi tutulmuştur. Şekil 4.24'te % 20 kür Oranına ait numunenin dinamik deney sonucu grafikleri verilmiştir. Bu numune $\pm 0,270$ dinamik gerilme altında 54 çevrimin sonunda ± 2.5 deformasyon seviyesine ulaşmıştır.



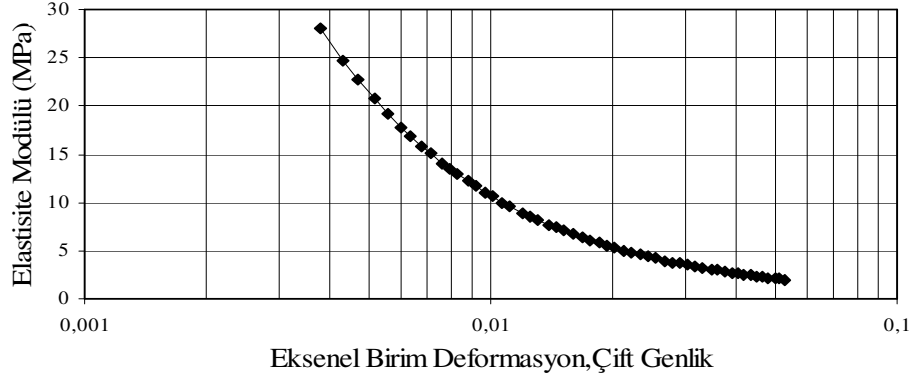
a) Dinamik Gerilme – Çevrim Sayısı



b) Deformasyon – Çevrim Sayısı



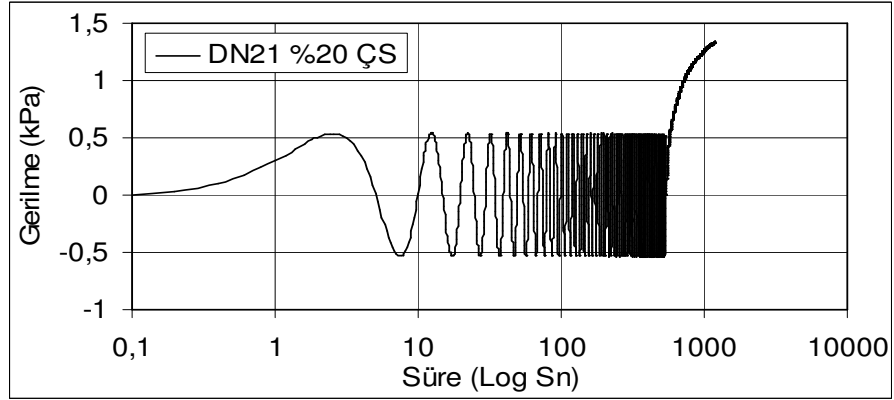
c) Boşluk Suyu Basıncı – Çevrim Sayısı



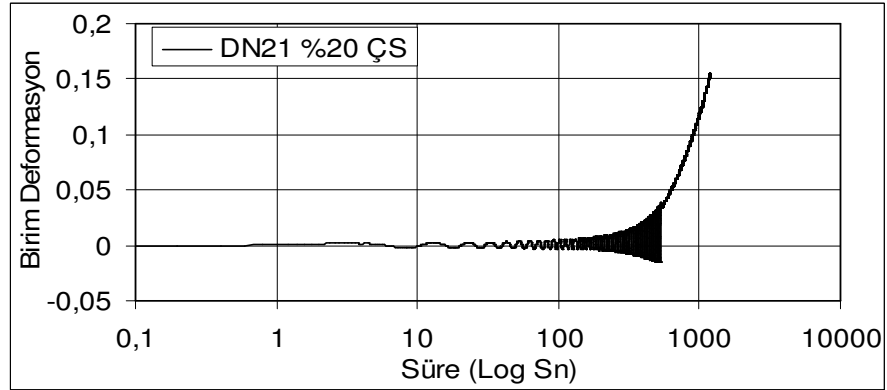
d) Elastisite Modülü

Şekil 4.24: Dinamik Deney Sonucu (%20 Kür Oranı)

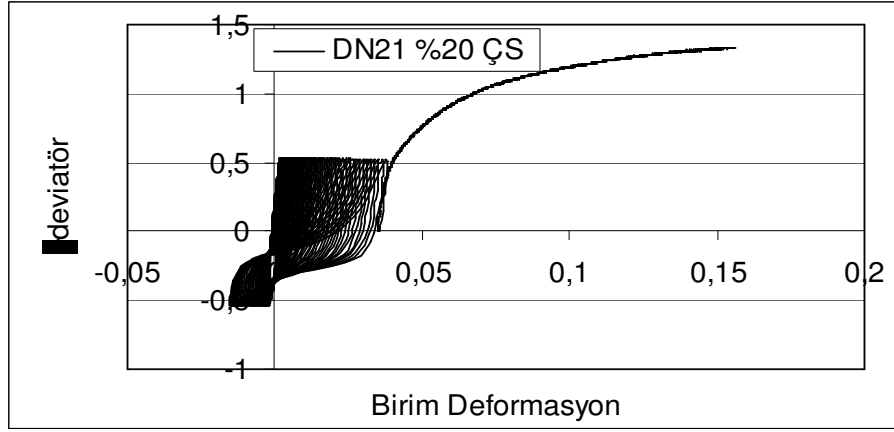
Şekil 4.25' te ise aynı deneyin dinamik ve dinamik sonrası statik deney sonucu beraber gösterilmiştir.



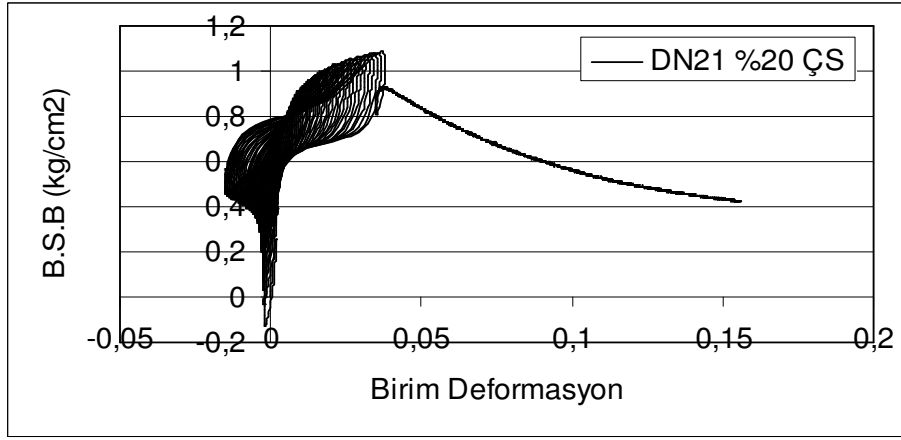
a) Gerilme – Süre



b) Birim Deformasyon – Süre



c) Deviator Gerilme – Birim Deformasyon

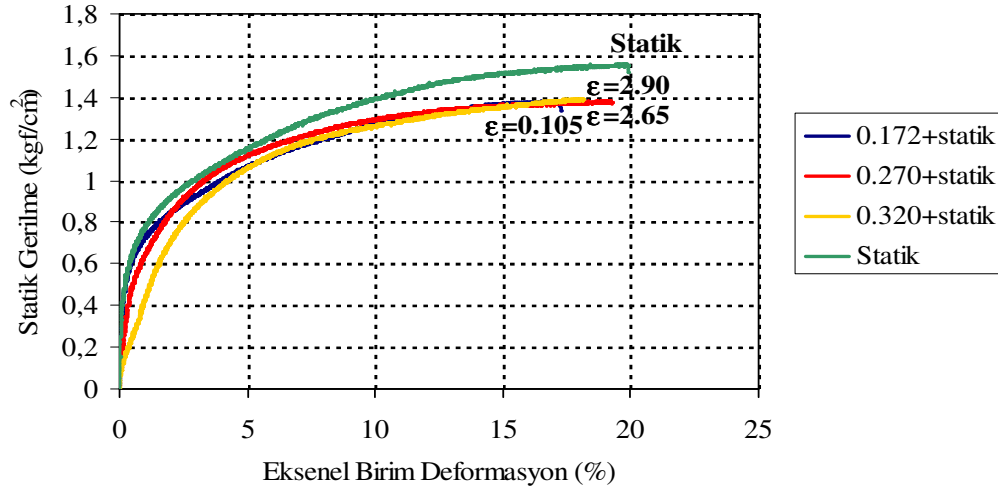


d) Boşluk suyu Basıncı – Süre

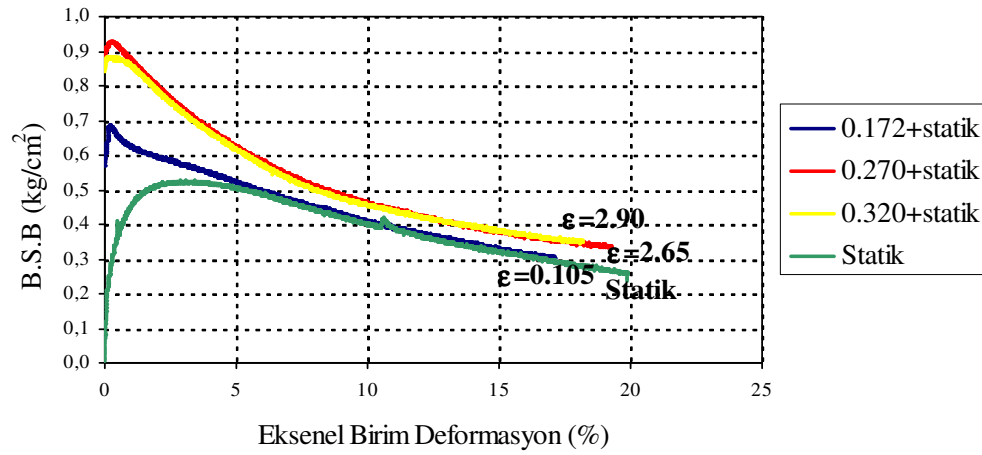
Şekil 4.25: Dinamik ve Dinamik Sonrası Statik (%20 Kür Oranı)

4.8 Gerilme Seviyelerinin Statik Davranışa Etkisi

Değişik kür oranları ve gerilme seviyelerinde yapılan deneylerde gerilme seviyelerinin statik davranış üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tüm kür oranlarında ve her üç gerilme seviyesinde yapılan dinamik sonrası statik ve statik deneyler grafiklerde karşılaştırılmıştır. Şekil 4.25'te %20 kür oranında numuneye ait grafikler verilmiştir.



a) Statik Gerilme – Eksenel Birim Deformasyon



b) Boşluk Suyu Basıncı – Eksenel Birim Deformasyon

Şekil 4.26: Statik ve Dinamik Sonrası Statik (%20 Kür Oranı)

Buna göre statik gerilme seviyeleri statik deneyde daha yüksek, statik sonrası dinamik deneylerde ise deformasyonlar arttıkça statik gerilmeler düşmektedir. Boşluk suyu basınçları ise tam tersine statik deneyde daha az , dinamik sonrası statik deneylerde ise dinamik gerilme seviyeleri arttıkça yükselme eğilimindedir. Diğer kür oranlarına ait grafikler ise EK B 'de gösterilmektedir.

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında yer alan, ödometre ve dinamik üç eksenli deney sonuçlarına yer verilmiştir. Bu çalışmada düşük plastisiteli killerin farklı oranlarda sızıntı suyuna maruz kalması ve sızıntı suyu ile kil tabakanın etkileşim süresinin zeminin statik ve dinamik davranışları üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Zeminin statik davranışları olarak; gerilme-şekil değiştirme ve permeabilite konuları esas alınmıştır. Dinamik davranışlar olarak dinamik yükler altında zeminin gerilme-şekil değiştirme ve elastisite modülü incelenmiştir.

Bu amaçla CL (düşük plastisiteli kil) sınıfı zemine, su muhtevasının % 5, 20, 50 ve % 100' ü oranında çöp sızıntı suyu katılarak çamur konsolidasyon deney aletinde örselenmemiş numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin bir kısmı 30 günlük kürde ödometre deneyine, diğerleri ise dinamik üç eksenli deney aletinde deneye alınmıştır. Önkonsolidasyon basıncının 100 kPa olduğu görülmüştür.

Çalışma kapsamında ayrıntılı olarak zeminin dinamik elastisite modülü ve gerilme şekil değiştirme davranışı üzerine kür oranının etkisi incelenmiştir. Bu amaçla % 5, 20 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında çamur konsolidasyon aleti ile hazırlanmış numuneler dinamik üç eksenli basınç deney aletinde incelenmiştir. Dinamik deney uygulamalarında numuneler doygun hale getirilmiş ve 100 kPa efektif gerilme altında konsolidasyona bırakılmıştır. Numune içinden su geçirilmeyerek su geçişi sırasında numunenin yıkanarak çöp sızıntı suyunun etkisinin yok olmasının önüne geçilmiştir. Dinamik mukavemet eğrisinin elde edilmesi için farklı dinamik genlik oranları uygulanmıştır Buna göre aynı dinamik gerilme oranı seviyesinde kür oranı %5 olan numunelerin daha yüksek çevrim sayılarında ± 2.5 deformasyon seviyesine ulaştığı, %20, %50 ve %100 kür oranlarına sahip numunelerin ise birbirine yakın daha düşük çevrim sayılarında ± 2.5 deformasyon seviyesine ulaştığı gözlenmiştir. %0 kür oranına sahip temiz zemin numunesi %20 ,%50, %100 kür oranlarına göre daha geç çevrim sayısında ± 2.5 deformasyon

seviyesine ulaşmakta, %5 kür oranına göre ise daha erken çevrim sayısında $\% \pm 2.5$ deformasyon seviyesine ulaşmaktadır.

Elastisite modülü üzerinde kür oranının etkisinin belirlenmesi için en büyük elastisite modülü ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümlere göre kür oranı %5 olan numune diğerlerinden daha büyük elastisite modülüne sahiptir

Sonuç olarak uygulanan dinamik gerilmelerde, % 5 çöp sızıntı suyu oranına sahip zemin diğer zeminlere oranla daha mukavemetli davranmıştır. Bu gerilme seviyelerinde, kür oranı arttıkça mukavemet düşmektedir. Ayrıca %20 ve üzeri sızıntı suyu içeren zeminler birbirine yakın dinamik davranış göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Akbulut, S. ve Arasan, S.**, 2004. Atık Liflerle Güçlendirilmiş Kil Zeminlerin Dinamik Özelliklerinin Araştırılması, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s. 397–406.
- Angın, A. ve Üçüncü, O.**, 2004. Atık Çamur İle Stabilize Olan Killerde Geçirimlilik ve Konsolidasyon Analizi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s. 189–198.
- Aydın, M., Yano, T. ve Kılıç, Ş.**, 2004. Dependence of Zeta Potential and Soil Hydraulic Conductivity on Adsorbed Cation and Aqueous Phase Properties *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:450-459.
- Aytekin, M.**, 2002. Zeminlerin Değirmen Artığı Malzeme İle Stabilizasyonu *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, s. 718– 724.
- Bell, F.G.**, 1996. Lime Stabilization of Clay Minerals and Soils *Enginerring Geology* V. 42, Issue 4, pp 223–237
- Brandl, H.**, 1992. Mineral Liners for Hazardous Waste Containment, *Geotechnique* V. 42.1, pp. 57–61.
- Chae S. and Au W.**, 1980. Dynamic Shear Modulus and Damping in Additive-Treated Expansive Soils, *Proceedings of the Seventh World Conference on Earthquake Engineering*, İstanbul, Turkey, pp. 57–64
- Chew, S.H.**, 2004. Physicochemical and Engineering Behavior of Cement Treated Clays *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, V. 130, No 7, pp. 696–706.
- D4318**, 2000. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, *ASTM*, United States.
- D2435**, 2004. Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading, *ASTM*, United States.
- Erşan, H.** 1996. Uçucu Küllerin Siltli Zeminlerin Kayma Mukavemeti Üzerindeki Etkisi, *Y.Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Fahoum, K., Aggour M.S. and Amini, F.**, 1996. Dynamic Properties of Cohesive Soils Treated With Lime *Journal of Geotechnical Engineering* pp. 382-389.
- Güler, E., Avcı, C.B., ve Çığzoğlu, H.K.**, 1992 Atık Depo Alanlarında Kullanılan Toprak Kaplamaların Geçirgenlik Tasarımları, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dördüncü Ulusal Kongresi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s. 207–226.
- Goh, A.T.C., and Tay, J.H.**, 1993. Municipal Solid-Waste Incinerator Fly Ash for Geotechnical Applications, *Journal of Geotechnical Engineering* V. 119, No 5, pp. 598.
- Instruction Manual**, Pneumatic Cyclic Triaxial Test Apparatus, Two Unit Type, Model DTC–311.
- Irene, M.**, 2003. Innovative Waste Containment Barriers for Subsurface Pollution Control Practice Preodical of Hazardous, *Toxic and Radioactive Waste Management*, ASCE, V. 7, No 1, pp. 37–45.
- Keskin, S.N., Tekinsoy, M.A. ve Uzundurukan, S.**, 2004. Sudaki İyonların ve Sıcaklık Değişiminin Killerin Kıvam Limitlerine Etkisi, *Süleyman Demirel Ün. Fen. Bil. Ens. Dergisi*, Isparta, 8-1, s. 94–101.
- Mitchell, J.K.**, 1976. Fundamatal of Soil Behavior, Universty of California, Berkeley.
- Osinubi, K.J.**, 1998. Permeability of Lime Treated Lateritic Soil *Journal of Transportation Engineering*, V. 124, No 5, pp. 465–469.
- Özay, R.**, 2002. Örselenmemiş Killi Zeminlerin Statik Mukavemetine Deprem Yüklerinin Etkisi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Puppla, A. J. and Hanchanloet, S.**, 1999. Evaluation of a New Chemical (SA–441 ls–40) Treatment Method on Strenght and Resilient Properties of a Cohesive Soil *Transportation Research Board 78 th Annual Meeting*, Washington, D.C. Paper No 990389.
- Rao, S.M.**, 1982. Physicochemical Properties and Engineering Behaviour of Anion Adsorbed Clay Ph. Thesis of Indian Institute of Science, Bangalore, India.
- Show, K. Y., Tay J.H. and Goh T.C.A.**, 2003. Reuse of Incinerator Fly Ash in Soft Soil Stabilization *Journal of Metarials in Civil Engineering*, July/August 2003 pp. 335–343, ASCE.
- Sridharan, A. and Jayadeva, M.S.**, 1982. Double layer Theory and Compressibility of Clays, *Geotechnique* V. 32, pp. 133.

- Sridharan, A. and Rao, G.V.**, 1973. Mechanisms Controlling Volume Change of Saturated Clays and the Role of the Effective Stress Concept, *Geotechnique* V. 23, pp. 359.
- Sridharan, A. and Rao, G.V.**, 1975. Mechanisms Controlling the Liquid Limit of Clays, *Prof. Int. Conference on SM & FE*, İstanbul, 1: 65–75.
- Sridharan A; Sivapullaiah P.V.**, 1987 Engineering Behaviour of Soils Contaminated with Different Pollutants, Environmental Geotechnics and Problematic Soils and Rocks. Et. Al. (eds) Balkema, Rotterdam, pp. 165–178.
- Tao, T.W., Lee J.Y. and Lee, Y.J.**, 2001. Consolidation Behaviour of a Soft Mud Treated with Small Cement Content *Engineering Geology* V. 59, pp. 327-335.
- Toğrol, E. ve Özüdoğru K.**, 1992. Deniz Geotekniği, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, s. 11
- Tosun, H. ve Türköz, M.**, 2000 Şişen Killerin Sönmüş Kireç Katkısı İle Stabilizasyonu, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s. 196–201
- Yılmaz, R.**, 1992. Çeşitli Sıvı Atıklar Tarafından Kirletilen Killi Zeminlerde Gözlenen Parametre ve Davranış Değişiklikleri Üzerine Bir Araştırma, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dördüncü Ulusal Kongresi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s. 227- 246.

EK A ÜÇ EKSENLİ DİNAMİK DENEYLER SONRASINDA NUMUNE FOTOĞRAFLARI



Şekil A.1: Deney 1 sonrası numune fotoğrafı (%5 Çöp Suyu)



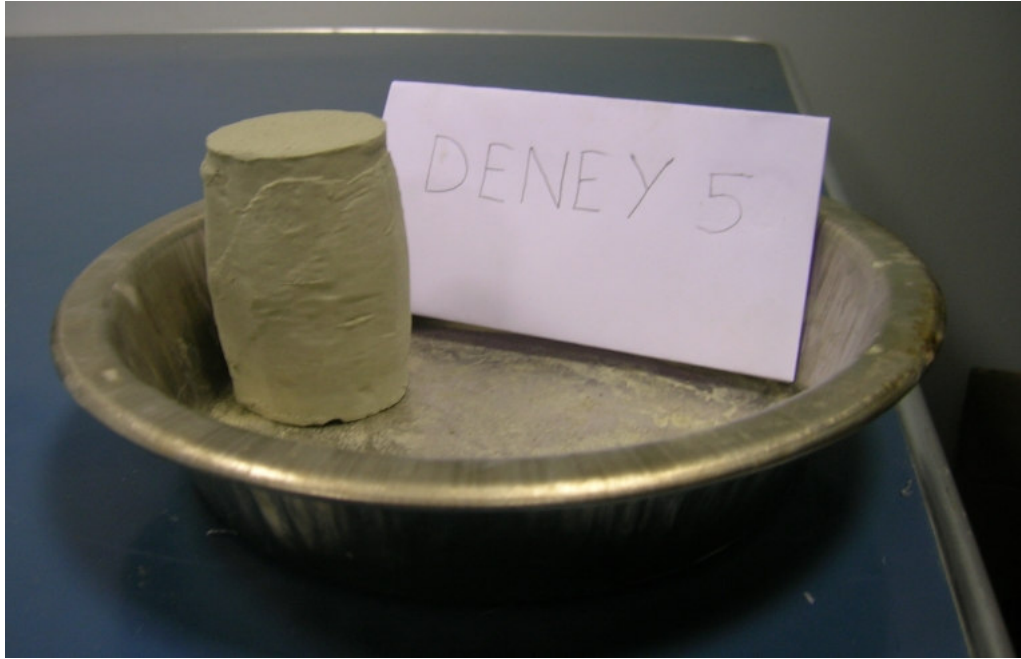
Şekil A.2: Deney 2 sonrası numune fotoğrafı (%5 Çöp Suyu)



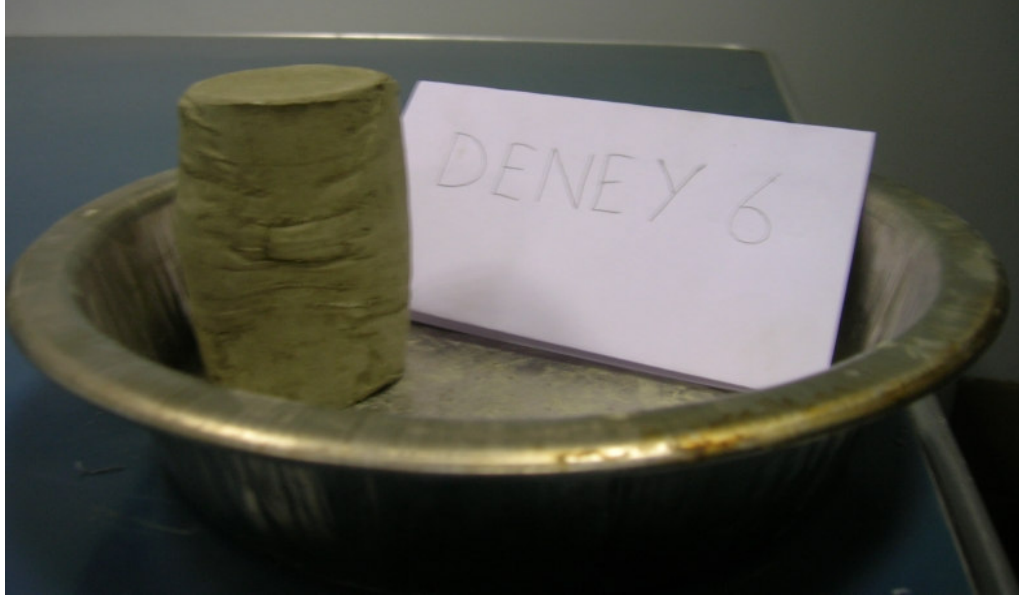
Şekil A.3: Deney 3 sonrası numune fotoğrafı (%0 Çöp Suyu – Temiz Zemin)



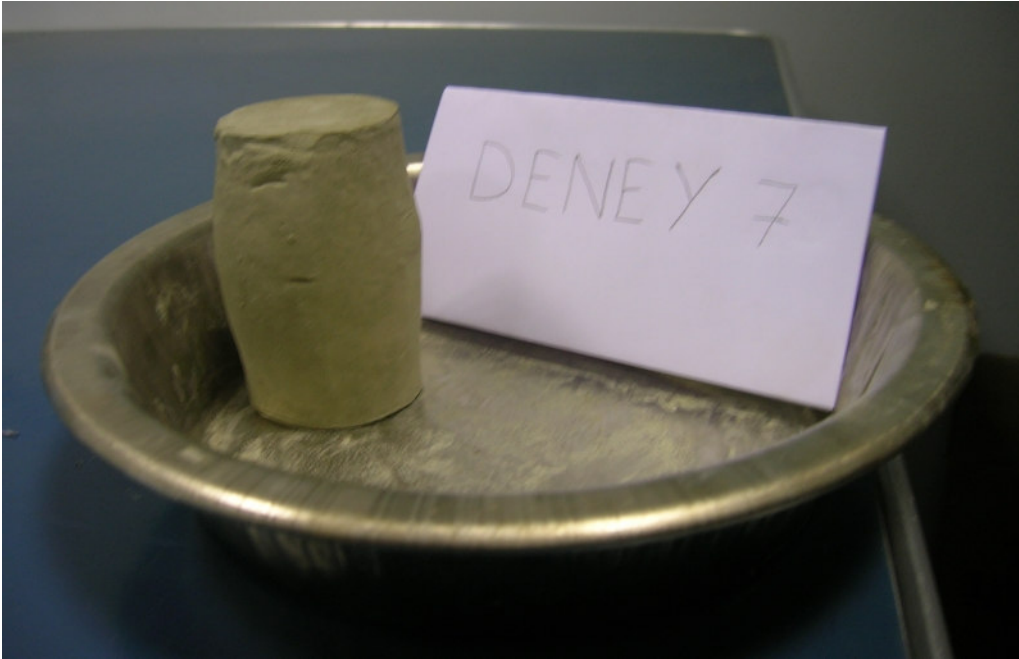
Şekil A.4: Deney 4 sonrası numune fotoğrafı (%0 Çöp Suyu – Temiz Zemin)



Şekil A.5: Deney 5 sonrası numune fotoğrafı (%0 Çöp Suyu – Temiz Zemin)



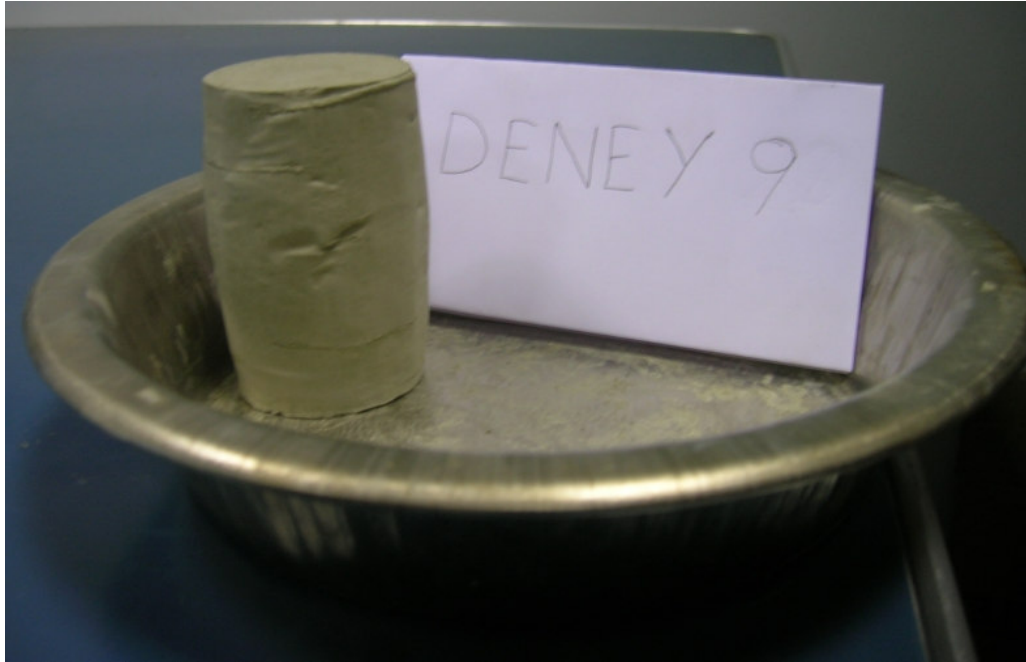
Şekil A.6: Deney 6 sonrası numune fotoğrafı (%50 Çöp Suyu)



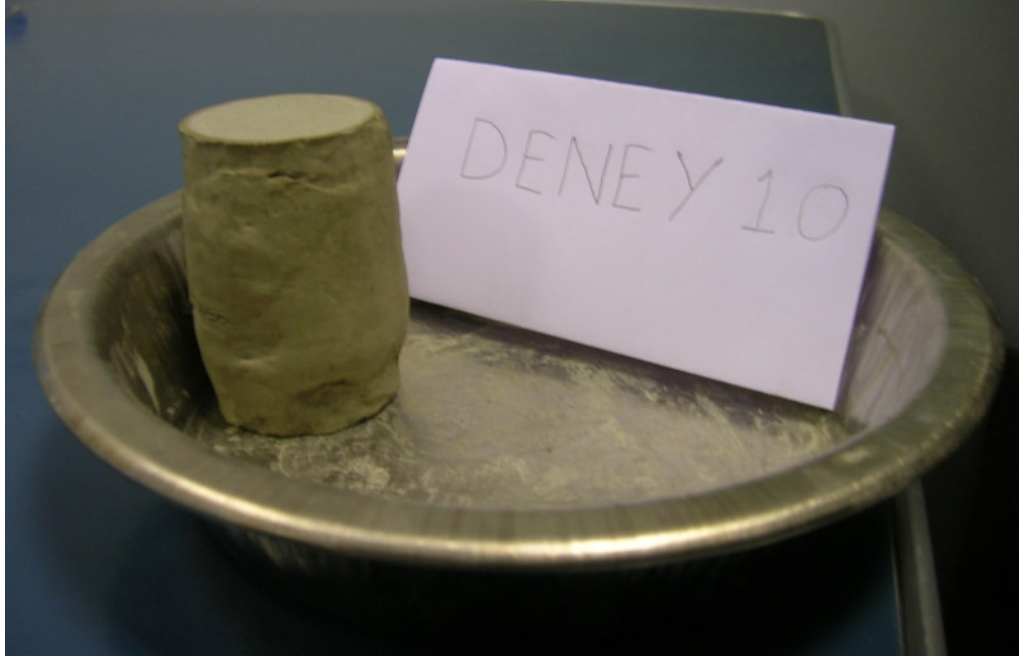
Şekil A.7: Deney 7 sonrası numune fotoğrafı (%20 Çöp Suyu)



Şekil A.8: Deney 8 sonrası numune fotoğrafı (%100 Çöp Suyu)



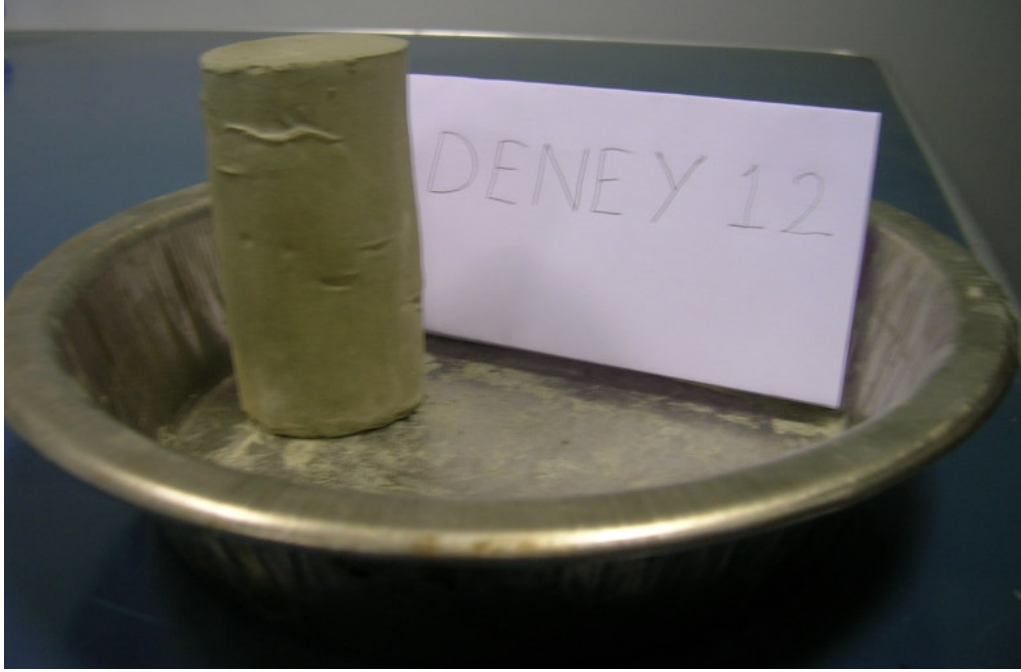
Şekil A.9: Deney 9 sonrası numune fotoğrafı (%5 Çöp Suyu)



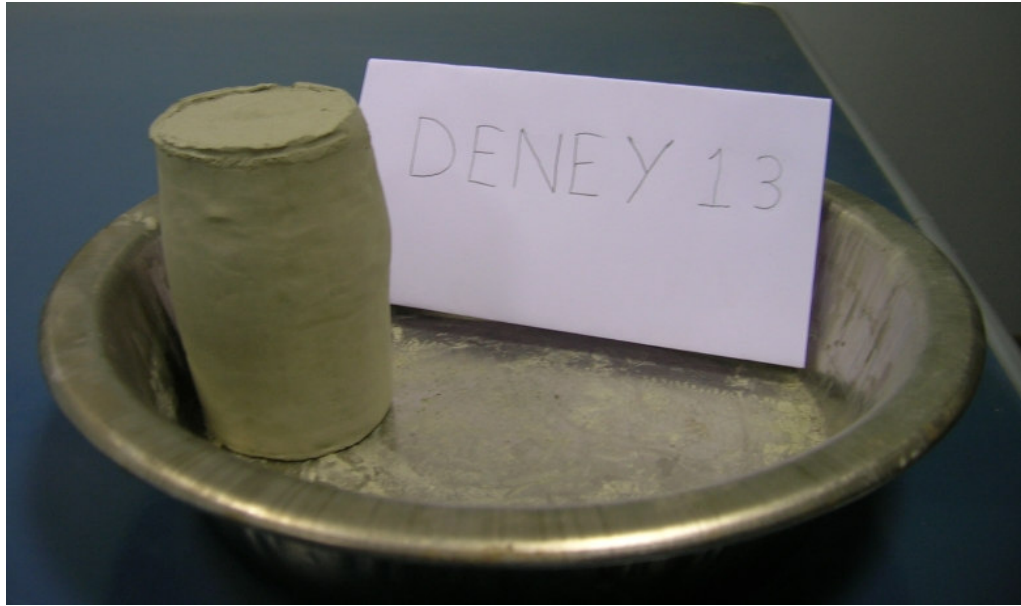
Şekil A.10: Deney 10 sonrası numune fotoğrafı (%50 Çöp Suyu)



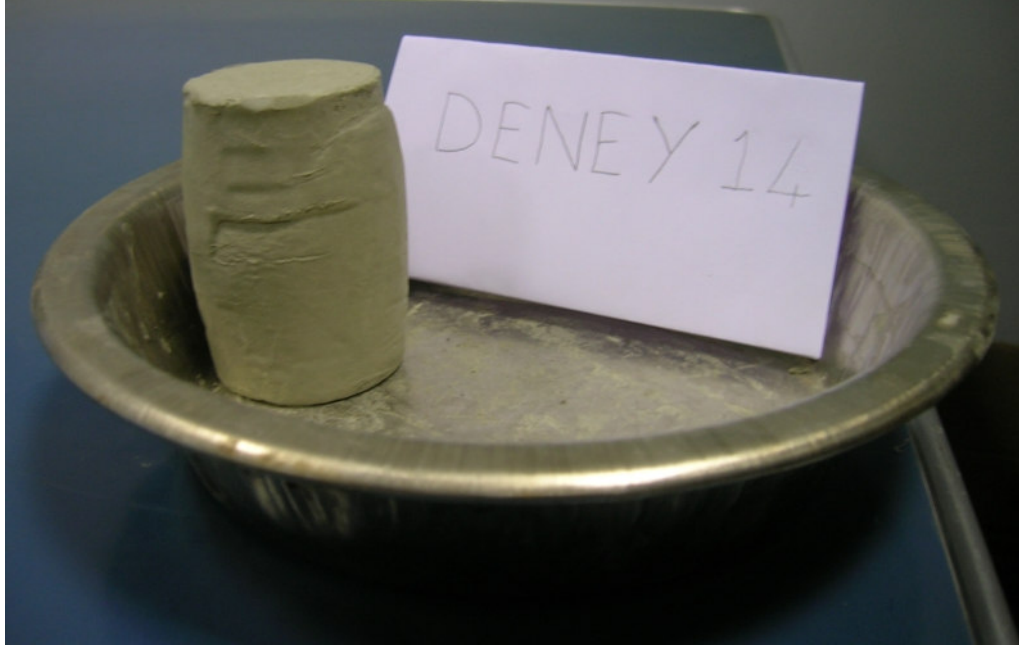
Şekil A.11: Deney 11 sonrası numune fotoğrafı (%100 Çöp Suyu)



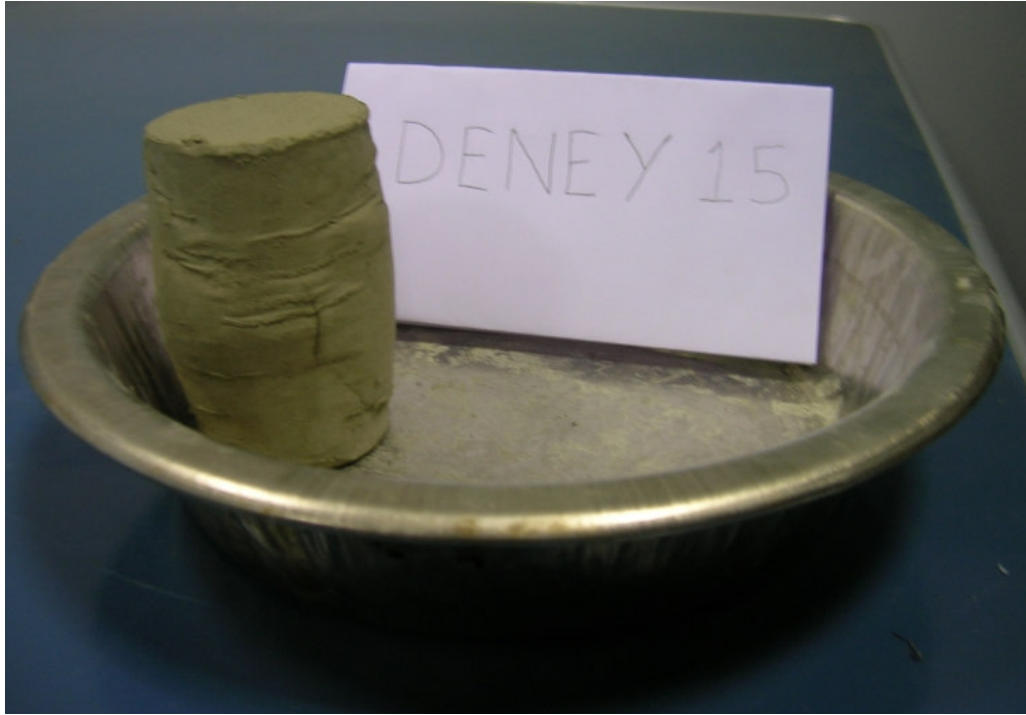
Şekil A.12: Deney 12 sonrası numune fotoğrafı (%20 Çöp Suyu)



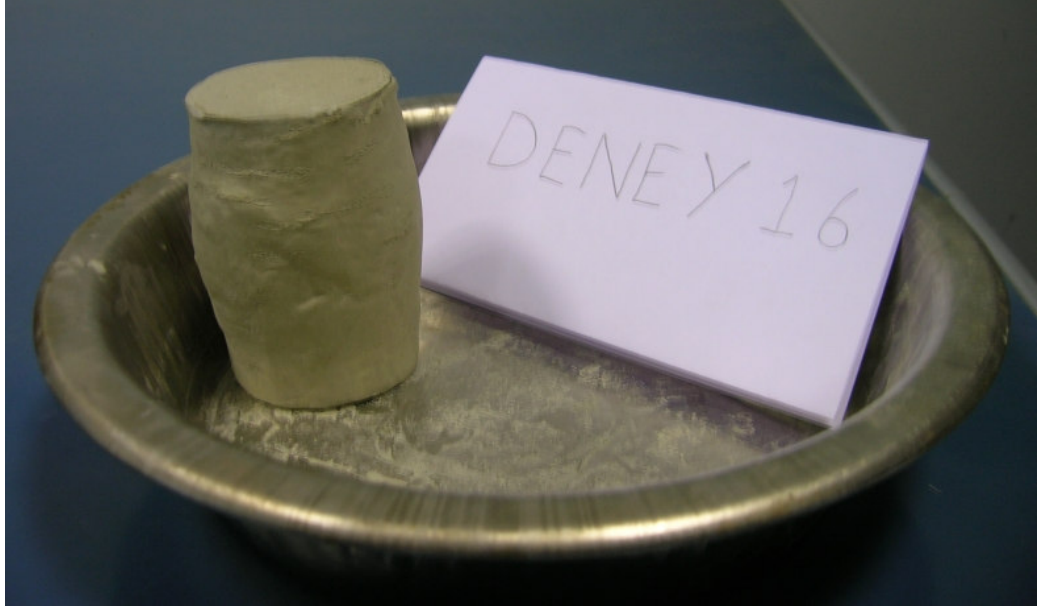
Şekil A.13: Deney 13 sonrası numune fotoğrafı (%5 Çöp Suyu)



Şekil A.14: Deney 14 sonrası numune fotoğrafı (%0 Çöp Suyu – Temiz Zemin)



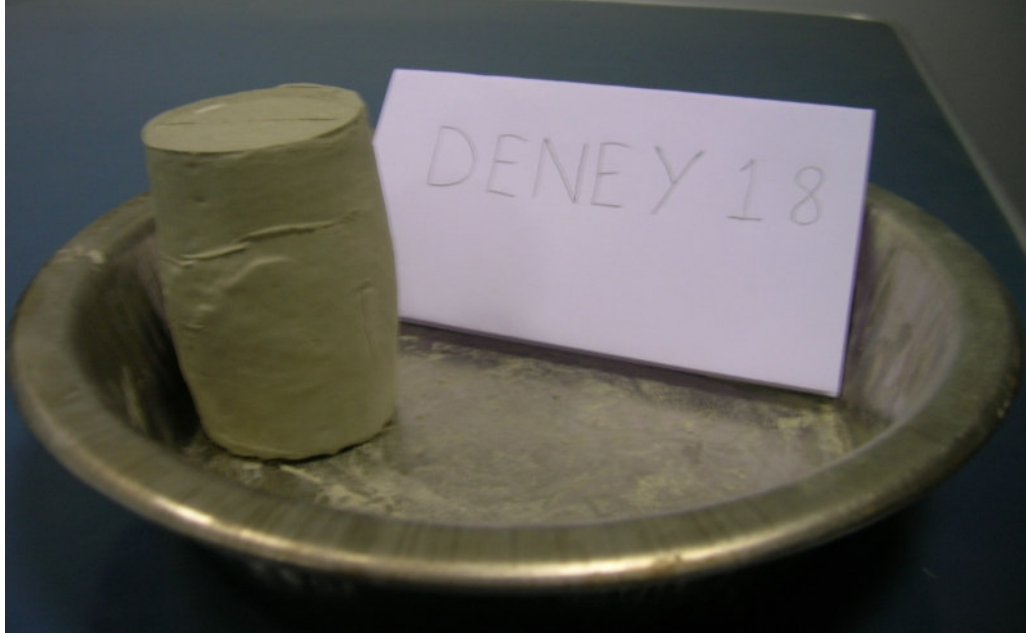
Şekil A.15: Deney 15 sonrası numune fotoğrafı (%50 Çöp Suyu)



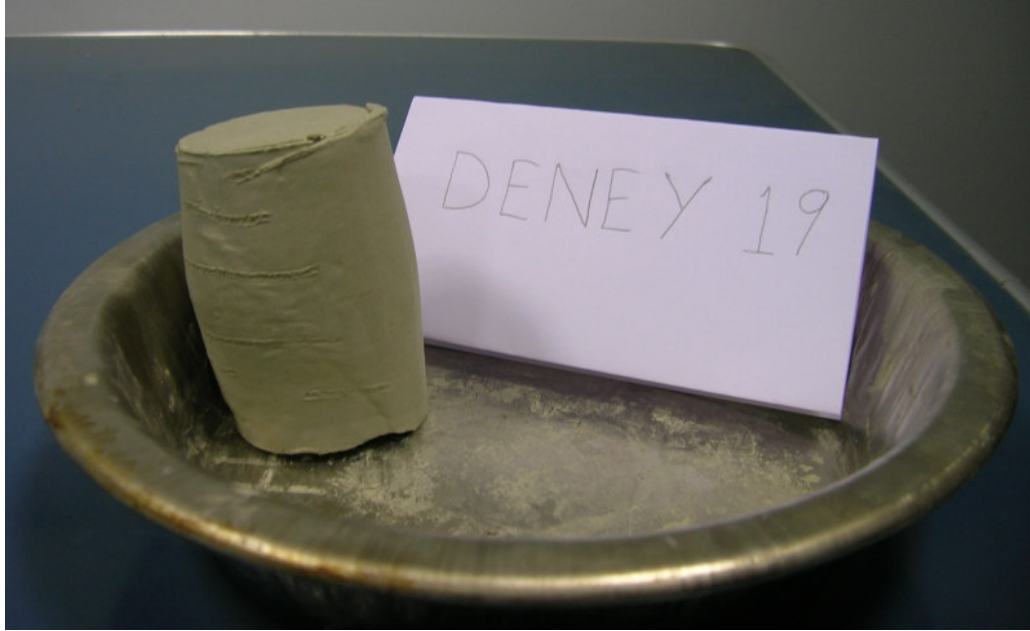
Şekil A.16: Deney 16 sonrası numune fotoğrafı (%20 Çöp Suyu)



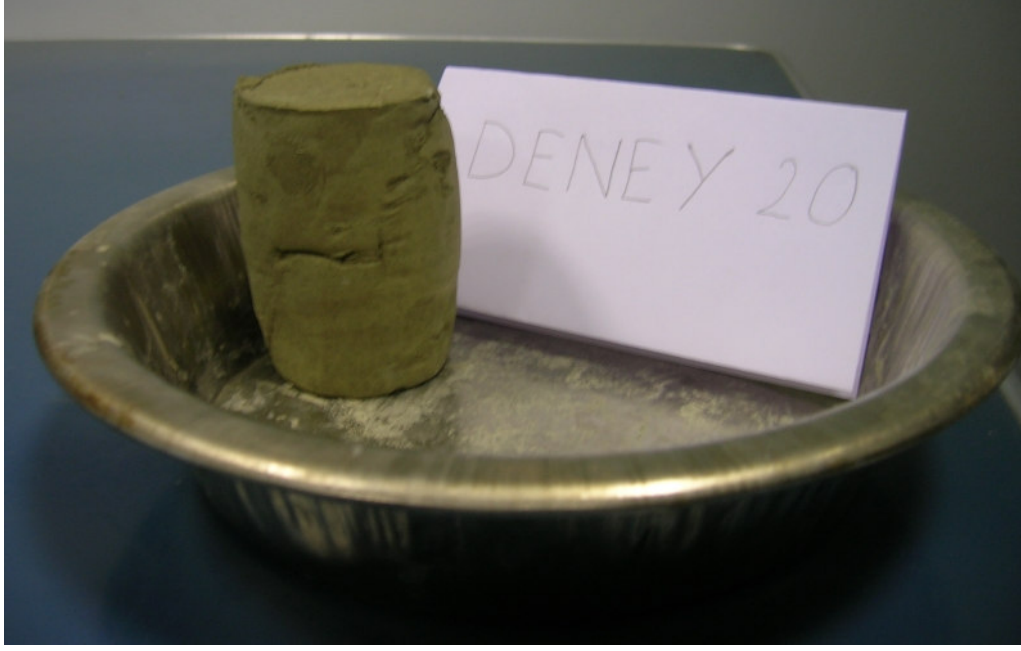
Şekil A.17: Deney 17 sonrası numune fotoğrafı (%100 Çöp Suyu)



Şekil A.18: Deney 18 sonrası numune fotoğrafı (%5 Çöp Suyu)



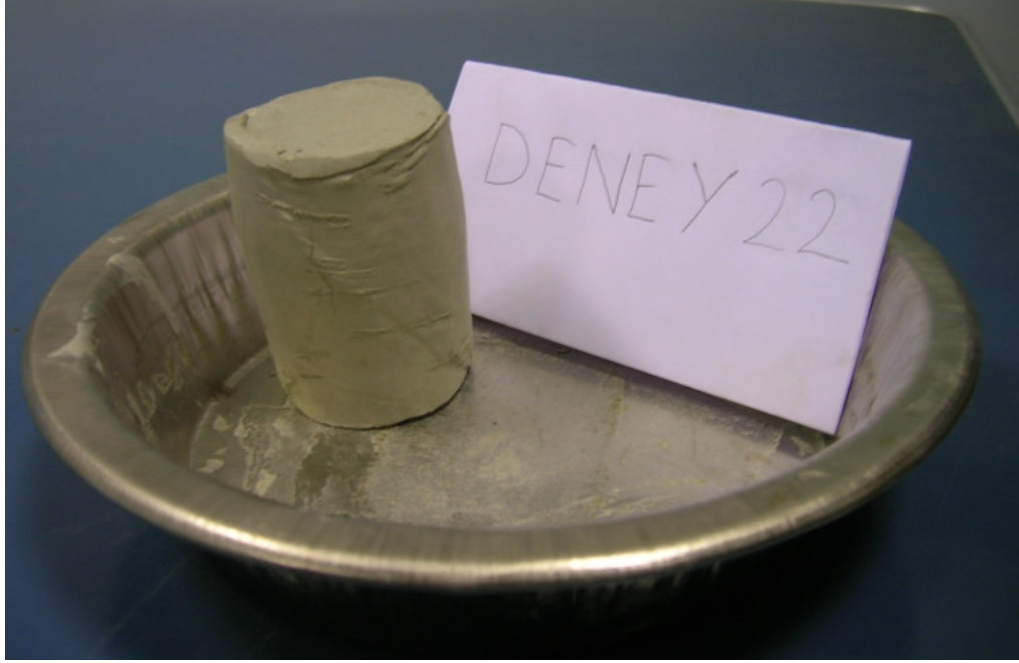
Şekil A.19: Deney 19 sonrası numune fotoğrafı (%0 Çöp Suyu – Temiz Zemin)



Şekil A.20: Deney 20 sonrası numune fotoğrafı (%100 Çöp Suyu)



Şekil A.21: Deney 21 sonrası numune fotoğrafı (%20 Çöp Suyu)



Şekil A.22: Deney 22 sonrası numune fotoğrafı (%5 Çöp Suyu)

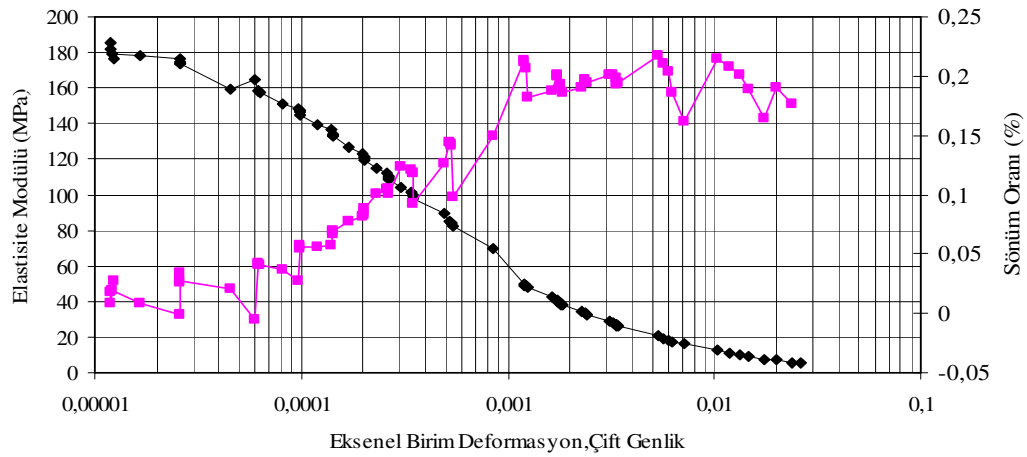
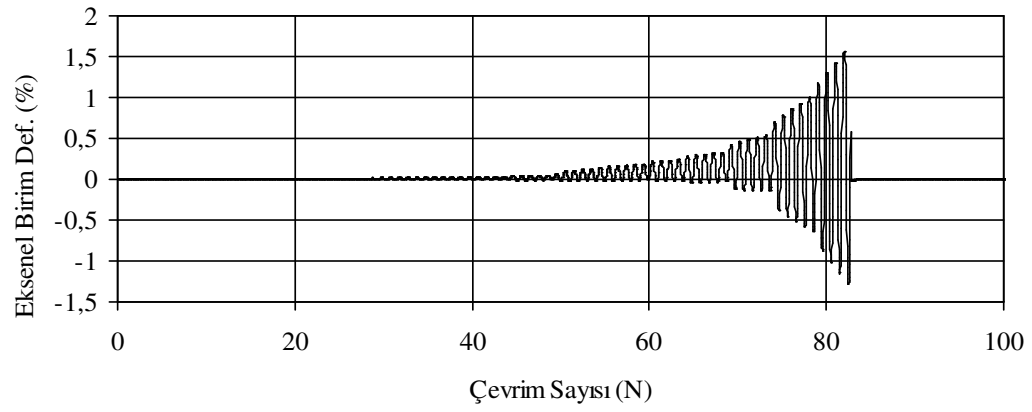
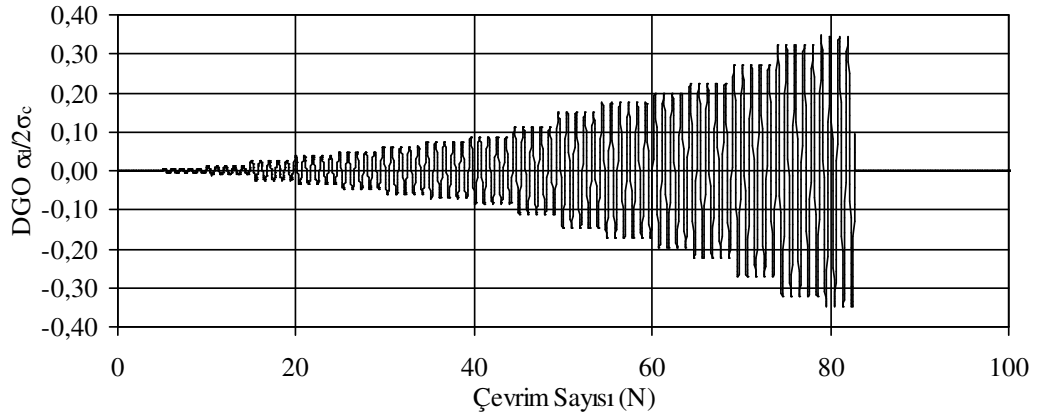


Şekil A.23: Deney 23 sonrası numune fotoğrafı (%100 Çöp Suyu)

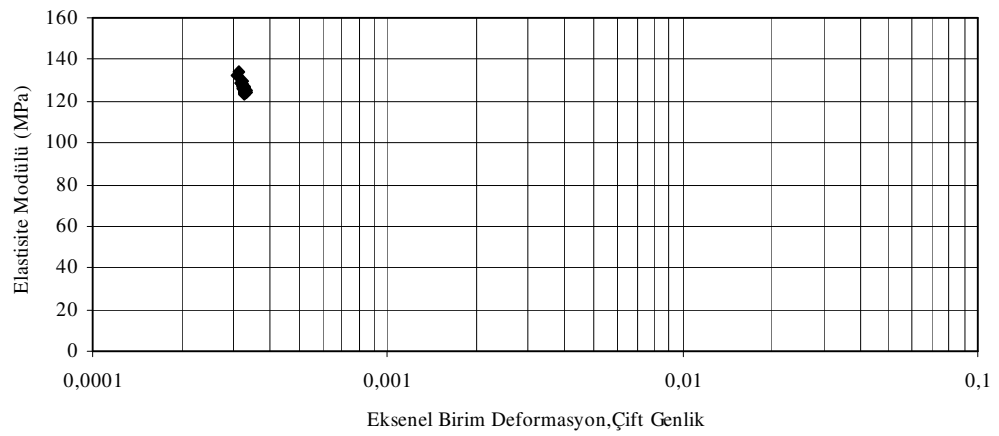
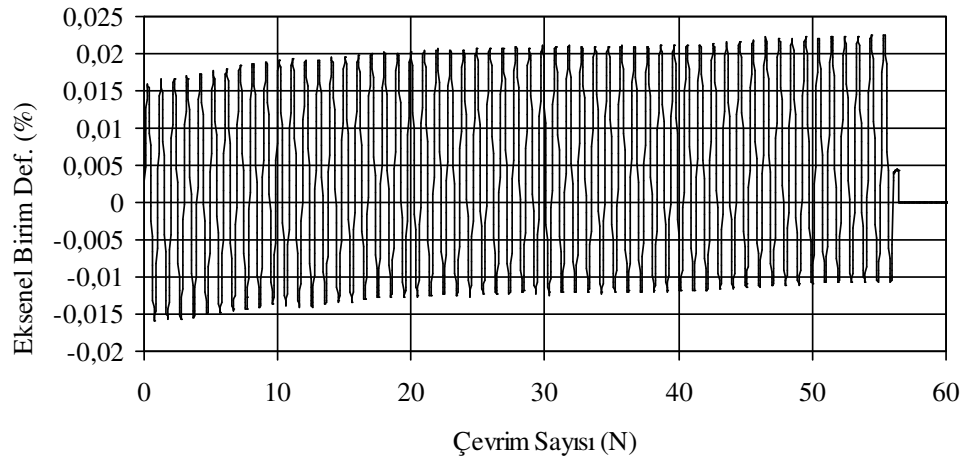
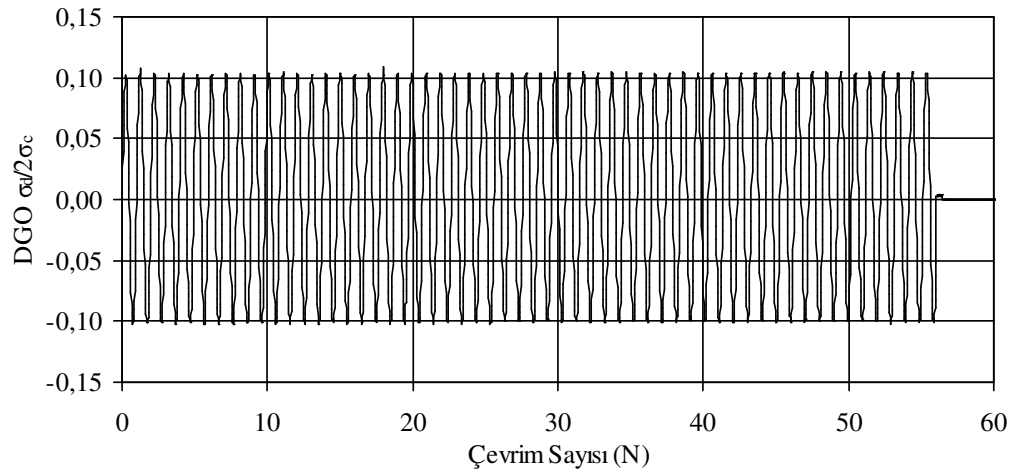


Şekil A.24: Deney 24 sonrası numune fotoğrafı (%50 Çöp Suyu)

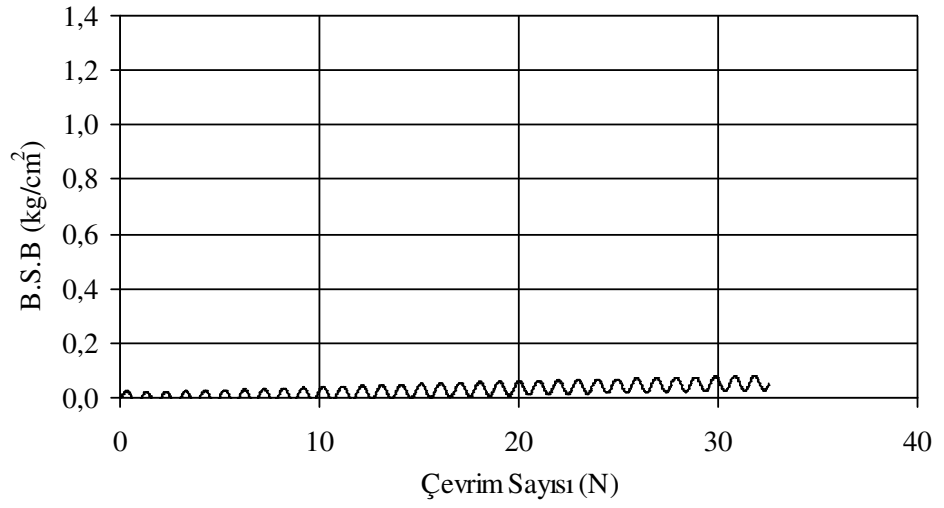
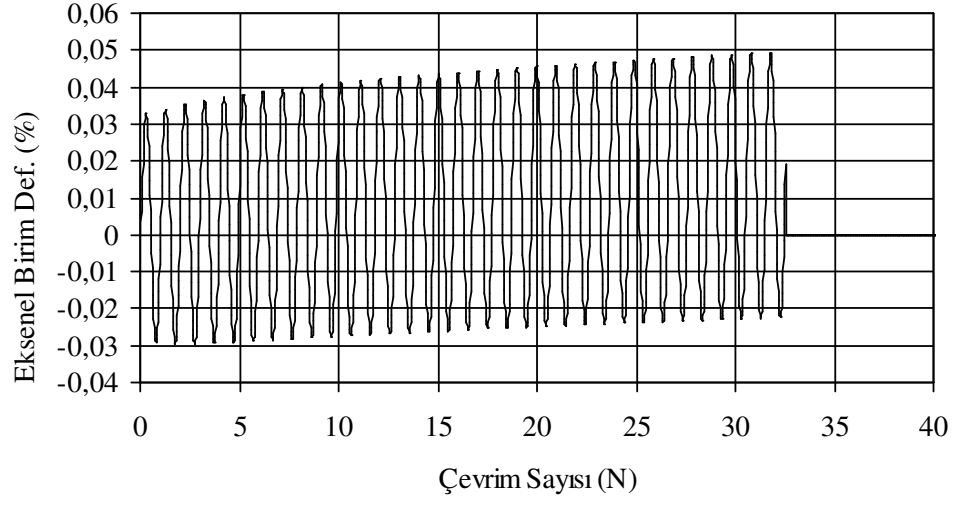
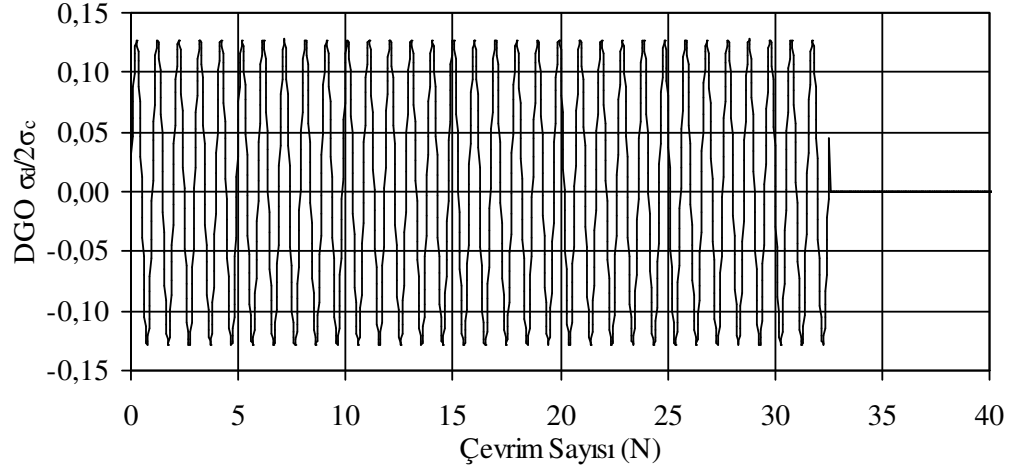
EK B ÜÇ EKSENLİ DİNAMİK DENEY GRAFİKLERİ



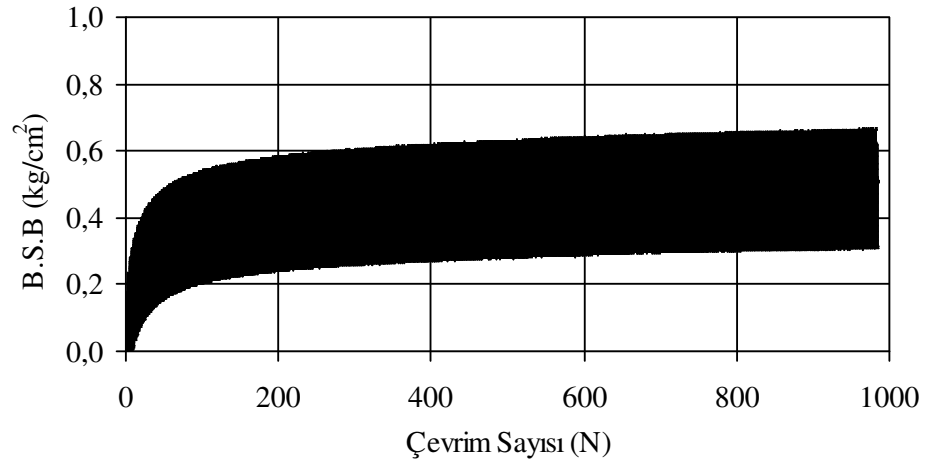
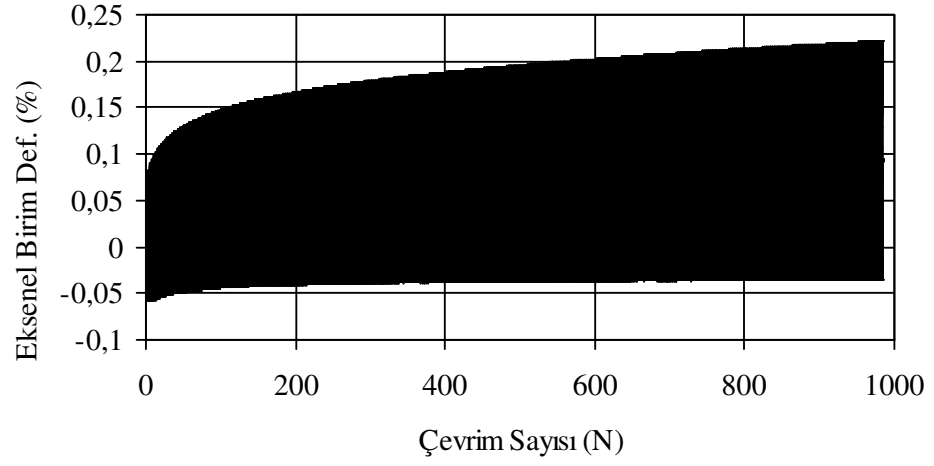
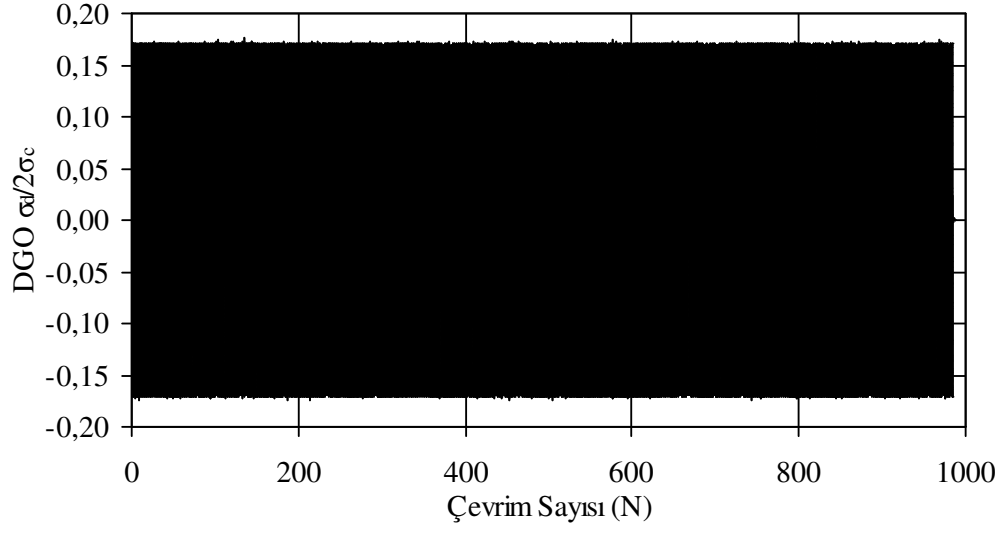
Şekil B.1 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 1 %5 Kür Oranı, Degredation; Harici Hüc)



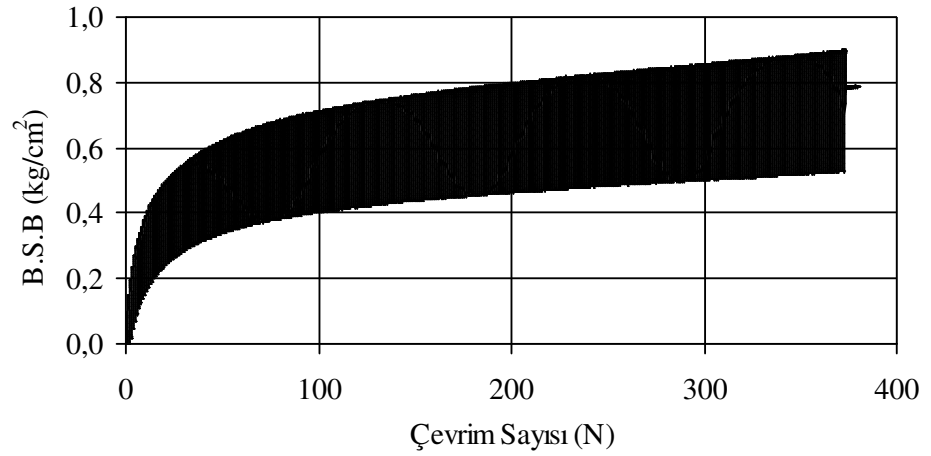
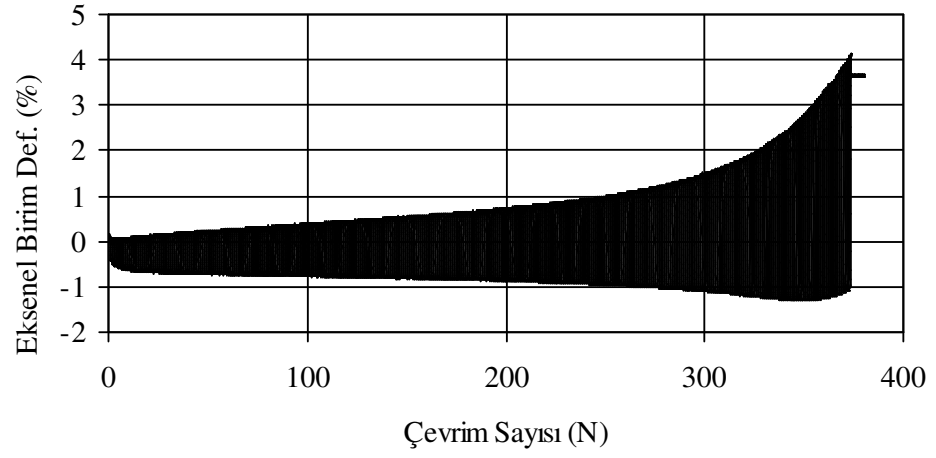
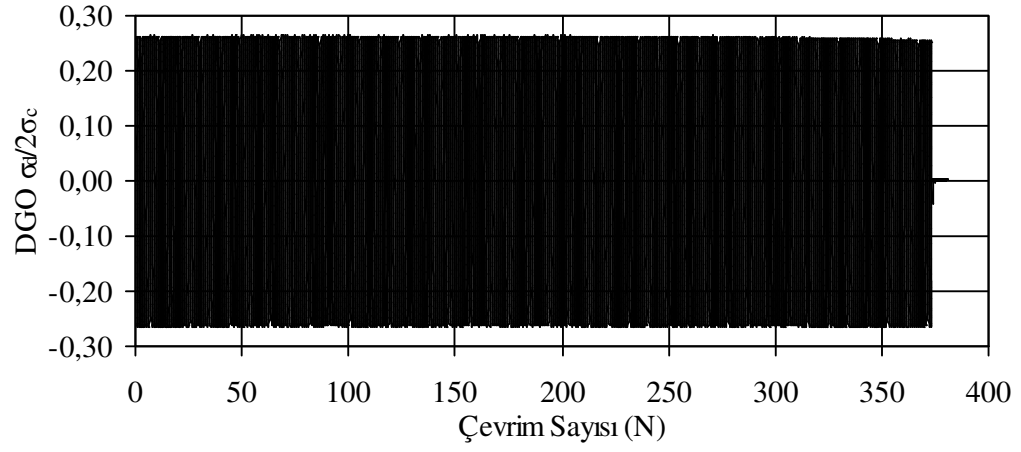
Şekil B.2 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 2, %5 Kür Oranı, Dinamik; Harici Hücre)



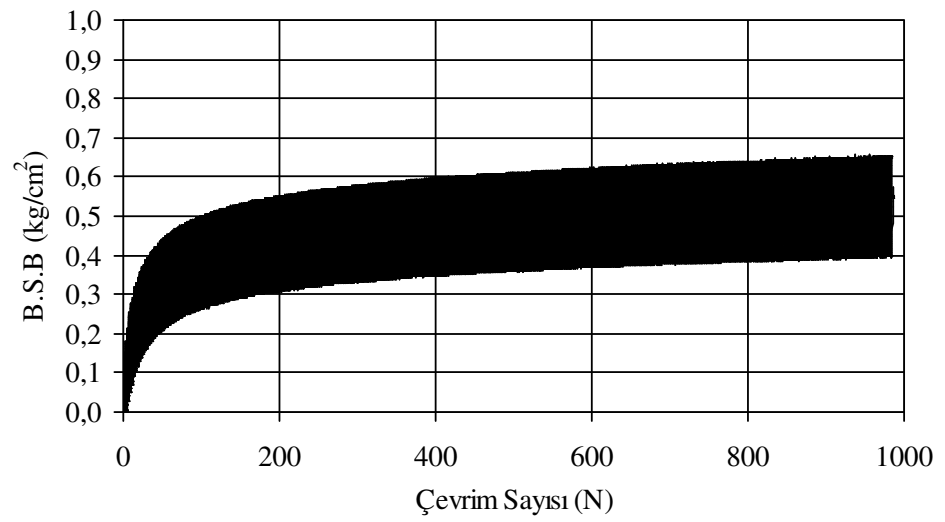
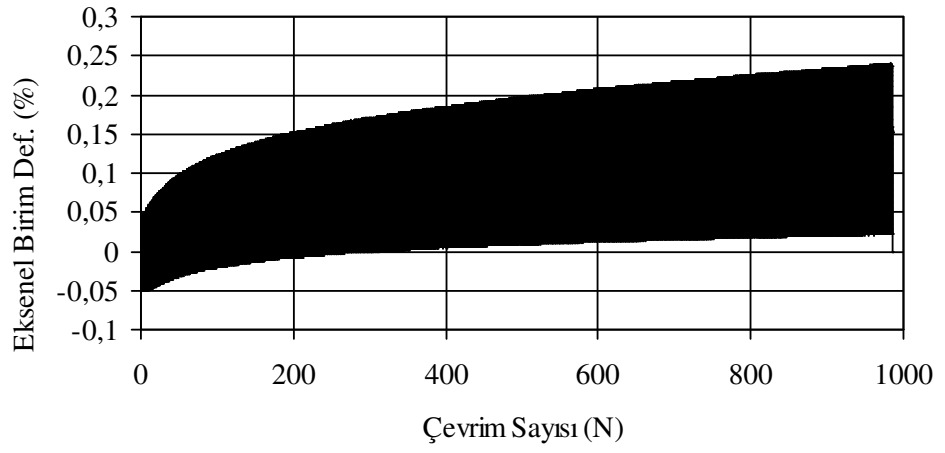
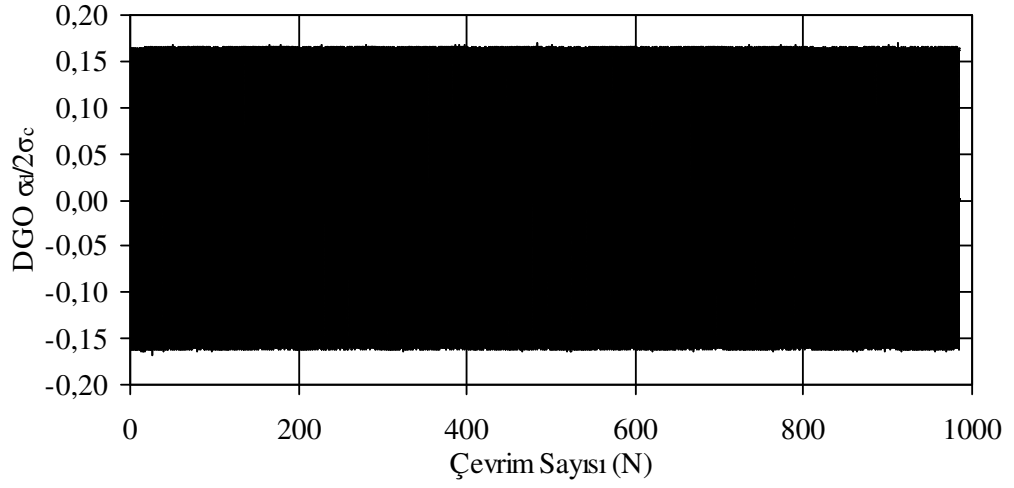
Şekil B.3 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No, 3 %0 Kür Oranı, Dinamik)



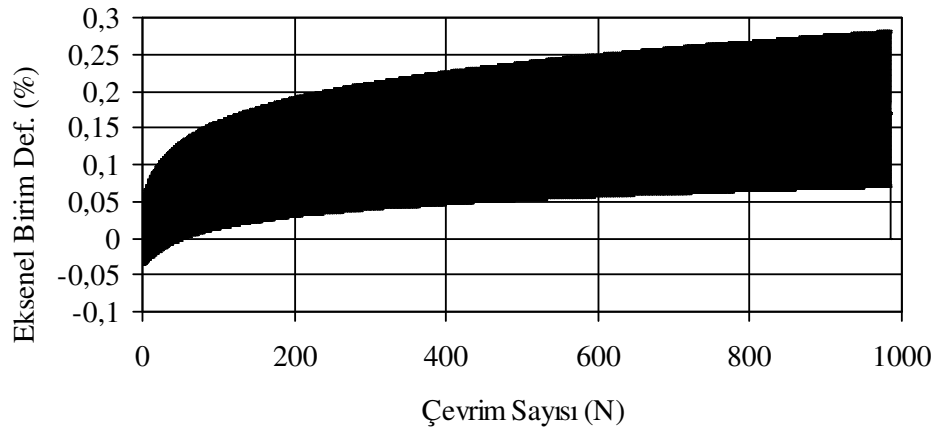
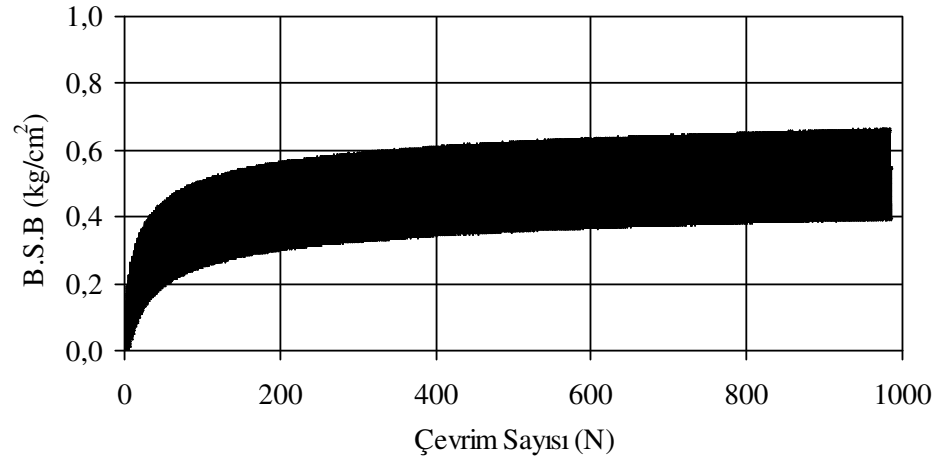
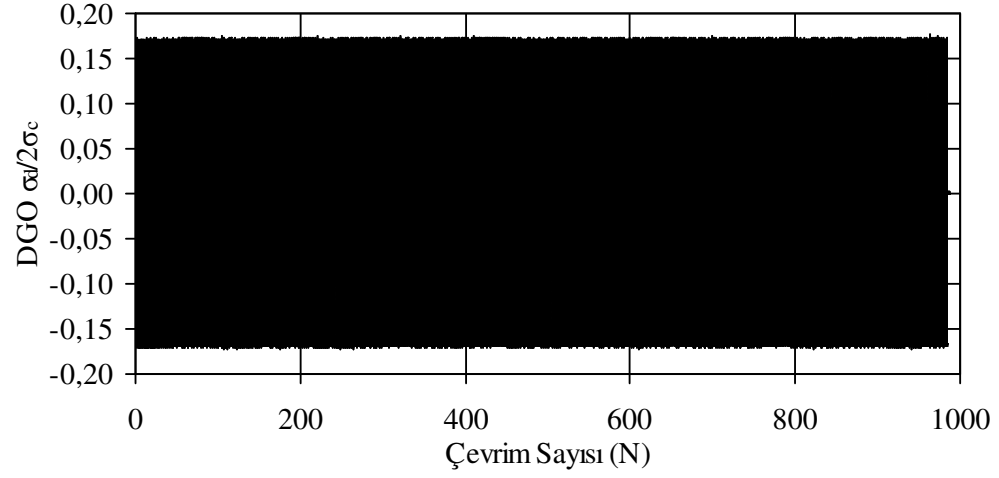
Şekil B.4 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 4, %0 Kür Oranı, Dinamik)



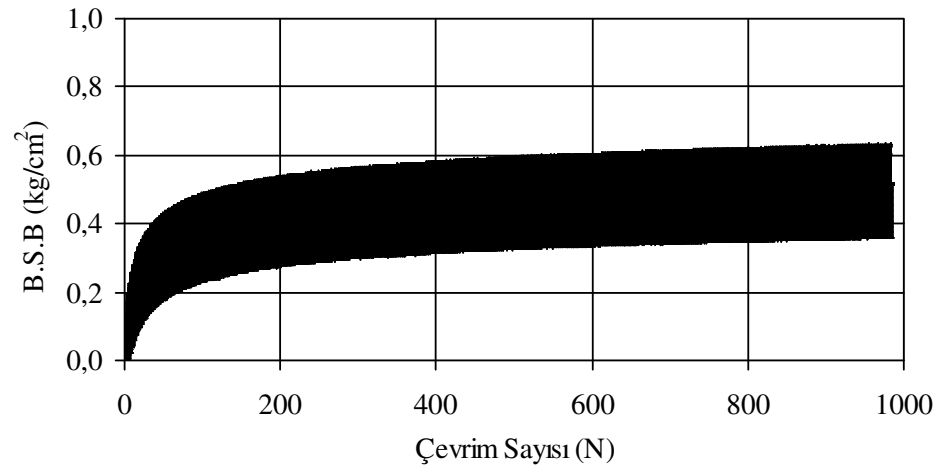
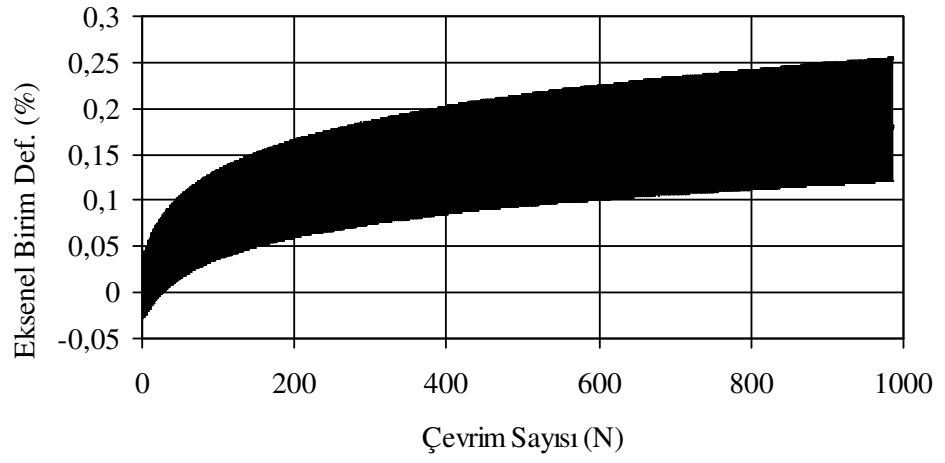
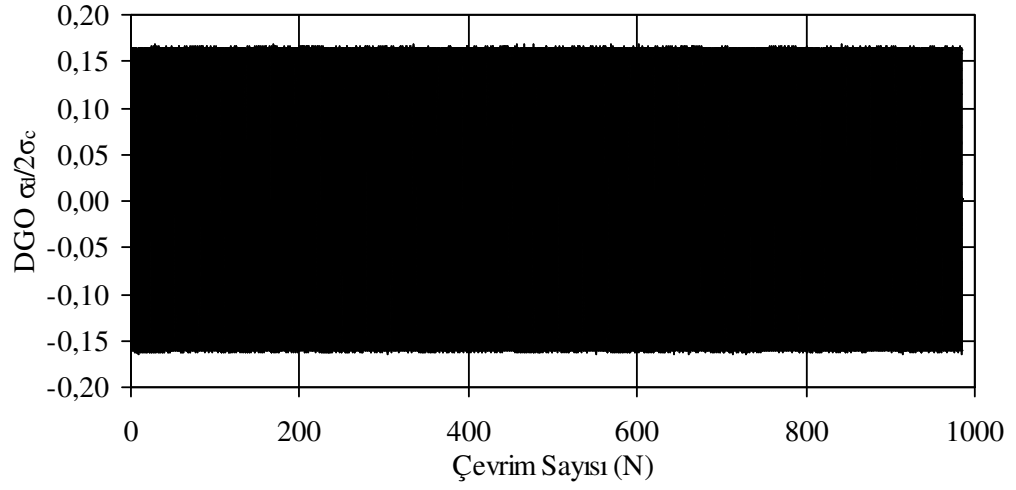
Şekil B.5 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 5, %0 Kür Oranı, Dinamik)



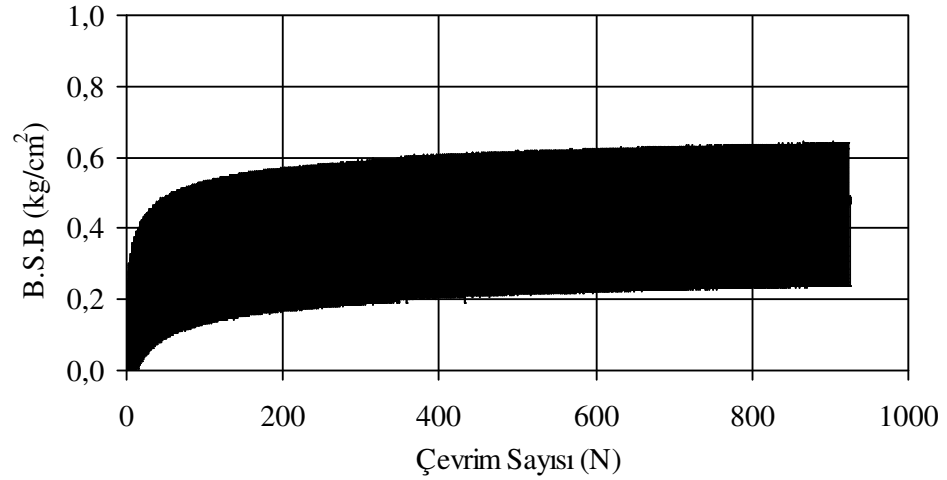
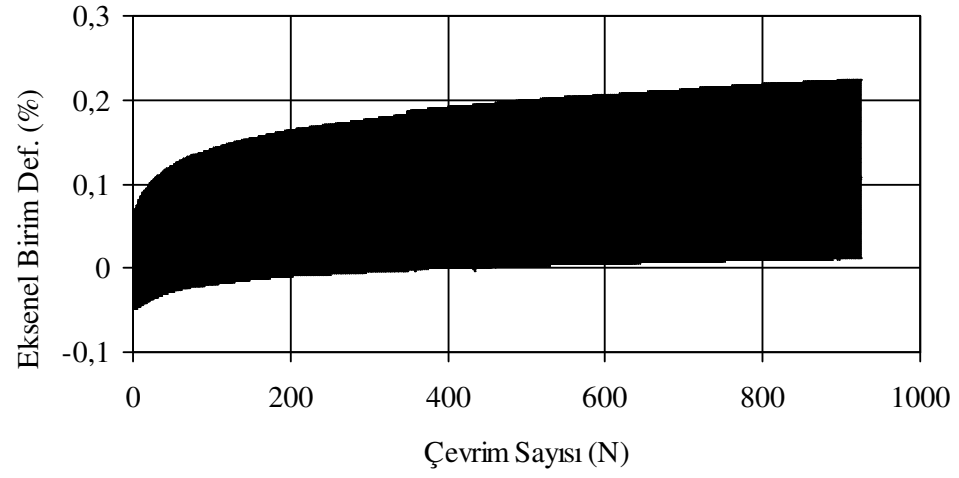
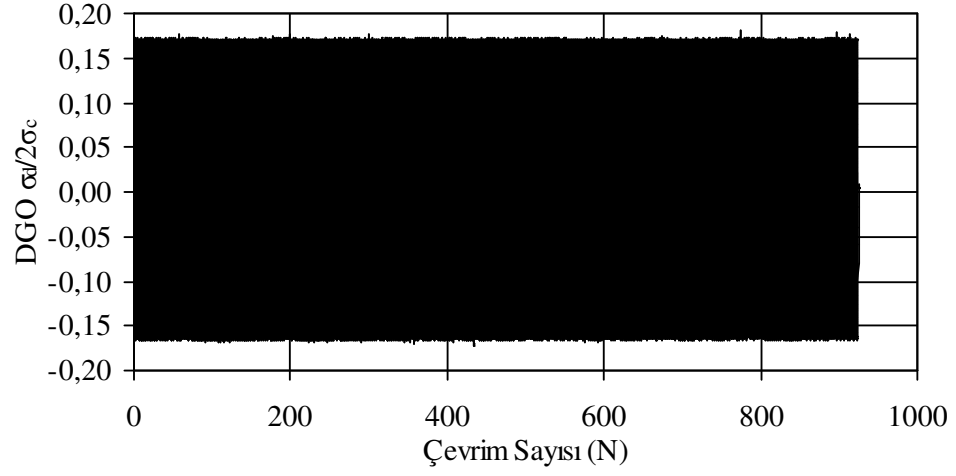
Şekil B.6 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 6, %50 Kür Oranı, Dinamik)



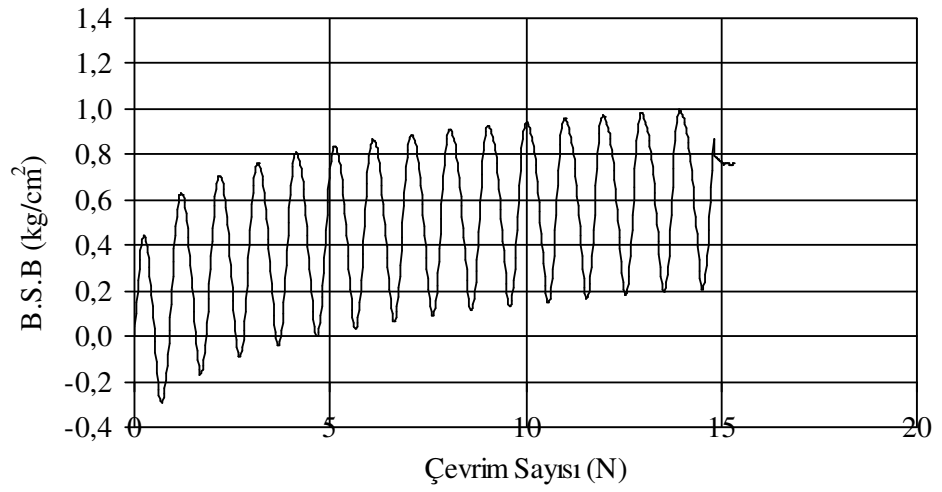
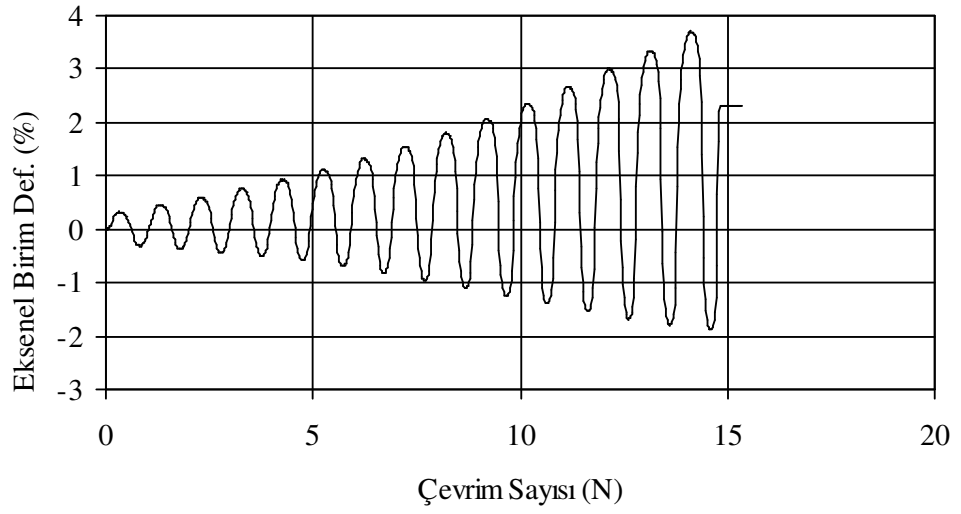
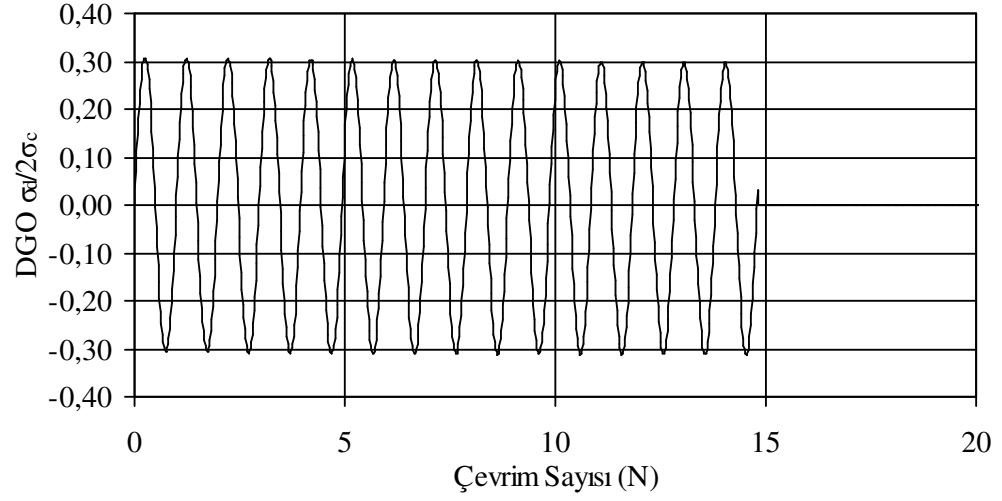
Şekil B.7 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 7, %20 Kür Oranı, Dinamik)



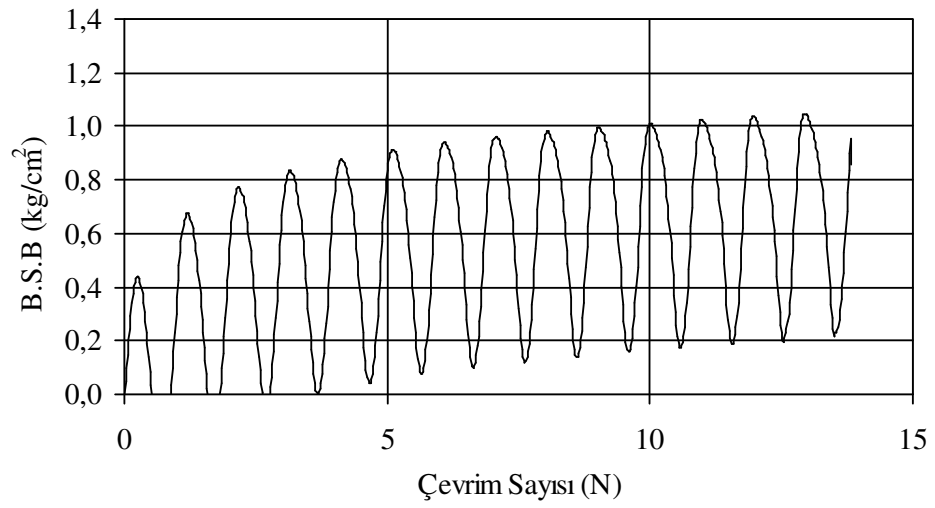
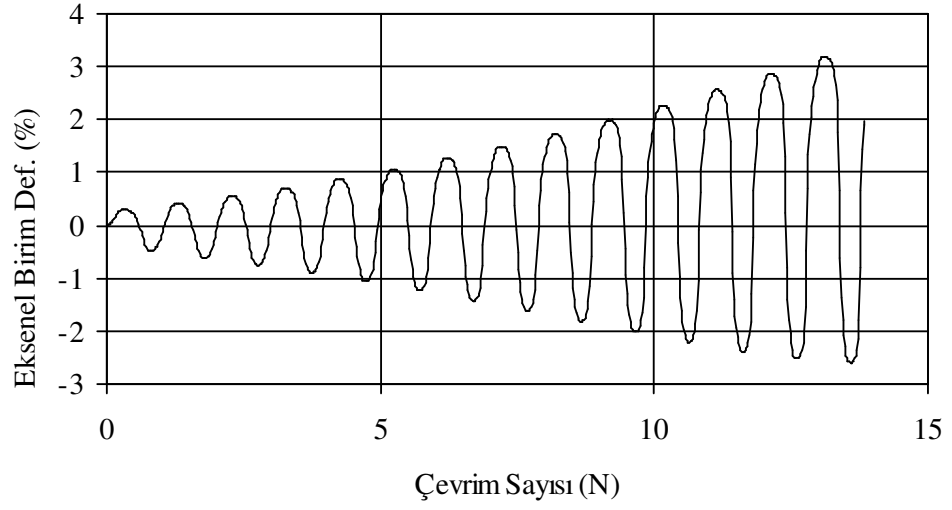
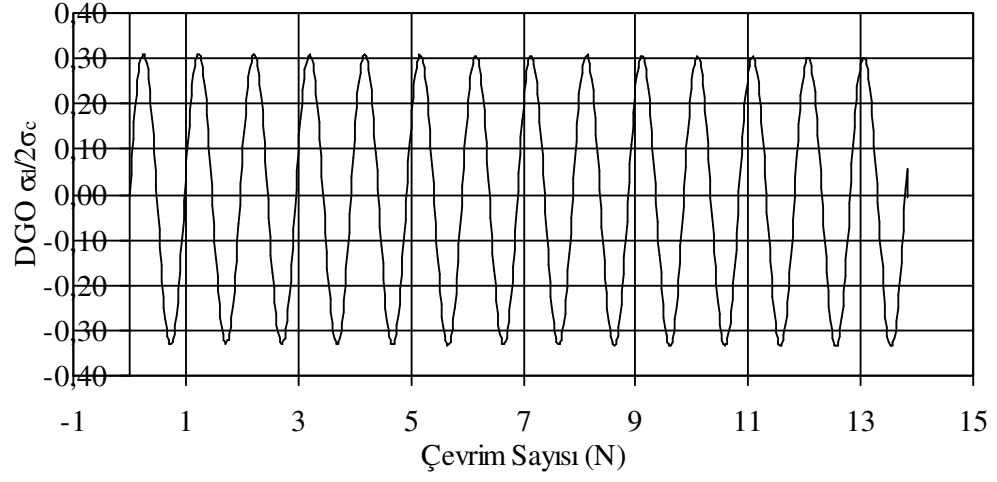
Şekil B.8 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 8, %100 Kür Oranı, Dinamik)



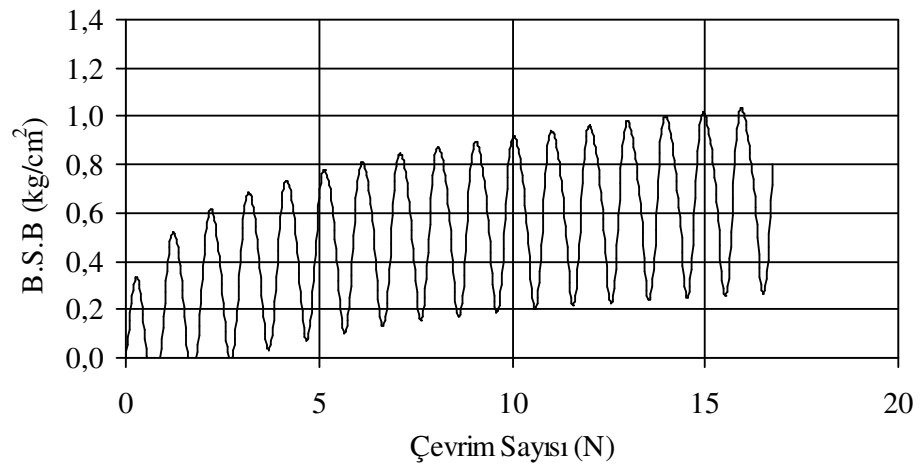
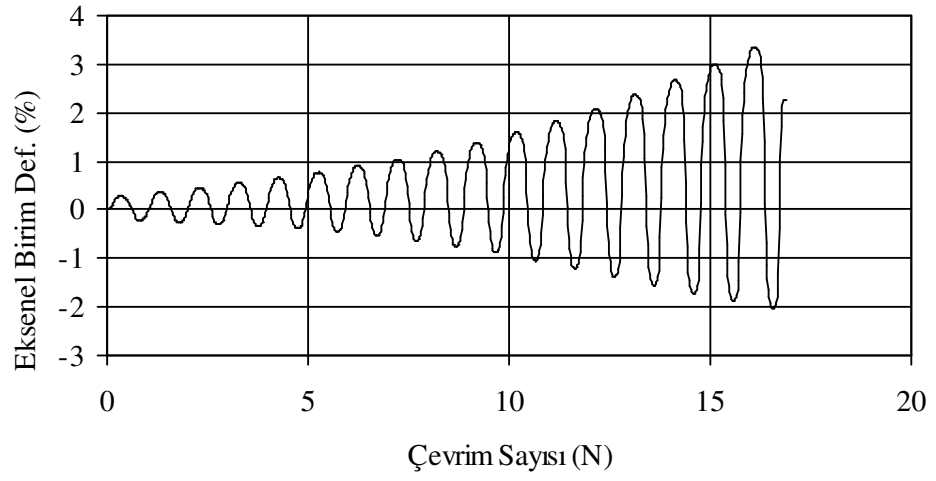
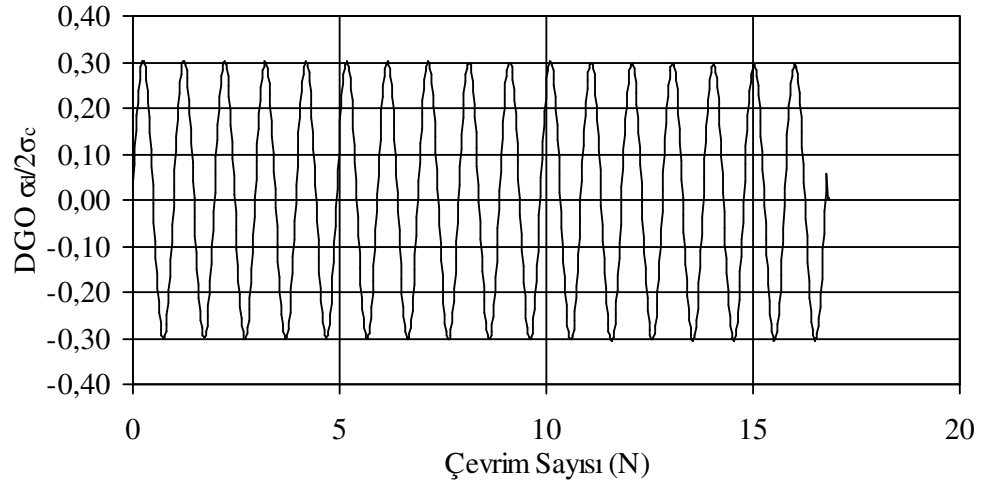
Şekil B.9 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 9, %5 Kür Oranı, Dinamik)



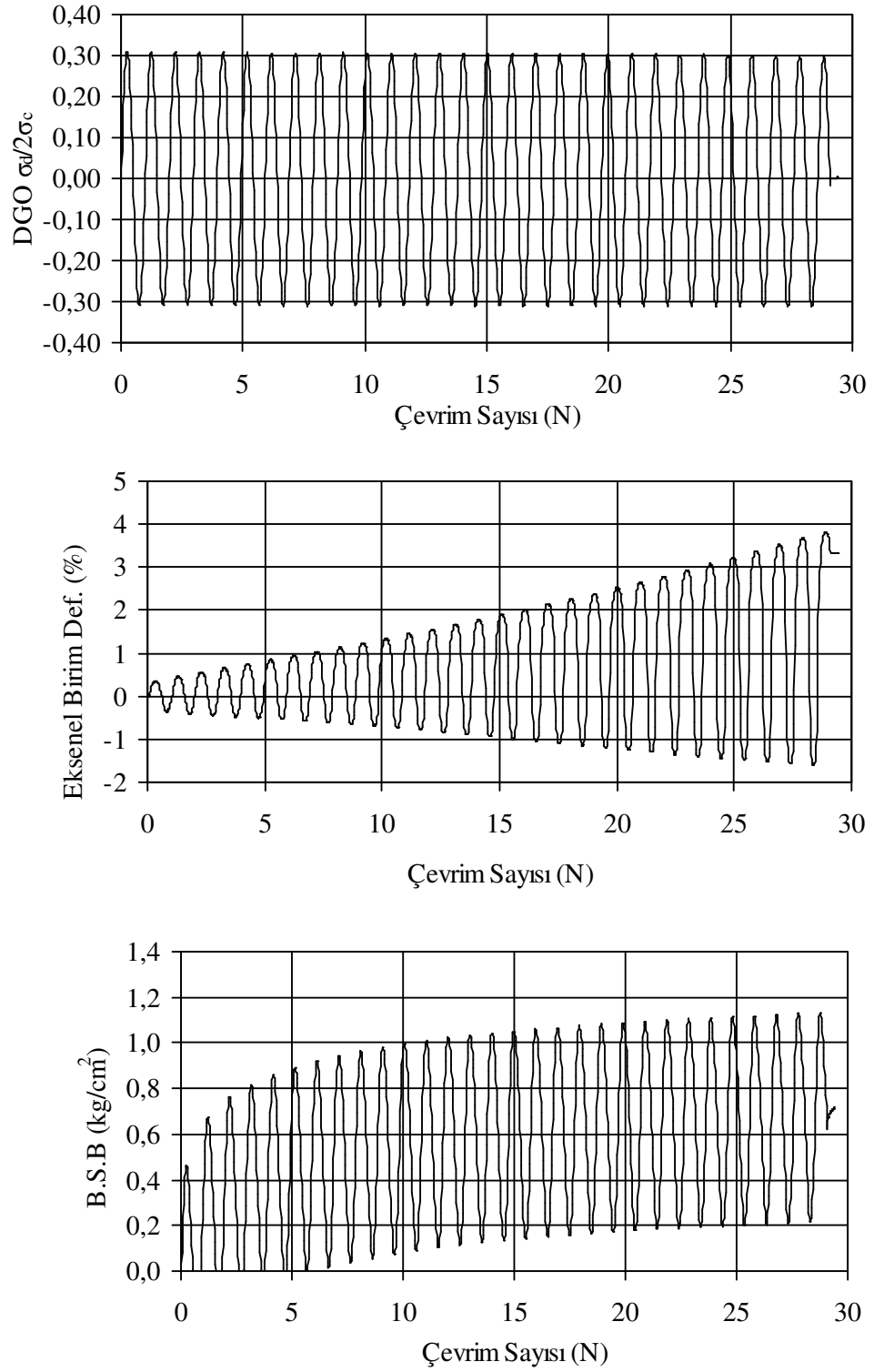
Şekil B.10 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 15, %50 Kür Oranı, Dinamik)



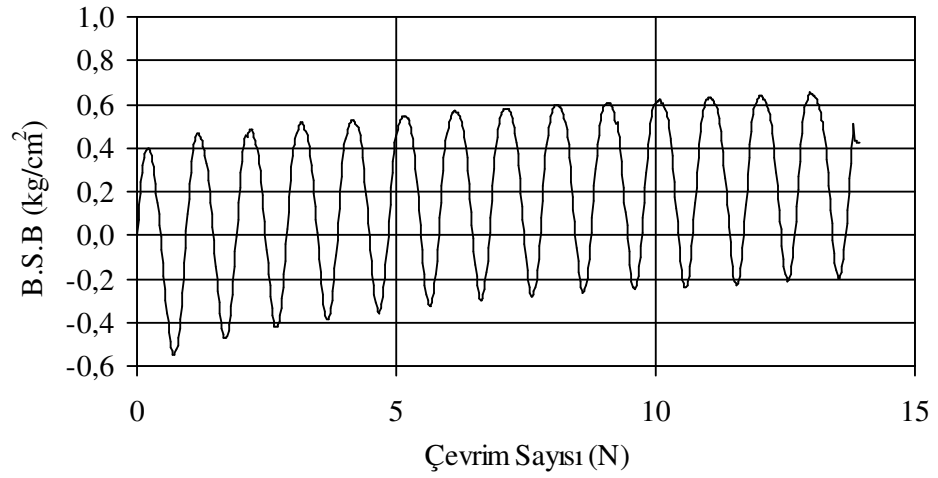
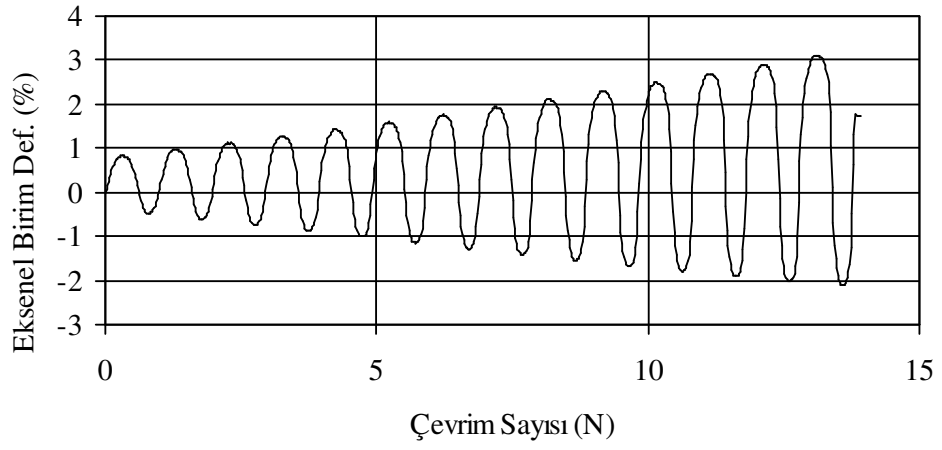
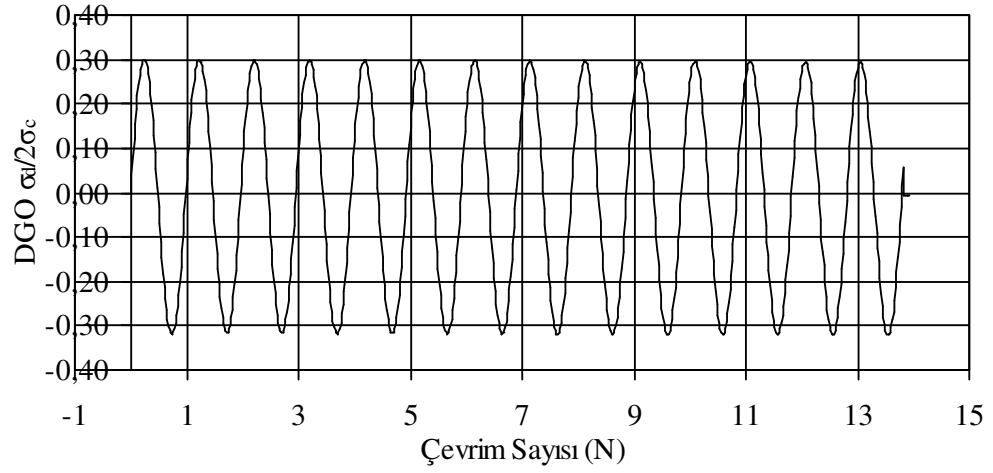
Şekil B.11 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 16, %20 Kür Oranı, Dinamik)



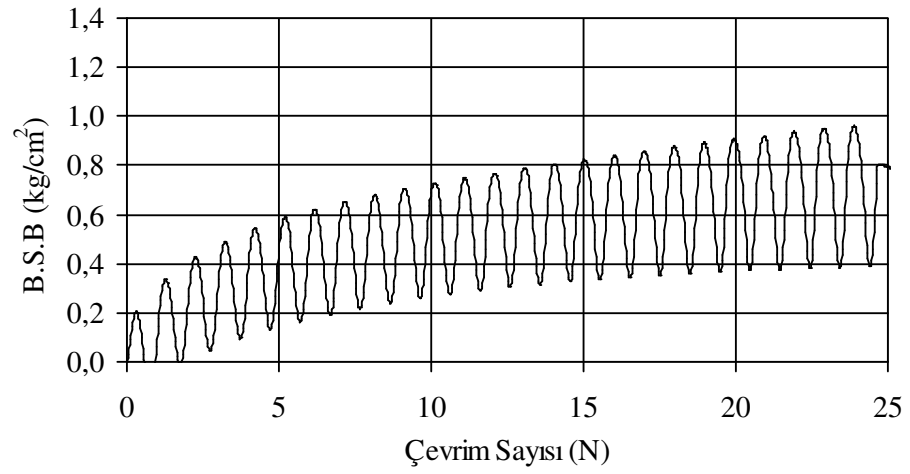
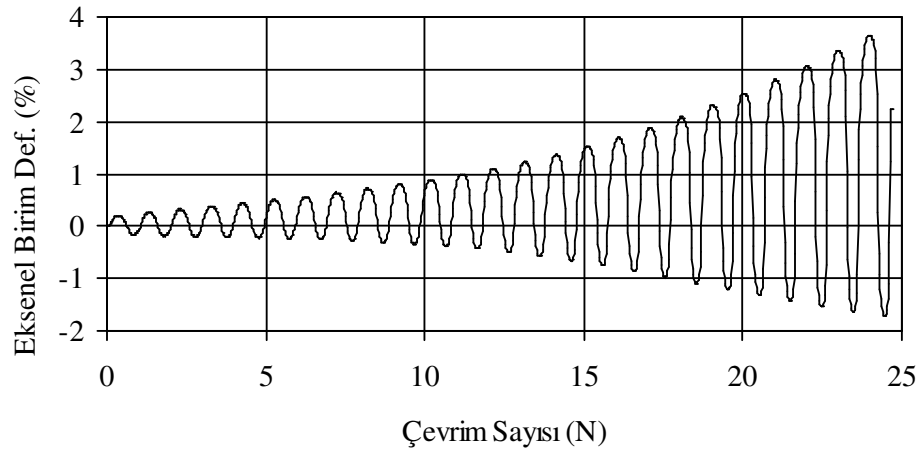
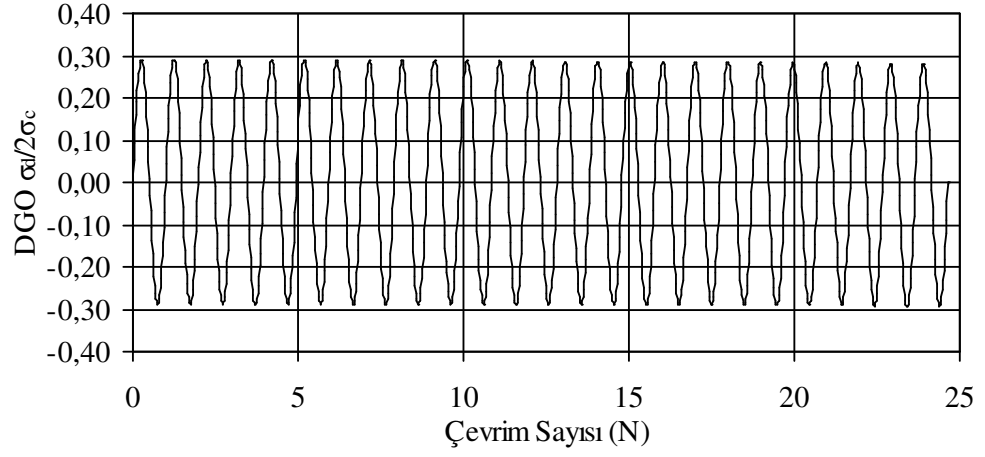
Şekil B.12 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 17, %100 Kür Oranı, Dinamik)



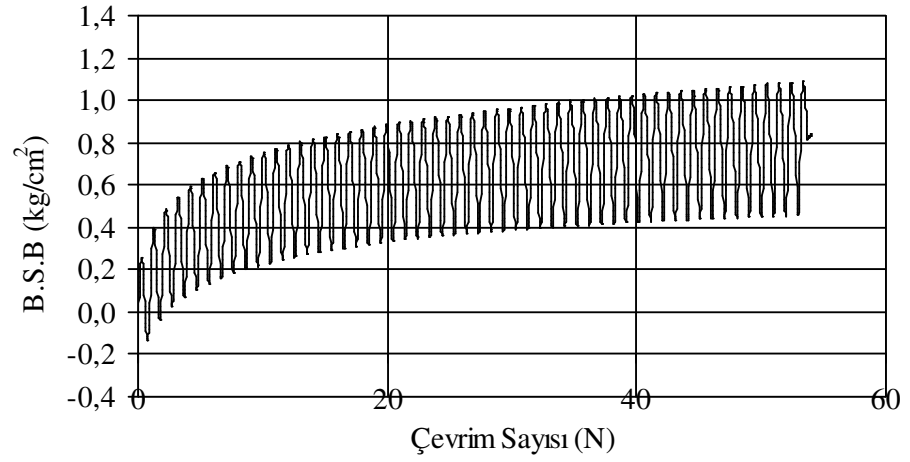
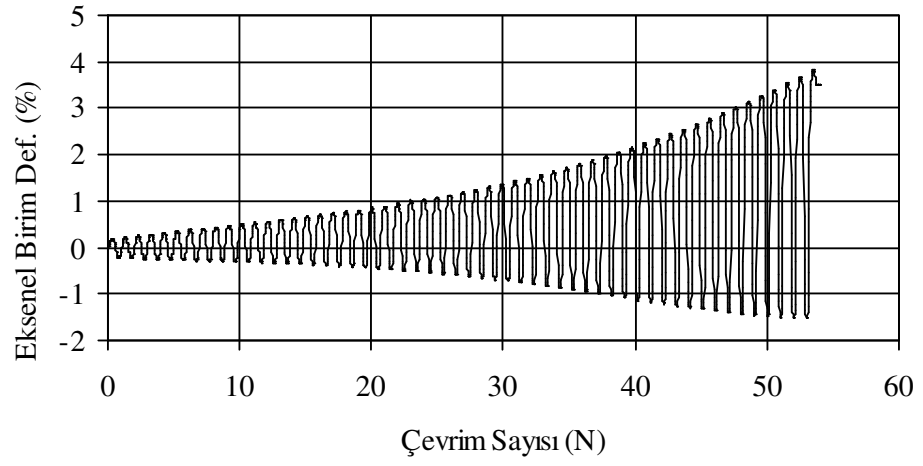
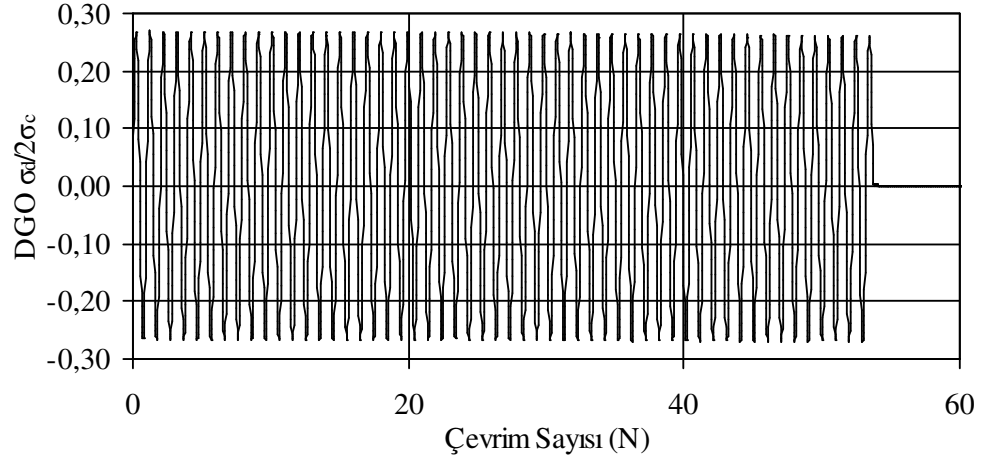
Şekil B.13 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 18, %5 Kür Oranı, Dinamik)



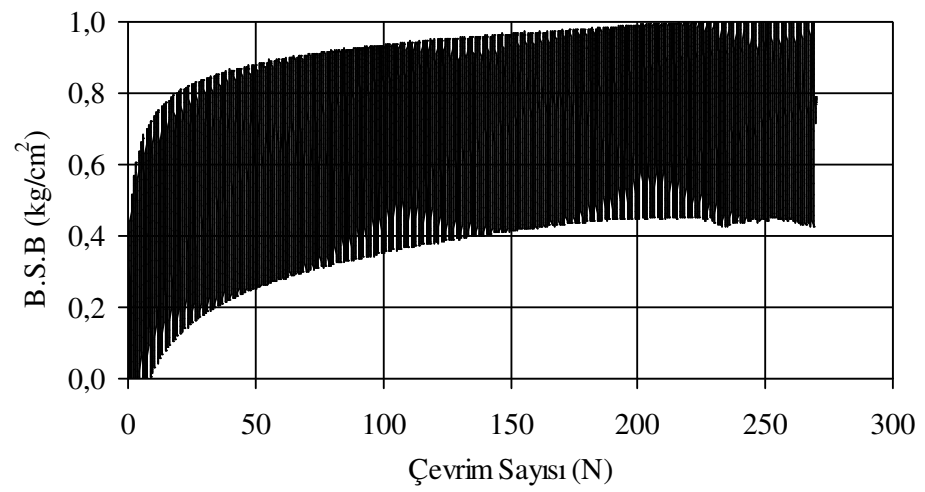
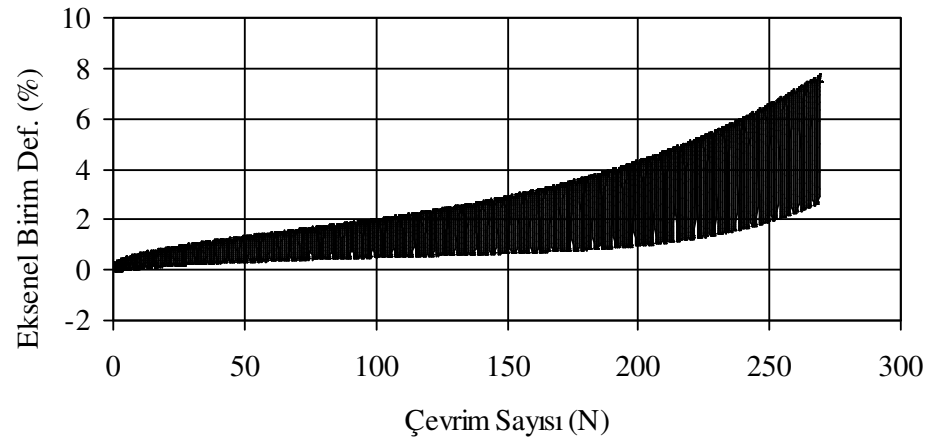
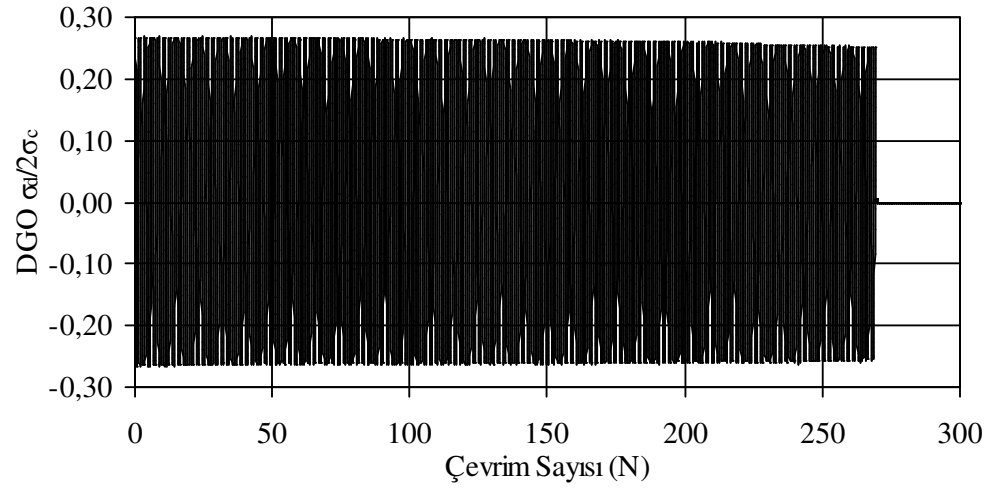
Şekil B.14 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 19, %0 Kür Oranı, Dinamik)



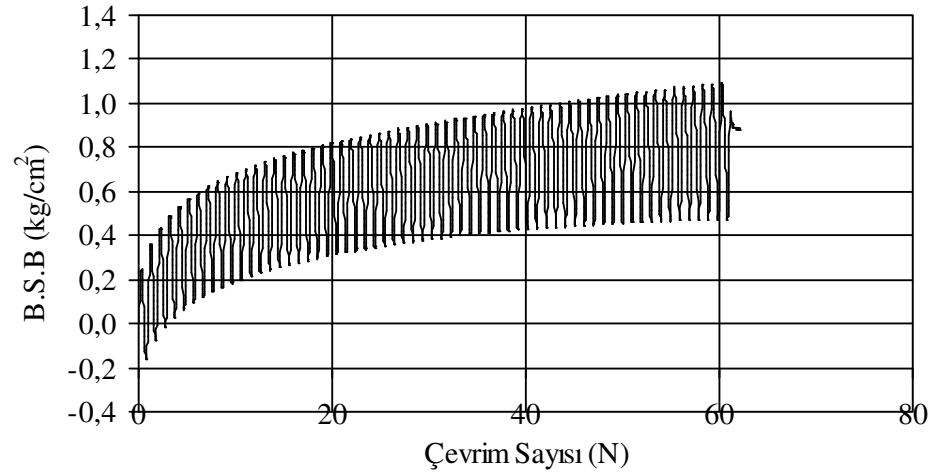
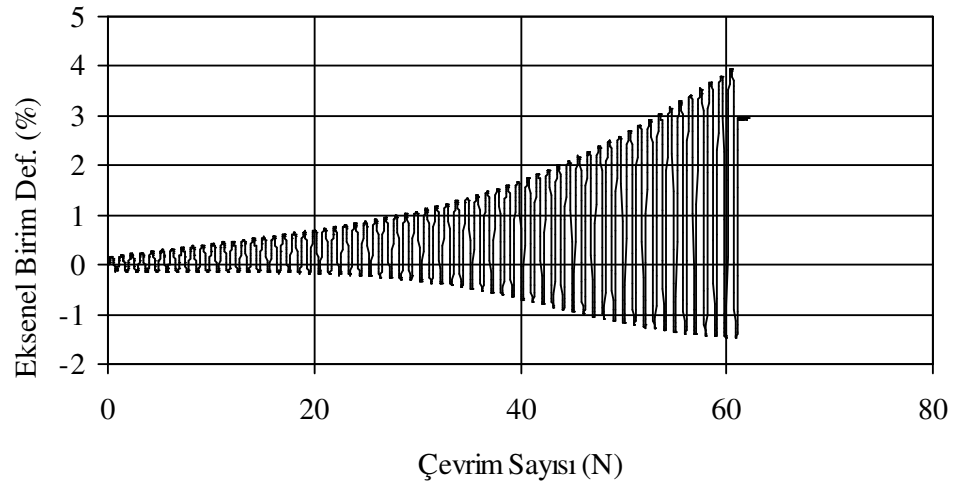
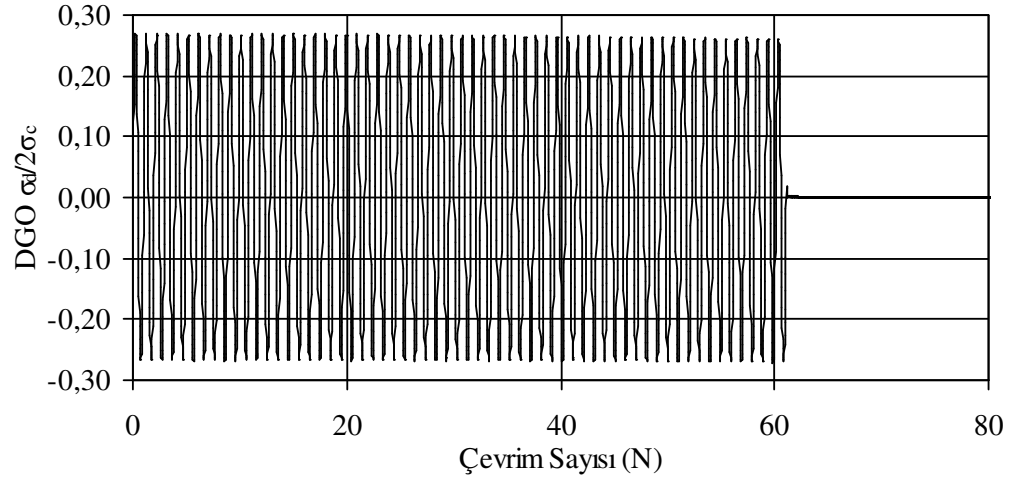
Şekil B.15 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 20, %100 Kür Oranı, Dinamik)



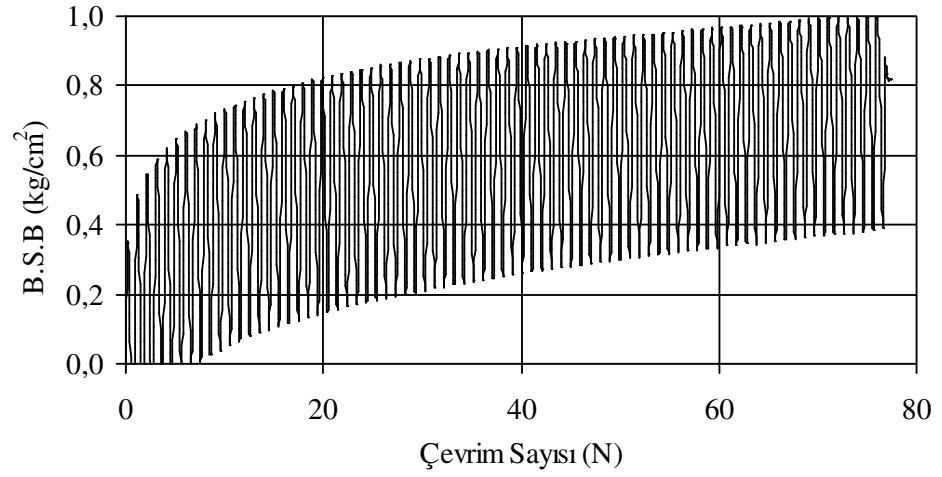
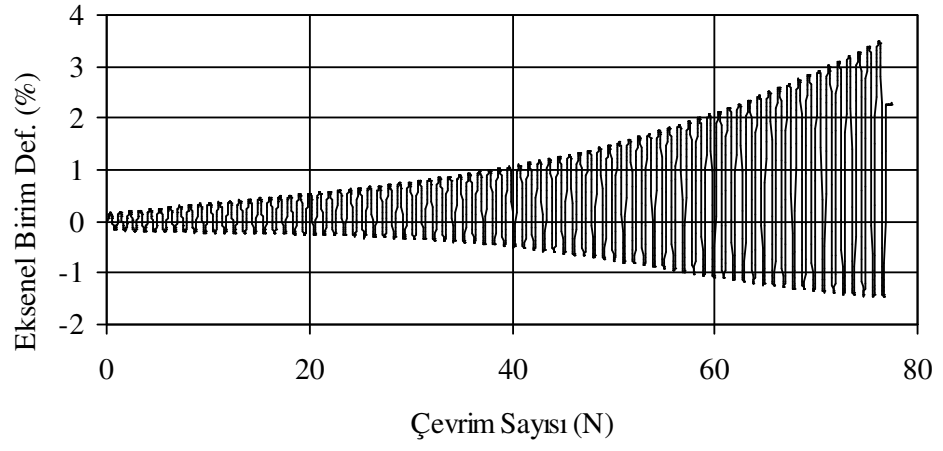
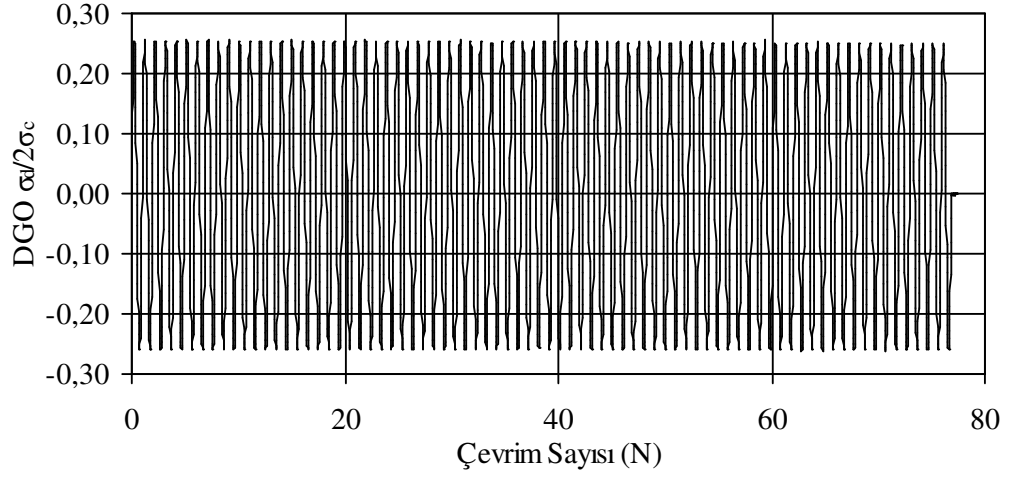
Şekil B.16 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 21, %20 Kür Oranı, Dinamik)



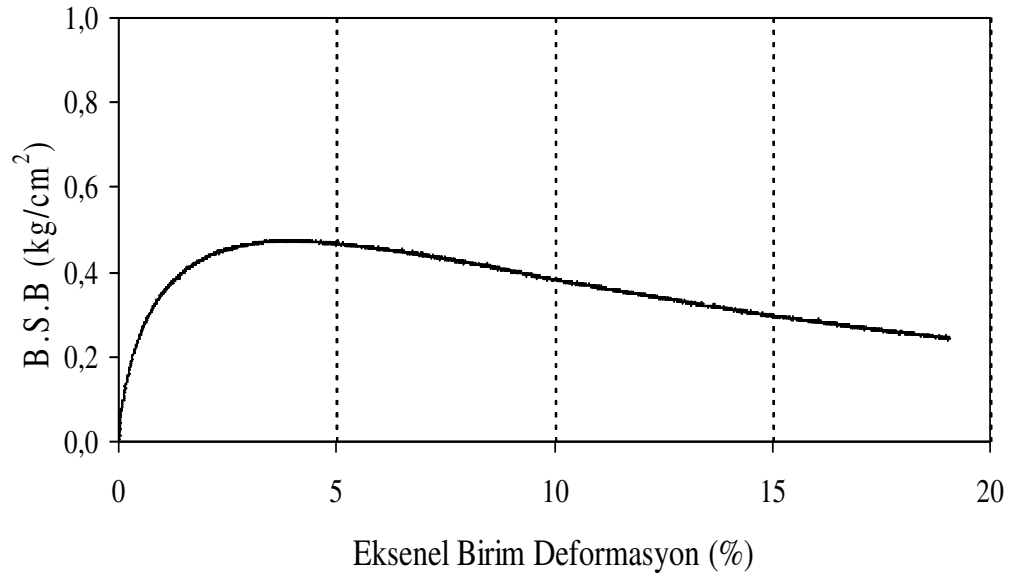
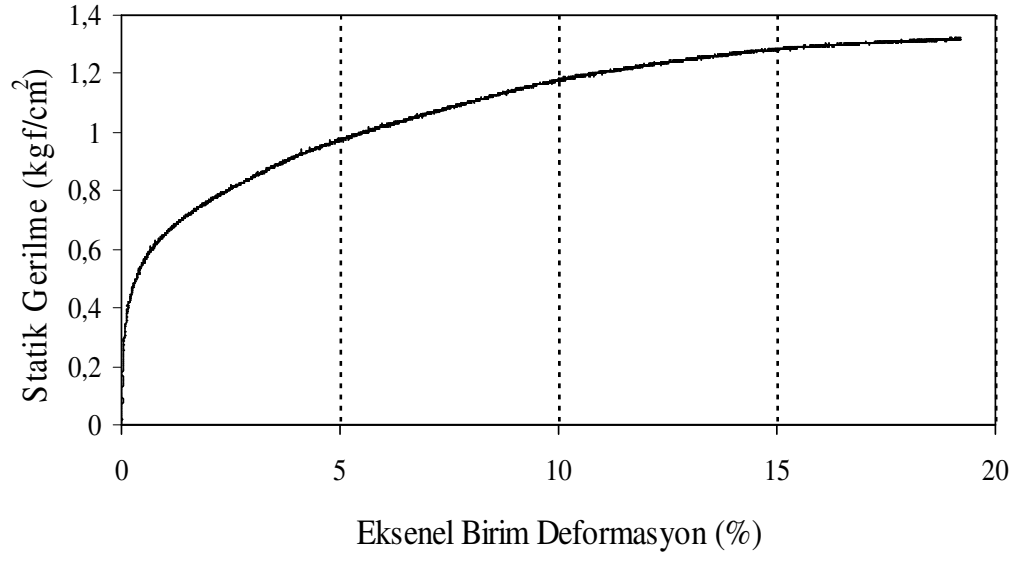
Şekil B.17 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 22, %5 Kür Oranı, Dinamik)



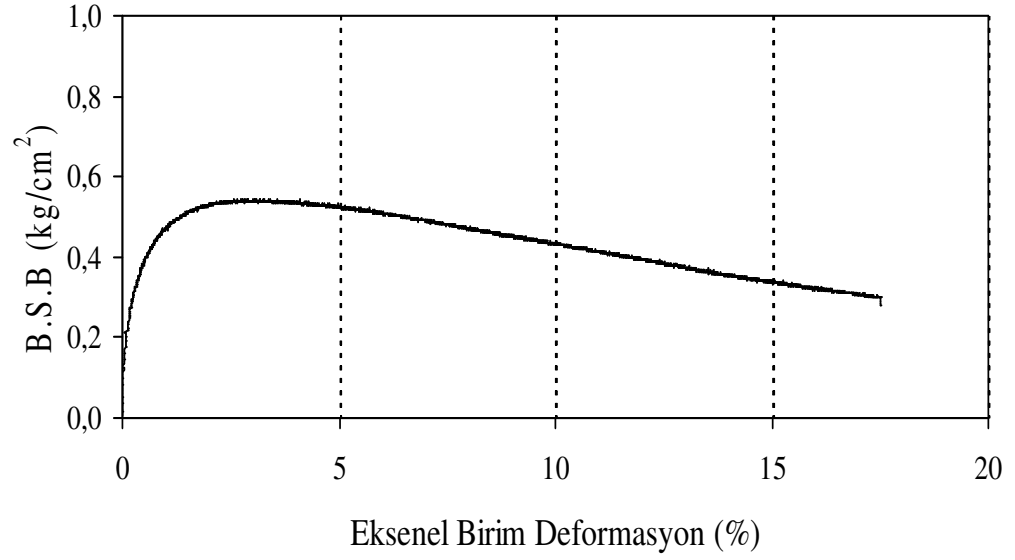
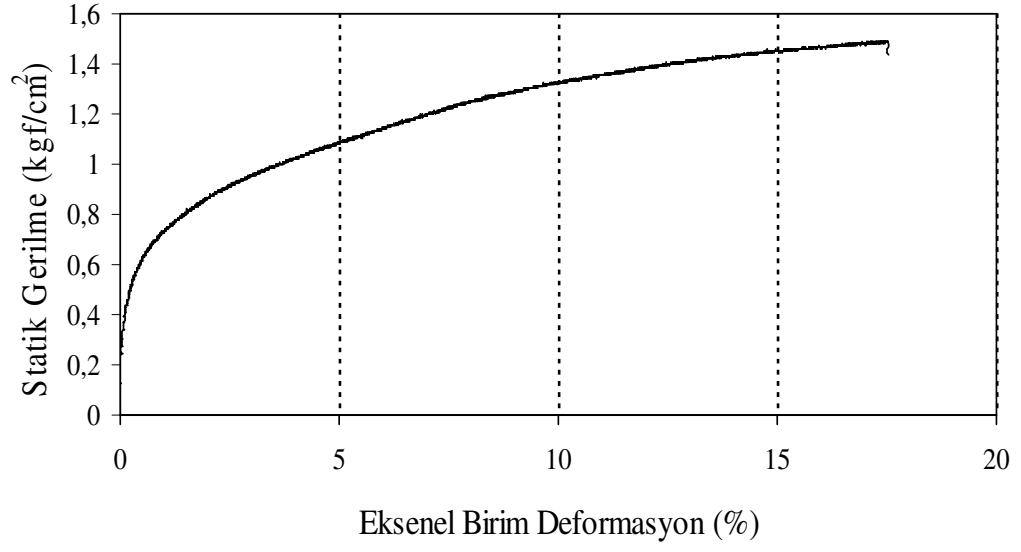
Şekil B.18 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 23, %100 Kür Oranı, Dinamik)



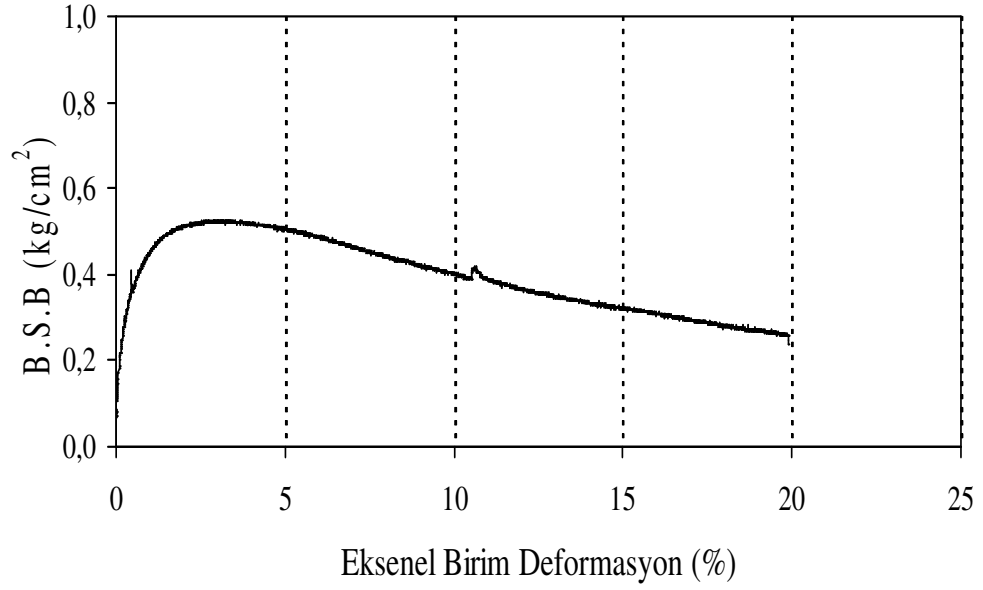
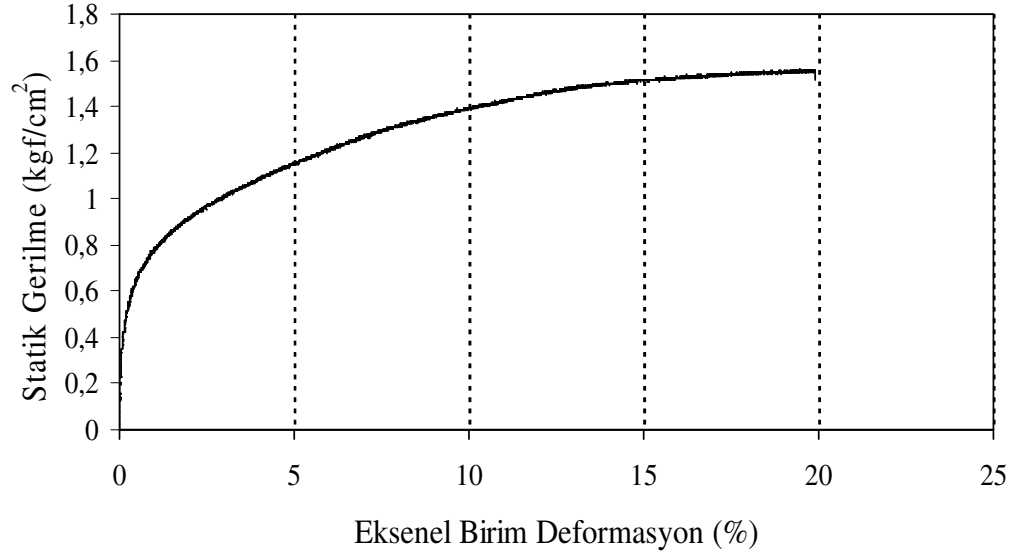
Şekil B.19 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 24, %50 Kür Oranı, Dinamik)



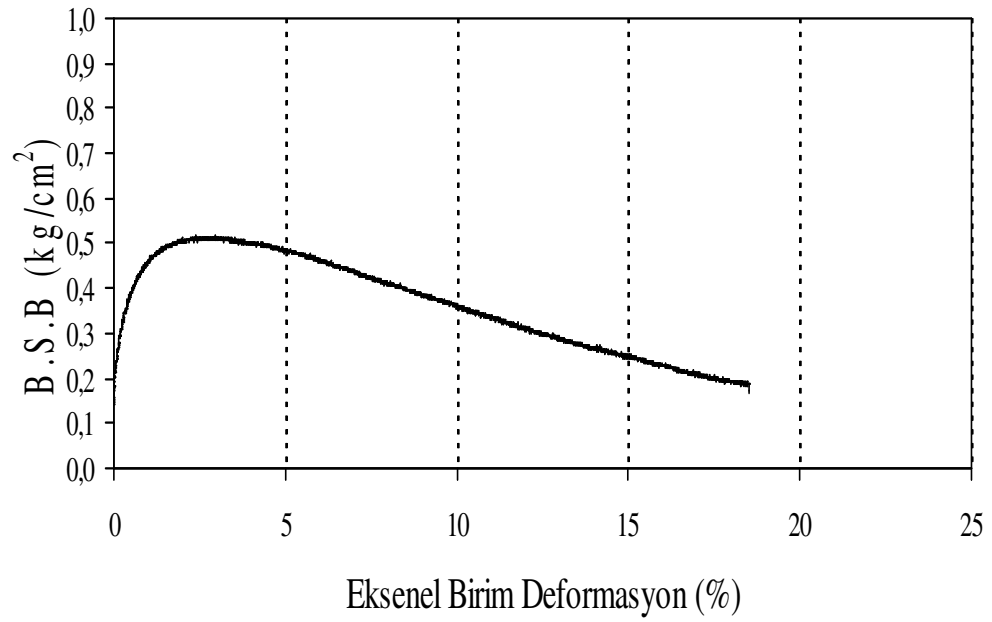
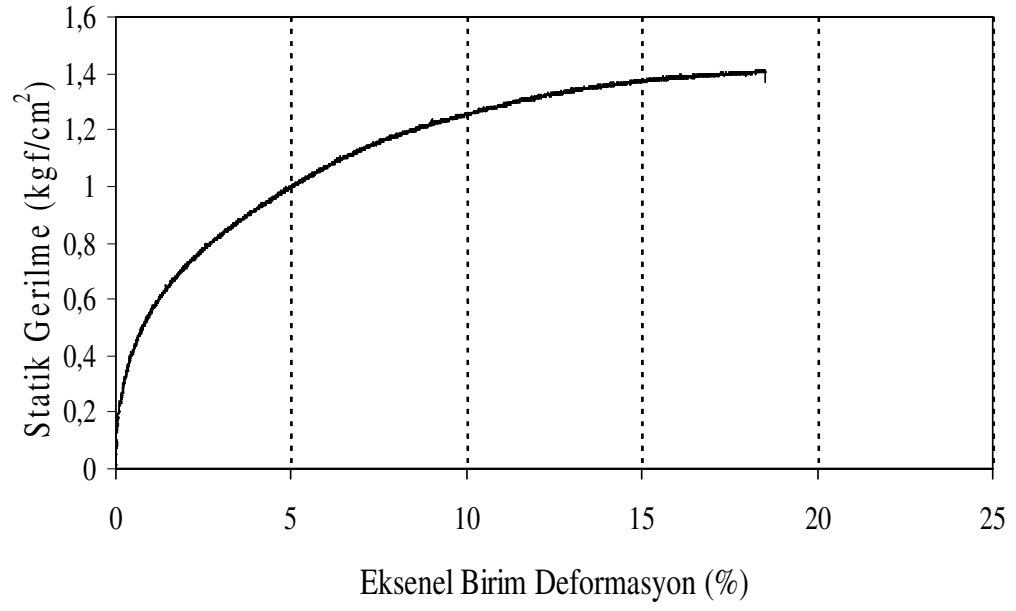
Şekil B.20 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 10, %50 Kür Oranı, Statik)



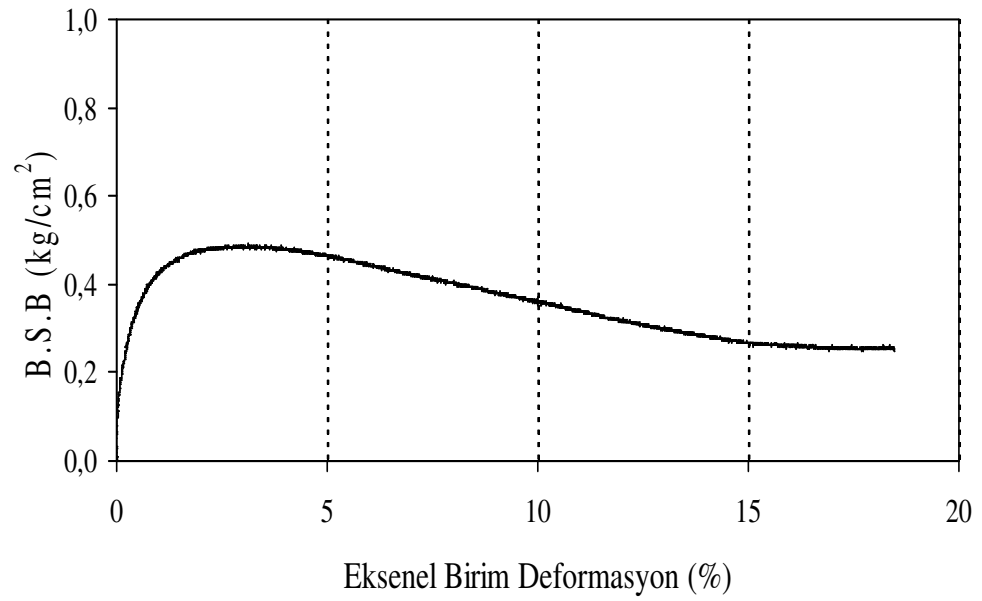
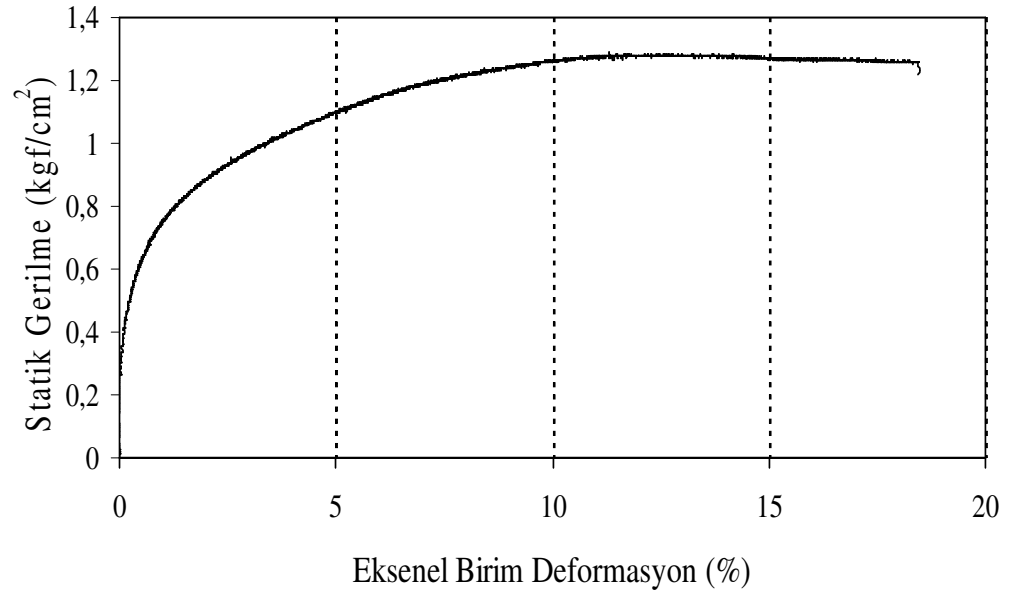
Şekil B.21 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 11, %100 Kür Oranı, Statik)



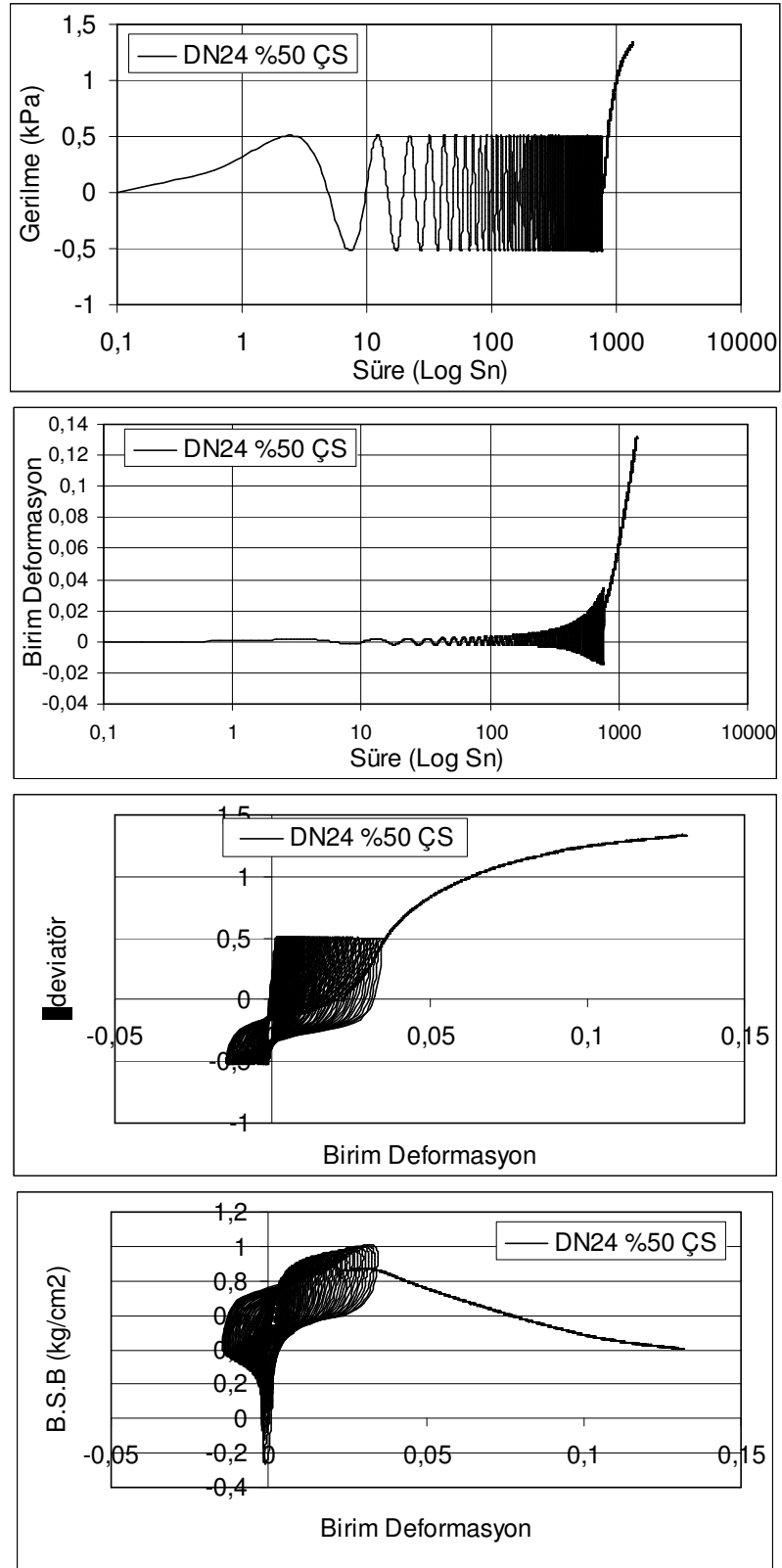
Şekil B.22 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 12, %20 Kür Oranı, Statik)



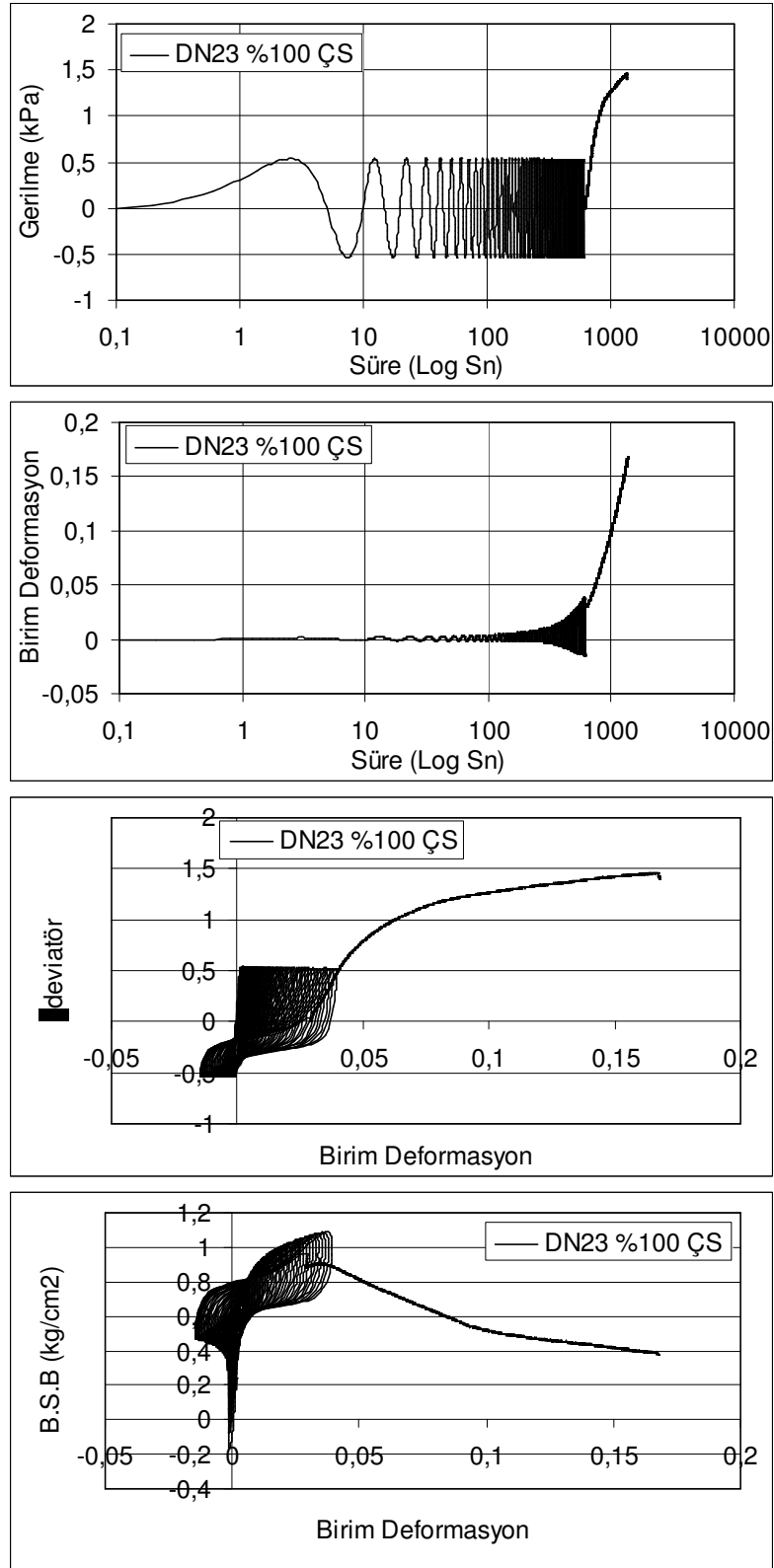
Şekil B.23 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 13, %5 Kür Oranı, Statik)



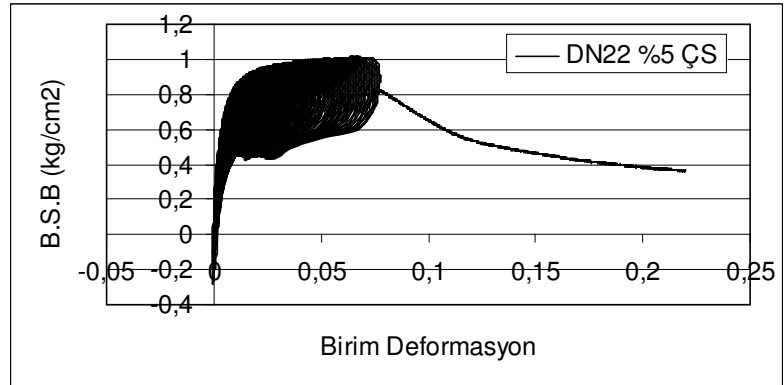
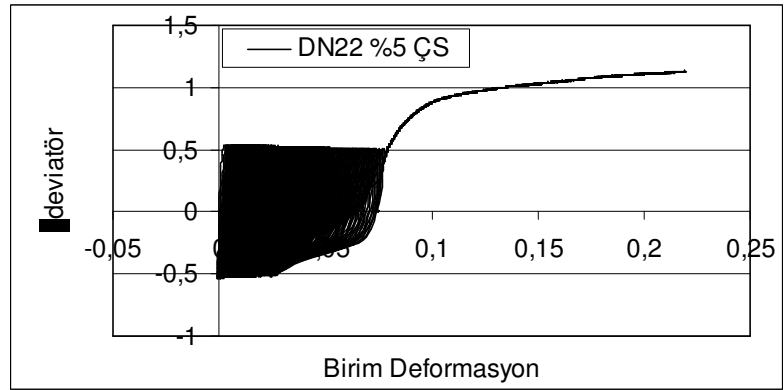
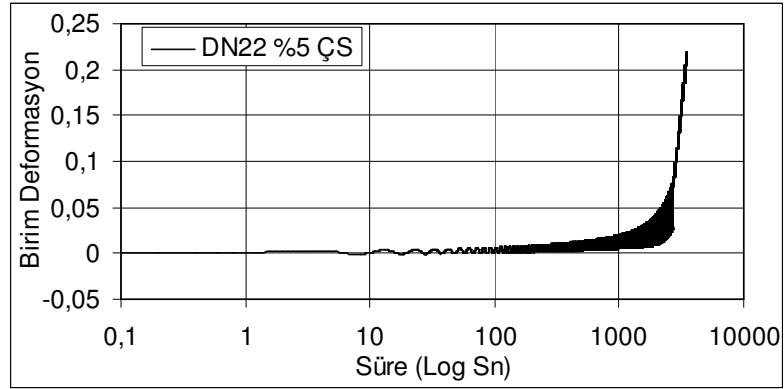
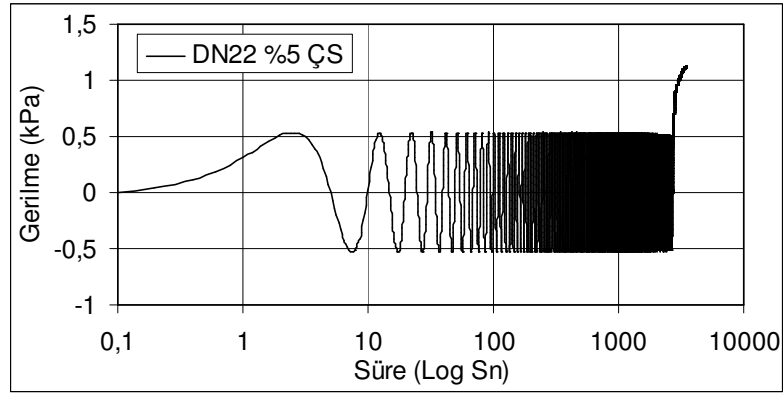
Şekil B.24 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 14, %0 Kür Oranı, Statik)



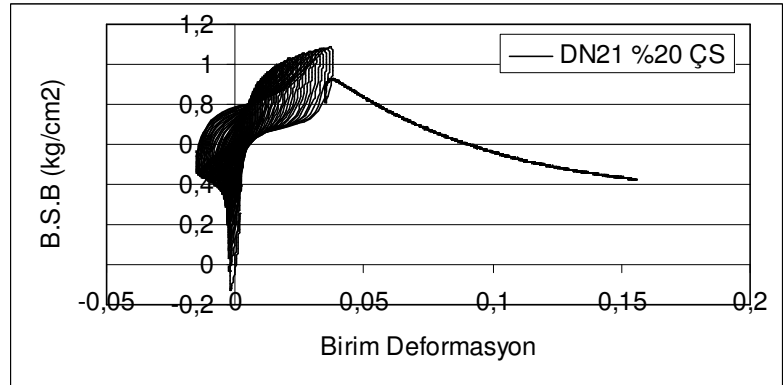
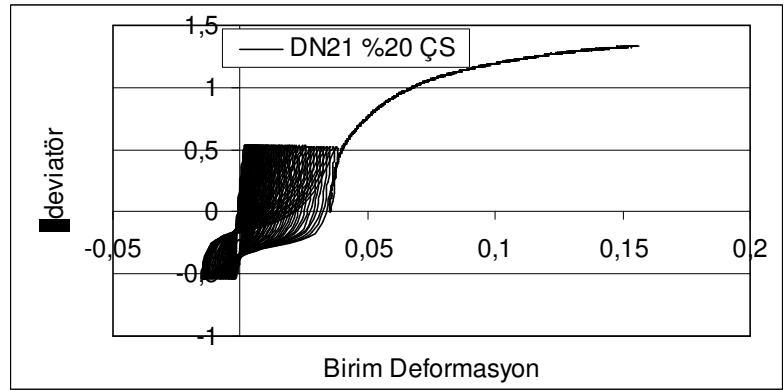
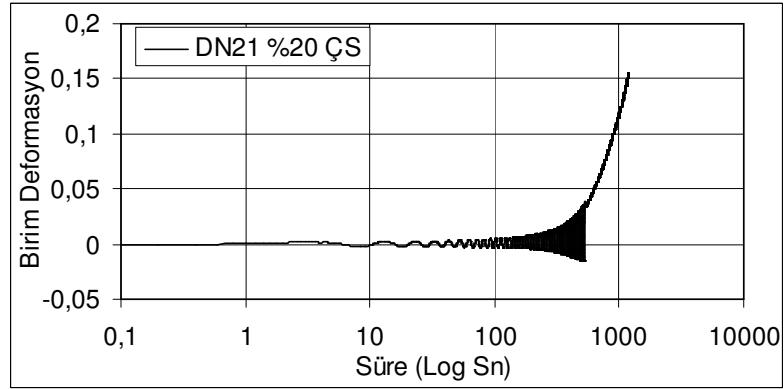
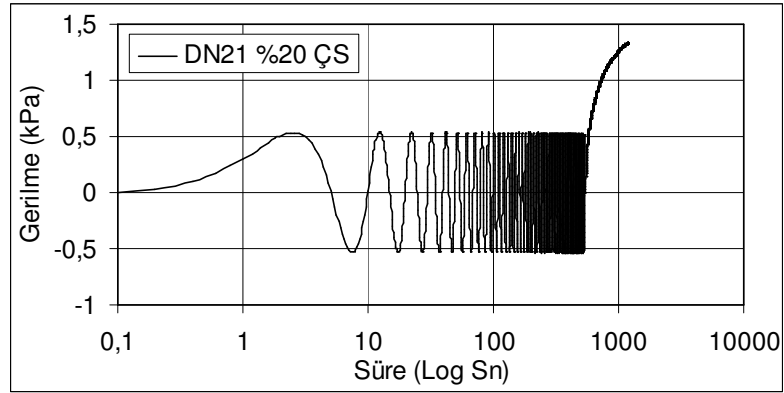
Şekil B.25 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 24, %50 Kür Oranı, Statik+Dinamik)



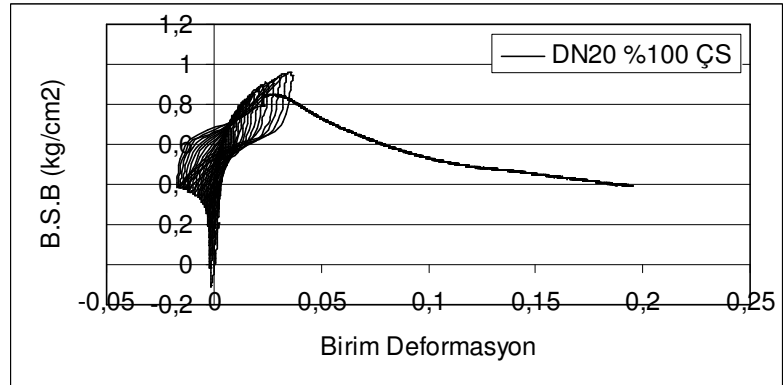
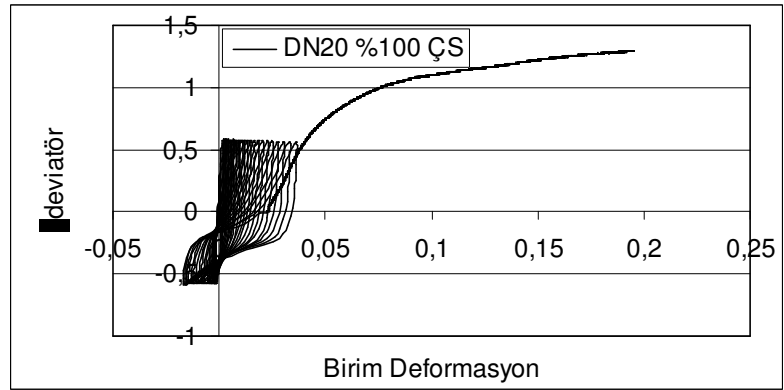
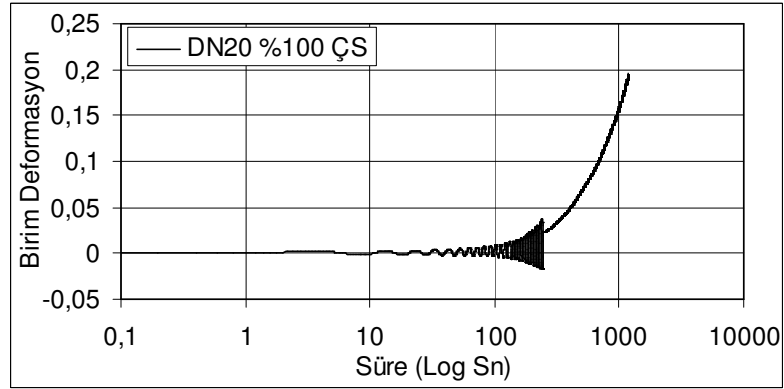
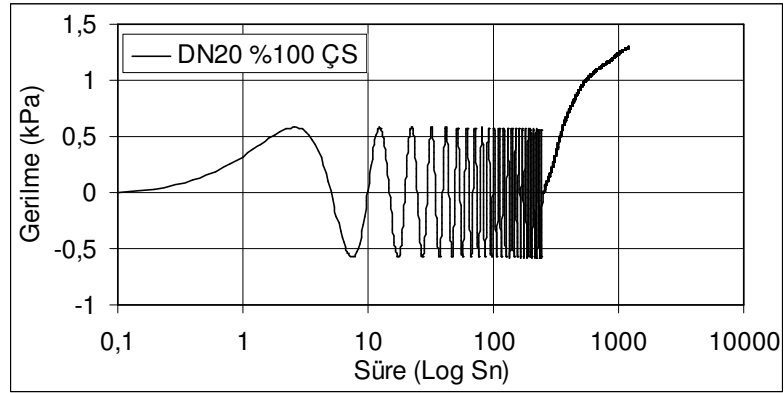
Şekil B.26 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 23, %100 Kür Oranı, Statik+Dinamik)



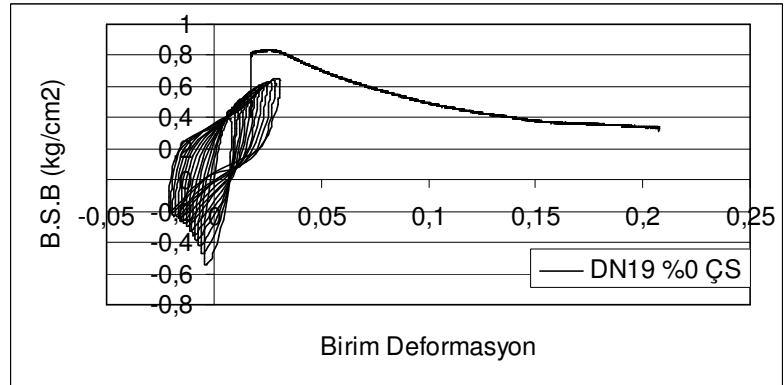
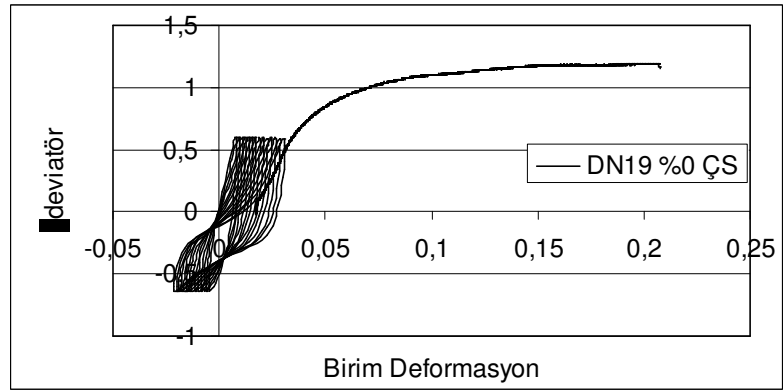
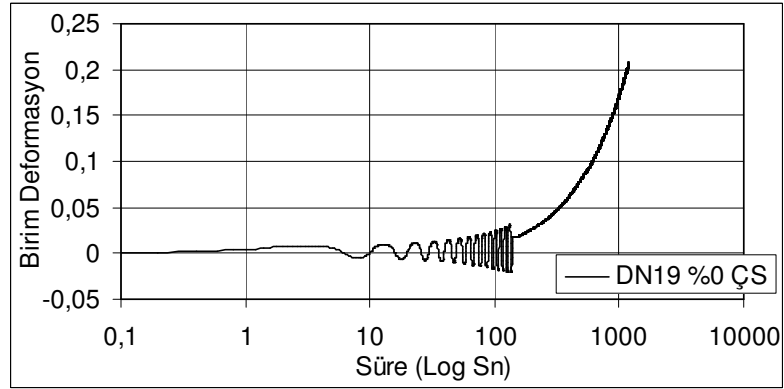
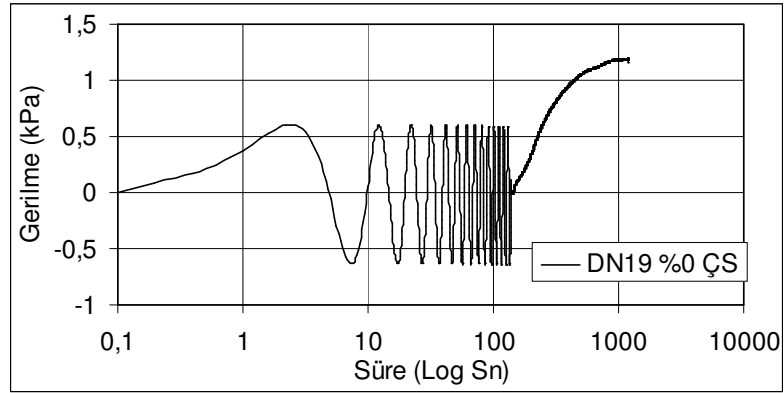
Şekil B.27 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 22, %5 Kür Oranı, Statik+Dinamik)



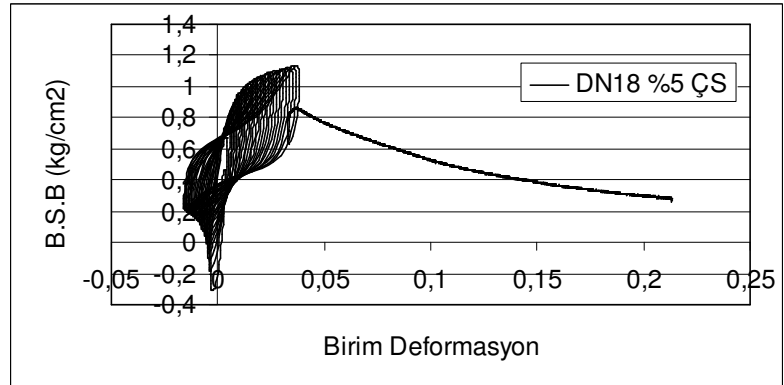
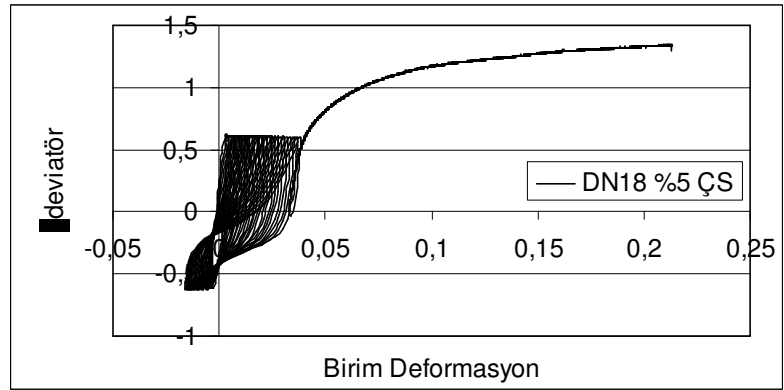
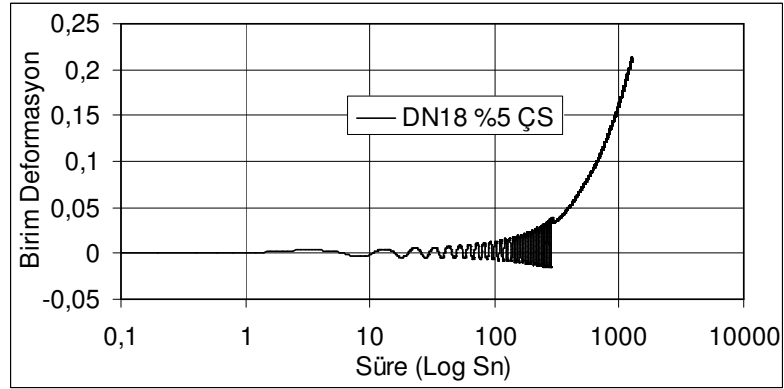
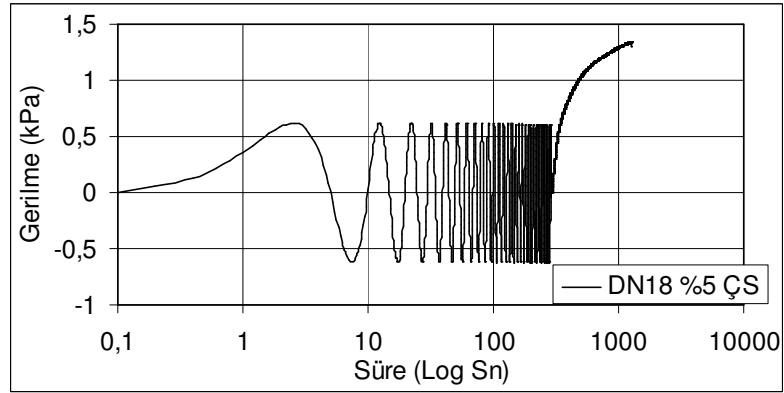
Şekil B.28 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 21, %20 Kür Oranı, Statik+Dinamik)



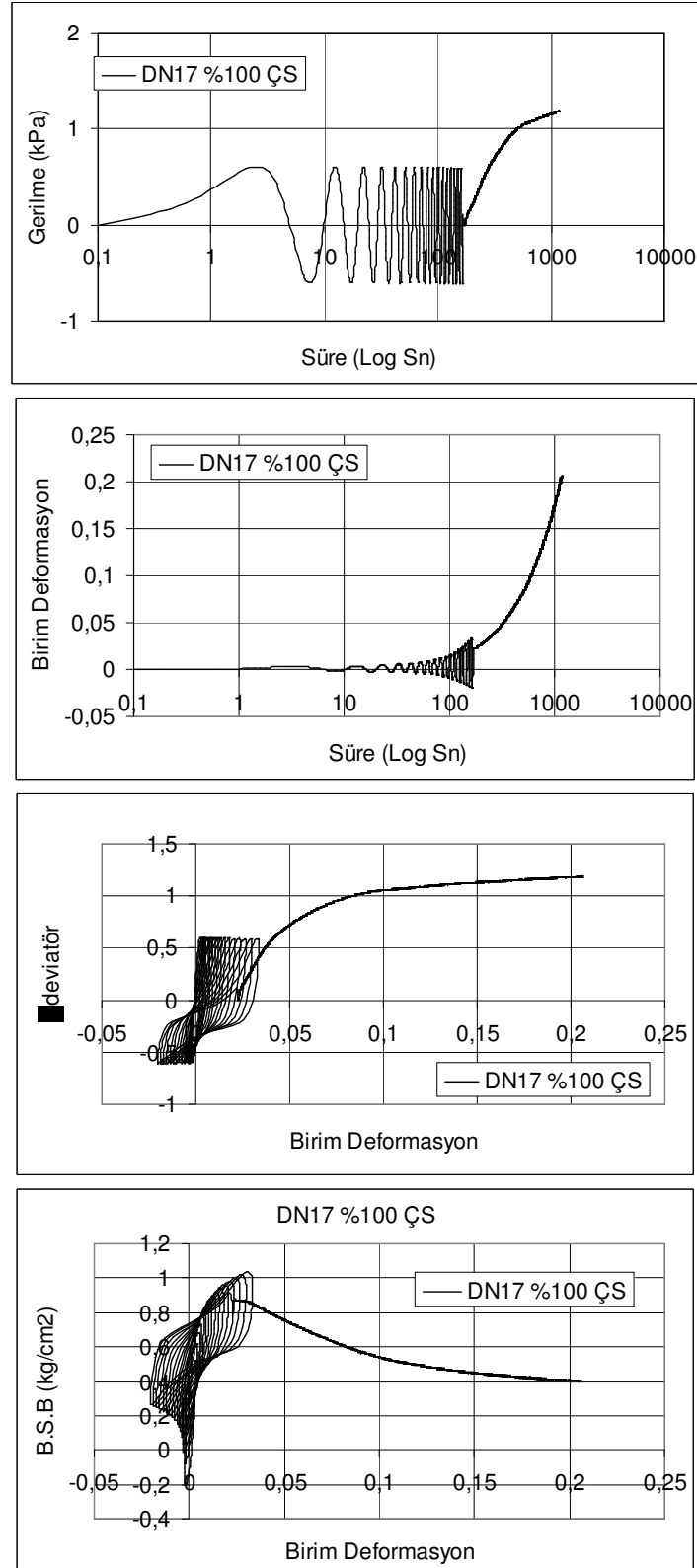
Şekil B.29 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 20, %100 Kür Oranı, Statik+Dinamik)



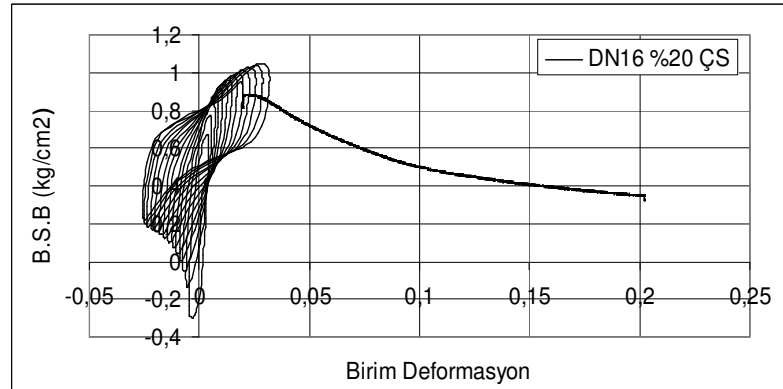
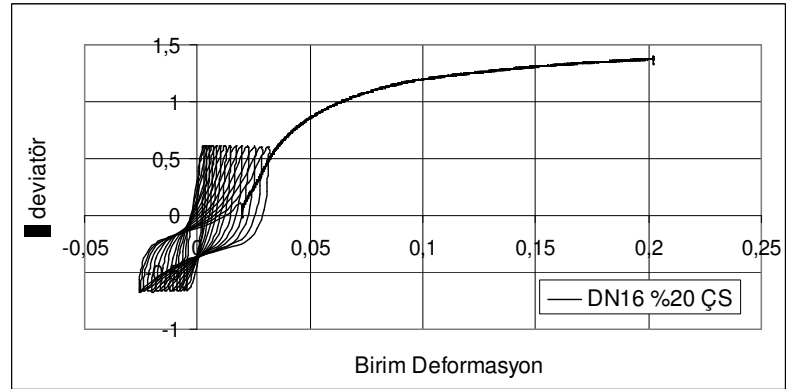
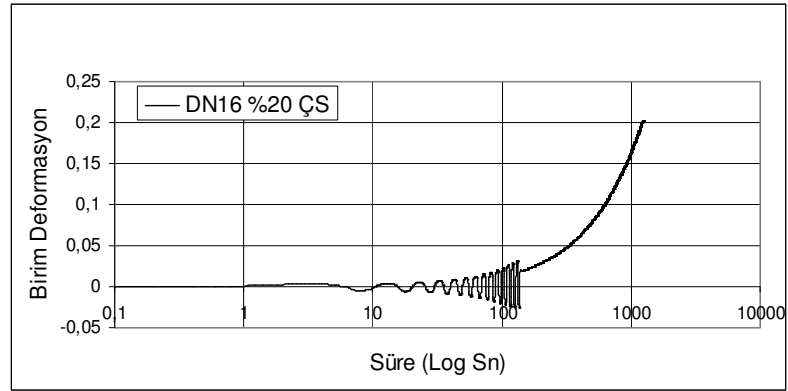
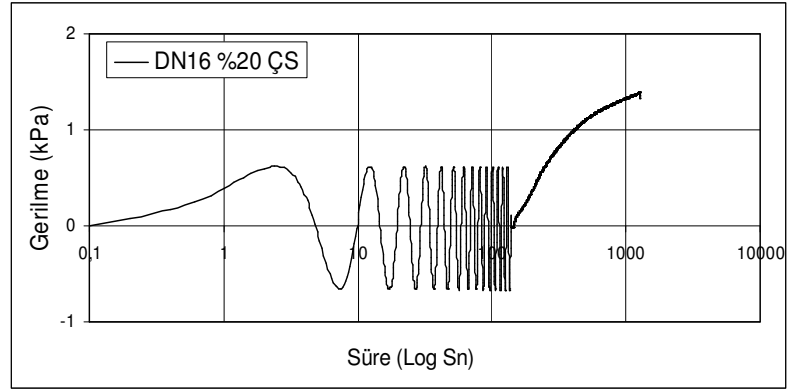
Şekil B.30 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 19, %0 Kür Oranı, Statik+Dinamik)



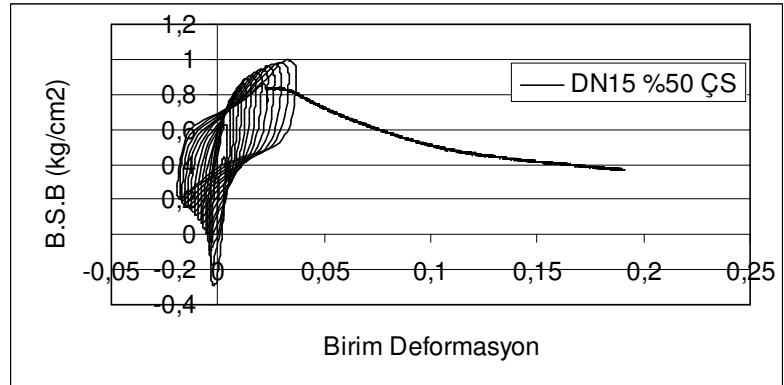
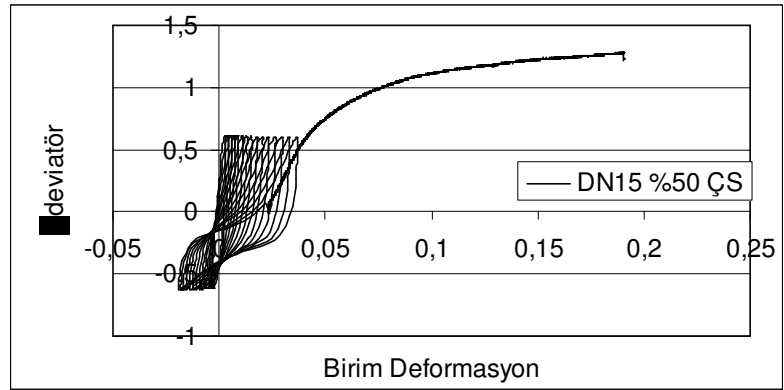
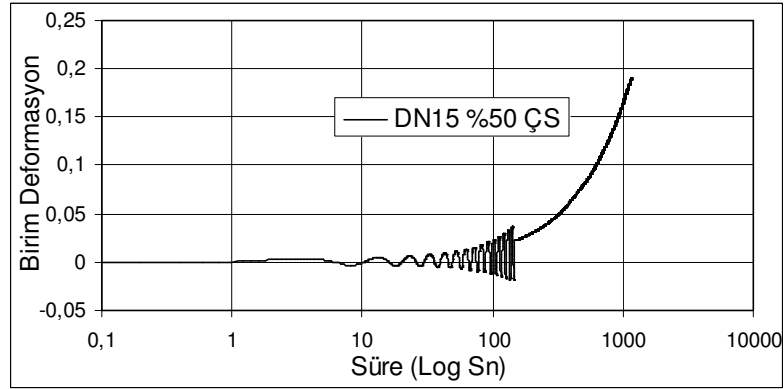
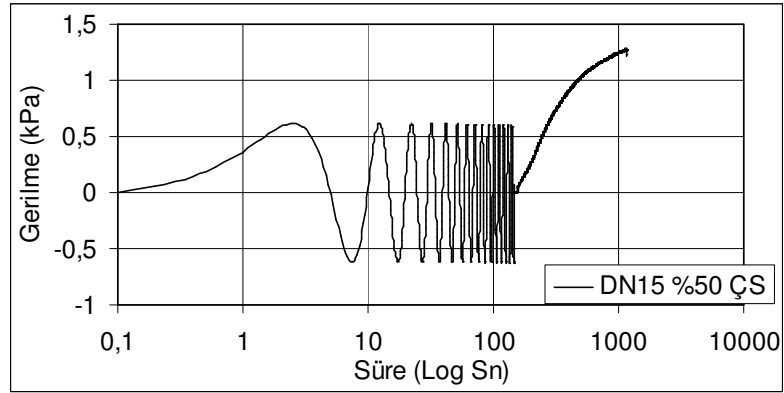
Şekil B.31 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 18, %5 Kür Oranı, Statik+Dinamik)



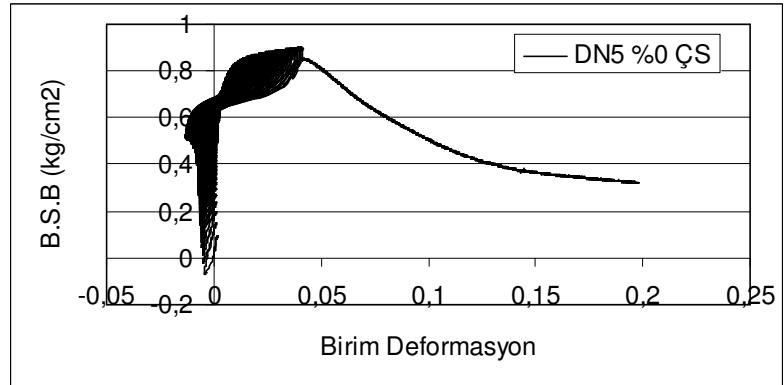
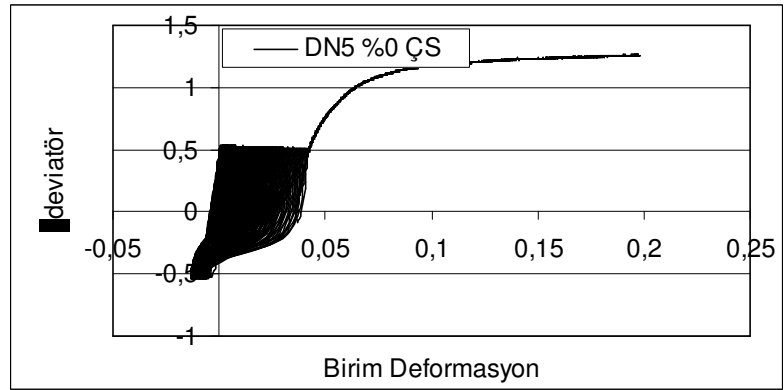
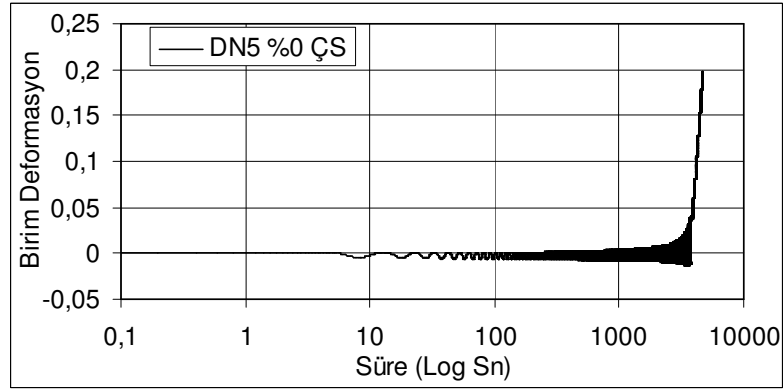
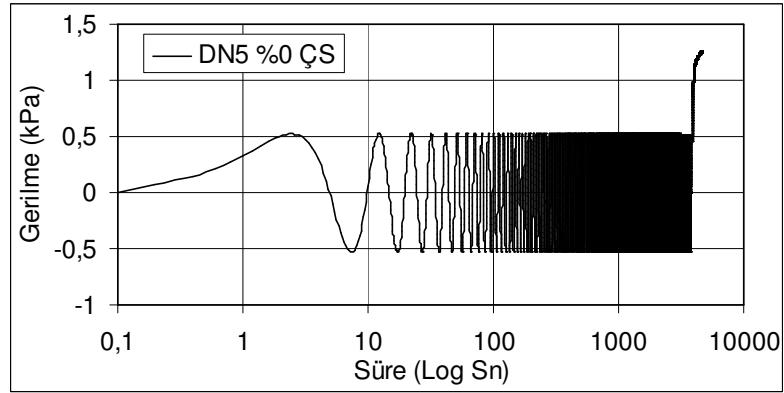
Şekil B.32 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 17, %100 Kür Oranı, Statik+Dinamik)



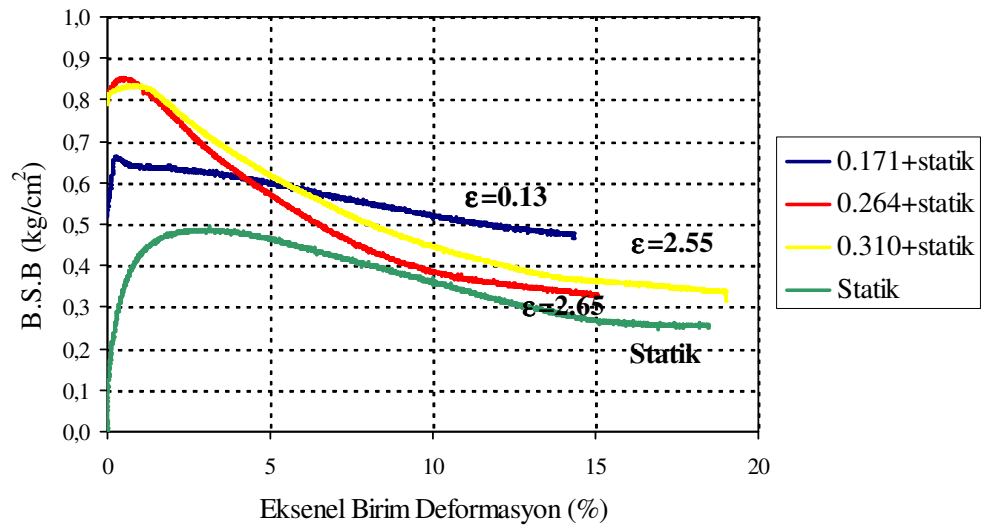
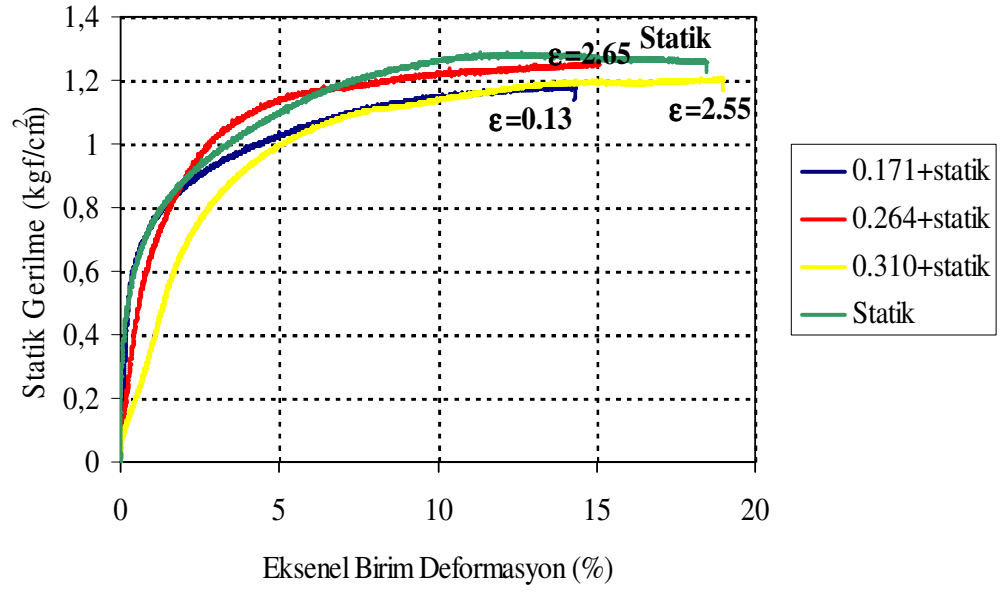
Şekil B.33 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 16, %20 Kür Oranı, Statik+Dinamik)



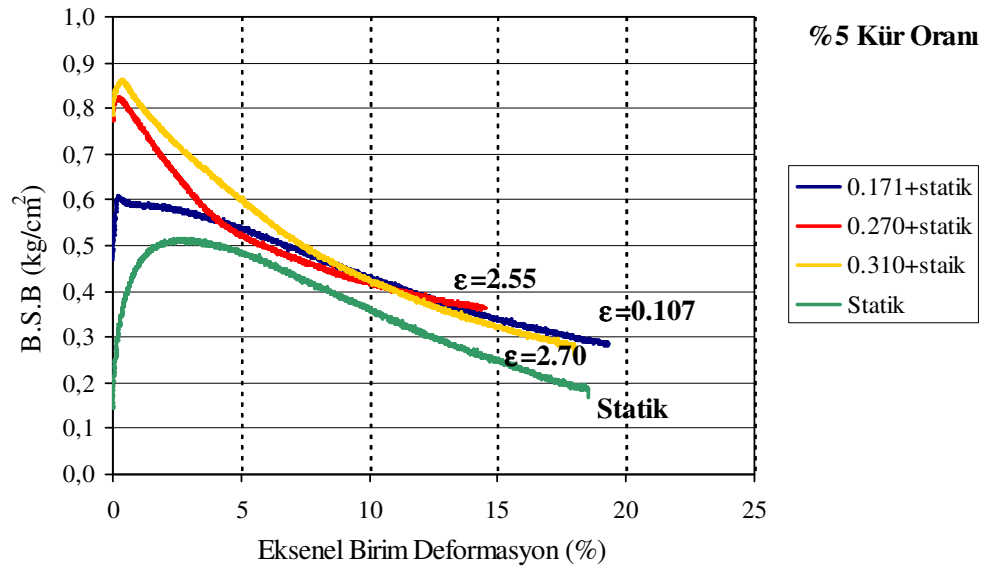
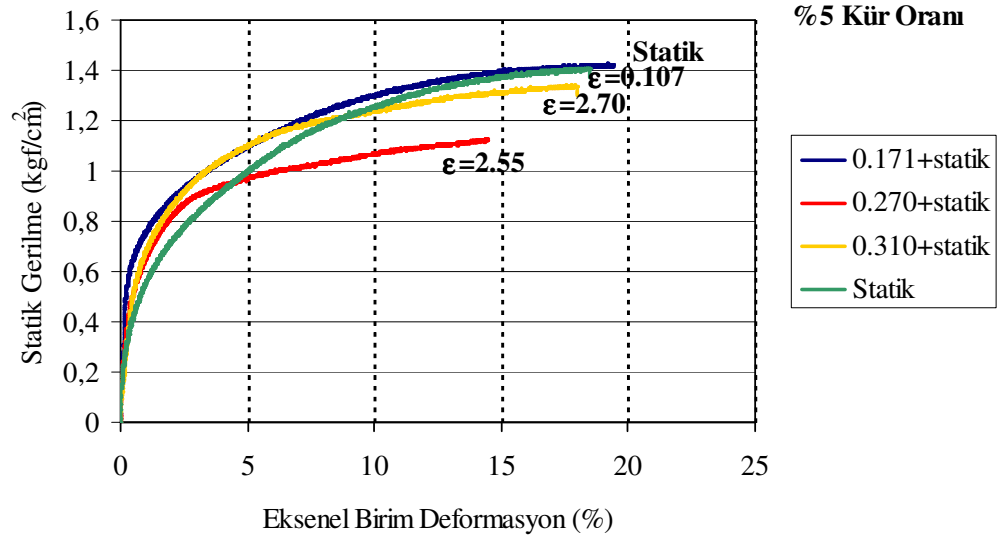
Şekil B.34 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 15, %50 Kür Oranı, Statik+Dinamik)



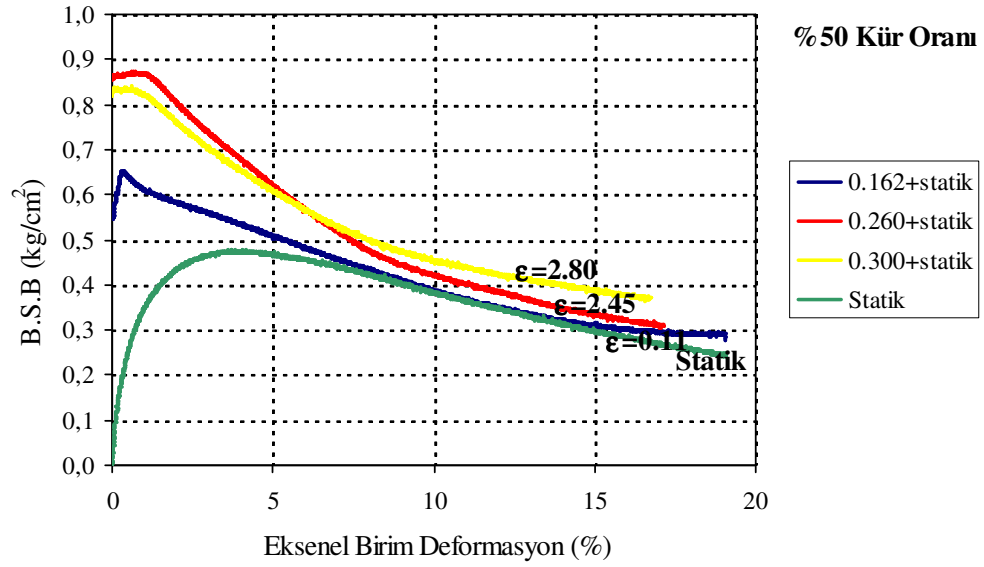
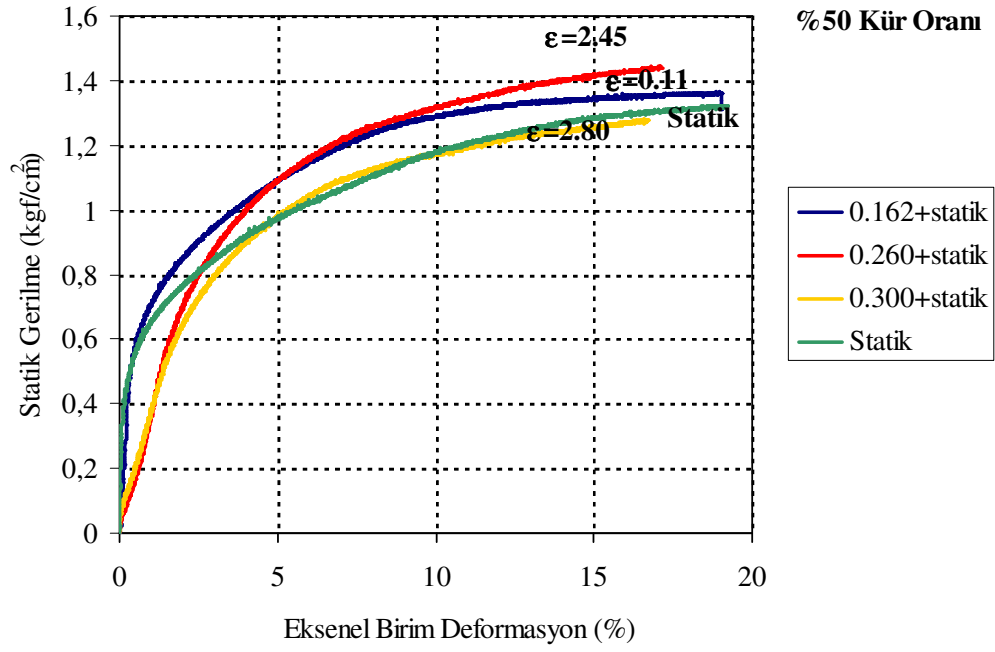
Şekil B.35 : Dinamik Üç Eksenli Deney Sonucu
(Deney No 5, %0 Kür Oranı, Statik+Dinamik)



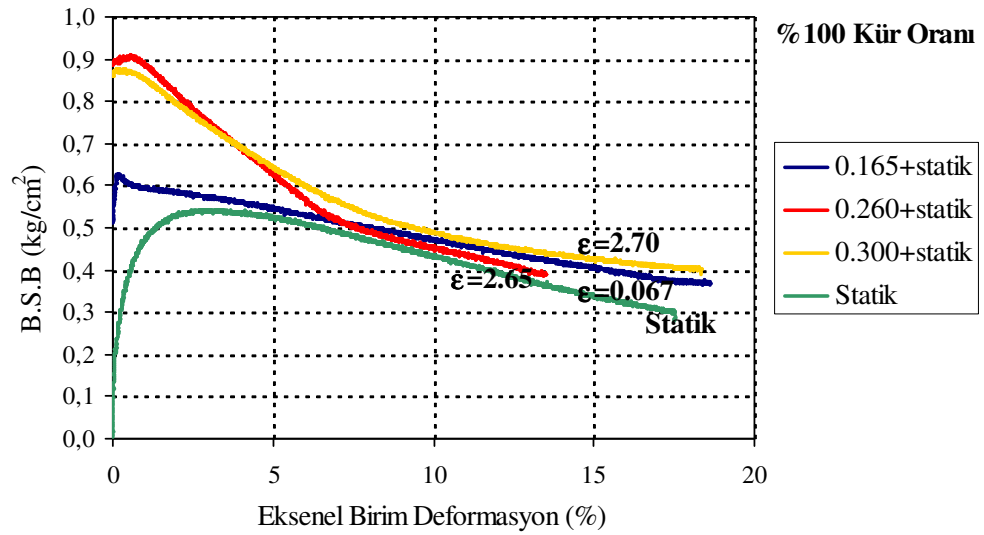
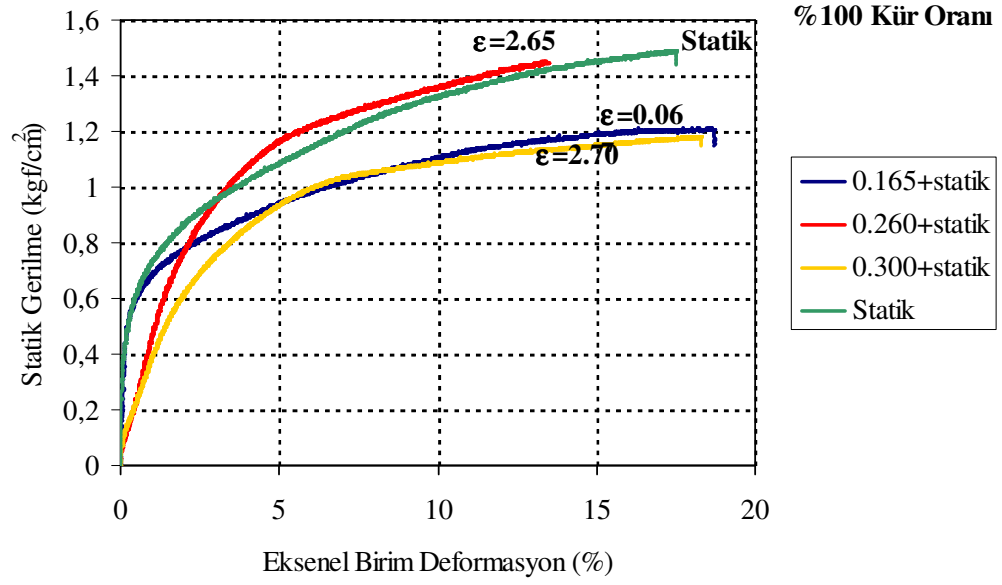
Şekil B.36 : Statik ve Dinamik Statik Sonrası (%0 Kür Oranı)



Şekil B.37 : Statik ve Dinamik Statik Sonrası (%5 Kür Oranı)



Şekil B.38 : Statik ve Dinamik Statik Sonrası (%50 Kür Oranı)



Şekil B.39 : Statik ve Dinamik Statik Sonrası (%100 Kür Oranı)

EK C ÜÇ EKSENLİ DİNAMİK DENEY FÖYÜ

DİNAMİK ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYLERİ														
Deneý No	Numune	Deneý Öncesi w _n (%)	Deneý Sonrası w _n (%)	$\pm\sigma_{0.05}/2\sigma'_{0.05}$	$\epsilon_{t-0.05}$	ϵ_a	Çevrim Sayısı	σ'_{resil} (kPa)	Emasidönüşmesi (MPa)	Dinamik Genlik	Kür Süresi	B(%)	Uygulanan Deneyler	
1	5% (Harici)	23,7	23	---	1,42	0,13	---	---	180	---	44	99	Emax-Degradation	
2	5% (Harici)	23,3	24	0,103	0,0172	0,44	56	---	220	40	45	32	Emax-Dinamik	
3	0%	28,7	24	0,129	0,035	0,49	32	---	190	50	150	77	Emax-Dinamik	
4	0%	28,7	24,2	0,171	0,13	0,5	1000	117*	180	63,5	150	97	Emax-Dinamik-Statik	
5	0%	27,9	24,4	0,264	2,65	0,79	379	122*	260	100	150	95	Emax-Dinamik-Statik	
6	50%	29	25,7	0,162	0,11	0,54	1000	129*	240	63,5	41	95	Emax-Dinamik-Statik	
7	20%	26,26	23,69	0,172	0,105	0,54	1000	128*	110	62	41	95	Emax-Dinamik-Statik	
8	100%	28,55	26,01	0,165	0,0675	0,51	1000	110*	110	61	18	95	Emax-Dinamik-Statik	
9	5%	27,08	23,02	0,175	0,107	0,61	1000	130*	85	61,5	55	98	Emax-Dinamik-Statik	
10	50%	27,82	25,67	---	---	---	---	118	100	---	45	95	Emax-Statik	
11	100%	28,62	25,03	---	---	---	---	132	105	---	23	96	Emax-Statik	
12	20%	26,08	22,97	---	---	---	---	140	110	---	47	98	Emax-Statik	
13	5%	27,73	23,94	---	---	---	---	126	130	---	57	99	Emax-Statik	
14	0%	28,7	24,63	---	---	---	---	126	110	---	150	97	Emax-Statik	
15	50%	28,77	25,49	0,3	2,8	0,82	15	118*	110	114	49	98	Emax-Dinamik-Statik	
16	20%	26,97	20,97	0,32	2,9	0,84	12	126*	225	116	49	97	Emax-Dinamik-Statik	
17	100%	28,4	25,16	0,3	2,7	0,83	16	108*	310	112	26	95	Emax-Dinamik-Statik	
18	5%	27,96	24,17	0,31	2,7	0,75	27	124*	320	116	59	98	Emax-Dinamik-Statik	
19	0%	29,38	23,91	0,31	2,55	0,77	15	114*	260	119	150	99	Emax-Dinamik-Statik	
20	100%	28,92	25,1	0,29	2,7	0,82	25	116*	250	103,5	28	96	Emax-Dinamik-Statik	
21	20%	26,84	23,69	0,27	2,65	0,86	54	130*	250	100	52	97	Emax-Dinamik-Statik	
22	5%	27,54	24,05	0,27	2,55	0,77	273	108*	240	100	61	99	Emax-Dinamik-Statik	
23	100%	28,84	24,46	0,26	2,65	0,88	62	136*	270	100	29	95	Emax-Dinamik-Statik	
24	50%	29,15	24,96	0,26	2,45	0,83	79	132*	276	100	53	99	Emax-Dinamik-Statik	

xx100kPa Elastik deformasyon ile 24 saat kon solidasyonu birakilmis numuneler

*Dinamik sonucasi Statik

*Dinamik sonması Statik

**100k Pa Elektrif genilme ile 24 saat konsolidasyona bırakılmış numuneler

ÖZGEÇMİŞ

01.01.1984 tarihinde Gaziantep’te doğdu. Orta öğrenim ve liseyi Gaziantep Anadolu Lisesinde okuyarak, 2001 yılında mezun oldu. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi , Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünü kazanarak 2005 yılında iyi derece ile mezun oldu. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde bir yıl İngilizce hazırlık eğitimi aldıktan sonra, 2006 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen bu bölümde öğrenimini sürdürmektedir.