

**DÜŞÜK PLASTİSİTELİ ZEMİNLERİN DAVRANIŞLARI  
ÜZERİNDE ÇÖP SUYUNUN ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnşaat Müh. Aslı TAŞKÖY**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Ağustos 2006  
Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Temmuz 2006**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Ayfer ERKEN  
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mete İNCECİK  
Doç.Dr. Kadir ALP**

**TEMMUZ 2006**

## ÖNSÖZ

Çalışmam esnasında yardımlarını gördüğüm kişilere kalıcı olması açısından bir sayfa ayırarak teşekkür etmek istiyorum.

Bu tez konusunu bana öneren ve çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen sevgili hocam Sayın Doç. Dr. Ayfer ERKEN' e, bugünlere gelmem de emek gösteren ve her zaman bana destek olan İTÜ Jeofizik Mühendisliği öğretim üyesi değerli hocam Sayın Prof. Dr. Haluk EYİDOĞAN' a, çalışmam sırasında bilgi birikimleri ile bana yardımcı olan Araş. Gör. Zülküf KAYA' ya, değerli dostum Araş. Gör. Zehra Nil TAYLAN' a, Zemin Mekaniği laboratuvar çalışanlarına, arkadaşlarıma ve son olarak tüm yaşamım boyunca bana doğru yolu gösteren, desteklerini her zaman üzerimde hissettiğim fedakâr aileme, anneme, babama, ağabeyime ve ablama çok teşekkür ederim.

Temmuz, 2006

Aslı TAŞKÖY

## İÇİNDEKİLER

<b>KISALTMALAR</b>	<b>vi</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>viii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>viii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b>	<b>xiii</b>
<b>ÖZET</b>	<b>xiii</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>xivi</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
<b>2. ÇEŞİTLİ KİRLETİCİLERLE KİRLETİLMİŞ KİLLİ ZEMİNLERİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ</b>	<b>3</b>
2.1 Giriş	3
2.2 Zemin-Su Sistemlerini 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	13
2.3.4 Konsolidasyon davranışı	18
2.4 Çöp Suyu İle Kirletilmiş Zeminler	23
<b>3. DENEY ALETLERİ, DENEYLERİN UYGULANIŞI VE KULLANILAN ZEMİNLER</b>	<b>24</b>
3.1 Giriş	24
3.2 Deneylede Kullanılan Zeminler	24
3.3 Çöp Sızıntı Suyunun Özellikleri	26
3.4 Numune Hazırlanması	27
3.5 Atterberg Limitleri	29
3.5.1 Likit limit deneyi	29
3.5.2 Plastik limit deneyi	31
3.6 Kesme Kutusu Deneyi	32
3.6.1 Kesme kutusu deney aleti	32
3.6.2 Optimum su muhtevasında numune hazırlanması	34
3.6.3 Suya doymun halde numune hazırlanması	35
3.6.4 Deneyin yapılışı	35
3.7 Ödometre Deneyi	36
3.7.1 Ödometre aleti	36
3.7.2 Optimum su muhtevasında numune hazırlanması	37
3.7.3 Suya doymun halde numune hazırlanması	38

3.7.4	Deneyin yapılışı	38
<b>4.</b>	<b>DENEY SONUÇLARI</b>	<b>40</b>
4.1	Giriş	40
4.2	Kür Oranının Zeminin Endeks Özellikleri Üzerine Etkisi ( $t=0$ )	41
4.3	Kür Süresinin Zeminin Endeks Özellikleri Üzerine Etkisi	49
4.4	Statik Yükler Altında Zeminlerin Gerilme-Şekil Değişirme Davranışı ve Kayma Mukavemeti	67
4.4.1	Suya doymun olmayan numunelerde gerilme-şekil değişirme davranışı üzerinde kür oranının etkisi	67
4.4.2	Suya doymun olmayan numunelerde gerilme-şekil değişirme davranışı üzerinde kür süresinin etkisi	75
4.4.3	Suya doymun olmayan numunelerde kayma mukavemeti üzerinde kür oranının etkisi	92
4.4.4	Suya doymun olmayan numunelerde kayma mukavemeti üzerinde kür süresinin etkisi	95
4.4.5	Suya doymun olan numunelerde gerilme-şekil değişirme davranışı üzerinde kür oranının etkisi	98
4.4.6	Suya doymun olan numunelerde kayma mukavemeti üzerinde kür oranının etkisi	101
4.5	Suya Doymun Olmayan Numunelerde Ödometre Deney Sonuçları	104
4.5.1	Suya doymun olmayan numunelerde hacim değişirme davranışı üzerinde kür oranı ve kür süresinin etkisi	104
4.5.2	Suya doymun olmayan numunelerde ön konsolidasyon basıncı üzerinde kür oranı ve kür süresinin etkisi	107
4.5.3	Suya doymun olmayan numunelerde permeabilite katsayısı üzerinde kür oranı ve kür süresinin etkisi	109
4.5.4	Suya doymun olmayan numunelerde konsolidasyon katsayısı üzerinde kür oranı ve kür süresinin etkisi	113
4.5.5	Suya Doymun olan numunelerde ödometre deney sonuçları	116
4.5.6	Suya doymun olan numunelerde hacim değişirme davranışı üzerinde kür oranı ve kür süresinin etkisi	116
4.5.7	Suya doymun olan numunelerde ön konsolidasyon basıncı üzerinde kür oranı ve kür süresinin etkisi	117
4.5.8	Suya doymun olan numunelerde permeabilite katsayısı üzerinde kür oranı ve kür süresinin etkisi	118
4.5.9	Suya doymun olan numunelerde konsolidasyon katsayısı üzerinde kür oranı ve kür süresinin etkisi	120
4.6	Yüksek Plastisiteli Siltler İle Düşük Plastisiteli Zeminlerin Karşılaştırması	121
4.7	Sonuçlar	129

<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	<b>132</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>136</b>
<b>EK-A</b>	<b>139</b>
<b>EK-B</b>	<b>177</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>204</b>

## **KISALTMALAR**

<b>TKM</b>	: Toplam katı madde
<b>TUKM</b>	: Toplam uçucu katı madde
<b>TÇM</b>	: Toplam çözünmüş madde
<b>TUÇM</b>	: Toplam uçucu çözünmüş madde
<b>TAM</b>	: Toplam askıda madde
<b>TUAM</b>	: Toplam askıda uçucu madde
<b>KOİ</b>	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
<b>BOİ</b>	: Biyolojik oksijen ihtiyacı
<b>Çöz.KOİ</b>	: Çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı
<b>TP</b>	: Toplam fosfor
<b>TKN</b>	: Toplam kjeldahl azotu

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 2.1</b>	: Fosforik Asit Katkılı Killerin Kıvam Limitleri (Rao, 1982) .....	6
<b>Tablo 2.2</b>	: Fosfatın Zeminin $\phi$ ve c Değerleri Üzerine Etkisi (Rao, 1982) .....	10
<b>Tablo 2.3</b>	: Kireç ve Sülfürik Asit Zemininin Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi (Puppala ve Hanchanloet, 1999).....	11
<b>Tablo 2.4</b>	: Önkonsolidasyon Basıncının Kür Süresi İle Değişimi (Tao ve diğ, 2001) .....	23
<b>Tablo 3.1</b>	: Dene Numunlerinin Endeks Özellikleri ve Granülometri Dağılımı .....	25
<b>Tablo 3.2</b>	: K.Burgaz Çöp Sızıntı Suyu Bileşenlerine Ait Analiz Sonucu (Er, 2006) .....	26
<b>Tablo 4.1</b>	: Dene Numunelerinin Endeks Özellikleri.....	41
<b>Tablo 4.2</b>	: Kür Oranı ve Kür Süresinin Kıvam Limitleri Üzerine Etkisi (ML(1)) .....	50
<b>Tablo 4.3</b>	: Kür Oranı ve Kür Süresinin Kıvam Limitleri Üzerine Etkisi (CL(1)).....	54
<b>Tablo 4.4</b>	: Kür Oranı ve Kür Süresinin Kıvam Limitleri Üzerine Etkisi (ML(2)).....	58
<b>Tablo 4.5</b>	: Kür Oranı ve Kür Süresinin Kıvam Limitleri Üzerine Etkisi (CL(2)).....	62
<b>Tablo 4.6</b>	: Kesme Kutusu Deneyi $w$ - $\gamma_k$ Değerler .....	70
<b>Tablo 4.7</b>	: Suya Doygun Olan Numunelerde Kesme Kutusu Deneyi $w$ - $\gamma_k$ Değerleri.....	98
<b>Tablo 4.8</b>	: Ödometre Deneyi $w$ ve $\gamma_k$ Değerleri.....	104
<b>Tablo 4.9</b>	: Kür Oranı ve Kür Süresinin $P_{\text{şişme}}$ Üzerine Etkisi .....	105
<b>Tablo 4.10</b>	: Kür Oranı ve Kür Süresinin $P_c$ Üzerine Etkisi .....	109
<b>Tablo 4.11</b>	: Ödometre Dene Sonuçları.....	110
<b>Tablo 4.12</b>	: Suya Doygun Olan Numunelerde Ödometre Deneyi $w$ ve $\gamma_k$ Değerleri .....	116
<b>Tablo 4.13</b>	: Kür Oranı ve Kür Süresinin $P_c$ Üzerine Etkisi .....	117

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Dielektrik Sabitinin Likit Limite Etkisi (Sridharan ve Rao, 1975) .....	5
Şekil 2.2	: Fosfat Adsorbsiyonunun Kaolinit İçindeki Dane Çapı Dağılımına Etkisi (Rao, 1982).....	6
Şekil 2.3	: Kimyasal Atıkların Kıvam Limitleri Üzerine Etkisi (Brandl, 1992)....	7
Şekil 2.4	: Uçucu Külün Kıvam Limitleri Üzerine Etkisi (Erşan, 1996).....	8
Şekil 2.5	: Atterberg Limiti Üzerine Çimento İçeriğinin ve Kür Süresinin Etkisi (Chew ve diğ, 2004).....	9
Şekil 2.6	: Kireç ve Sülfürik Asittin $c$ Üzerine Etkisi (UU Deneyi) .....	12
Şekil 2.7	: Kireç ve Sülfürik Asittin $\phi$ Üzerine Etkisi (UU Deneyi).....	12
Şekil 2.8	: Boşluk Sıvısının Boşluk Oranı- Permeabilite Üzerine Etkisi .....	13
Şekil 2.9	: Küre Bırakılmamış Numunelerin Permeabilite Katsayısının Kireç ....	14
Şekil 2.10	: Kür Süresi ve Kireç İçeriği İle Permeabilite Katsayısının Değişimi ...	15
Şekil 2.11	: Permeabilitenin Kür Süresi İle Değişimi (Show ve diğ., 2003).....	16
Şekil 2.12	: Çöp Sızıntı Suyu İçindeki Askıda Madde Miktarının Permeabilite ....	17
Şekil 2.13	: Geçirimlik Katsayısının Katkı Oranına Göre Değişimi .....	18
Şekil 2.14	: Bentonit ve $Na^+$ Kaolinitte Sıkışabilirlik Eğrileri (Mitchell, 1976) ....	19
Şekil 2.15	: Farklı Boşluk Sıvılarında Tek Yönlü Konsolidasyon Eğrileri .....	20
Şekil 2.16	: Şişme Yüzdesi-Sönmüş Kireç Katkısı İlişkisi.....	21
Şekil 2.17	: Konsolidasyon Basıncının Çimento Katkısı İle Değişimi .....	22
Şekil 3.1	: Plastisite Kartı.....	25
Şekil 3.2	: Granülometri Eğrisileri .....	27
Şekil 3.3	: $\gamma_k - w_{opt}$ Grafiği.....	28
Şekil 3.4	: Casagrande Aleti (Toğrol ve Özüdoğru, 1992) .....	30
Şekil 3.5	: Kesme Kutusu Deney Aleti.....	33
Şekil 3.6	: Kesme Kutusu Deneyi İçin Numune Hazırlanması.....	34
Şekil 3.7	: Ödometre Deney Aleti .....	36
Şekil 3.8	: Konsolidasyon Deney Numunesinin Hazırlanması .....	37
Şekil 4.1	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının Likit Limit Üzerine Etkisi (ML(1), t=0) .....	42
Şekil 4.2	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastik Limit Üzerine Etkisi (ML(1), t= 0) .....	43
Şekil 4.3	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastisite İndisi Üzerine Etkisi (ML(1), t=0) .....	43
Şekil 4.4	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının Likit Limit Üzerine Etkisi (CL(1), t=0) .....	44
Şekil 4.5	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastik Limit Üzerine Etkisi (CL(1), t=0) .....	44
Şekil 4.6	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastisite İndisi Üzerine Etkisi (CL(1), t=0) .....	45
Şekil 4.7	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının Likit Limit Üzerine Etkisi (ML(2), t=0) .....	46

<b>Şekil 4.8</b>	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastik Limit Üzerine Etkisi (ML(2), t=0) .....	46
<b>Şekil 4.9</b>	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastisite İndisi Üzerine Etkisi (ML(2), t=0) .....	47
<b>Şekil 4.10</b>	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının Likit Limit Üzerine Etkisi (CL(2), t=0) .....	48
<b>Şekil 4.11</b>	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastik Limit Üzerine Etkisi (CL(2), t=0) .....	48
<b>Şekil 4.12</b>	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastisite İndisi Üzerine Etkisi (CL(2), t=0) .....	49
<b>Şekil 4.13</b>	: Kür Süresinin Likit Limit Üzerine Etkisi (ML(1)) .....	51
<b>Şekil 4.14</b>	: Kür Süresinin Plastik Limit Üzerine Etkisi (ML(1)) .....	52
<b>Şekil 4.15</b>	: Kür Süresinin Plastisite İndisi Üzerine Etkisi (ML(1)) .....	53
<b>Şekil 4.16</b>	: Kür Süresinin Likit Limit Üzerine Etkisi (CL(1)) .....	55
<b>Şekil 4.17</b>	: Kür Süresinin Plastik Limit Üzerine Etkisi (CL(1)) .....	56
<b>Şekil 4.18</b>	: Kür Süresinin Plastisite İndisi Üzerine Etkisi (CL(1)) .....	57
<b>Şekil 4.19</b>	: Kür Süresinin Likit Limit Üzerine Etkisi (ML(2)) .....	59
<b>Şekil 4.20</b>	: Kür Süresinin Plastik Limit Üzerine Etkisi (ML(2)) .....	60
<b>Şekil 4.21</b>	: Kür Süresinin Plastisite İndisi Üzerine Etkisi (ML(2)) .....	61
<b>Şekil 4.22</b>	: Kür Süresinin Likit Limit Üzerine Etkisi (CL(2)) .....	63
<b>Şekil 4.23</b>	: Kür Süresinin Plastik Limit Üzerine Etkisi (CL(2)) .....	64
<b>Şekil 4.24</b>	: Kür Süresinin Plastisite İndisi Üzerine Etkisi (CL(2)) .....	65
<b>Şekil 4.25</b>	: Likit Limit Artış Yüzdesi .....	66
<b>Şekil 4.26</b>	: Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman Eğrisi (Temiz Zemin) .....	68
<b>Şekil 4.27</b>	: Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman Eğrisi ( $\sigma = 100$ kPa, t= 0) .....	69
<b>Şekil 4.28</b>	: Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman Eğrisi ( $\sigma = 200$ kPa, t= 0) .....	71
<b>Şekil 4.29</b>	: Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman Eğrisi ( $\sigma = 300$ kPa, t= 0) .....	72
<b>Şekil 4.30</b>	: Kür Oranın $\tau_{maks}$ Üzerine Etkisi (t= 0) .....	73
<b>Şekil 4.31</b>	: Kür Oranın $\tau$ Üzerine Etkisi ( $\gamma$ : % 17, t= 0) .....	74
<b>Şekil 4.32</b>	: Kür Oranın $\tau_{maks}$ Üzerine Etkisi ( $\sigma = 100$ kPa) .....	74
<b>Şekil 4.33</b>	: Kür Oranın $\tau_{maks}$ Üzerine Etkisi ( $\sigma = 200$ kPa) .....	75
<b>Şekil 4.34</b>	: Kür Oranın $\tau_{maks}$ Üzerine Etkisi ( $\sigma = 300$ kPa) .....	75
<b>Şekil 4.35</b>	: $\tau$ - $\Delta L$ (Çöp S: % 5, $\sigma = 100$ kPa) .....	76
<b>Şekil 4.36</b>	: $\tau$ - $\Delta L$ (Çöp S: % 5, $\sigma = 200$ kPa) .....	77
<b>Şekil 4.37</b>	: $\tau$ - $\Delta L$ (Çöp S: % 5, $\sigma = 300$ kPa) .....	77
<b>Şekil 4.38</b>	: Kür Süresinin $\tau_{maks}$ Üzerine Etkisi (Çöp S: % 5) .....	78
<b>Şekil 4.39</b>	: Kür Süresinin $\tau$ Üzerine Etkisi ( $\gamma$ : % 17, Çöp S: % 5) .....	79
<b>Şekil 4.40</b>	: $\tau$ - $\Delta L$ (Çöp S: % 20, $\sigma = 100$ kPa) .....	80
<b>Şekil 4.41</b>	: $\tau$ - $\Delta L$ (Çöp S: % 20, $\sigma = 200$ kPa) .....	81
<b>Şekil 4.42</b>	: $\tau$ - $\Delta L$ (Çöp S: % 20, $\sigma = 300$ kPa) .....	81
<b>Şekil 4.43</b>	: Kür Süresinin $\tau_{maks}$ Üzerine Etkisi (Çöp S: % 20) .....	82
<b>Şekil 4.44</b>	: Kür Süresinin $\tau$ Üzerine Etkisi ( $\gamma$ : % 17, Çöp S: % 20) .....	83
<b>Şekil 4.45</b>	: $\tau$ - $\Delta L$ (Çöp S: % 50, $\sigma = 100$ kPa) .....	84
<b>Şekil 4.46</b>	: $\tau$ - $\Delta L$ (Çöp S: % 50, $\sigma = 200$ kPa) .....	85

<b>Şekil 4.47</b>	: $\tau$ - $\Delta L$ (Çöp S: % 50, $\sigma = 300$ kPa).....	85
<b>Şekil 4.48</b>	: Kür Süresinin $\tau_{maks}$ Üzerine Etkisi (Çöp S: % 50).....	86
<b>Şekil 4.49</b>	: Kür Süresinin $\tau$ Üzerine Etkisi ( $\gamma$ : % 17, Çöp S: % 50).....	87
<b>Şekil 4.50</b>	: $\tau$ - $\Delta L$ (Çöp S: % 100, $\sigma = 100$ kPa).....	88
<b>Şekil 4.51</b>	: $\tau$ - $\Delta L$ (Çöp S: % 100, $\sigma = 200$ kPa).....	89
<b>Şekil 4.52</b>	: $\tau$ - $\Delta L$ (Çöp S: % 100, $\sigma = 300$ kPa).....	89
<b>Şekil 4.53</b>	: Kür Süresinin $\tau_{maks}$ Üzerine Etkisi (Çöp S: %100).....	90
<b>Şekil 4.54</b>	: Kür Süresinin $\tau$ Üzerine Etkisi ( $\gamma$ : % 17, Çöp S: % 100).....	91
<b>Şekil 4.55</b>	: Kırılma Zarfı ( $t=0$ ).....	93
<b>Şekil 4.56</b>	: Çöp sızıntı suyu Oranın $\phi$ Üzerine Etkisi ( $t=0$ ).....	94
<b>Şekil 4.57</b>	: Çöp sızıntı suyu Oranın $c$ Üzerine Etkisi ( $t=0$ ).....	94
<b>Şekil 4.58</b>	: Kırılma Zarfı (Çöp S: % 5).....	95
<b>Şekil 4.59</b>	: Kür Süresinin $\phi$ Üzerine Etkisi.....	96
<b>Şekil 4.60</b>	: Kür Süresinin $c$ Üzerine Etkisi.....	96
<b>Şekil 4.61</b>	: Kür Süresinin $\phi$ Üzerine Etkisi ( Çöp S: % 5).....	97
<b>Şekil 4.62</b>	: Kür Süresinin $c$ Üzerine Etkisi ( Çöp S: % 5).....	97
<b>Şekil 4.63</b>	: Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman Eğrisi ( $\sigma = 100$ kPa, $t = 7$ , S.D.).....	99
<b>Şekil 4.64</b>	: Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman Eğrisi ( $\sigma = 200$ kPa, $t = 7$ , S.D.).....	99
<b>Şekil 4.65</b>	: Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman Eğrisi ( $\sigma = 300$ kPa, $t = 7$ , S.D.).....	100
<b>Şekil 4.66</b>	: Kür Oranın $\tau_{maks}$ Üzerine Etkisi ( $t = 7$ , S.D.).....	101
<b>Şekil 4.67</b>	: Kür Oranın $\tau$ Üzerine Etkisi ( $\gamma$ : % 17, $t = 7$ , S.D.).....	101
<b>Şekil 4.68</b>	: Kırılma Zarfı ( $t=7$ , S.D.).....	102
<b>Şekil 4.69</b>	: Çöp sızıntı suyu Oranın $\phi$ Üzerine Etkisi ( $t=7$ ).....	103
<b>Şekil 4.70</b>	: Çöp sızıntı suyu Oranın $c$ Üzerine Etkisi ( $t=7$ ).....	103
<b>Şekil 4.71</b>	: Kür Oranı ve Kür Süresi İle $P_{şişme}$ Değerindeki Değişim.....	106
<b>Şekil 4.72</b>	: $e$ -log P ( $t = 0$ ).....	106
<b>Şekil 4.73</b>	: $e$ -log P ( $t = 30$ gün).....	107
<b>Şekil 4.74</b>	: $e$ -log P ( $t = 90$ gün).....	107
<b>Şekil 4.75</b>	: Ön Konsolidasyon Basıncının Ödometre Eğrisinden Bulunması.....	108
<b>Şekil 4.76</b>	: Kür Oranı ve Kür Süresi İle $P_c$ Değerindeki Değişim.....	109
<b>Şekil 4.77</b>	: Konsolidasyon Basıncı İle Permeabilite Katsayısındaki Değişim ....	111
<b>Şekil 4.78</b>	: Kür Oranı ve Kür Süresinin Permeabilite Katsayısı Üzerine Etkisi..	112
<b>Şekil 4.79</b>	: Konsolidasyon Basıncı İle Konsolidasyon Katsayısındaki Değişim.	114
<b>Şekil 4.80</b>	: Kür Oranı ve Kür Süresinin Konsolidasyon Katsayısı Üzerine Etkisi.....	115
<b>Şekil 4.81</b>	: $e$ -log P ( $t = 0$ ).....	117
<b>Şekil 4.82</b>	: Kür Oranı ve Kür Süresi İle $P_c$ Değerindeki Değişim.....	118
<b>Şekil 4.83</b>	: Konsolidasyon Basıncı İle Permeabilite Katsayısındaki Değişim ....	118
<b>Şekil 4.84</b>	: Kür Oranı ve Kür Süresinin Permeabilite Katsayısı Üzerine Etkisi..	119
<b>Şekil 4.85</b>	: Konsolidasyon Basıncı İle Konsolidasyon Katsayısındaki Değişim.	120

<b>Şekil 4.86</b>	: Kür Oranı ve Kür Süresinin Konsolidasyon Katsayısı Üzerine Etkisi .....	120
<b>Şekil 4.87</b>	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının Likit Limit Üzerine Etkisi (t= 0, Karş.)..	121
<b>Şekil 4.88</b>	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastik Limit Üzerine Etkisi .....	121
<b>Şekil 4.89</b>	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastisite İndisi Üzerine Etkisi.....	122
<b>Şekil 4.90</b>	: Kür Süresinin Likit Limit Üzerine Etkisi (Karş.) .....	122
<b>Şekil 4.91</b>	: Kür Süresinin Plastik Limit Üzerine Etkisi.....	123
<b>Şekil 4.92</b>	: Kür Süresinin Plastisite İndisi Üzerine Etkisi .....	123
<b>Şekil 4.93</b>	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının $\phi$ Üzerine Etkisi (Karş.).....	124
<b>Şekil 4.94</b>	: Çöp Sızıntı Suyu Oranının c Üzerine Etkisi.....	125
<b>Şekil 4.95</b>	: Kür Süresinin $\phi$ Üzerine Etkisi (Karş.).....	125
<b>Şekil 4.96</b>	: Kür Süresinin c Üzerine Etkisi .....	126
<b>Şekil 4.97</b>	: Kür Oranı ve Kür Süresinin Permea. Kats. Üzerine Etkisi (Karş.) ...	127
<b>Şekil 4.98</b>	: Kür Oranı ve Kür Süresinin Konsol. Kats. Üzerine Etkisi .....	128

## SEMBOL LİSTESİ

$\gamma_s$	: Dane birim hacim ağırlığı
$\gamma_{kmaks}$	: Maksimum kuru birim hacim ağırlık
$\gamma_k$	: Kuru birim hacim ağırlık
$w_{opt}$	: Optimum su muhtevası
$w$	: Su muhtevası
$e$	: Boşluk oranı
$LL$	: Likit limit
$PL$	: Plastik limit
$PI$	: Plastisite indisi
$\phi$	: İçsel sürtünme açısı
$c$	: Kohezyon
$P$	: Konsolidasyon basıncı
$P_c$	: Ön konsolidasyon basıncı
$k$	: Permeabilite katsayısı
$c_v$	: Konsolidasyon katsayısı
$\sigma$	: Normal gerilme
$\tau$	: Kayma gerilmesi
$\tau_{maks}$	: Maksimum kayma gerilmesi
$\Delta L$	: Yatay deplasman
$\gamma$	: Yatay deformasyon

## DÜŞÜK PLASTİSİTELİ ZEMİNLERİN DAVRANIŞLARI ÜZERİNDE ÇÖP SUYUNUN ETKİSİ

### ÖZET

Katı ve sıvı atıkların gelişigüzel yerlerde depolanması günümüzde çevre açısından büyük risk oluşturmaktadır. Atık maddelerin yanlış depolanması ile sızan kirlilik, yeraltı sularını, gölleri, barajları, akarsuları, dereleri, denizleri ve havayı kirletmektedir. Kirlenen bu suları tekrar temizlemek oldukça zor, pahalı ve zahmetlidir. Çoğu zaman bu suları arıtmak ve yeniden kullanmak mümkün değildir. Bu nedenle atıkların bertaraf edilmesi ve değerlendirilmesi için “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” alanları en ekonomik ve çevre için en uygun yöntem olarak kabul edilmektedir. Bu alanlar yerleşim bölgelerinden uzakta ve geçirimsiz topraklar üzerine yapılan özel alanlardır.

Katı atık depolama tesislerinde en önemli sorun sızıntı çöp sızıntı suyu oluşumudur. Sızıntı suyu katı atıkların içinden süzülerek bir takım kimyasal,biyolojik ve fiziksel olaylara maruz kalarak oluşur. Katı atıkların içinden süzülen sızıntı suyu, katı atıkların muhtevassından kaynaklanan çok sayıdaki element ve bileşiği içerir. Sızıntı suyunun olumsuz etkilerini engellemek için şilte tabakaları kullanılır. 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 beklemeye ya da belirlenen kür süresi sonunda deneyler yapılmıştır. Hazırlanan zemin numunelerinin statik yükler etkisi altında davranış değişimlerini belirlemek amacı ile Atterberg limitleri, kesme kutusu ve ödometre deney yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Kıvam limitleri deneylerinde zemine % 5, 20, 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu katılarak kür oranının kıvam limitleri üzerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca aynı kür oranlarında hazırlanmış numuneler 1, 7, 30 ve 90 gün küre bırakılarak kür süresi ile kıvam limitlerindeki değişimler incelenmiştir. Kıvam limitleri deney sonuçlarında görülmüştür ki yeni çöp sızıntı suyu ile karıştırılan ML(1), CL(1), ML(1) ve ML(2) numunelerinde çöp sızıntı suyu oranı ve kür süresi arttıkça likit limit, plastik limit ve plastisite indisi artmıştır. Endeks özellikleri farklı iki CL numunesinin % 100 yeni çöp sızıntı suyu ile karıştırılmasından ve 30 gün kür süresinde bekletilmesinden

sonra likit limiti daha büyük olan numunede likit limit değerinin daha çok arttığı gözlenmiştir.

Kesme kutusu deneylerinde zemine % 5, 20, 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu katılarak ve 0, 1, 7, 30 ve 90 gün küre bırakılarak kür oranının ve kür süresinin suya doymun olmayan, 7 gün küre bırakılarak suya doymun olan zemin üzerindeki  $c$  ve  $\phi$  değerlerinin etkisi incelenmiştir. Suya doymun olmayan zemin numelerinde % 20 çöp sızıntı suyu oranına kadar temiz zemine göre  $c$  artmış,  $\phi$  azalmıştır. Bu çöp sızıntı suyu oranından sonra ise çöp sızıntı suyu oranındaki artışla  $c$  azalmış,  $\phi$  ise artmıştır. % 5 çöp sızıntı suyu ile hazırlanmış numunede olduğu gibi tüm çöp sızıntı suyu oranlarında  $\phi$ , 7 gün kür sonunda en yüksek değere ulaşmış, kür süresinin artmasıyla azalma göstermiştir.  $c$  ise, 7 gün kür sonunda en düşük değere ulaşmış, kür süresinin artmasıyla artış göstermiştir.

Suya doymun olan zemin numunelerinde % 5 ve % 50 çöp sızıntı suyu oranlarında  $\phi$  değeri temiz zeminle aynıdır, % 20 ve % 50 çöp sızıntı suyu oranlarında temiz zemine göre artış görülmüştür. Suya doymun olan numunelerde çöp sızıntı suyu ile karıştırılan zeminlerin  $c$  değerlerinin temiz zemine göre oldukça düşük olduğu görülmüştür. % 5 çöp sızıntı suyu oranında  $c$  değerinin sıfır olduğu, çöp sızıntı suyu oranı arttıkça  $c$  değerlerinde bir miktar artış olduğu görülmüştür. Suya doymun olmayan ve suya doymun olan numuneleri karşılaştırmak için farklı çöp sızıntı suyu oranlarında 7 gün kür süresinde bekletilmiş numuneler ele alınmıştır. Suya doymun olmayan numunelerde % 5 çöp sızıntı suyu oranında  $c$  değerinin temiz zemine göre düştüğü fakat suya doymun olan numuneye göre de yüksek olduğu görülmüştür. % 20 çöp sızıntı suyu oranında  $c$  değerinin maksimum olduğu, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında  $c$  değerinin düştüğü görülmüştür. Suya doymun olmayan numunenin % 100 çöp sızıntı suyu oranında  $c$  değerinin, suya doymun olan numuneye göre daha küçük olduğu görülmüştür.

Ödometre deneylerinde zemine % 5, 20, 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu katılarak ve 0, 30 ve 90 gün küre bırakılarak kür oranının ve kür süresinin suya doymun olmayan, 7 gün küre bırakılarak suya doymun olan zemin üzerindeki permeabilite katsayısı ve konsolidasyon katsayısı değerlerinin etkisi incelenmiştir. Suya doymun olmayan zemin numunelerinde konsolidasyon basıncı arttıkça permeabilite katsayısı azalmıştır. 30 günlük kür sonunda üç yük kademesinde de permeabilite katsayıları  $t=0'$  a göre, 90 günlük kür sonunda üç yük kademesinde de permeabilite katsayıları  $t=0$  ve  $t=30'$  a göre azalmıştır. Suya doymun olmayan zemin numunelerinde konsolidasyon basıncı arttıkça konsolidasyon katsayısı artmıştır. % 5, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında 30 günlük kür sonunda üç yük kademesinde de konsolidasyon katsayıları  $t=0'$  a göre artmış, % 20 çöp sızıntı suyu oranında ise azalmıştır. 90 günlük kür sonunda üç yük kademesinde de konsolidasyon katsayıları, %5 ve % 50 çöp sızıntı suyu oranlarında  $t=0$  ve  $t=30'$  a göre artmaya devam etmiştir. % 20 çöp sızıntı suyu oranında  $t=0$  ve  $t=30'$  a göre, % 100 çöp sızıntı suyu oranında  $t=30'$  a göre azalma göstermiştir.

Suya doymun olan zemin numunelerinde konsolidasyon basıncı arttıkça permeabilite katsayısı azalmıştır. 7 gün kür sonunda aynı çöp sızıntı suyu oranlarında üç yük kademesinde de permeabilite aynı davranışı göstermektedir. Permeabilite, % 5 çöp sızıntı suyu oranında temiz zemine göre azalmıştır, % 20 ve % 50 çöp sızıntı suyu

oranlarında artış göstermiştir, % 100 çöp sızıntı suyu oranında tekrar azalmıştır. Suya doymun olan zemin numunelerinde konsolidasyon basıncı arttıkça konsolidasyon katsayısı artmıştır. 7 gün kür sonunda aynı çöp sızıntı suyu oranlarında üç yük kademesinde de konsolidasyon katsayısı aynı davranışı göstermektedir. Konsolidasyon katsayısı, % 5 çöp sızıntı suyu oranında temiz zemine göre azalmıştır, % 20, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında artış göstermiştir. Zemin suya doymun olduğunda hem temize zemine göre hemde suya doymun olmayan zemine göre permeabilite katsayısı ve konsolidasyon katsayısı azalmıştır.

Özet olarak, çöp sızıntı suyunun kimyasal yapısı içindeki organik ve inorganik maddeler depo alanlarındaki geçirimsiz kil tabakaların mühendislik özellikleri üzerinde etkilidir.

## **THE EFFECT OF LANDFILL LEACHATE ON THE BEHAVIOURS OF LOW PLASTICITY SOILS**

### **SUMMARY**

Today, storing solid and fluid wastes improperly results in great risks for the environment. Contamination from storing wastes improperly harms the underground water, lakes, dams, rivers, sea and air. It is very difficult and expensive to clean contaminated water. Most of the time, it is impossible to refine and reuse this type of contaminated water. Therefore, in getting rid of these wastes; “Recycling, Reusing, Burning, Composting and Regular Solid Waste Storing” are widely used. In our country and many other countries, it is widely accepted that “Regular Solid Waste Land-fill” is the most economical and environmental friendly method. These special storing places are located away from inhabited areas and on impermeable ground.

The greatest problem in solid waste land-fill facilities is the wastewater filtered from solid wastes is interacted with chemical, biological and physical impacts. Filtered wastewater from the waste contains many elements and compounds from the waste. The clay mattress layers are used to obstruct leakage water's negative effects. To minimize the risk of leaking wastewater from chosen mattress layer, the chemical compound of wastewater and geotechnical features of used mattress layer are determined.

In this paper, different proportion leakage exposing to mattress layer used to prevent wastewater leakage in regular solid waste land-fill clay and effect of its interaction time over the engineering characteristics of the ground are examined. For this purpose ground is exposed with different proportion of wastewater mixed and tested immediately or after determined time. Atterberg limits, direct shear test and odometer test are used to determine the behavior of sample ground under static loads.

In the Atterberg limits, the ground is exposed to 5%, 20%, 50% and 100% wastewater. Then, effects of the proportion of cure over Atterberg limits are studied. Furthermore, samples prepared in the same cure proportion are leaved in 1, 7, 30 and 90 days of cure and differences between cure time and Atterberg limits are examined. Atterberg limit reveals that liquid limit, plastic limit and plasticity index increase as the amount of wastewater increases in samples of ML (1), CL (1), ML (1) and ML (2) mixed with fresh wastewater. Two CL sample in different index parameters are mixed with 100% wastewater and cured for 30 days. This test shows that sample which has the greater initial liquid limit increases its liquid limit further.

In direct shear tests, the ground samples are exposed to 5%, 20%, 50% and 100% waste water and cured for 0, 1, 7, 30 and 90 days. Then, the effects of  $c$  and  $\phi$

values on the ground unsaturated with water and the ground saturated with water and cured 7 days are examined. In the ground sample which is not saturated with water, up to 20% wastewater proportion,  $c$  value increases while  $\phi$  value decreases. After 20% wastewater proportion, increase in wastewater proportion decreases  $c$  values whereas increases  $\phi$  values. As it seen in 5% wastewater proportion sample and all other samples,  $\phi$  reaches the maximum value after 7 days of cure and then decreases as the cure time increases. Whereas  $c$  reaches the minimum value after 7 days cure and increases as the cure time increases.

In the ground sample saturated with water,  $\phi$  value in 5% and 50% wastewater proportion and  $\phi$  values in clean ground are the same whereas  $\phi$  values are greater in 20% and 50% wastewater proportion than that of clean ground. It is seen that that  $c$  values in ground sample saturated with water before contaminated with wastewater are much smaller than that of clean ground.  $c$  value is equal to 0 in 5% wastewater proportions and  $c$  value slowly increases as proportion of wastewater increases. In order to compare samples saturated with water and samples unsaturated with water, samples with different wastewater proportion cured for 7 days are used. In samples unsaturated with water in 5% wastewater proportion,  $c$  value decreases compare to clean ground but it is higher than that of sample ground saturated with water. In 20% wastewater proportion,  $c$  reaches the maximum value and decreases for the 50% and 100% waste water proportion. In sample unsaturated with water in 100% wastewater proportion,  $c$  value is smaller that that of sample saturated with water.

In the odometer tests, ground mixed with 5%, 20%, 50% and 100% wastewater leakage and lefted in cure 0, 30, 90 days in unsaturated ground and 7 days lefted in cure with saturated ground with water to study the effects of permeability coefficient and consolidation coefficient. In the unsaturated ground samples, when consolidation pressure increases permeability coefficient decreases. End of 30 days of cure time in all three different loads permeability coefficients  $t=0$  compare to, end of 90 days of cure time all three different loads permeability coefficients  $t=0$  and  $t=30$  become less. In the unsaturated ground samples, when consolidation pressure increases consolidation coefficient increases. After 30 days of cure time in all three loads, consolidation coefficients, 5% and 50% and 100% wastewater leakage proportion compare to  $t=0$  increases, 20% wastewater leakage and  $t=30$  still increases.

In the unsaturated ground samples, when consolidation pressure increases consolidation permeability coefficient increases. At 5% , 50% and 100% wastewater leakage 30 days of cure time in three different load consolidation pressure  $t=0$  increases , while 20% wastewater leakage decreases. After 90 days of cure time in all three loads, consolidation coefficients, 5% and 50% wastewater leakage proportion compare to  $t=0$  and  $t=30$  still increases. When compare to 20% wastewater leakage  $t=0$  and  $t=30$ , to 100% wastewater leakage  $t=30$  become less. In the water saturated ground samples, when consolidation pressure increases permeability coefficient decreases after 7 days of cure, same proportion of wastewater leakage in all three different loads permeability shows the same behavior. Permeability, at 5% wastewater leakage decreases when compared to clean ground, at 20% and 50% wastewater leakage increases and at 100% wastewater leakage its again decreases. In the samples of saturated to water grounds when consolidation pressure increases consolidation coefficients also increase. After 7 days of cure, same

proportion of wastewater leakage in three different loads shows the same behavior in consolidation coefficient. Consolidation coefficient becomes less when, 5% wastewater leakage with clean ground and it's become more when interacts with 20%, 50% and 100%. When the ground is saturated with water, its permeability coefficient and consolidation coefficient become less compare to clean ground and unsaturated ground.

In summary, chemical buildings of wastewaters includes organic and inorganic materials and these are scientifically important in waste storage areas where interacts with impermeable clay mattress layers.

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Katı ve sıvı atıkların gelişigüzel yerlerde depolanması günümüzde çevre açısından büyük risk oluşturmaktadır. Atık maddelerin yanlış depolanması ile sızan kirlilik, yeraltı sularını, gölleri, barajları, akarsuları, dereleri, denizleri ve havayı kirletmektedir. Kirlenen bu suları tekrar temizlemek oldukça zor, pahalı ve zahmetlidir. Çoğu zaman bu suları arıtmak ve yeniden kullanmak mümkün değildir. Bu nedenle atıkların bertaraf edilmesi ve değerlendirilmesi için “Geri kazanma, Değerlendirme, Yakma, Kompostlaştırma ve Düzenli Katı Atık Depolama” yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ekonomik ve uygulama tekniği nedeni ile “Düzenli Katı Atık Depolama” en çok tercih edilen yöntemdir.

Katı atık depolama tesislerinde en önemli sorun sızıntı çöp sızıntı suyu oluşumudur. Sızıntı suyu katı atıkların içinden süzülerek bir takım kimyasal,biyolojik ve fiziksel olaylara maruz kalarak oluşur. Katı atıkların içinden süzülen sızıntı suyu, katı atıkların muhtevasından kaynaklanan çok sayıdaki element ve bileşiği içerir. Sızıntı suyunun olumsuz etkilerini engellemek için şilte tabakaları kullanılır. 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 beklemeden ya da belirlenen kür süresi sonunda deneyler yapılmıştır. Hazırlanan zemin numunelerinin statik yükler etkisi altında davranış değişimlerini belirlemek amacı ile kıvam limitleri, kesme kutusu ve ödometre deney yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışma konusu ve amacı belirtilmiştir. İkinci bölümde ise çalışma konusu ile ilgili genel bilgileri edinmek amacı ile kirlenici maddeler ve özellikleri ele alınmıştır. Ayrıca bu bölümde çeşitli kirlenici maddeler kullanılarak zeminin statik yükler etkisi altında davranışındaki

değişimleri inceleyen çalışmalara yer verilmiştir. Zeminlerin kıvam limitleri, kayma mukavemeti parametreleri, konsolidasyon davranışı ve permeabilite katsayısındaki değişimler ele alınmıştır.

Üçüncü bölümün ilk konusu olarak Kemberburgaz Katı Atık Depo Tesisinden getirilen endeks özellikleri farklı dört çeşit dolgu malzemesinin ve çöp sızıntı suyunun özellikleri verilmiştir. Daha sonra ise deney numunelerinin hazırlanma teknikleri detaylı şekilde incelenmiştir. Son olarak kıvam limitleri, kesme kutusu ve ödometre deney aletleri ile deneylerin yapılış teknikleri açıklanmıştır.

Deney sonuçlarının yer aldığı dördüncü bölümde ise ilk olarak suya doymun olmayan endeks özellikleri farklı dört çeşit zeminin kıvam limitleri deney sonuçlarından yararlanılarak çöp sızıntı suyu ve kür süresi ile zeminlerin likit limit, plastik limit ve plastisite indisindeki değişimler ele alınmıştır. Suya doymun olan ve suya doymun olmayan zeminlerin kayma mukavemeti parametreleri olan içsel sürtünme açısı ve kohezyon ise kesme kutusu deney sonuçlarından yararlanılarak incelenmiştir. Ödometre deney sonuçları kullanılarak suya doymun olan ve suya doymun olmayan zeminlerin şişme basıncı, ön konsolidasyon basıncı, permeabilite katsayısı ve konsolidasyon katsayısı üzerine çöp sızıntı suyu oranının ve kür süresinin etkisi incelenmiştir.

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**

Killi zeminler inşaat mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kullanım sırasında zemin çeşitli maddelerin etkisinde kalmaktadır. Bu maddelerin başında sıvı ve katı atıklar ile zemin özelliklerini iyileştirmek için kullanılan katkı malzemeleri gelmektedir. Bu maddeler zeminin mekanik özellikleri üzerinde etkili olmaktadır.

Bu bölümde sıvı ve katı atıklar ile çeşitli katkı malzemelerinin zeminin mekanik davranışı üzerine etkisini inceleyen çalışmalar ele alınmıştır. Bu amaçla Atterberg limitleri, permeabilite, konsolidasyon davranışı ve kayma mukavemeti özelliklerindeki değişimler incelenmiştir.

### **2.2 Zemin-Su Sistemlerini Etkileyen Faktörler**

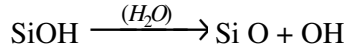
#### **2.2.1 Organik Madde**

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 rötreye, 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 arttırır.

#### **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<sup>-</sup> iyonun



Şeklinde ayrışma eğilimi içinde olup bu reaksiyon pH değerinden önemli derecede etkilenir. pH artışı ile H<sup>+</sup> 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<sup>+</sup> ve Li<sup>+</sup> 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 killerde flokülasyon oluştururlar.

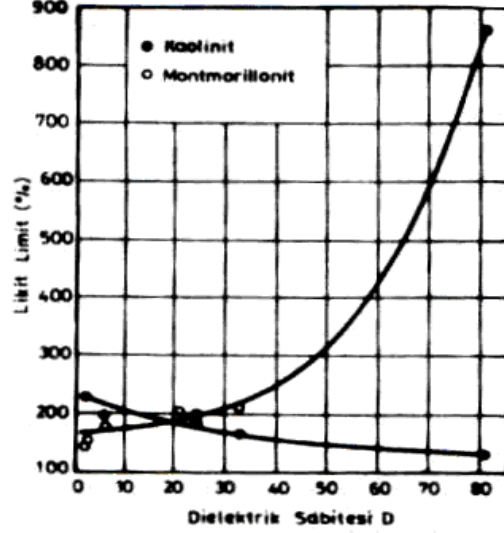
## 2.3 Zeminin Mekanik Davranışındaki Değişimler

### 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 killerin likit limit değerlerini belirlemişlerdir. Şekil 2.1' de bu deneye ait sonuçlar gösterilmiştir. Dielektrik

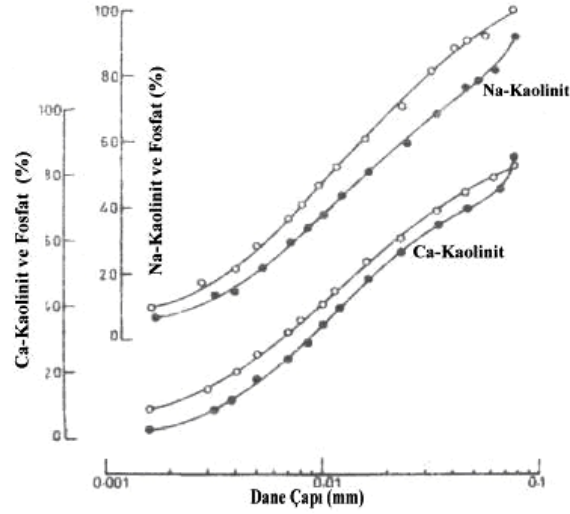
sabitindeki artım kaolinit kilinin likit limitinde azalmaya neden olurken, montmorillonit kilinin likit limitinde ise artışa neden olmaktadır.



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 Adsorpsiyonunun Kaolinit İçindeki Dane Çapı Dağılımına Etkisi (Rao, 1982)

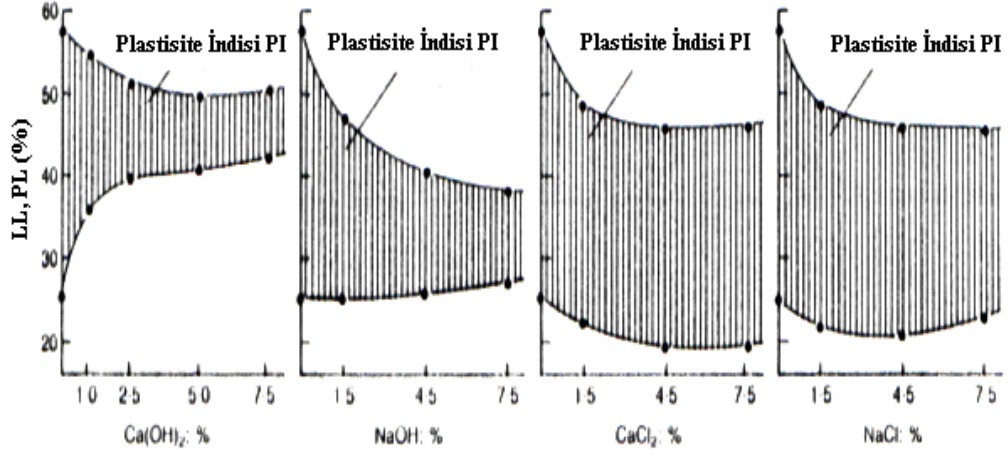
Tablo 2.1' de Fosforik asit karıştırılmış Montmorillonit ve kaolinit killere ait fizikokimyasal özellikler gösterilmiştir.

**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

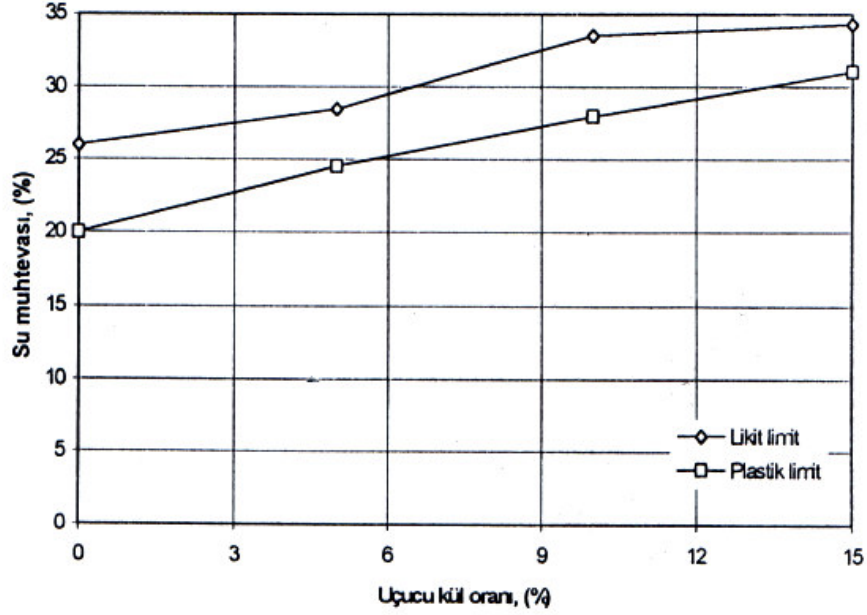
ilişkiyi incelemiştir. Bu amaçla siltli zemin  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{CaCl}_2$  ve  $\text{NaCl}$  ile karıştırılarak 60 gün küre bırakılmıştır. Kür süresinin sonunda likit limit ve plastik limit deneylerine tabi tutulmuştur. Şekil 2.3’ de dört kimyasal maddenin farklı oranlarda 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 zemininde 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.

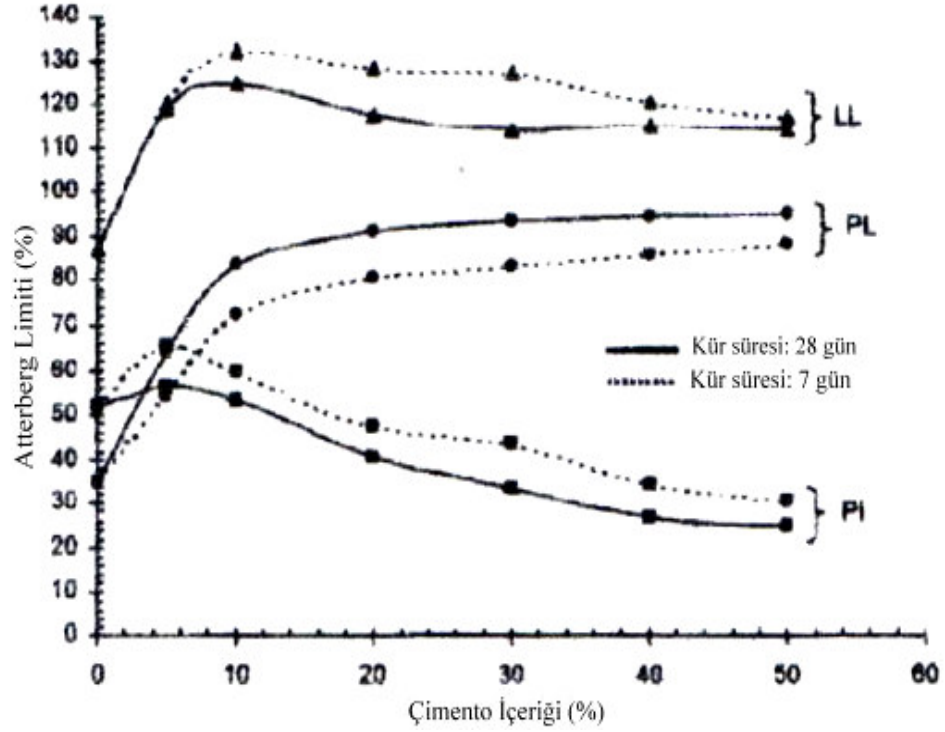


**Şekil 2.4 :** Uçucu Külün Kıvam Limitleri Üzerine Etkisi (Erşan, 1996)

Chew ve diğ. (2004) kireç katkısının deniz killerin mühendislik özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Deneylerde kullanılan zeminin likit limiti % 87, plastik limiti % 35 ve plastisite indisi % 52 olarak belirlenmiştir. 105 C<sup>0</sup> 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 Kır 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 doygun killer 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  $\phi$  ve c Değerleri Üzerine Etkisi**  
(Rao, 1982)

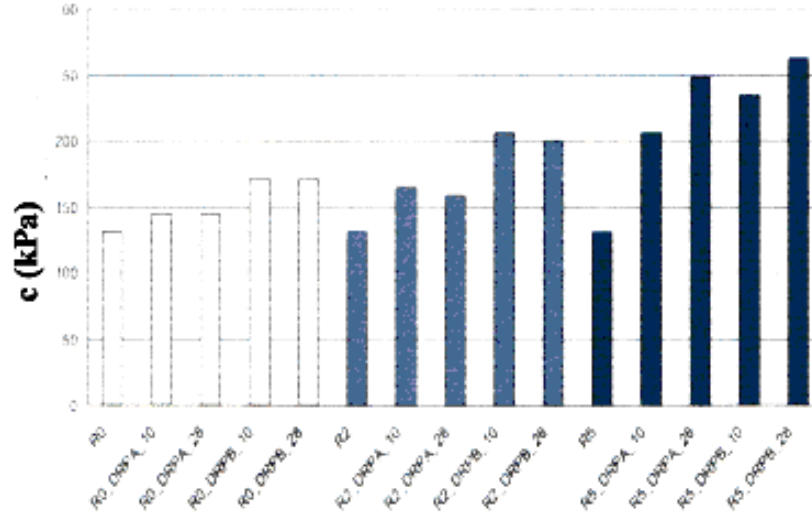
Zemin Cinsi	c (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
<b>Na Kaolinit</b>		
Doğal halde	0,02	30,5
İşlenmiş halde	0,27	38
<b>Ca Kaolinit</b>		
Doğal halde	0	22
İşlenmiş halde	0	41
<b>Na Montmorillonit</b>		
Doğal halde	0,07	18,5
İşlenmiş halde	0,07	39,5
<b>Ca Montmorillonit</b>		
Doğal halde	0,03	18,5
İşlenmiş halde	0,16	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.

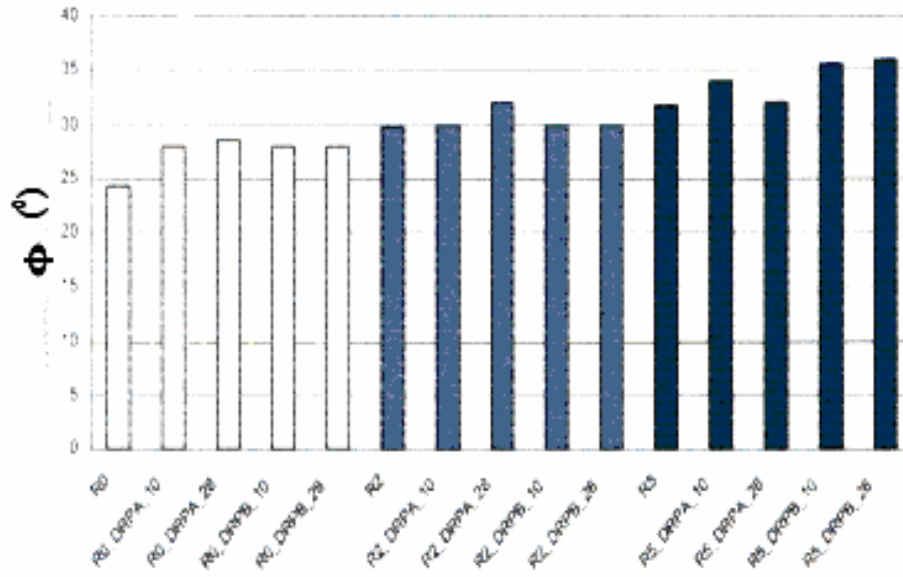
**Tablo 2.3 :** Kireç ve Sülfürik Asittin Zemininin Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi  
(Puppala ve Hanchanloet, 1999)

Zemin Türü	$W_L$ (%)	PI (%)	$\gamma_{kmaks}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$W_{opt}$ (%)
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 Asit'in c Üzerine Etkisi (UU Deneyi)  
(Puppala ve Hanchanloet, 1999)

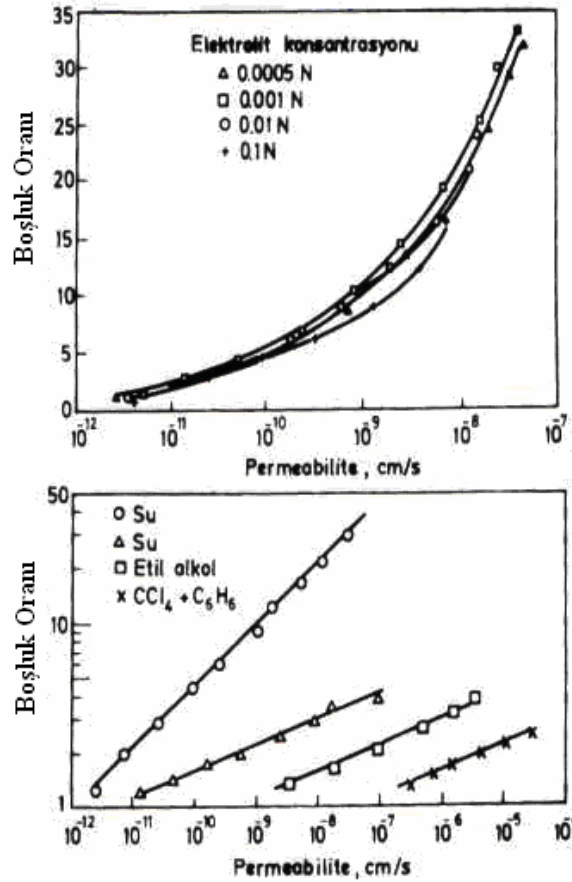


Şekil 2.7 : Kireç ve Sülfürik Asit'in  $\phi$  Üzerine Etkisi (UU Deneyi)  
(Puppala ve Hanchanloet, 1999)

### 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 kirletilmesini önlemek için permeabilitesi düşük kil malzemeden geçirimsiz tabakalar yapılmaktadır.

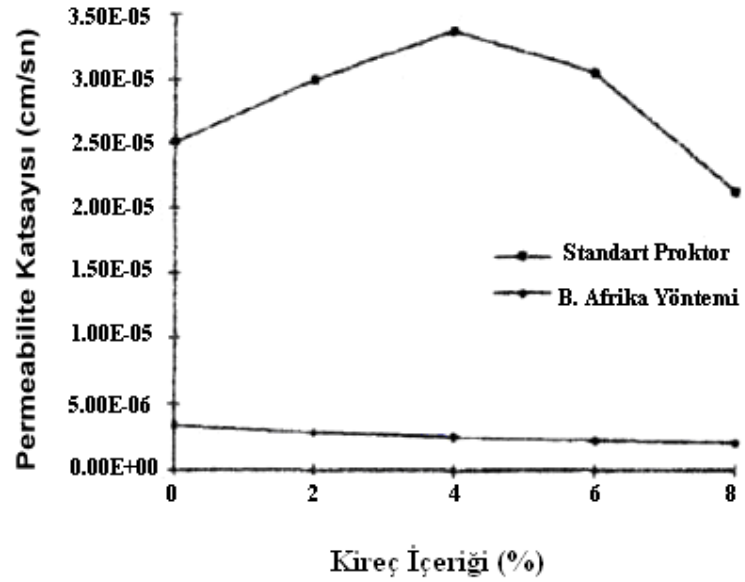
Sridharan ve Jayadeva (1982) Killerin permeabilitesi difüze çift tabakanın kalınlığına, iyon valansına, iyonik konstrasyona ve boşluk sıvısının yapısına bağlıdır. İyon konstrasyonundaki ve/veya valans değerindeki bir artış ile veya iyon boyutu ve dielektrik sabitindeki bir azalış ile difüze çift tabaka 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)

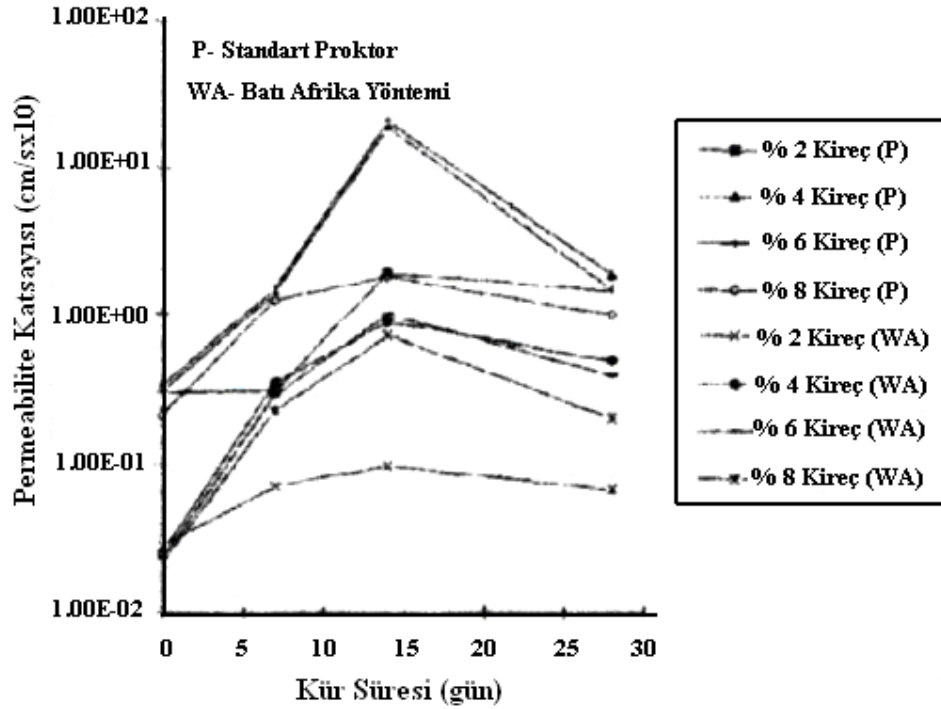
Osinubi (1998) tortul zeminlerin permeabilitesinin kireç oranı, kür süresi ve kompaksiyon enerjisi ile değişimini incelemiştir. Deneylede likit limiti % 44, plastik limiti % 24 ve plastisite indisi % 20 olan düşük plastisiteli kil (CL) kullanmıştır. Kompaksiyon enerjisinin permeabiliteye etkisini araştırmak 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 ( $3.38 \times 10^{-5}$  cm/s) maksimum değerine ulaşmıştır. Bu değer üstündeki kireç içeriklerinde ise permeabilite düşmüştür. Batı Afrika yönteminde ise kireç katkısı olmayan numunenin permeabilite katsayısı ( $3.38 \times 10^{-6}$  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 geçirimsizliğindeki değişimi incelemiştir. Değirmen artığı, klinker üretiminde kullanılan kalker, tras ve kireçtaşının çimento fabrikalarında işlenmesi sonucu oluşan atık maddeler olarak adlandırılmaktadır.

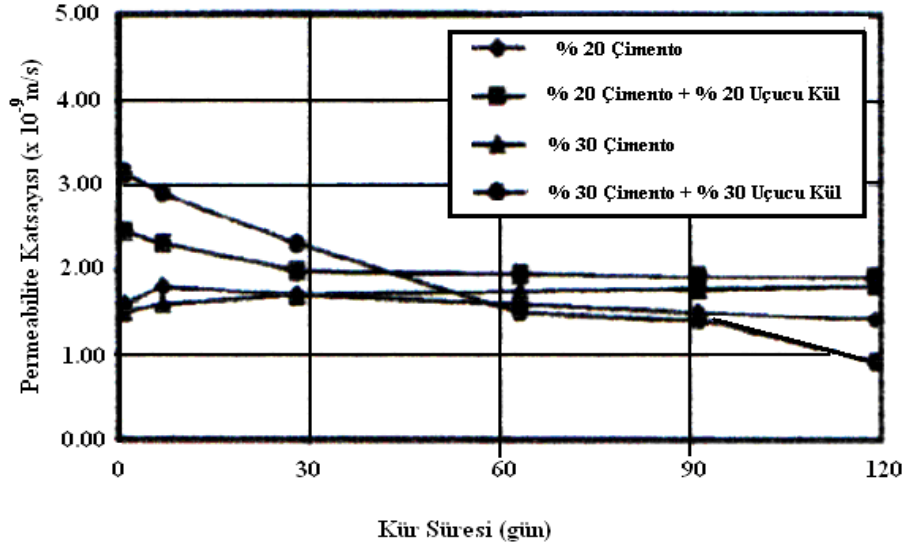
Permeabilite deneyleri sonucunda görülmüştür ki değirmen artığı oranı arttıkça geçirimsizlik katsayısı artmaktadır. % 15 katkı oranında en büyük geçirimsizlik katsayısı elde edilmektedir. % 15 katkı için geçirimsizlik  $2.25 \times 10^{-7}$  cm/s olmakta, bu da katkısız durumdaki zeminin geçirimsizlik katsayısı olan  $1.10 \times 10^{-7}$  cm/s değerine göre  $1.25 \times 10^{-7}$  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 katkılı zemin numunelerinin permeabilitesi kür süreleri ile fazla değişim göstermemiştir. Çimento ve uçucu kül katkılı 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  $1.97 \times 10^{-10}$  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)

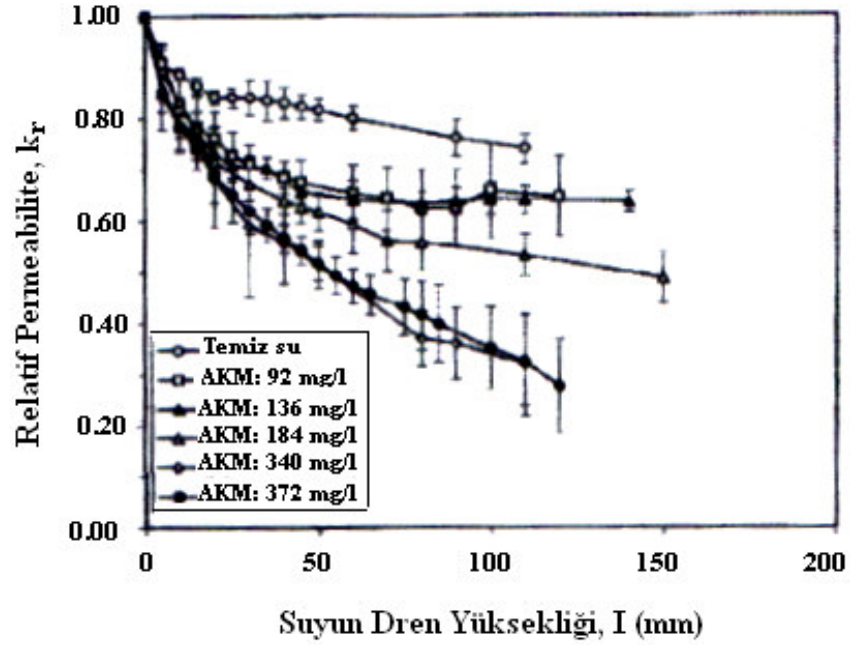
Viviani ve Iovino (2004) çöp sızıntı suyu içindeki askıda katı madde miktarının permeabilite katsayısı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla farklı oranlarda askıda katı madde oranına sahip evsel atıklara ait sızıntı suları kullanılarak kil numuneler üzerinde sabit seviyeli permeabilite deneyleri 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.

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

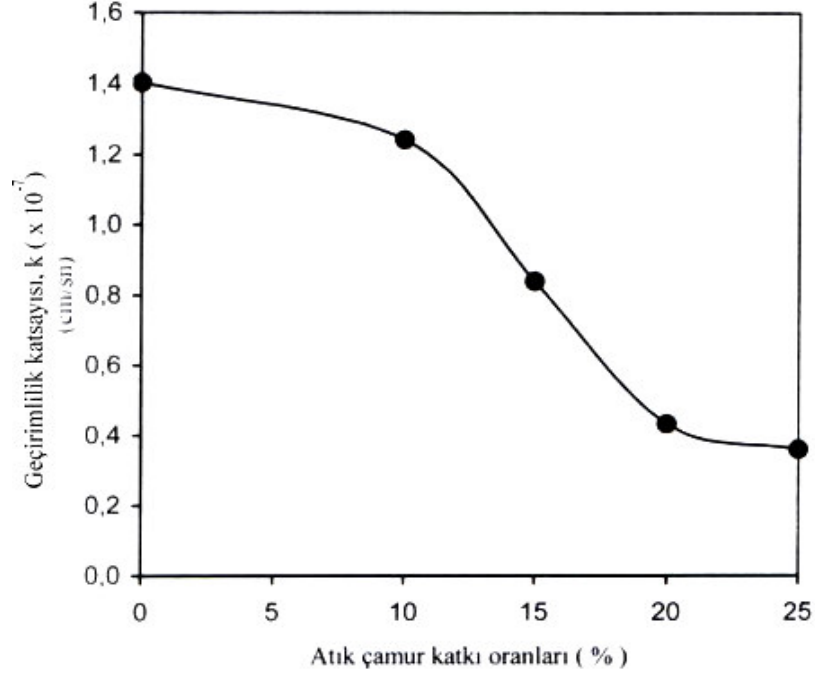
$k_{s0}$ : Numunenin doymun haldeki permeabilite katsayısı

$k_s$ : Suyun ölçülen bir dren yüksekliğine karşı gelen permeabilite katsayısı



Şekil 2.12 : Çöp Sızıntı Suyu İçindeki Askıda Madde Miktarının Permeabilite Katsayısı Üzerine Etkisi

Angın ve Üçüncü (2004) tarafından düşük plastisiteli kil (CL) zemine farklı oranlarda (% 10, % 15, % 20, % 25) atık çamur katılarak permeabilitedeki değişimler incelenmişlerdir. Geçirimsizlik (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 :** Geçirimlilik Katsayısının Katkı Oranına Göre Değişimi

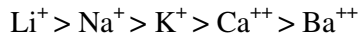
(Angın ve Üçüncü, 2004)

### 2.3.4 Konsolidasyon Davranışı

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

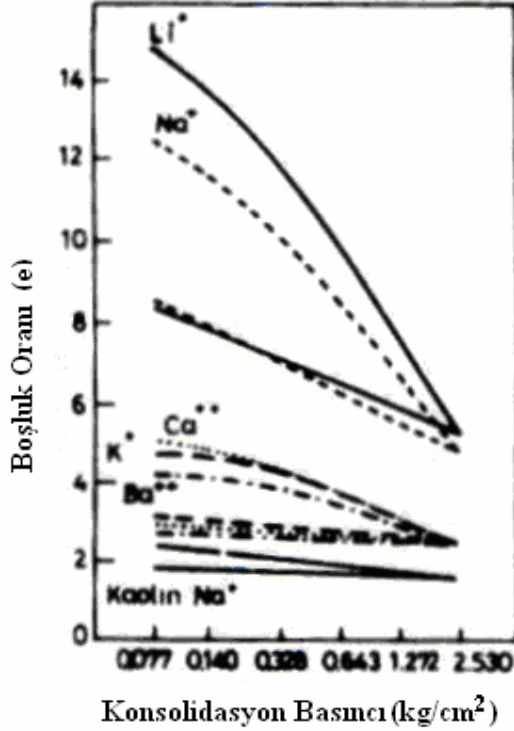
Montmorillonit türü killerin konsolidasyon özellikleri kil-su sistemindeki katyon boyutlarına bağlıdır. Boşluk sıvısının elektrolit konsantrasyonundaki değişimin,  $e - \log \sigma$  ilişkisine etkisi su için Ca-montmorillonitte azdır. Çünkü çift tabakanın etkisi klasik teori tarafından önerilenden daha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

Bentonit için sıkışabilirlik sırası katyonlara göre;



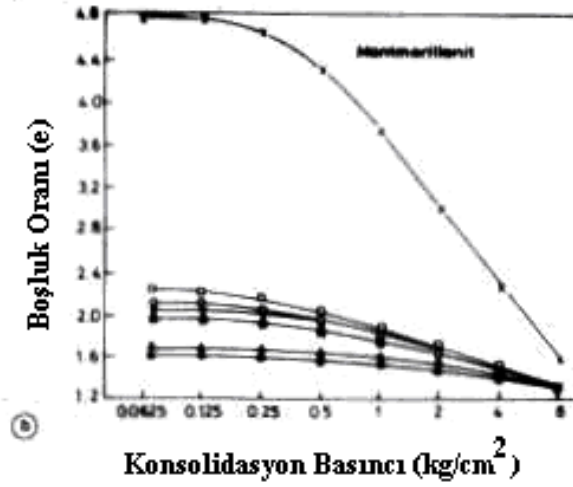
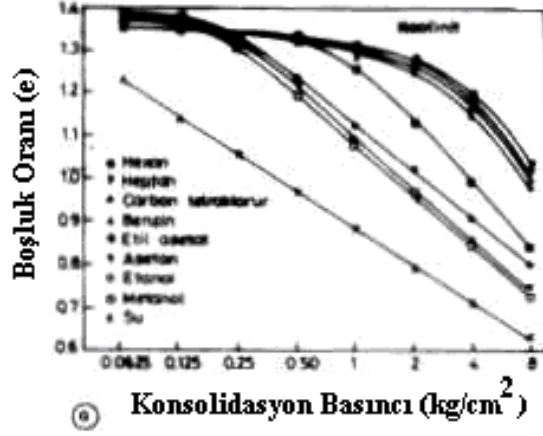
Olarak verilmektedir. (Mitchell, 1976)

Şekil 2.14' de Bentonit ve Na<sup>+</sup> Kaolinit sıkışabilirlik eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 2.14 : Bentonit ve Na<sup>+</sup> Kaolinitte Sıkışabilirlik Eğrileri (Mitchell, 1976)

Sridharan ve Rao (1973), farklı organik sıvıları kullanarak dielektrik sabitinin etkisinin montmorillinit ve kaolinit türü killer 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 2.15). Bu davranış iki mekanizma ile açıklanmaktadır. Mekanizma 1' e göre, hacim değişimi iç yüzeydeki partiküllerdeki kayma mukavemeti 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 2.15 :** Farklı Boşluk Sıvılarında Tek Yönlü Konsolidasyon Eğrileri  
(Sridharan ve Rao, 1973)

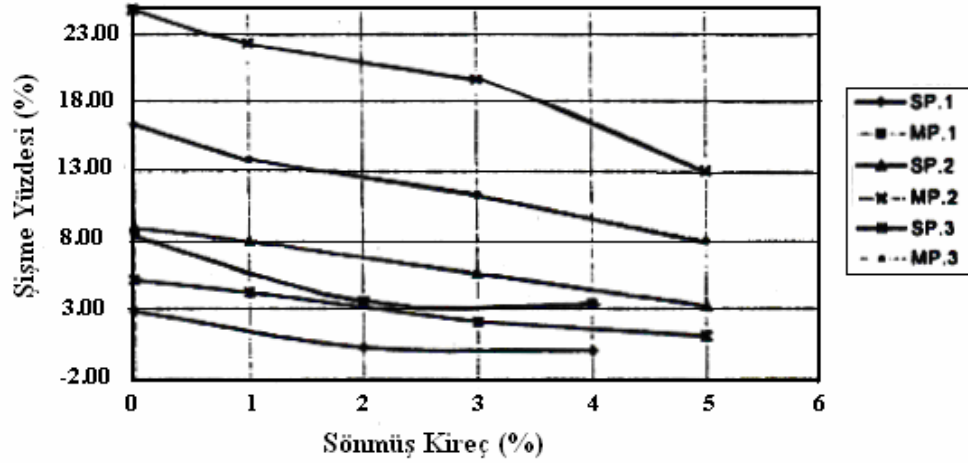
Sridharan ve Sivapullaiah (1987) tarafından fosfat adsorbsiyonun hacim değiştirme davranışı üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu belirlenmiştir. Fosfat adsorbe edilmiş Ca-kaolinitler Na-kaolinitlere göre daha fazla şişme davranışı gösterirler.

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 Türköz (2000) tarafından sönmüş 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 sönmüş 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 sönmüş kireç katkısı arasındaki ilişki; altı ayrı seri için Şekil 2.16' da sunulmaktadır. Bu şekilden de görülebileceği gibi, sönmüş 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.



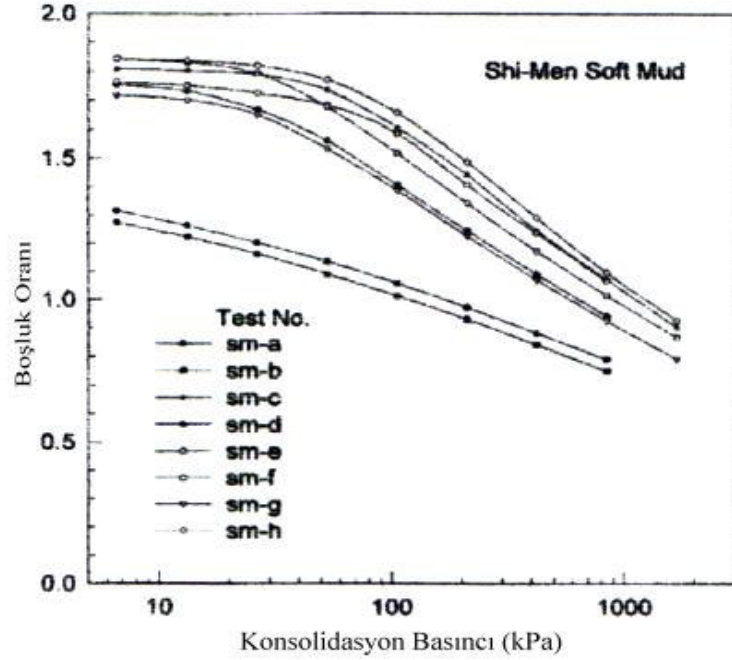
**Şekil 2.16 : Şişme Yüzdesi-Sönmüş Kireç Katkısı İlişkisi**  
(Tosun ve Türköz, 2000)

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 hazırlanmıştır. 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 hazırlanmıştır.

Hazırlanan numuneler konsolidasyon deneyine tabi tutulmuştur. Şekil 2.17' 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 2.17 : 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 Çöp Suyu İle Kirlenmiş Zeminler

Er (2005) düzenli katı atık depo tesisinde sızdırmazlık amacı ile kullanılan kil şiltenin farklı oranlarda çöp sızıntı suyuna maruz kalması ve çöp sızıntı suyu ile etkileşim süresinin zeminin mühendislik özellikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Bu amaçla farklı çöp sızıntı suyu oranlarında hazırlanan zemin numunesi beklemeden ya da belirlenen kür süresi sonunda deneye alınmıştır. Hazırlanan zemin numunelerinin statik yükler etkisi altında davranış değişimlerini belirlemek amacı ile kıvam limitleri, kesme kutusu ve ödometre deney yöntemlerinden yararlanılmıştır. Atterberg limitleri çöp sızıntı suyu oranındaki artışla artmıştır. Atterberg limitleri kür süresindeki artışla artmıştır ve 30 günlük kür süresi sonunda maksimum değere ulaşmıştır. Bu kür süresinden sonra ise Atterberg limitleri kür süresindeki artışla azalmıştır. Zeminin kohezyonu ( $c$ ) ve içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) üzerinde çöp sızıntı suyunun etkisinin belirlenmesinde kesme kutusu deney sonuçları kullanılmıştır. % 30 çöp sızıntı suyu oranına kadar, çöp sızıntı suyu oranındaki artışla  $c$  artmış,  $\phi$  azalmıştır. Kür süresindeki artışla  $\phi$  azalmış,  $c$  artmıştır. Permeabilite üzerinde çöp sızıntı suyunun etkisinin belirlenmesi için ödometre deney sonuçlarından yararlanılmıştır. Permeabilite çöp sızıntı suyu oranındaki ve kür süresindeki artışla artmıştır.

### **3. DENEY ALETİ VE DENEYLERDE KULLANILAN ZEMİN**

#### **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 özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla geçirimsiz örtü tabaka malzemesi farklı oranlarda ( % 0, 5, 20, 50 ve % 100) çöp sızıntı suyu ile karıştırılmış ve daha sonra hazırlanan zemin numuneleri farklı kür sürelerinde (0, 1, 7, 30 ve 90 gün) bekletilerek suya doymun olmayan numuneler ve farklı oranlarda (% 5, 20, 50 ve % 100) çöp sızıntı suyu ile karıştırılıp 7 gün kür süresinde bekletilip daha sonra karıştırıldığı orandaki çöp sızıntı suyu içerisinde de 7 gün bekletilerek suya doymun numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler kullanılarak zeminin kıvam limitleri, permeabilitesi ve kayma mukavemeti özelliklerinin çöp sızıntı suyu miktarı ve kür süresi ile değişimi incelenmiştir.

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

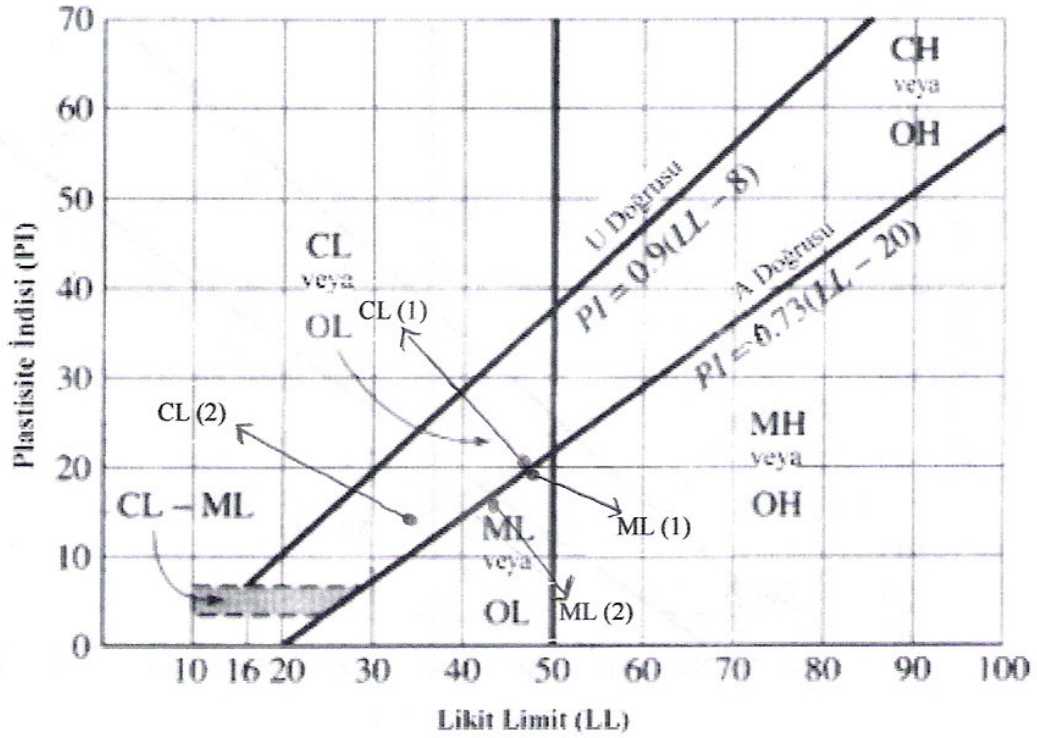
#### **3.2 Deneylerde Kullanılan Zeminler**

Deneylerde Kemerburgaz Katı Atık Depo Tesis Alanından temin edilmiş olan düşük plastisiteli siltli (ML) ve düşük plastisiteli killi (CL) zeminler kullanılmıştır. Şekil 3.1' de bu zeminlerin Plastisite kartı üzerindeki yeri, Tablo 3.1' de ise endeks özellikleri ve granülometri dağılımı (kum, silt ve kil yüzdeleri) belirtilmiştir. Granülometrik özelliği ise elek ve hidrometre (ıslak analiz) deneyleri ile tespit

edilmiş olup elde edilen sonuçlara ait Granülometri eğrileri Şekil 3.2' de gösterilmiştir.

**Tablo 3.1 :** Deneysel Numunelerinin Endeks Özellikleri ve Granülometri Dağılımı

Zemin No	Zemin Sınıfı	LL (%)	PL (%)	PI (%)	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	KUM	SİLT	KİL
1	ML	48	28	20	26,9	9	57	34
1	CL	47	27	20	26,9	6	43	51
2	ML	44	29	15	26,9	3	57	40
2	CL	34	19	15	26,9	48	43	9



**Şekil 3.1 :** Plastisite Kartı

### 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.

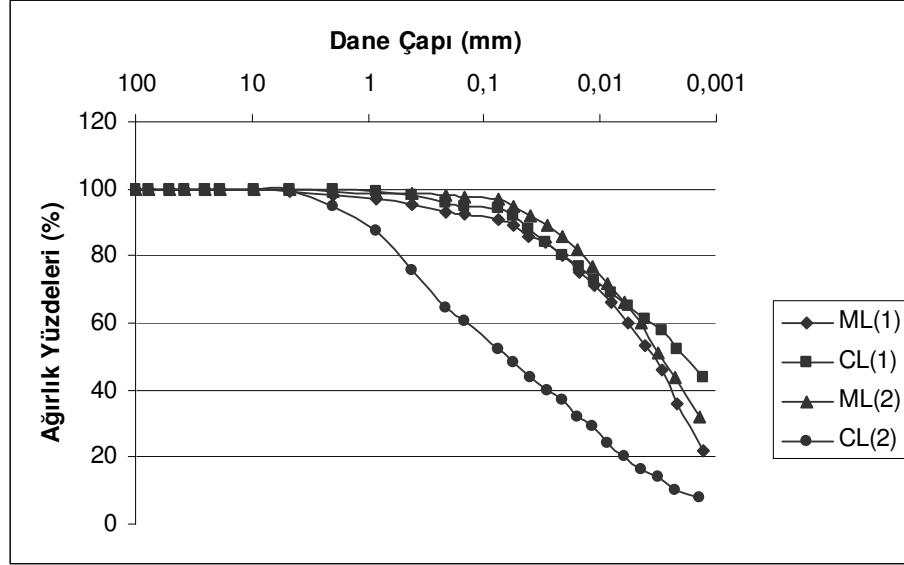
**Tablo 3.2 : K.Burgaz Çöp Sızıntı Suyu Bileşenlerine Ait Analiz Sonucu**  
(Er, 2006)

Leachete Analizleri				
Parametreler	Birimler	Numune 1	Numune 2	Numune 3
pH		7.51	8.03	7.72
TKM	mg/l	12250	14590	13930
TUKM	mg/l	4020	2470	2625
TÇM	mg/l	10980	13045	12400
TUÇM	mg/l	2790	1410	1630
Alkalinite	mg/l CaCO <sub>3</sub>	7250	12450	12050
KOİ	mg/l	8525	3020	2755
Çöz.KOİ	mg/l	7500	1430	1810
BOİ	mg/l	3935	265	410
T.P	mg/l	78.4	19.4	14.1
TKN	mg/l	1876	2198	1960
NH <sub>3</sub> -N	mg/l	1602	1971	1764
Klorür	mg/l	2850	4750	4000
Sülfat	mg/l	165	265	30
Ca.Sertliği	mg/l CaCO <sub>3</sub>	660	260	160
T.Sertlik	mg/l CaCO <sub>3</sub>	1700	2200	2350
Ca	mg/l	264	104	64
Mg	mg/l	249.6	465.6	525.6
Na	mg/l	2054	3130	2940
K	mg/l	1240	2080	2050
Fe	mg/l	16.5	28.1	22.4
Ni	mg/l	0.27	0.51	0.49
Cr	mg/l	0.99	0.82	0.71
Zn	mg/l	0.68	0.71	0.74

\***Numune 1:** Hava ile temas etmiş çöp sızıntı suyu (Kasım 2004)

**Numune 2:** Yeni çöp sızıntı suyu (Kasım 2005)

**Numune 3:** Hava ile temas etmeyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyu (Mayıs 2005)



Şekil 3.2 : Granülometri Eğrileri

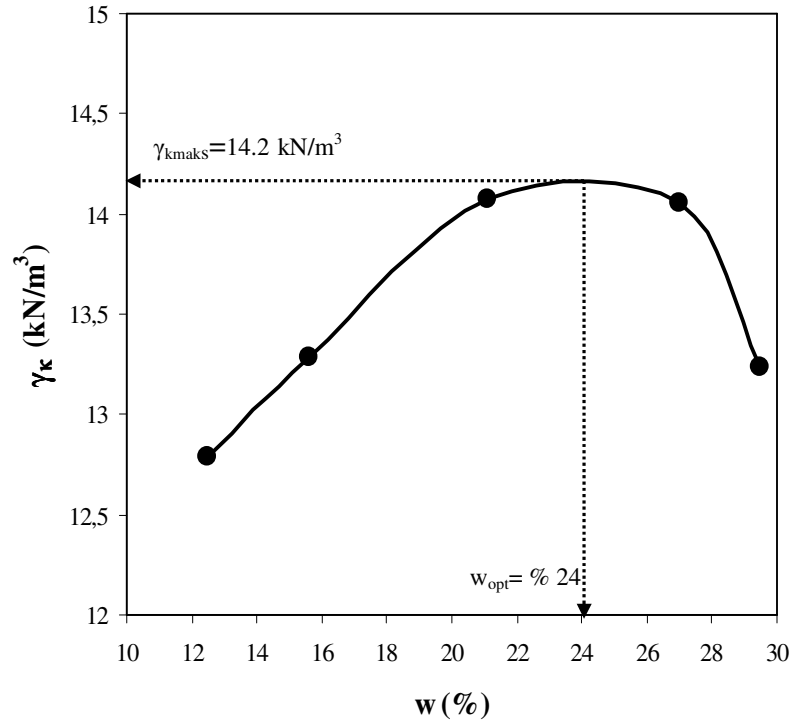
### 3.4 Numune Hazırlanması

Deneylerde kullanılacak zemin numunelerinin optimum su muhtevasında ve Proktor sıklığında olması istendiğinden öncelikle zemin numunesi üzerinde Standart Proktor deneyi uygulanarak zemine ait optimum su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlığı belirlenmiştir. Standart Proktor deneyinin uygulanabilmesi için zemin 105<sup>0</sup>C etüve 24 saat kurutulur. Örselenmiş dane boyutlarında küçülme meydana getirmeksizin lastik tokmak ile ufalanır. 4 no' lu elekten geçen zeminden 3.0 kg ağırlığında numune alınır. Bu zemin numunesi içine biraz ve belli miktarda su ilave edilerek, üç tabaka halinde 950 cm<sup>3</sup> lük kalıp içinde sıkıştırılır. Sıkıştırma işi, üç tabakanın her biri üzerine 2.5 kg' lık tokmak 30.5 cm yükseklikten 25 kez düşürülerek gerçekleştirilir. Sıkıştırılan zemin numunesi tartılır. Kalıp içindeki numunenin alt ve üstünden numune alınıp tartılır ve etüve konularak su içeriği tayin edilir. Kalıp içindeki numune yeniden çıkarılır ve lastik tokmakla yeniden ezilir ve üzerine yine belli miktarda su eklenir. Homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılır ve yukarıdaki işlemler tekrarlanır. Yaş ağırlığı tartıldığı ve kalıp hacmi belli olduğu için doğal birim hacim ağırlığı ve su muhtevası belirlenir.

Deneyde zemin numunesi içine su eklendikçe ve sıkıştırıldıkça doğal veya yaş birim hacim ağırlığı artar. Yaş birim hacim ağırlık  $\gamma_n$ , kuru birim hacim ağırlık gibi bir

maksimumdan geçer ve azalmaya başlar. Düzgün bir eğri elde etmek için yaş birim hacim ağırlığın azalmasından sonra, deney iki kez tekrarlanır ve deneye son verilir. Daha sonra bulunan kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevalarına göre doyunluk eğrileri çizilir. Eğrinin maksimumu bulunur. Bu maksimuma karşı gelen kuru birim hacim ağırlık  $\gamma_{kmaks}$  ve bu kuru birim hacim ağırlığa karşı gelen su muhtevası optimum su muhtevası ( $w_{opt}$ ) olarak tanımlanır.

Şekil 3.3' de Standart Proktor deneyine ait grafik görülmektedir. Deney sonunda;  $w_{opt} = (\%) 24$  ve  $\gamma_{kmaks} = 14.2 \text{ kN/m}^3$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.3 :  $\gamma_k - w_{opt}$  Grafiği

Standart Proktor deney verileri elde edildikten sonra içerisine belli oranlarda çöp sızıntı suyu karışmış zemin numunelerinin hazırlanmasına geçilmiştir. Önce zemin 105<sup>0</sup> C etüvde 24 saat kurularak lastik tokmak yardımı ile ufalanmıştır ve 4 no' lu elekten elenmiştir. Elekten geçen malzemeden bir numune için 1400 gr alınarak optimum su muhtevasının % 0, 5, 20, 50 ve % 100' ü çöp sızıntı suyu olacak şekilde zemine su katılarak optimum su muhtevasında numune hazırlanmıştır. Numune

Standart Proktor kalıbında sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işlemi kalıp içinde üç tabaka halinde ve Standart Proktor tokmağının 30.5 cm yükseklikten her tabaka için 25 kez düşürülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler kalıptan çıkarılıp 0, 1, 7, 30 ve 90 günlük kür sürelerine bırakılmıştır. Kür süresi 0 gün olan numuneler hemen deneye tabi tutulmuştur. Kür süresi 1, 7, 30 ve 90 gün olan numuneler ise su muhtevalarını kaybetmeyecek şekilde sarılarak nem odasında muhafaza edilmiştir.

### **3.5 Atterberg Limitleri**

Bu çalışmada sızıntı suyu miktarının ve sızıntı suyu ile zeminin etkileşim süresinin zeminin likit limit ve plastik limiti üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla zemin numunesi çöp sızıntı suyu içeriği % 5, 20, 50 ve 100 olacak şekilde çöp sızıntı suyu ile karıştırılarak 1, 7, 30 ve 90 gün süre ile küre bırakılmıştır. Kür süresinin bitiminde likit ve plastik limit deneylerine tabi tutulmuştur. Ayrıca küre bırakılmadan aynı çöp sızıntı suyu içeriğine sahip su karışımı ile zemin karıştırılarak likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır.

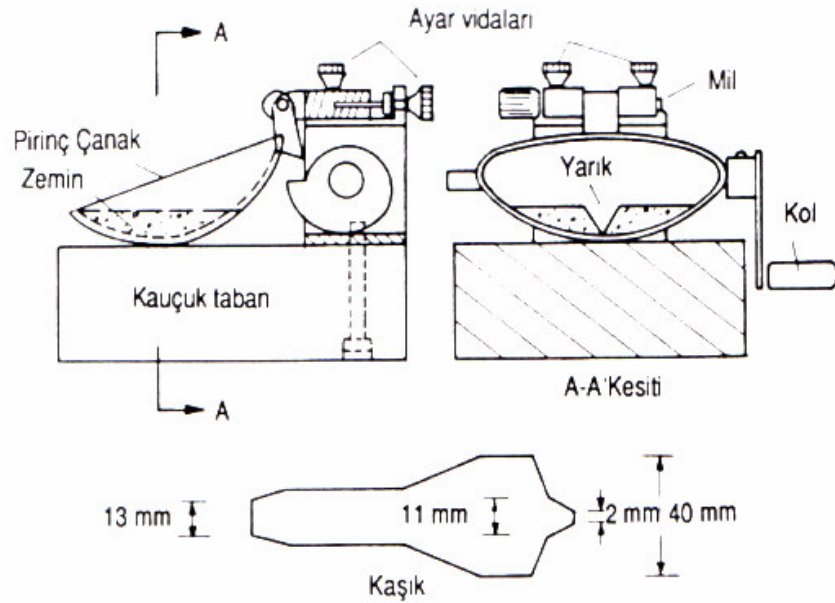
#### **3.5.1 Likit Limit Deneyi**

Likit limit deneyinde ASTM D 4318–2000 standartları uygulanmıştır. İlk olarak likit limit deneyi küre bırakılmamış numuneler üzerinde yapılmıştır. Bu amaçla çöp sızıntı suyu ile karıştırılmamış temiz zemin 105 °C ‘ deki etüvde 24 saat kurutulur. Etüvden çıkarılan numune lastik tokmak kullanılarak öğütülür. 40 no’ lu elekten elenir. Hazırlanan malzemeden her deney için 250 g ağırlığında numune alınır. Karışım suyunun % 0, 5, 20, 50 ve 100 çöp sızıntı suyu olacak şekilde temiz ve çöp suyu karıştırılarak deney suları hazırlanır. Porselen kap içindeki numuneye hazırlanmış olduğumuz çöp sızıntı suyu ve damıtık su karışımından ilave edilir. Homojen bir karışım elde edinceye kadar spatula ile iyice karıştırılır. Çöp sızıntı suyunun zemin üzerindeki kimyasal etkisi nedeni ile hemen deneye başlanır.

Deneye başlamadan önce Casagrande aletinin düşüş yüksekliğinin 1 cm olup olmadığı oyuk açma bıçağı kullanılarak kontrol edilir. Şekil 3.4’ de gösterilen Casagrande aletinin içine hazır durumdaki numuneden spatula ile bir miktar alınarak tasın içerisine yerleştirilir. Yerleştirme sırasında numunenin içinde hava kabarcıkları kalmamasına özen gösterilir. Kap içerisine yerleştirilen numunenin yüzeyi yatay

olacak şekilde düzeltilir. Kap içine yerleştirilen numunenin en kalın kısmı yaklaşık olarak 1 cm olmalıdır. Kap içine yerleştirilen numunenin ortasından standart oyuk açma bıçağı ile bir yarık açılır. Numune içerisinde yarık açılırken özen gösterilmeli ve yarığın düzgün olması sağlanmalıdır. Bu işlem oldukça çabuk yapılmalı ve numunenin kurumasına izin verilmemelidir. Krank kolu saniyede iki düşüş yapacak şekilde çevrilir ve düşüşler sayılır. Bu sırada numune ortasında açılmış olan yarığın tabanındaki kapanma dikkatle izlenmeli ve kapanmanın 13 mm olması durumunda çevirme işlemi durdurulmalıdır. 13 mm' lik kapanmanın olduğu bölgeden bir miktar numune alınarak tartılır. Bu numune 105 C<sup>0</sup> de etüvde 24 saat kurutulur (Irene, 2003). 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 3.4 :** 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.

Likit limitin 1, 7, 30 ve 90 gün sonundaki değişimini incelemek amacı ile hazırlanan numuneler optimum su içeriğine sahip olarak hazırlanmıştır. Kür süresini tamamlayan numuneler 105 C<sup>o</sup> lik etüvde 24 saat kurutulur. Etüvden çıkarılan numuneler lastik tokmak yardımı ile öğütülüp 40 no' lu elekten elenir. Hazırlanan numuneler çöp sızıntı suyu içeriği % 5, 20, 50 ve 100 olan çöp sızıntı suyu ve temiz su karışımı kullanılarak küre bırakılmamış numuneler gibi likit limit deneyine tabi tutulur.

### **3.5.2 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 ulaşınca 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 hesaplan

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

### 3.6 Kesme Kutusu Deneyi

#### 3.6.1 Kesme Kutusu Deney Aleti

Zeminlerin kayma mukavemetini belirlemek için en basit, en eski ve en yaygın yöntem kesme kutusu deneyidir. Deney Şekil 3.5' de gösterilmiş olan kare ya da dairesel kesitli kesme kutusunda yapılır. Alet sabit bir üst çene ve yatay hareket edebilen bir alt çeneden oluşmaktadır. Uygulanan bir kesme kuvveti altında, üst parçanın sabit tutulması ve alt parçanın yatay bir düzlem boyunca hareket edebilmesi nedeni ile numunenin ortasından geçen yatay düzlem boyunca zemin kaymaya zorlanmaktadır. Numune iki poroz taş arasına yerleştirilir. Bu poroz taşlar suya doymun numune konsolide edilirken dren görevi yaparlar. Numune ile poroz taşlar arasındaki temas yüzeyleri dişli yapılmıştır. Böylece numune ve taşlar arasındaki kayma engellenmiş olur.

Numune kesilmeden önce, üst taşın birim alanına (P) düşey kuvvet uygulanır. Gerek yükün uygulanışı, gerekse bunu takip eden kesme kuvvetinin uygulanması numunenin boşluk oranını değiştirir. Eğer numunenin boşlukları hava ile doluyorsa bu değişiklik hemen meydana gelir, öte yandan eğer numune suya doymunsa, suyun zemin boşluklarından çıkarken gördüğü direnç bu değişikliği geciktirir. Zeminin kırılma anındaki su muhtevası, kesme kuvveti uygulanmadan düşey yük altında numunenin erişmiş olduğu konsolidasyon yüzdesine, zeminin permeabilitesine, kesmenin artma hızına ve drenaj şartlarına bağlıdır. Bu değişkenlerin, düşey kuvvet ile kayma mukavemeti arasındaki bağıntıya etkisini incelemek için yapılan deneylere yavaş deneyler, konsolidasyonlu hızlı deneyler ve hızlı deneyler denir. Yavaş deneyde gerek yük gerekse kesme kuvveti öyle yavaş uygulanır ki düşük permeabiliteli suya doymun killerin su muhtevaları bile bu gerilme değişimine uyar.

Konsolidasyonlu hızlı deneyde numune, düşey yük altında tamamen konsolide olduktan sonra sabit su muhtevasında kesilir. Konsolidasyonsuz hızlı deneyde ise

numunenin su muhtevası gerek düşey yükün uygulanması sırasında, gerekse kesme esnasında sabit kalır.



**Şekil 3.5 : Kesme Kutusu Deney Aleti**

Numunenin konsolidasyonu, üstteki poroz taşın düşey hareketini gösteren bir deformasyon saati ile izlenir. Kesme deneyi sırasında aynı saat kesme kuvvetinin bir hacim değişimi meydana getirip getirmediğini gösterir.

Kesme kuvvetini kademeli uygun bir hızla artırarak uygulamak için gerekli önlemler alınmış kesme kutusuna gerilme kontrollü, yer değiştirme belli bir şekilde artırılırsa, bu artımı temin etmek için gerekli çekme veya itme kuvvetini ölçebilen alete deformasyon kontrollü denir.

Kesme sırasında oluşan boşluk suyu basıncı artışlarını ölçmenin mümkün olmaması, göçmeye ulaşmadan önceki gerilme seviyelerinde asal gerilme doğrultularının belirsiz olması ve kırılma düzlemi boyunca gerilme dağılımının üniform olmaması bu deneyin sınırlayıcı yönlerini oluşturmaktadır. Ayrıca kayma kırılması potansiyel kayma yüzeyinin her noktasında aynı anda meydana gelmez. İki uçtan başlar ortaya

doğru ilerler. Bu nedenle deney sonunda elde edilen maksimum değer gerçek maksimum değerden daha küçüktür.

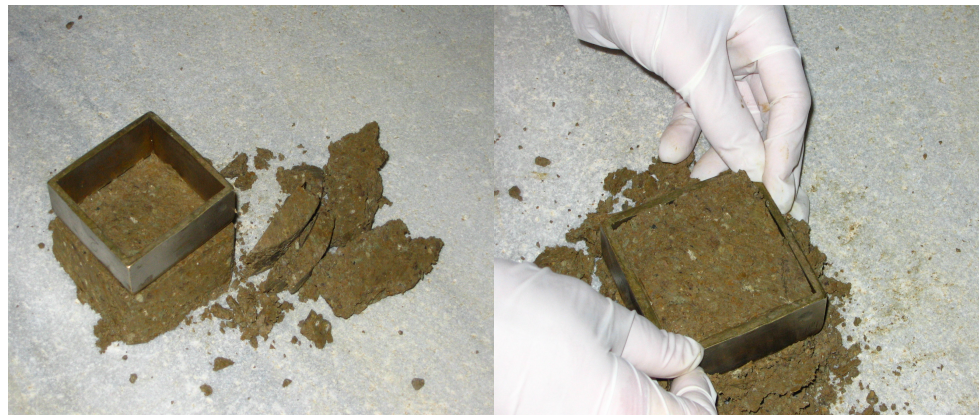
### 3.6.2 Optimum Su Muhtevasında Numune Hazırlanması

Kesme kutusu deneyinde kullanılmak üzere numune hazırlanması için önce Standart Proktor kalıbında hazırlanmış zemin numunesi üç parçaya bölünür. Şekil 3.6' da görüldüğü gibi parçalardan biri üzerine 60x60x25mm boyutlarındaki kesme kutusu ringi yerleştirilir ve bıçak yardımı ile numunenin fazla kısımları kesilir. Daha sonra ring numune içine batırılır ve ring içindeki numunenin her iki yüzeyi düzeltilir. Aynı işlem diğer parçalar üzerinde de uygulanır.



(a)

(b)



(c)

(d)

**Şekil 3.6 : Kesme Kutusu Deneyi İçin Numune Hazırlanması**

### 3.6.3 Suya Doygun Halde Numune Hazırlanması

Standart Proktor kalıbında hazırlanmış zemin numunesi üç parçaya bölünür. Herbir numune parçası kendi çapından biraz daha küçük borular içine, çevresinde boşluk kalmamasına dikkat edilerek yerleştirilir. İçine zemin numunesi yerleştirilen boruların alt ve üst tarafları poroz kağıtlarla kaplanır. Borular alt ve üst taraflarına özel hazırlanmış delikli ahşap bloklar konularak, uygun kaplarda ahşap ayaklar üzerine yerleştirilir. Boruların içindeki zemin numunesinin zamanla şişmesini engellemek için boruların üst tarafına uygun ağırlıklar konur. Kapların içine numuneyi kaplayacak şekilde, zeminlerin karıştırıldığı orandaki çöp sızıntı suyu konur ve istenilen kür süresinde zeminin suya doygun hale gelmesi sağlanır. İstenilen kür süresi dolduğunda, boru içindeki zemin numunesi üzerine 60x60x25mm boyutlarındaki kesme kutusu ringi yerleştirilir ve zemin numunesinin tamamı dışarı çıkarılır. Bıçak yardımı ile numunenin fazla kısımları kesilir. Daha sonra ring numune içine batırılır ve ring içindeki numunenin her iki yüzeyi düzeltilir. Aynı işlem diğer parçalar üzerinde de uygulanır.

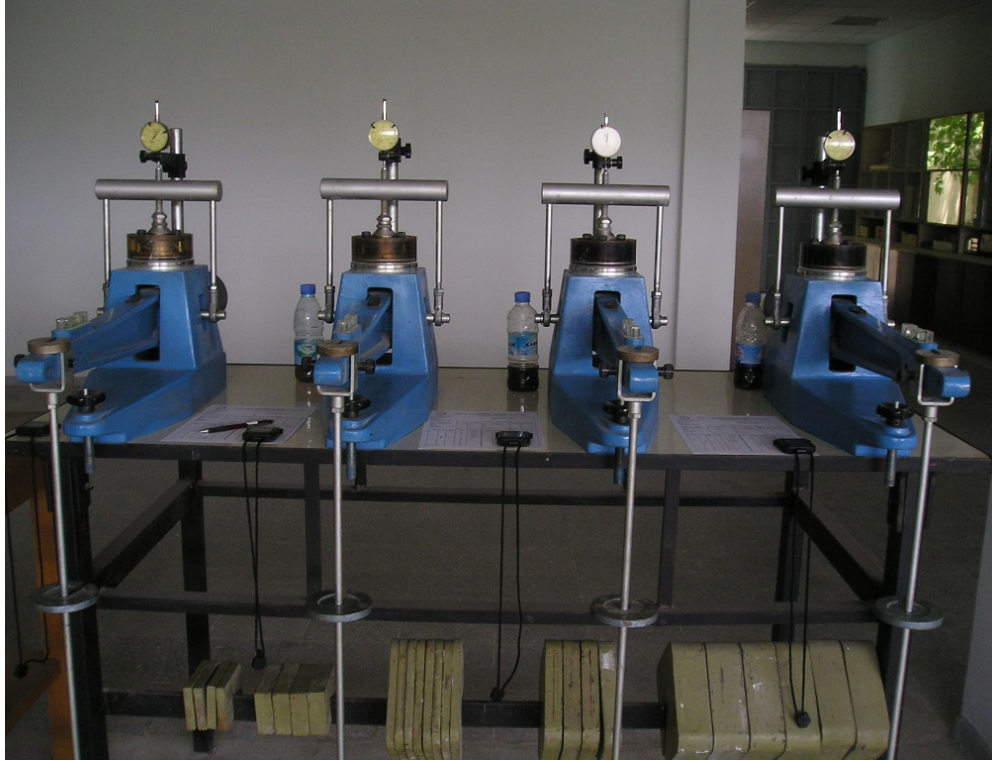
### 3.6.4 Deneyin Yapılışı

Deneye başlamadan önce ring içindeki numune kuru birim hacim ağırlığının bulunabilmesi için hassas terazide tartılır. Numune ağırlığı deney föyüne yazılır. Kesme kutusunun alt ve üst vidaları birbirine tespit edilir. Ring içindeki numune ahşap çekiç yardımı ile kesme kutusu içine dikkatli bir şekilde yerleştirilir. Numunenin üst kısmına üzerinde poroz taş olan yükleme başlığı yerleştirilir. Yükleme başlığı vasıtasıyla düşey yük uygulanır. Kesme kutusunun üst parçasını alt parçasına tespit eden vidalar çıkarılır. Yatay ve düşey deformasyonları ölçebilmek için iki tane okuma saati yerleştirilir. Yatay yük uygulanır ve kuvvet halkasındaki değerler okunur. Bu sırada yatay ve düşey deformasyon saatlerinden de okumalar alınır. Yatay kuvvet uygulandığı halde kuvvet halkasında yük değeri artmıyorsa ya da aniden bir azalma olmuşsa numune kesilmiştir. Kesilen numune deney sonu su muhtevasının belirlenmesi için tartılır. Tartılan numune 105 C<sup>0</sup>, de 24 saat etüvde kurutulur. Etüvden çıkarılan numune tartılır ve deney sonu su muhtevası hesaplanır.

### 3.7 Ödometre Deneyi

#### 3.7.1 Ödometre Aleti

Şekil 3.7' de görülen ödometre deney aleti yükleme askısı ve yükleme kirişinden oluşan yükleme elemanları ve konsolidasyon hücresinden oluşmaktadır. Yükleme elemanları numuneye aksel yük uygulamaktadır. Bu nedenle yükün uygulanması sırasında dikkat edilmesi gereken yükleme kirişinin yatay olmasıdır. Kirişin yataylığı kiriş üzerindeki su düzenci 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 3.7' 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 3.7 : Ödometre Deney Aleti

### 3.7.2 Optimum Su Muhtevasında Numune Hazırlanması

Ödometre deneyinde kullanılmak üzere numune hazırlanması için önce Standart Proktor kalıbında hazırlanmış zemin numunesinden yaklaşık 25 mm kalınlığında bir parça kesilir. Şekil 3.8’ 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 3.8 :** Konsolidasyon Deney Numunesinin Hazırlanması

### 3.7.3 Suya Doygun Halde Numune Hazırlanması

Standart Proktor kalıbında hazırlanmış zemin numunesi üç parçaya bölünür. Herbir numune parçası kendi çapından biraz daha küçük borular içine, çevresinde boşluk kalmamasına dikkat edilerek yerleştirilir. İçine zemin numunesi yerleştirilen boruların alt ve üst tarafları poroz kağıtlarla kaplanır. Borular alt ve üst taraflarına özel hazırlanmış delikli ahşap bloklar konularak, uygun kaplarda ahşap ayaklar üzerine yerleştirilir. Boruların içindeki zemin numunesinin zamanla şişmesini engellemek için boruların üst tarafına uygun ağırlıklar konur. Kapların içine numuneyi kaplayacak şekilde, zeminlerin karıştırıldığı orandaki çöp sızıntı suyu konur ve istenilen kür süresinde zeminin suya doymuş hale gelmesi sağlanır. İstenilen kür süresi dolduğunda, boru içindeki zemin numunesi üzerine 50 mm çapında 20 mm yüksekliğindeki ring yerleştirilir ve zemin numunesinin tamamı dışarı çıkarılır. Numunenin ring dışında kalan kısımları bıçak ile kesilir. Daha sonra ring numune içine batırılır ve ring içindeki numunenin her iki yüzeyi düzeltilir. Aynı işlem diğer parçalar üzerinde de uygulanır.

### 3.7.4 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 doymuş 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 oturumaları ölçebilecek şekilde yükleme halkasının üzerine yerleştirilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta zeminin deneye başlamadan yüklenmemesidir. Zemin numunesi doymuş durumda deneye tabi tutulacağı için hazne daha önce belirlenmiş olan çöp sızıntı suyu (% 0, 5, 20, 50 ve 100) ve temiz su karışımı ile doldurulur.

Deneyin ilk aşaması olarak zemin numunesinin şişme basıncı belirlenmiştir. Bu amaçla numuneye ilk olarak  $0.25 \text{ kg/cm}^2$  düşey gerilme uygulanmıştır. Numune şiştikçe yük askısına yük konularak düşey deformasyon saatinin sıfırda kalması sağlanmıştır. Şişmenin hiç olmadığı anda numune üzerindeki basınç, şişme basıncı olarak belirlenmiştir. Şişmeyi engelleyen basıncın belirlenmesinin ardından bir üst yük kademesine geçilerek 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  $8 \text{ kg/cm}^2$  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  $105 \text{ C}^0$  deki etüvde 24 saat kurutulur. Etüvden çıkarılan numune tartılarak kuru ağırlığı bulunur ve su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlığı hesaplanır.

Bu bölümde yapılan çalışma kapsamında deneylerde kullanılan numune özellikleri, Atterberg limitleri, kesme kutusu ve konsolidasyon deney yöntemleri ele alınmıştır. Bölüm 4' de ise deney sonuçları incelenecektir.

## 4. DENEY SONUÇLARI

### 4.1 Giriş

Bu bölümde çöp su oranının ve bu suyun zeminle etkileşim süresinin zeminin statik yükler altındaki davranışları üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla Atterberg kıvam limitleri, kesme kutusu ve ödometre deney sonuçları detaylı şekilde ele alınmıştır. Atterberg kıvam limitleri deneylerinde zemine % 5, 20, 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu katılarak kür oranının kıvam limitleri üzerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca aynı kür oranlarında hazırlanmış numuneler 1, 7, 30 ve 90 gün küre bırakılarak kür süresi ile kıvam limitlerindeki değişimler incelenmiştir. Kesme kutusu deneylerinde de kür oranı ve kür süresinin zeminin statik yükler altında şekil değiştirme ve kayma mukavemeti üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla zemine % 5, 20, 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu katılarak 0, 1, 7, 30 ve 90 günlük kür süreleri sonunda deneye tabi tutulmuştur. Deney numunelerinin aynı özellikte olmasını sağlamak amacı ile tüm deney numuneleri Standart Proktor kalıbında Proktor tokmağı ile hazırlanmıştır. Ödometre deneyinde çöp sızıntı suyu oranı % 5, 20, 50 ve % 100, kür süresi 0, 30 ve 90 gün olan numuneler ele alınmıştır. Bu deney ile kür oranı ve kür süresinin zeminin hacim değiştirme davranışı, permeabilite katsayısı ve konsolidasyon katsayısı üzerine etkisi incelenmiştir. Yukarıda bahsedilen tüm deneyler suya doymun olmayan zeminler üzerinde yapılmıştır. Ayrıca kesme kutusu ve ödometre deneylerinde, zemine % 5, 20, 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu katılarak 7 gün kür süresi sonunda, karıştırıldığı orandaki çöp sızıntı suyu içerisinde de 7 gün bekletilerek suya doymun numuneler ele alınmıştır. Suya doymun olmayan numunelerde olduğu gibi, suya doymun numuneler için de kesme kutusu deneylerinde kür oranı ve kür süresinin zeminin statik yükler altında şekil değiştirme ve kayma mukavemeti üzerine etkisi, ödometre deneylerinde kür oranı ve kür süresinin zeminin hacim değiştirme davranışı, permeabilite katsayısı ve konsolidasyon katsayısı üzerine etkisi incelenmiştir.

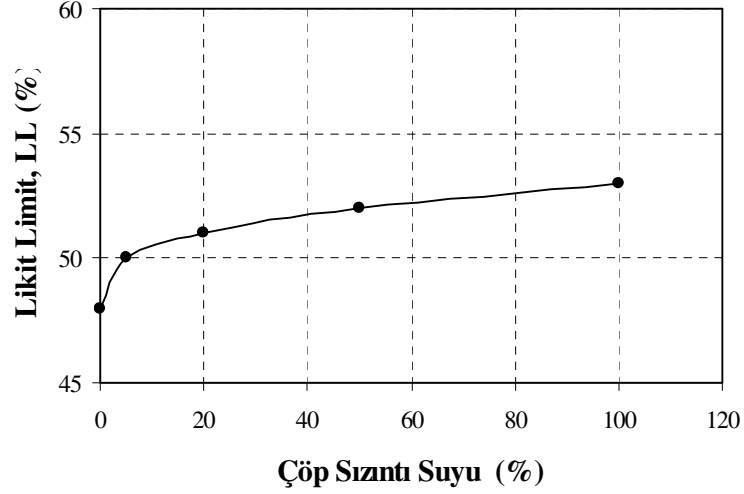
Deney sonuçlarının gerçekçi ve güvenilir olması için deneylerde Kemberburgaz Katı Atık Tesis alanından getirilen dolgu malzemesi ve çöp sızıntı suyu kullanılmıştır. Atterberg kıvam limitleri deneylerinde iki farklı ML (düşük plastisiteli silt) ve iki farklı CL (düşük plastisiteli kil) kullanılmıştır. Kesme kutusu ve ödometre deneylerinde 1 numaralı ML (düşük plastisiteli silt) kullanılmıştır.

**Tablo 4.1 : Deney Numunelerinin Endeks Özellikleri**

	<b>Zemin</b>	<b>LL (%)</b>	<b>PL (%)</b>	<b>PI (%)</b>
<b>1</b>	ML	48	28	20
<b>1</b>	CL	47	27	20
<b>2</b>	ML	44	29	15
<b>2</b>	CL	34	19	15

#### **4.2 Kür Oranının Zeminin Endeks Özellikleri Üzerine Etkisi (t= 0)**

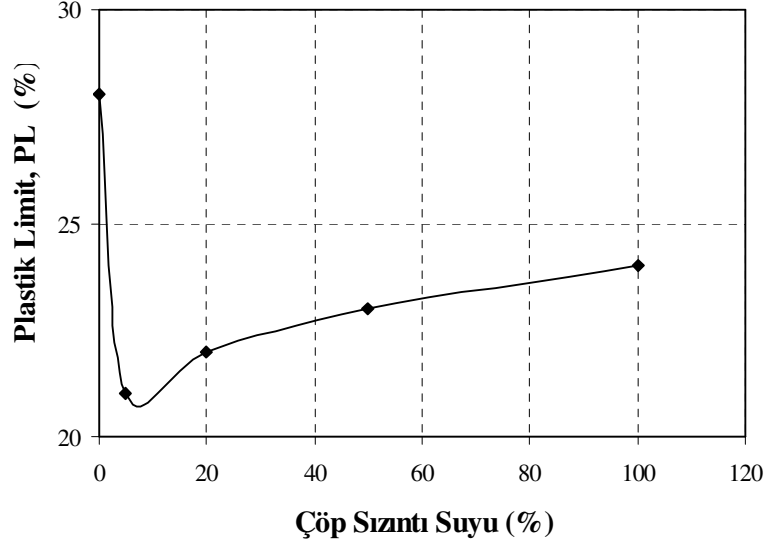
Zemine farklı oranlarda çöp sızıntı suyu katılarak zeminin likit limit, plastik limit ve plastisite indisinin çöp sızıntı suyu oranına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Şekil 4.1' de likit limit deney sonuçları görülmektedir. Buna göre zeminin temiz (çöp sızıntı suyu: % 0) olması durumunda likit limit % 48 olarak belirlenmiştir. Zemine % 5 oranında çöp sızıntı suyu katılması ile LL= % 50 değerine yükselir. Çöp sızıntı suyu oranı % 20' ye çıkarıldığında LL= % 51' e yükselmiştir. % 50 çöp sızıntı suyu oranında likit limit % 52, % 100 çöp sızıntı suyu oranında % 53 değerine ulaşmıştır. Görüldüğü gibi çöp sızıntı suyu oranı arttıkça likit limit değeri artmaktadır.



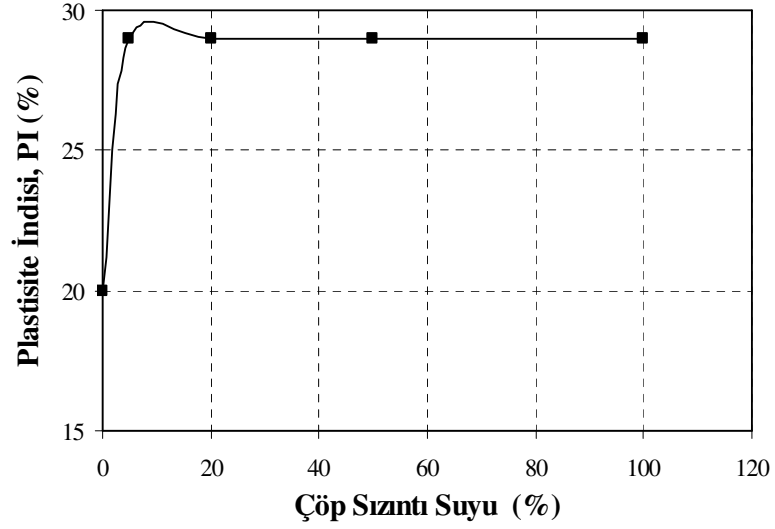
**Şekil 4.1 :** Çöp Sızıntı Suyu Oranının Likit Limit Üzerine Etkisi (ML(1), t=0)

Şekil 4.2' de görüldüğü gibi plastik limit (PL) değeri çöp sızıntı suyu katılmamış zemin için (PL= % 28) maksimumdur. % 5 çöp sızıntı suyu oranında ise plastik limit (PL= % 21) minimumdur. % 20 çöp sızıntı suyu oranında plastik limit % 5 çöp sızıntı suyu oranına göre artarak % 22 değerine ulaşmıştır. Bu artış % 50 çöp sızıntı suyu oranında da devam ederek plastik limit % 23 olmuştur. % 100 çöp sızıntı suyu oranında da plastik limit değeri artarak % 24 değerine ulaşmıştır. Çöp sızıntı suyu katkılı zemin numunelerinin plastik limit değeri temiz zemin numunesine göre daha düşüktür. Fakat çöp sızıntı suyu katılmış numuneler kendi aralarında değerlendirildiğinde çöp sızıntı suyu oranı arttıkça plastik limit değerinin bir miktar artış gösterdiği görülür.

Plastisite indisi (PI) ise Şekil 4.3' de görüldüğü gibi çöp sızıntı suyu miktarındaki artışla artma eğilimi göstermiştir. Temiz zeminin plastisite indisi (PI= % 20) çöp sızıntı suyu katılmış numunelere göre daha küçüktür. % 5, % 20, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında plastisite indisi (PI= % 29) maksimum değerine ulaşır. Bilindiği gibi organik maddeler zeminin Atterberg limitlerini arttırmaktadır. Bunun neticesinde organik içerikli çöp sızıntı suyu oranı arttıkça zeminin likit limit, plastik limit ve plastisite indisi artar.



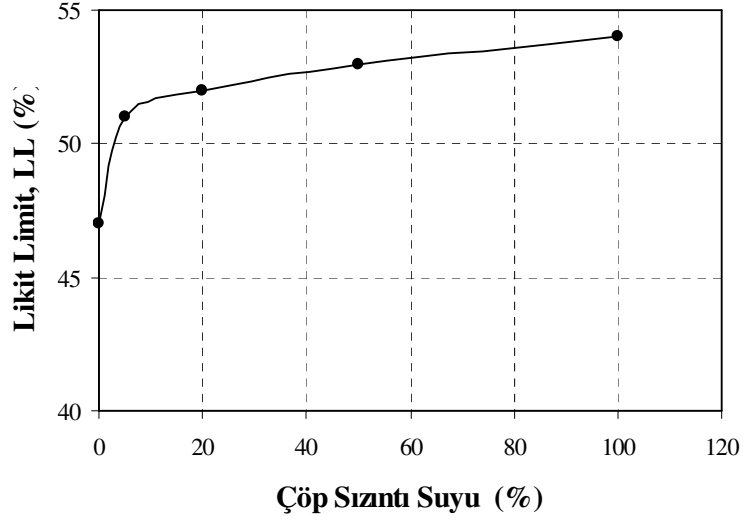
**Şekil 4.2 :** Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastik Limit Üzerine Etkisi  
(ML(1), t= 0)



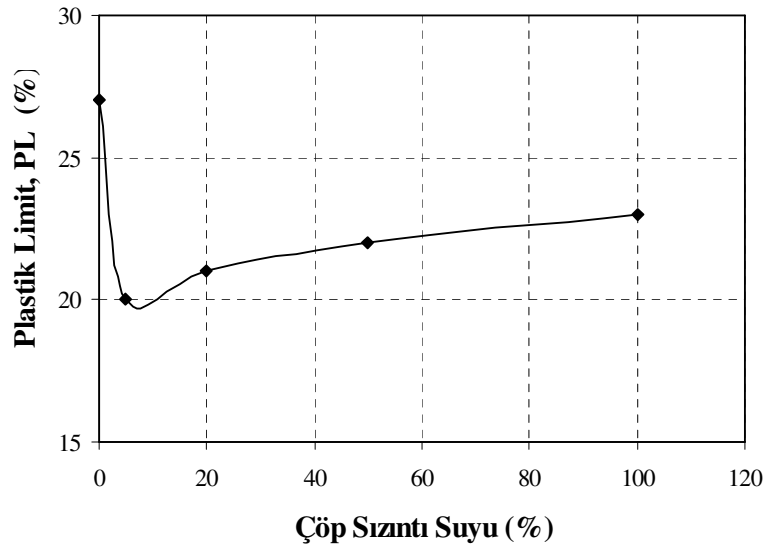
**Şekil 4.3 :** Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastisite İndisi Üzerine Etkisi  
(ML(1), t=0)

Yapılan deneyleri karşılaştırmak amacı ile LL= (%) 47, PL= (%) 27 ve PI= (%) 20 olan düşük plastisiteli (CL) numunesine farklı oranlarda çöp sızıntı suyu katılarak zeminin likit limit, plastik limit ve plastisite indisinin çöp sızıntı suyu oranına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Şekil 4.4' de likit limit deney sonuçları görülmektedir.

Zemine % 5 oranında çöp sızıntı suyu katılması ile LL= % 51 değerine yükselir. Çöp sızıntı suyu oranı % 20' ye çıkarıldığında LL= % 52' ye yükselmiştir. % 50 çöp sızıntı suyu oranında likit limit % 53, % 100 çöp sızıntı suyu oranında % 54 değerine ulaşmıştır.



Şekil 4.4 : Çöp Sızıntı Suyu Oranının Likit Limit Üzerine Etkisi (CL(1), t=0)

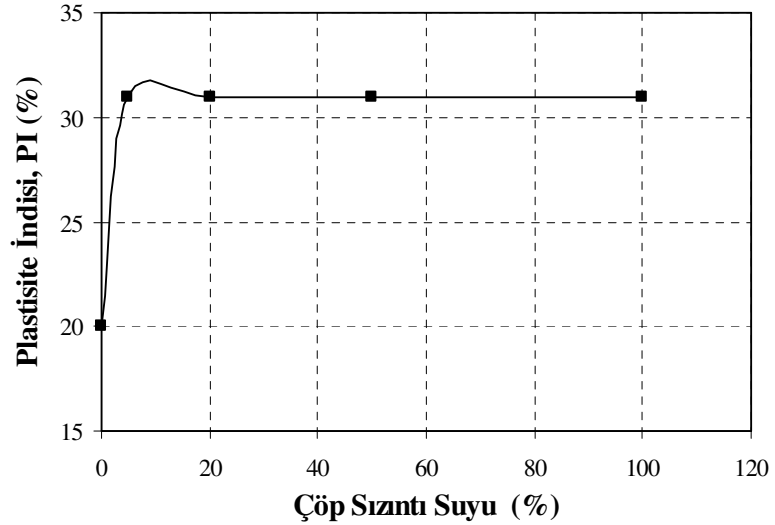


Şekil 4.5: Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastik Limit Üzerine Etkisi (CL(1), t=0)

Şekil 4.5' de görüldüğü gibi plastik limit (PL) değeri % 5 çöp sızıntı suyu oranındaki zemin için (PL= % 20) minimumdur. % 20 çöp sızıntı suyu oranında plastik limit %

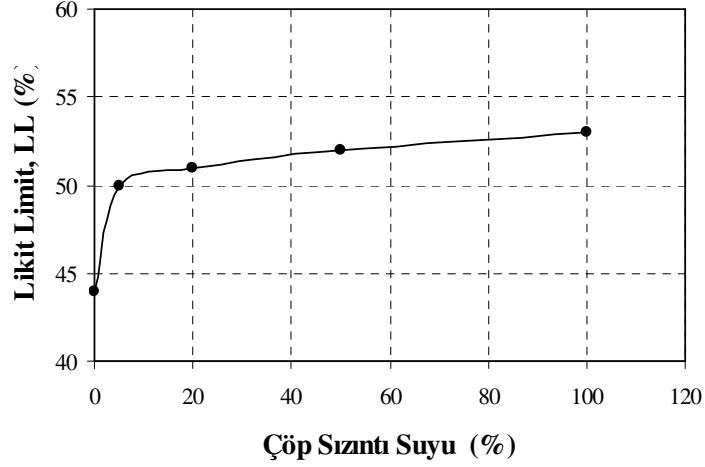
5 çöp sızıntı suyu oranına göre artarak 21, % 50' de 22 ve % 100 çöp sızıntı suyunda 23 değerine ulaşmıştır.

Plastisite indisi (PI) ise Şekil 4.6' de görüldüğü gibi % 5, % 20, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında plastisite indisi (PI= % 31) sabittir. Temiz zeminin plastisite indisi (PI= % 20) çöp sızıntı suyu katılmış numunelere göre daha küçüktür.



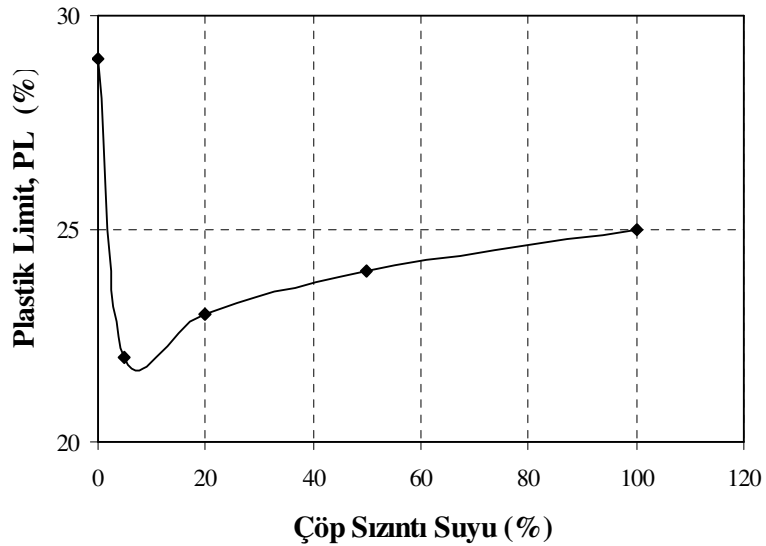
**Şekil 4.6 : Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastisite İndisi Üzerine Etkisi**  
(CL(1), t=0)

Yapılan deneyleri karşılaştırmak amacı ile LL= (%) 44, PL= (%) 29 ve PI= (%) 15 olan düşük plastisiteli (CL) numunesine farklı oranlarda çöp sızıntı suyu katılarak zeminin likit limit, plastik limit ve plastisite indisinin çöp sızıntı suyu oranına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Şekil 4.7' de likit limit deney sonuçları görülmektedir. Zemine % 5 oranında çöp sızıntı suyu katılması ile LL= % 50 değerine yükselir. Çöp sızıntı suyu oranı % 20' ye çıkarıldığında LL= % 51' e yükselmiştir. % 50 çöp sızıntı suyu oranında likit limit % 52, % 100 çöp sızıntı suyu oranında % 53 değerine ulaşmıştır.



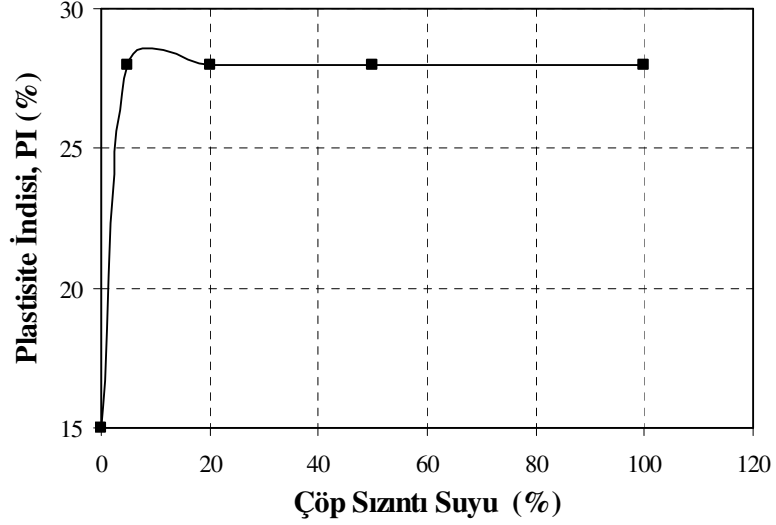
**Şekil 4.7 :** Çöp Sızıntı Suyu Oranının Likit Limit Üzerine Etkisi (ML(2), t=0)

Şekil 4.8' de görüldüğü gibi plastik limit (PL) değeri % 5 çöp sızıntı suyu oranındaki zemin için (PL= % 22) minimumdur. % 20 çöp sızıntı suyu oranında plastik limit % 5 çöp sızıntı suyu oranına göre artarak 23, % 50' de 24 ve % 100 çöp sızıntı suyunda 25 değerine ulaşmıştır. ML(1) numunesinde olduğu gibi çöp sızıntı suyu katkı zemin numunelerinin plastik limit değeri temiz zemin numunesine göre daha küçüktür.



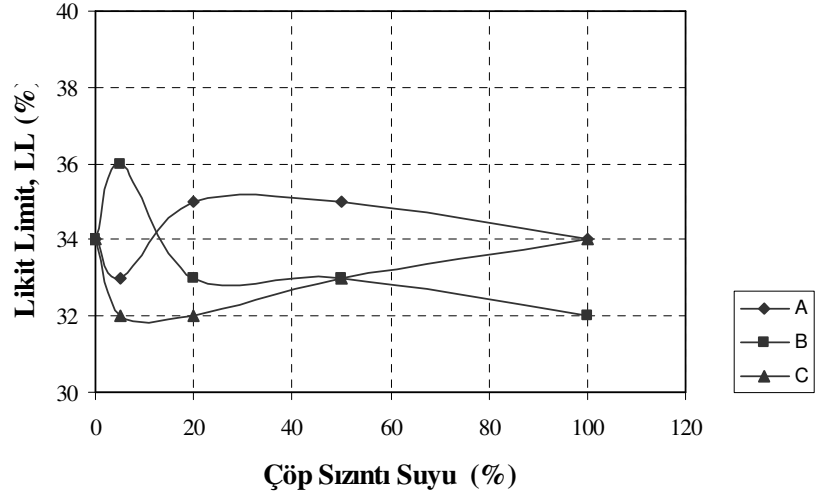
**Şekil 4.8 :** Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastik Limit Üzerine Etkisi (ML(2), t=0)

Plastisite indisi (PI) ise Şekil 4.9' da görüldüğü gibi % 5, % 20, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında plastisite indisi (PI= % 28) sabittir. Temiz zeminin plastisite indisi (PI= % 15) çöp sızıntı suyu katılmış numunelere göre daha küçüktür.



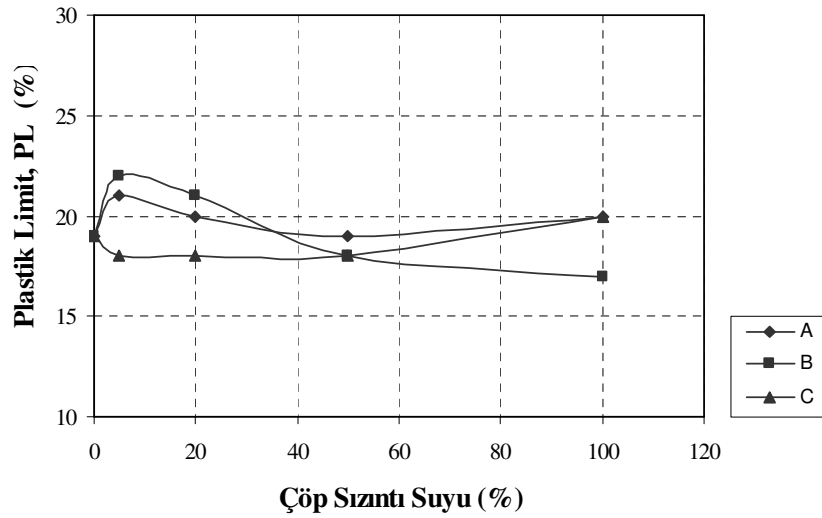
**Şekil 4.9 : Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastisite İndisi Üzerine Etkisi**  
(ML(2), t=0)

Yapılan deneyleri karşılaştırmak amacı ile LL= (%) 34, PL= (%) 19 ve PI= (%) 15 olan düşük plastisiteli (CL) numunesine Kemerburgaz Katı Atık Tesis alanından getirilen hava ile temas etmiş çöp sızıntı suyu, hava ile temas etmeyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyu ve yeni çöp sızıntı suyu katılarak likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi hava ile temas etmeyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyunun likit limiti (LL= 36) % 5 çöp sızıntı suyu oranında maksimumdur ve % 20, % 50 ve %100 çöp sızıntı suyu oranlarında giderek azalmıştır. Yeni çöp sızıntı suyunun likit limiti (LL= 32) % 5 ve % 20 çöp sızıntı suyu oranında minimumdur ve % 50, %100 çöp sızıntı suyu oranlarında giderek artmıştır. Hava ile temas etmiş çöp sızıntı suyunun likit limiti (LL= 33) % 5 çöp sızıntı suyu oranında temiz zemine göre azalmıştır ve % 20 ve % 50 çöp sızıntı suyu oranında biraz artış gösterip % 100 çöp sızıntı suyu oranında likit limiti (LL= 34) temiz zeminin likit limit değerine düşmüştür.



**Şekil 4.10 :** Çöp Sızıntı Suyu Oranının Likit Limit Üzerine Etkisi (CL(2), t=0)

- A: hava ile temas etmiş çöp sızıntı suyu  
 B: hava ile temas etmeyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyu  
 C: yeni çöp sızıntı suyu

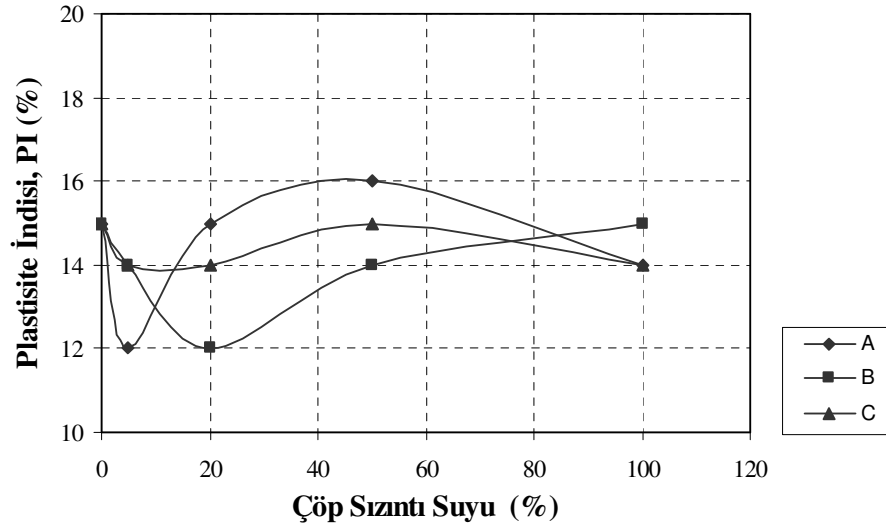


**Şekil 4.11 :** Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastik Limit Üzerine Etkisi  
 (CL(2), t=0)

Şekil 4.11’de görüldüğü gibi hava ile temas etmeyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyunun plastik limiti (LL=22) % 5 çöp sızıntı suyu oranında maksimumdur ve % 20, % 50 ve %100 çöp sızıntı suyu oranlarında giderek azalmıştır. Yeni çöp sızıntı suyunun plastik limiti (LL=18) % 5, % 20 ve % 50 çöp sızıntı suyu oranında

minimumdur ve %100 çöp sızıntı suyu oranında giderek artmıştır. Hava ile temas etmiş çöp sızıntı suyunun plastik limiti (LL=21) % 5 çöp sızıntı suyu oranında temiz zemine göre artmıştır ve % 20, % 50 çöp sızıntı suyu oranında biraz azalma gösterip % 100 çöp sızıntı suyu oranında plastik limiti (LL=20) tekrar artmıştır.

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi hava ile temas etmiş çöp sızıntı suyunun plastisite indisi (PI= 12) % 5 çöp sızıntı suyu oranında minimum olup, % 20 ve % 50 çöp sızıntı suyu oranlarında giderek artmış ve %100 çöp sızıntı suyu oranında tekrar azalmıştır. Hava ile temas etmiyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyunun plastisite indisi (PI= 12) % 20 çöp sızıntı suyu oranında minimum olup % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında giderek artmıştır. Yeni çöp sızıntı suyunun plastisite indisi (PI= 15) % 50 çöp sızıntı suyu oranında maksimum olup diğer çöp sızıntı suyu oranlarında sabit kalmıştır.



**Şekil 4.12 : Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastisite İndisi Üzerine Etkisi**  
(CL(2), t=0)

### 4.3 Kür Süresinin Zeminin Endeks Özellikleri Üzerine Etkisi

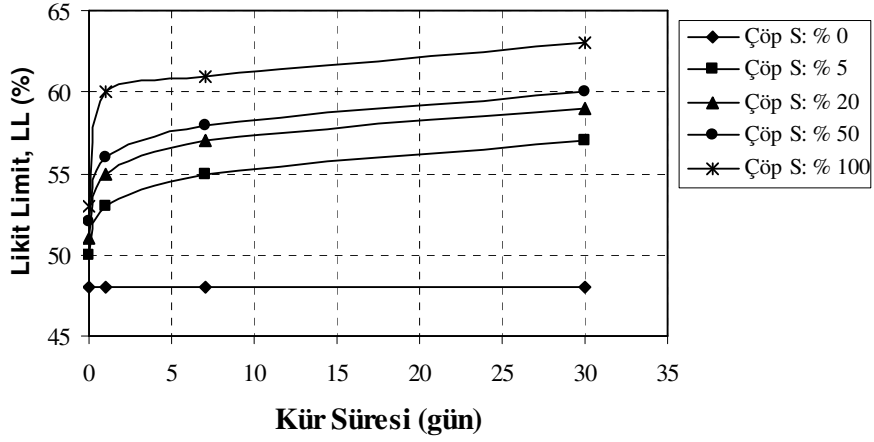
Çöp sızıntı suyu oranı % 5, 20, 50 ve % 100 numuneler 0, 1, 7, 30 ve 90 gün küre bırakılarak kıvam limitleri deneylerine tabi tutulmuştur (Tablo 4.2). Bu sonuçların incelenmesi sırasında ilk olarak likit limitteki (LL) değişimi ele alınmıştır. Daha sonra sırası ile plastik limit (PL) ve plastisite indisi (PI) incelenmiştir. Bu amaçla her

öp sızıntı suyu oranını kapsayan likit limit-kür süresi, plastik limit-kür süresi ve plastisite indisi-kür süresi grafiklerinden yararlanılmıştır.

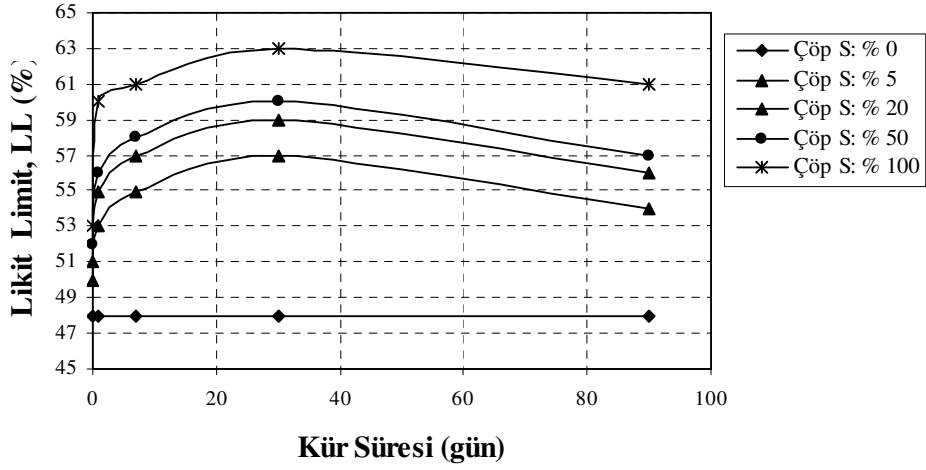
**Tablo 4.2 : Kür Oranı ve Kür Süresinin Kıvam Limitleri Üzerine Etkisi (ML(1))**

öp Suyu Muhtevası (%)	Kür Süresi (gün)	Likit Limit, LL (%)	Plastik Limit, PL (%)	Plastisite İndisi, PI (%)
5	0	50	21	29
	1	53	22	31
	7	55	23	32
	30	57	22	35
	90	54	24	30
20	0	51	22	29
	1	55	23	32
	7	57	24	33
	30	59	23	36
	90	56	25	31
50	0	52	23	29
	1	56	24	32
	7	58	25	33
	30	60	24	36
	90	57	26	31
100	0	53	24	29
	1	60	25	35
	7	61	26	35
	30	63	25	38
	90	61	27	34

Şekil 4.13.a' da görüldüğü gibi tüm çöp sızıntı suyu oranlarında likit limit değeri kür süresi artıkça, artarak 30 günlük kür sonunda maksimum değere ulaşmıştır. Bu kür süresinden sonra ise likit limit değeri Şekil 4.13.b' de görüldüğü gibi düşmeye başlamıştır. 90 gün kür süresinde bu azalmaya rağmen çöp sızıntı suyu katılmış numunelerin likit limit değerleri temiz zemin numunelerinden daha yüksektir. Ayrıca öp sızıntı suyu oranındaki artışla birlikte likit limit değeri artarak % 100 çöp sızıntı suyu oranında maksimum değere ulaşmıştır.



a) t= 0–30 gün

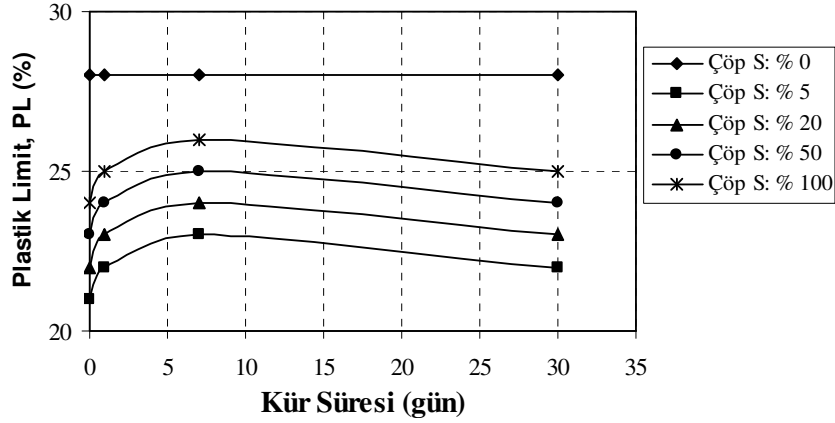


b) t= 0–90 gün

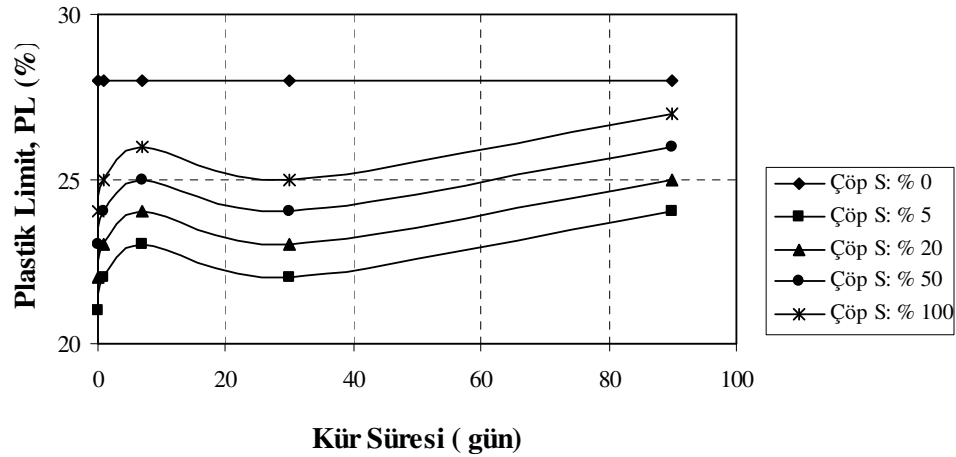
Şekil 4.13 : Kür Süresinin Likit Limit Üzerine Etkisi (ML(1))

Şekil 4.14' de görüldüğü gibi tüm çöp sızıntı suyu oranlarında plastik limit benzer davranış göstermektedir. Çöp sızıntı suyu katılmış zemin numunelerinin plastik limit değerleri temiz zemine göre daha düşüktür. Ayrıca çöp sızıntı suyu oranı arttıkça plastik limit değeri artmaktadır. % 100 çöp sızıntı suyu içeren numunelerin plastik limit değerleri diğer numunelerden daha yüksektir. Şekil 4.14.a' da görüldüğü gibi tüm çöp sızıntı suyu oranlarında plastik limit değeri 7 gün de dahil olmak üzere kür süresi arttıkça artmıştır. 30 günlük kür sonunda ise plastik limit değeri 7 güne göre azalmıştır. Bu kür süresinden sonra Şekil 4.14.b' de görüldüğü gibi tüm çöp sızıntı

suyu oranlarında tekrar plastik limit artarak 90 günlük kür sonunda maksimum değere ulaşmıştır. 30 gündeki düşmelere rağmen plastik limit t=0' a göre daha büyüktür.



a) t= 0–30 gün

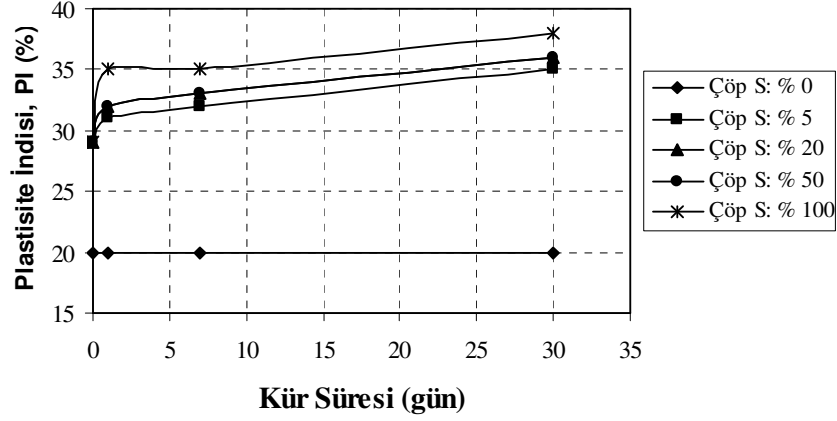


b) t= 0–90 gün

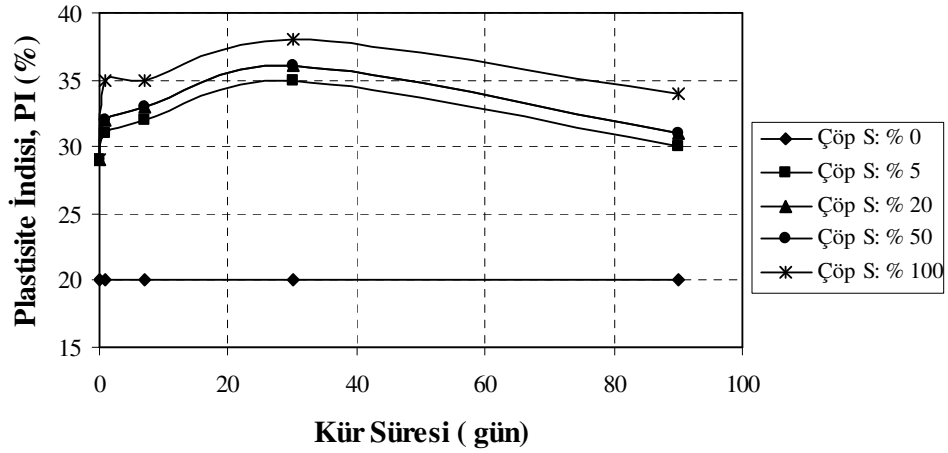
Şekil 4.14 : Kür Süresinin Plastik Limit Üzerine Etkisi (ML(1))

Şekil 4.15' de görüldüğü gibi likit limit ve plastik limitte olduğu gibi plastisite indisinde de çöp sızıntı suyu katılmış zemin numuneleri benzer davranış göstermektedir. Tüm çöp sızıntı suyu oranlarında plastisite indisi artarak 30 günlük kür sonunda maksimum değere ulaşmıştır (Şekil 4.15.a). Bu kür süresinden sonra ise Şekil 4.15.b' de görüldüğü gibi plastisite indisinde 90 günlük kür ile birlikte bir azalma gözlenmiştir. 90 gün sonunda görülen azalmaya rağmen çöp sızıntı suyu katılmış zemin numunelerinin plastisite indisi temiz zemine göre daha yüksektir. %

100 çöp sızıntı suyu oranında plastisite indisi diğer kür oranlarına göre daha fazla artış göstermiştir. % 5 çöp sızıntı suyu oranında ise plastisite indisindeki artış miktarı en azdır.



a) t= 0-30 gün



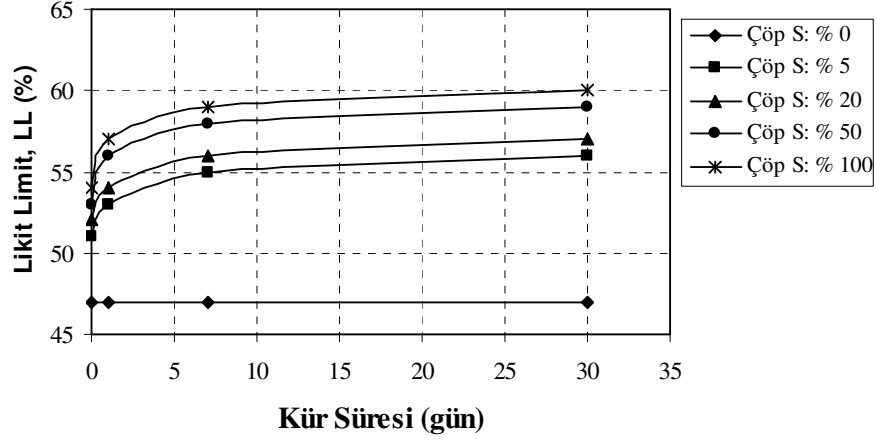
b) t= 0-90 gün

Şekil 4.15 : Kür Süresinin Plastisite İndisi Üzerine Etkisi (ML(1))

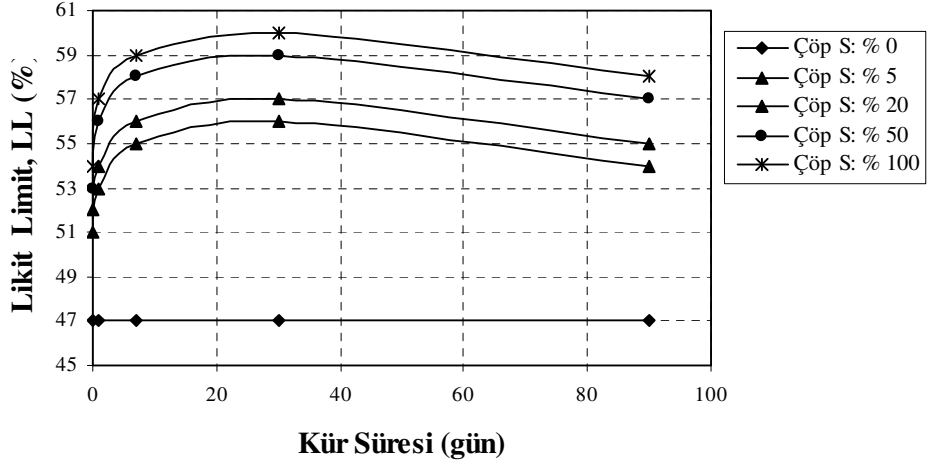
**Tablo 4.3 : Kür Oranı ve Kür Süresinin Kıvam Limitleri Üzerine Etkisi**  
(CL(1))

<b>Çöp Suyu Muhtevası (%)</b>	<b>Kür Süresi (gün)</b>	<b>Likit Limit, LL (%)</b>	<b>Plastik Limit, PL (%)</b>	<b>Plastisite İndisi, PI (%)</b>
5	0	51	20	31
	1	53	21	32
	7	55	22	33
	30	56	21	35
	90	54	23	31
20	0	52	21	31
	1	54	22	32
	7	56	23	33
	30	57	22	35
	90	55	24	31
50	0	53	22	31
	1	56	23	33
	7	58	24	34
	30	59	23	36
	90	57	25	32
100	0	54	23	31
	1	57	24	33
	7	59	25	34
	30	60	24	36
	90	58	26	32

Şekil 4.16.a' da görüldüğü gibi tüm çöp sızıntı suyu oranlarında likit limit değeri kür süresi artıkça, artarak 30 günlük kür sonunda maksimum değere ulaşmıştır. Bu kür süresinden sonra ise likit limit değeri Şekil 4.16.b' de görüldüğü gibi düşmeye başlamıştır. 90 gün kür süresinde bu azalmaya rağmen çöp sızıntı suyu katılmış numunelerin likit limit değerleri temiz zemin numunelerinden daha yüksektir. Ayrıca çöp sızıntı suyu oranındaki artışla birlikte likit limit değeri artarak % 100 çöp sızıntı suyu oranında maksimum değere ulaşmıştır.



a) t= 0–30 gün

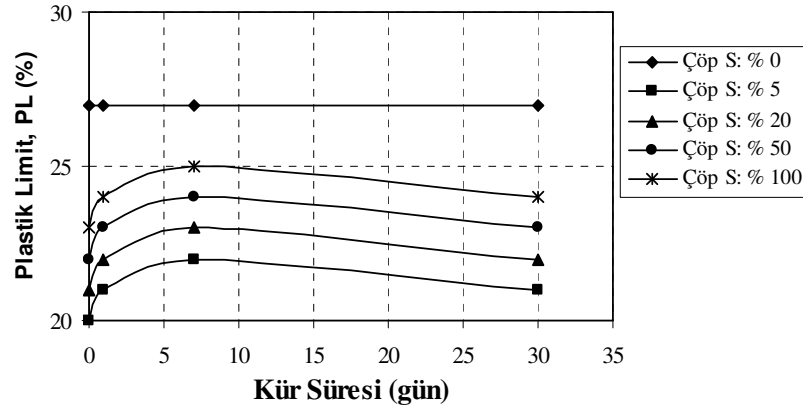


b) t= 0–90 gün

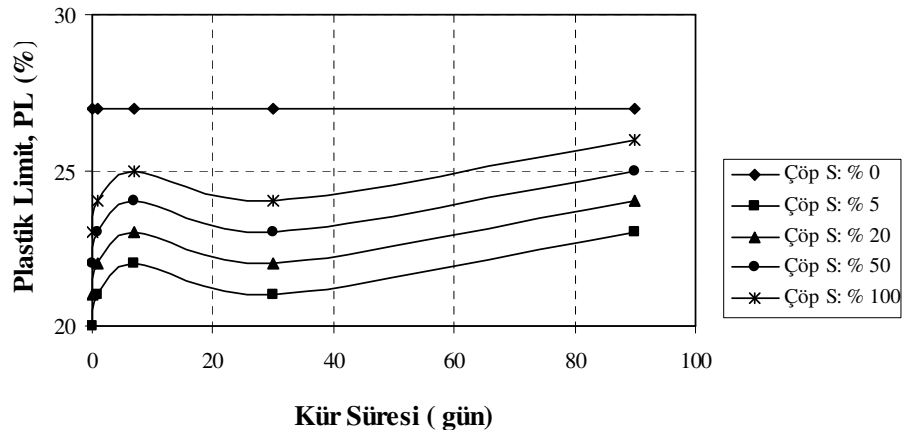
Şekil 4.16 : Kür Süresinin Likit Limit Üzerine Etkisi (CL(1))

Şekil 4.17' de görüldüğü gibi tüm çöp sızıntı suyu oranlarında plastik limit benzer davranış göstermektedir. Çöp sızıntı suyu katılmış zemin numunelerinin plastik limit değerleri temiz zemine göre daha düşüktür. Ayrıca çöp sızıntı suyu oranı arttıkça plastik limit değeri artmaktadır. % 100 çöp sızıntı suyu içeren numunelerin plastik limit değerleri diğer numunelerden daha yüksektir. Şekil 4.17.a' da görüldüğü gibi tüm çöp sızıntı suyu oranlarında plastik limit değeri 7 gün de dahil olmak üzere kür süresi arttıkça artmıştır. 30 günlük kür sonunda ise plastik limit değeri 7 güne göre

azalmıştır. Bu kür süresinden sonra Şekil 4.17.b' de görüldüğü gibi tüm çöp sızıntı suyu oranlarında tekrar plastik limit artarak 90 günlük kür sonunda maksimum değere ulaşmıştır. 30 gündeki düşmelere rağmen plastik limit t=0' a göre daha büyüktür.



a) t= 0–30 gün

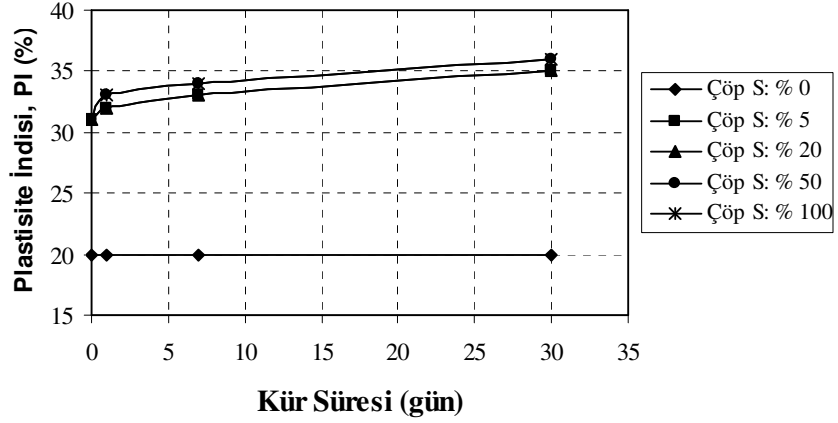


b) t= 0–90 gün

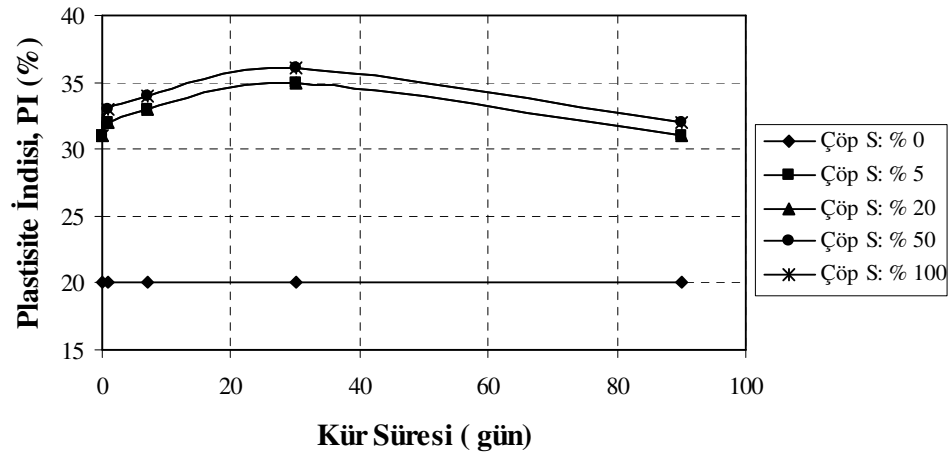
Şekil 4.17 : Kür Süresinin Plastik Limit Üzerine Etkisi (CL(1))

Şekil 4.18' de görüldüğü gibi likit limit ve plastik limitte olduğu gibi plastisite indisinde de çöp sızıntı suyu katılmış zemin numuneleri benzer davranış göstermektedir. Tüm çöp sızıntı suyu oranlarında plastisite indisi artarak 30 günlük kür sonunda maksimum değere ulaşmıştır (Şekil 4.18.a). Bu kür süresinden sonra ise Şekil 4.18.b' de görüldüğü gibi plastisite indisinde 90 günlük kür ile birlikte bir azalma gözlenmiştir. 90 gün sonunda görülen azalmaya rağmen çöp sızıntı suyu katılmış zemin numunelerinin plastisite indisi temiz zemine göre daha yüksektir. %

50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında plastisite indisi diğer kür oranlarına göre daha fazla artış göstermiştir. % 5 ve % 20 çöp sızıntı suyu oranlarında ise plastisite indisindeki artış miktarı en azdır.



a) t= 0–30 gün



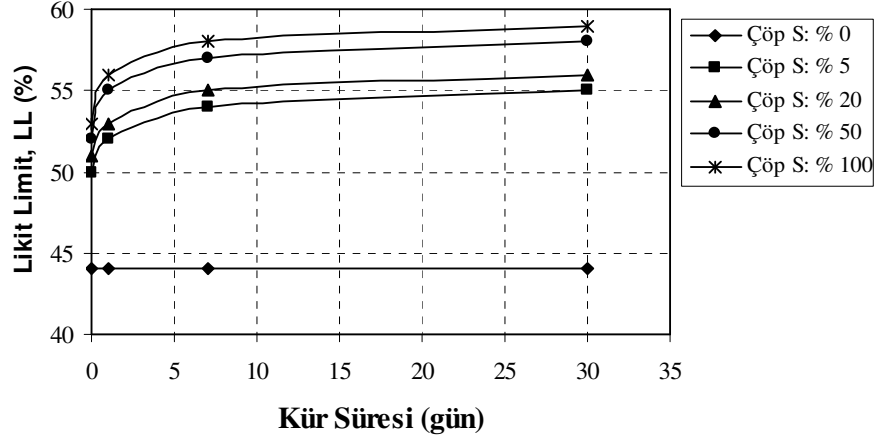
b) t= 0–90 gün

Şekil 4.18 : Kür Süresinin Plastisite İndisi Üzerine Etkisi (CL(1))

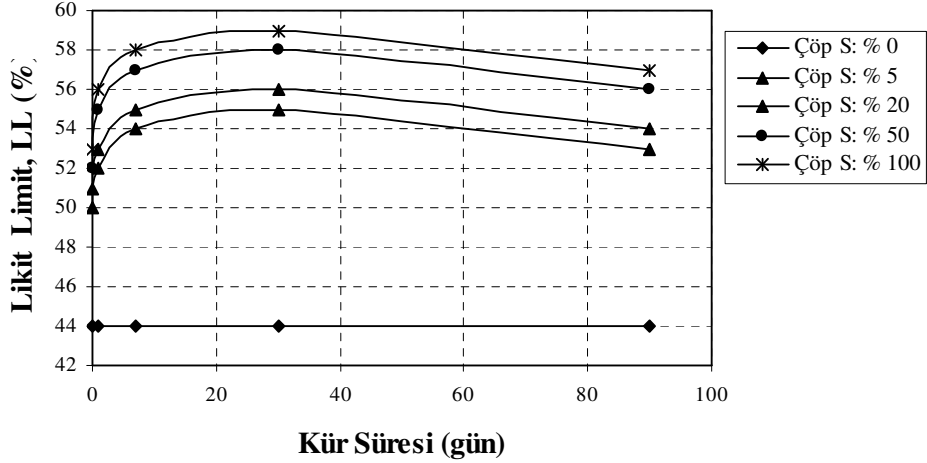
**Tablo 4.4 : Kür Oranı ve Kür Süresinin Kıvam Limitleri Üzerine Etkisi (ML(2))**

<b>Çöp Suyu Muhtevası (%)</b>	<b>Kür Süresi (gün)</b>	<b>Likit Limit, LL (%)</b>	<b>Plastik Limit, PL (%)</b>	<b>Plastisite İndisi, PI (%)</b>
5	0	50	22	28
	1	52	23	29
	7	54	24	30
	30	55	23	32
	90	53	25	28
20	0	51	23	28
	1	53	24	29
	7	55	25	30
	30	56	24	32
	90	54	26	28
50	0	52	24	28
	1	55	25	30
	7	57	26	31
	30	58	25	33
	90	56	27	29
100	0	53	25	28
	1	56	26	30
	7	58	27	31
	30	59	26	33
	90	57	28	29

Şekil 4.19.a' da görüldüğü gibi tüm çöp sızıntı suyu oranlarında likit limit değeri kür süresi artıkça, artarak 30 günlük kür sonunda maksimum değere ulaşmıştır. Bu kür süresinden sonra ise likit limit değeri Şekil 4.19.b' de görüldüğü gibi düşmeye başlamıştır. 90 gün kür süresinde bu azalmaya rağmen çöp sızıntı suyu katılmış numunelerin likit limit değerleri temiz zemin numunelerinden daha yüksektir. Ayrıca çöp sızıntı suyu oranındaki artışla birlikte likit limit değeri artarak % 100 çöp sızıntı suyu oranında maksimum değere ulaşmıştır.



a) t= 0–30 gün

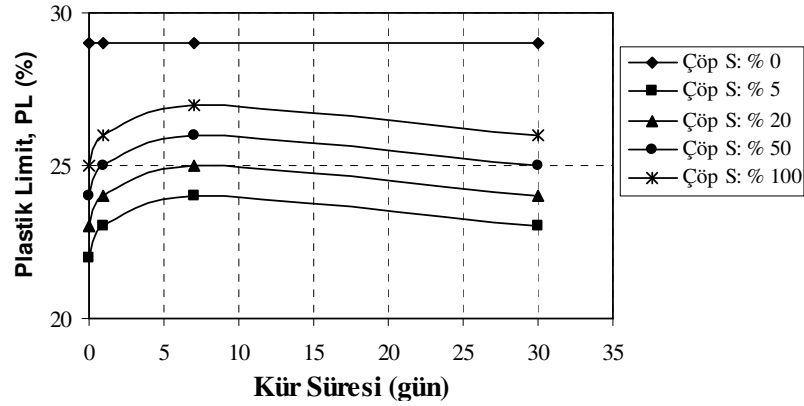


b) t= 0–90 gün

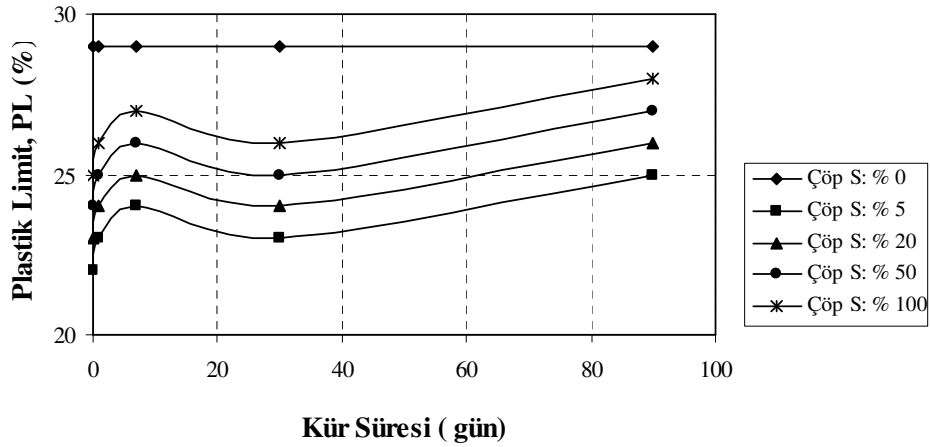
Şekil 4.19 : Kür Süresinin Likit Limit Üzerine Etkisi (ML(2))

Şekil 4.20' de görüldüğü gibi tüm çöp sızıntı suyu oranlarında plastik limit benzer davranış göstermektedir. Çöp sızıntı suyu katılmış zemin numunelerinin plastik limit değerleri temiz zemine göre daha düşüktür. Ayrıca çöp sızıntı suyu oranı arttıkça plastik limit değeri artmaktadır. % 100 çöp sızıntı suyu içeren numunelerin plastik limit değerleri diğer numunelerden daha yüksektir. Şekil 4.20.a' da görüldüğü gibi tüm çöp sızıntı suyu oranlarında plastik limit değeri 7 gün de dahil olmak üzere kür süresi arttıkça artmıştır. 30 günlük kür sonunda ise plastik limit değeri 7 güne göre

azalmıştır. Bu kür süresinden sonra Şekil 4.20.b' de görüldüğü gibi tüm çöp sızıntı suyu oranlarında tekrar plastik limit artarak 90 günlük kür sonunda maksimum değere ulaşmıştır. 30 gündeki düşmelere rağmen plastik limit t=0' a göre daha büyüktür.



a) t= 0–30 gün

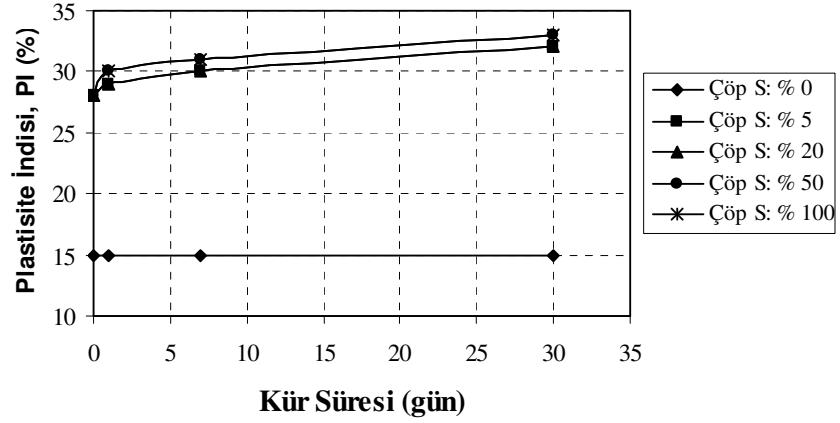


b) t= 0–90 gün

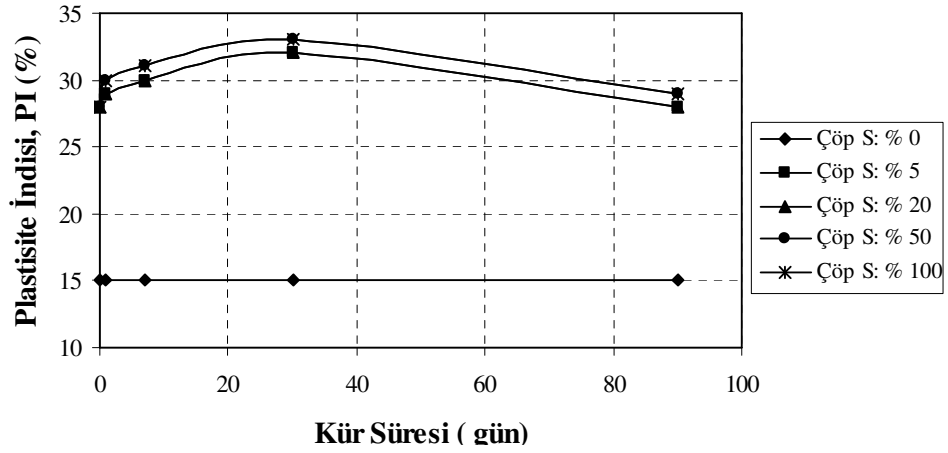
Şekil 4.20 : Kür Süresinin Plastik Limit Üzerine Etkisi (ML(2))

Şekil 4.21' de görüldüğü gibi likit limit ve plastik limitte olduğu gibi plastisite indisinde de çöp sızıntı suyu katılmış zemin numuneleri benzer davranış göstermektedir. Tüm çöp sızıntı suyu oranlarında plastisite indisi artarak 30 günlük kür sonunda maksimum değere ulaşmıştır (Şekil 4.21.a). Bu kür süresinden sonra ise Şekil 4.21.b' de görüldüğü gibi plastisite indisinde 90 günlük kür ile birlikte bir azalma gözlenmiştir. 90 gün sonunda görülen azalmaya rağmen çöp sızıntı suyu

katılmış zemin numunelerinin plastisite indisi temiz zemine göre daha yüksektir. % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında plastisite indisi diğer kür oranlarına göre daha fazla artış göstermiştir. % 5 ve % 20 çöp sızıntı suyu oranlarında ise plastisite indisindeki artış miktarı en azdır.



a) t= 0-30 gün



b) t= 0-90 gün

Şekil 4.21 : Kür Süresinin Plastisite İndisi Üzerine Etkisi (ML(2))

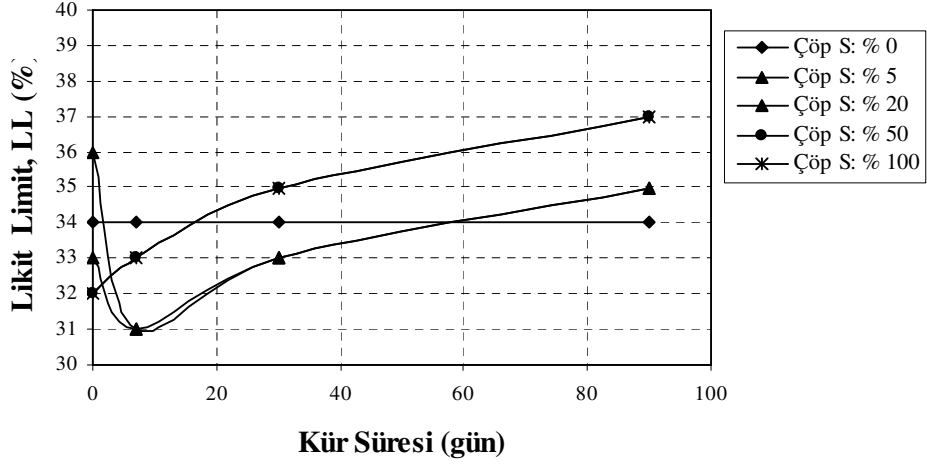
**Tablo 4.5 : Kür Oranı ve Kür Süresinin Kıvam Limitleri Üzerine Etkisi  
(CL(2))**

Çöp Suyu Muhtevası (%)	Kür Süresi (gün)	Likit Limit, LL (%)	Plastik Limit, PL (%)	Plastisite İndisi, PI (%)
5	0	36	22	14
	7	31	20	11
	30	33	21	12
	90	35	22	13
20	0	33	21	12
	7	31	20	11
	30	33	21	12
	90	35	22	13
50	0	32	18	14
	7	33	18	15
	30	35	22	13
	90	37	23	14
100	0	32	17	15
	7	33	18	15
	30	35	22	13
	90	37	23	14

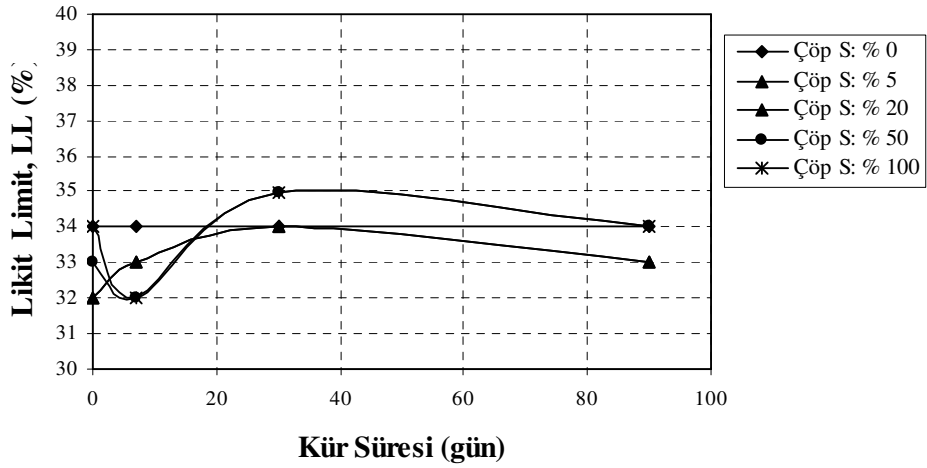
(a) hava ile temas etmeyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyu ile karıştırılan CL(2)

Çöp Suyu Muhtevası (%)	Kür Süresi (gün)	Likit Limit, LL (%)	Plastik Limit, PL (%)	Plastisite İndisi, PI (%)
5	0	32	18	14
	7	33	18	15
	30	34	20	14
	90	33	19	14
20	0	32	18	14
	7	33	18	15
	30	34	20	14
	90	33	19	14
50	0	33	18	15
	7	32	19	13
	30	35	21	14
	90	34	20	14
100	0	34	20	14
	7	32	19	13
	30	35	21	14
	90	34	20	14

(b) yeni çöp sızıntı suyu ile karıştırılan CL(2)



(a) hava ile temas etmeyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyu ile karıştırılan CL(2)

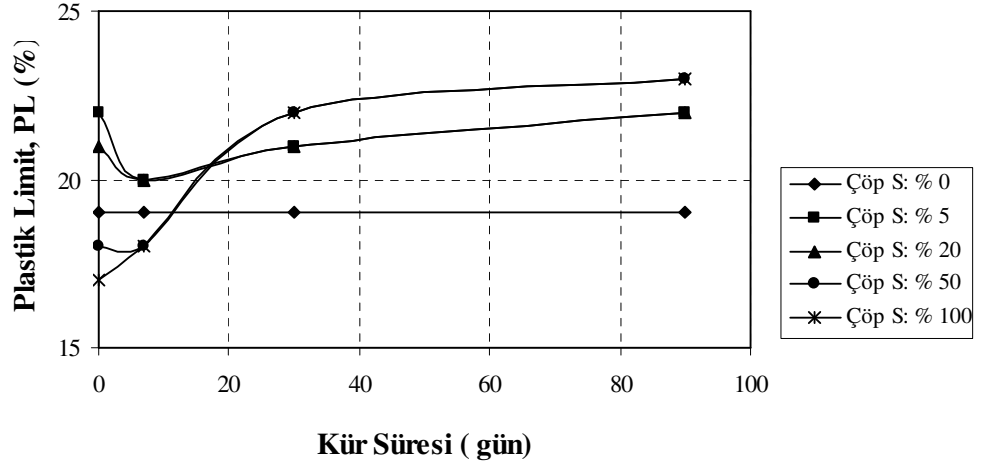


(b) yeni çöp sızıntı suyu ile karıştırılan CL(2)

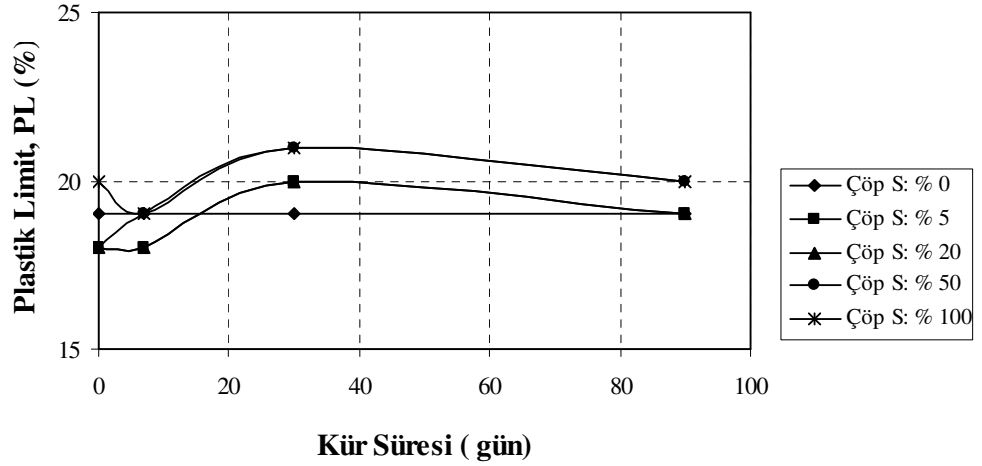
Şekil 4.22 : Kür Süresinin Likit Limit Üzerine Etkisi (CL(2))

Şekil 4.22' de hava ile temas etmeyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyu ile yeni çöp sızıntı suyunun CL(2) zemini ile karıştırılıp % 5, % 20, % 50 ve % 100 çöp sızıntı sularında, 0, 7, 30 ve 90 gün kür sürelerindeki likit limit değişimleri gözükmektedir. 7 gün kür süresi sonunda hava ile temas etmeyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyu ile karıştırılan CL(2) numunesinin likit limit değerinin

yeni çöp sızıntı suyu ile karıştırılan CL(2) numunesinin likit limit değerine göre daha düşük olduğu görülmektedir.



(a) hava ile temas etmeyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyu ile karıştırılan CL(2)

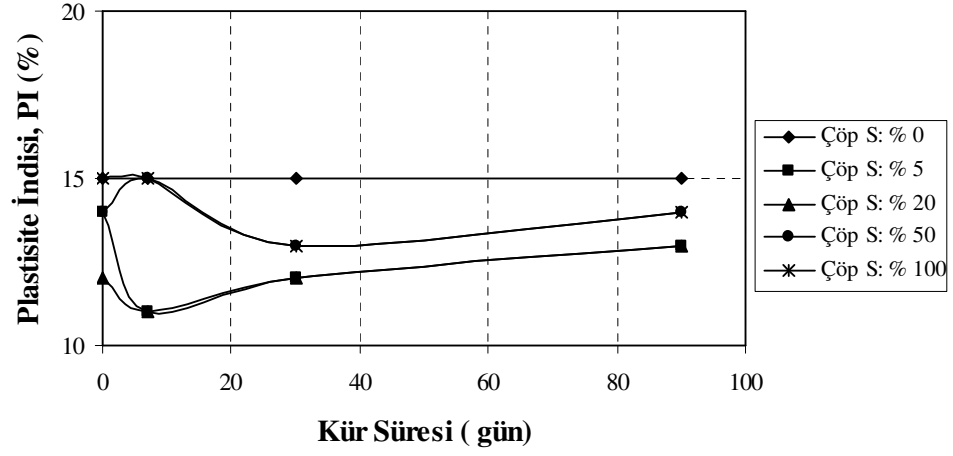


(b) yeni çöp sızıntı suyu ile karıştırılan CL(2)

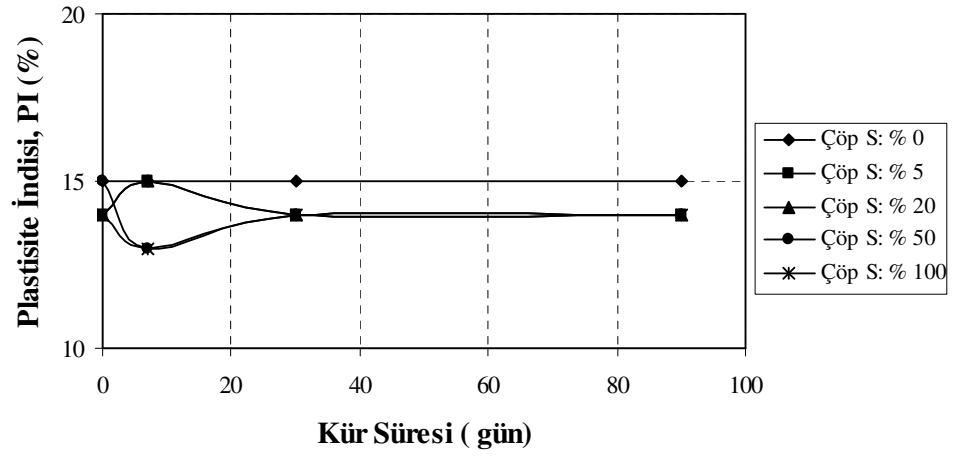
Şekil 4.23 : Kür Süresinin Plastik Limit Üzerine Etkisi (CL(2))

Şekil 4.23' de hava ile temas etmeyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyu ile yeni çöp sızıntı suyunun CL(2) zemini ile karıştırılıp % 5, % 20, % 50 ve % 100 çöp sızıntı sularında, 0, 7, 30 ve 90 gün kür sürelerindeki plastik limit değişimleri

gözükmektedir. 7 gün kür süresi sonunda hava ile temas etmeyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyu ile karıştırılan CL(2) numunesinin plastik limit değerinin yeni çöp sızıntı suyu ile karıştırılan CL(2) numunesinin plastik limit değerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



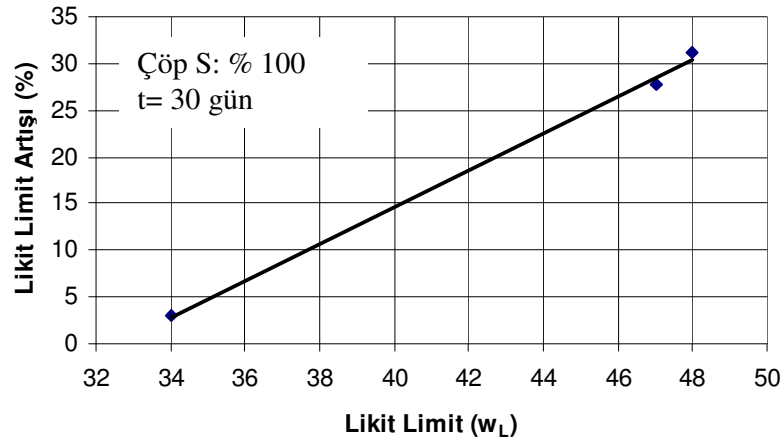
(a) hava ile temas etmeyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyu ile karıştırılan CL(2)



(b) yeni çöp sızıntı suyu ile karıştırılan CL(2)

Şekil 4.24 : Kür Süresinin Plastisite İndisi Üzerine Etkisi (CL(2))

Şekil 4.24' de hava ile temas etmeyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyu ile yeni çöp sızıntı suyunun CL(2) zemini ile karıştırılıp % 5, % 20, % 50 ve % 100 çöp sızıntı sularında, 0, 7, 30 ve 90 gün kür sürelerindeki plastisite indisi değişimleri gözükmemektedir. 7 gün kür süresi sonunda hava ile temas etmeyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyu ile karıştırılan CL(2) numunesinin plastisite indisi değerinin yeni çöp sızıntı suyu ile karıştırılan CL(2) numunesinin plastisite indisi değerine göre daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.25 : Likit Limit Artış Yüzdesi

Şekil 4.25' de endeks özellikleri farklı ML(1), CL(1) ve CL(2) numunelerinin % 100 oranında yeni çöp sızıntı suyu ile karıştırılıp, 30 gün kür süresinde bekletildikten sonra likit limit değerlerindeki artış yüzdesi görülmektedir. LL= 48 olan ML(1) numunesinin artış yüzdesi yaklaşık % 32 iken, LL= 47 olan CL(1) numunesinin artış yüzdesi yaklaşık % 28, LL= 34 olan CL(2) numunesinin artış yüzdesi yaklaşık % 3' tür.

#### 4.4 Statik Yükle Altında Zeminlerin Gerilme-Şekil Değişirme Davranışı ve Kayma Mukavemeti

##### 4.4.1 Suya Doygun Olmayan Numunelerde Gerilme-Şekil Değişirme Davranışı Üzerinde Kür Oranının Etkisi

Zeminin statik yükler altında gerilme-şekil değişirme ve kayma mukavemeti davranışının incelenmesi amacı ile konsolidasyonsuz-drenajsız deneyler yapılmıştır. Zeminin farklı yükler altındaki davranışının belirlenmesi amacı ile her bir numuneye 100, 200 ve 300 kPa normal gerilme uygulanarak kesme kutusu deneyine tabi tutulmuştur. Deney sırasında kaydedilen kuvvet halkası ve yatay deplasman okumaları (4.1) kullanılarak kayma gerilmesi-yatay deplasman eğrileri çizilir. Şekil 4.7' de bu eğrilere örnek vermek amacı ile küre bırakılmamış çöp sızıntı suyu içermeyen numuneye ait grafik verilmiştir. Diğer kür oranları ve kür sürelerine ait grafikler Ek A' da verilmiştir.

$$\tau = \frac{P}{A_c} \quad (4.1)$$

$\tau$  = Kayma gerilmesi, P kayma kuvveti,

$A_c$  ise numunede kaymanın meydana geldiği düzeltilmiş alanı göstermektedir.

Düzeltilmiş alanın hesaplanabilmesi için aşağıdaki gibi öncelikle yatay deformasyonların hesaplanması gerekir.

$$\Delta L = \text{Yatay deformasyon saat okuması} \times \text{Saat katsayısı} \quad (4.2)$$

Yatay deplasmanların hesaplanmasının ardından alan düzeltmesine geçilir.

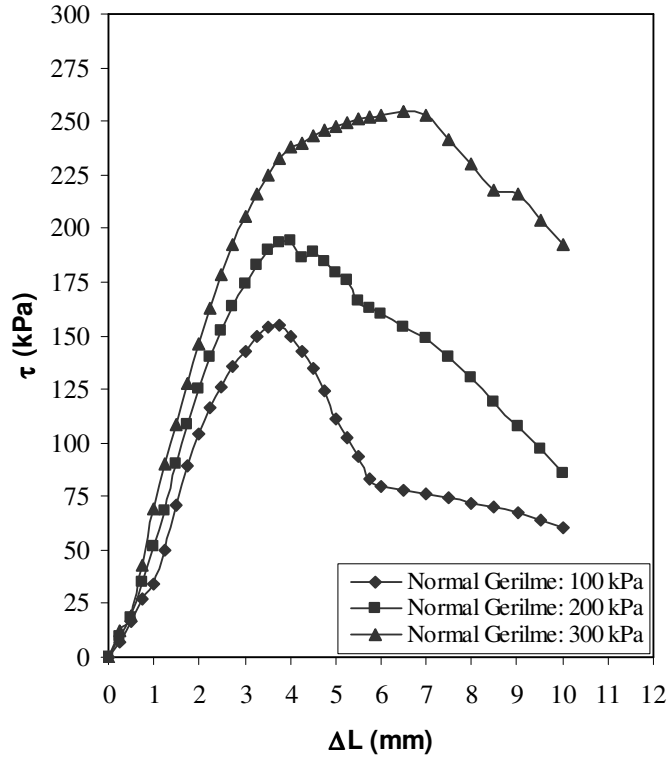
$$A_c = L(W - \Delta L) \quad (4.3)$$

L, W= Kesme kutusunun kenar uzunlukları

Aynı alandaki normal gerilme ise:

$$\sigma = \frac{N}{A_c} \quad (4.4)$$

Olarak elde edilir. Burada N normal kuvveti göstermektedir.



**Şekil 4.26 :** Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman Eğrisi (Temiz Zemin)

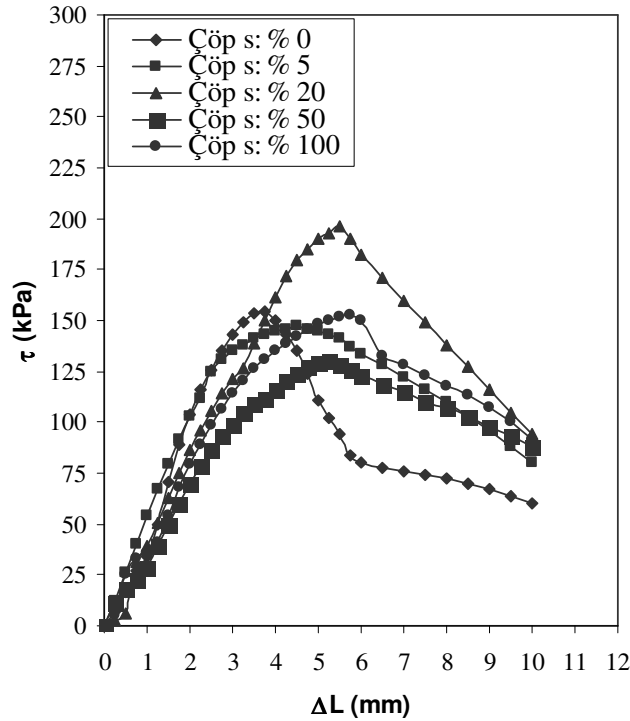
Şekil 4.26' da görüldüğü gibi eğri başlangıç kısımlarında oldukça lineer olup daha sonra bir maksimum noktaya ulaşır. Bu noktadan sonra kayma gerilmelerinde bir miktar azalma görülür ve kırılma meydana geldiği kabul edilir. Eğrinin maksimum olduğu noktadaki kayma gerilmesi zeminin belli bir normal gerilme altında kayma mukavemetini vermektedir. Örneğin bu grafik için 100 kPa normal gerilme için kayma mukavemeti 155 kPa olarak belirlenmiştir. Normal gerilmenin artması ile kayma mukavemeti değerleri artmaktadır. Çünkü numune sıkışmakta ve daha sıkı ve sağlam bir yapı kazanmaktadır. Bu deney için en büyük kayma mukavemetine normal gerilmenin en yüksek olduğu 300 kPa' da ulaşılmıştır.

Şekil 4.26' dakine benzer grafiklerden yararlanılarak çöp sızıntı suyu oranının gerilme-şekil değiştirme davranışına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla küre

birakılmamış numunelere ait grafikler ele alınacaktır. Diğer kür sürelerine ait grafikler Ek A' da verilmiştir.

Tablo 4.6' da farklı oranlarda kür oranına ve kür süresine sahip deney numunelerine ait su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlık değerleri verilmiştir. Numunelere ait deney sonuçlarının doğru değerlendirilebilmesi için her bir numune % 24 su muhtevasında hazırlanıp deneye tabi tutulmuştur.

Şekil 4.27, 4.28 ve Şekil 4.29' da farklı oranlarda çöp sızıntı suyu içeren zemin numunelerinin 100, 200 ve 300 kPa normal gerilme kademelerine ait kayma gerilmesi-yatay deplasman eğrileri verilmiştir. Şekil 4.27' de  $\sigma = 100$  kPa' a ait eğriler görülmektedir. Her çöp sızıntı suyu oranına ait  $\tau_{maks}$  değerleri incelendiğinde % 20 çöp sızıntı suyu oranında bu değer maksimum, % 50 çöp sızıntı suyu oranında ise minimum olduğu görülür. Pik noktalara ulaşılan deformasyon seviyeleri incelendiğinde; % 100 çöp sızıntı suyu oranında deformasyon seviyesinin en yüksek, temiz zeminde ise en düşük olduğu görülür.

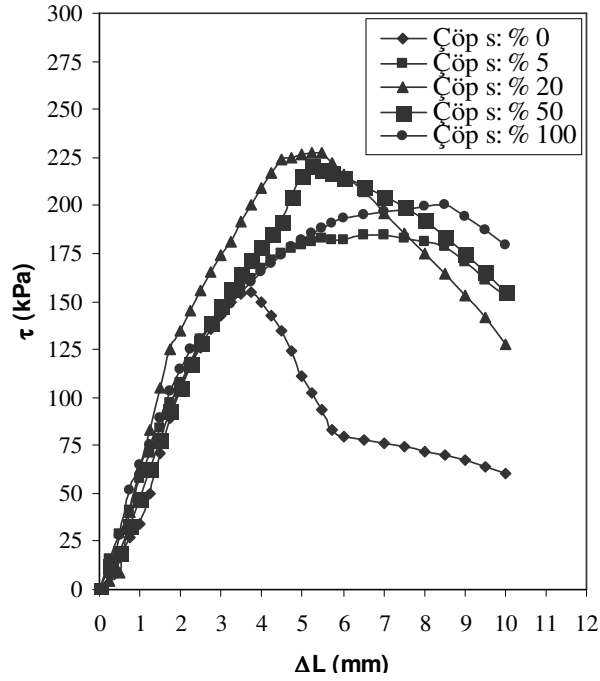


Şekil 4.27 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman Eğrisi ( $\sigma = 100$  kPa,  $t = 0$ )

**Tablo 4.6 : Kesme Kutusu Deneyi  $w-\gamma_k$  Değerler**

Çöp Suyu Muhtevası (%)	Kür Süresi (gün)	$\sigma_n$ (kPa)	Deney Başı $w_{ilk}$ (%)	Deney Sonu $w_{son}$ (%)	Deney Başı $\gamma_{kilk}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Deney Sonu $\gamma_{kson}$ (kN/m <sup>3</sup> )
0	0	100	24	23,870	15,400	15,505
		200	24	23,674	15,590	15,651
		300	24	23,829	15,851	16,122
5	0	100	24	22,050	13,886	13,890
		200	24	23,553	14,256	14,308
		300	24	22,892	14,810	15,561
	1	100	24	23,577	14,514	14,567
		200	24	23,669	14,782	14,872
		300	24	23,828	15,113	15,633
	7	100	24	23,780	13,380	13,398
		200	24	23,343	13,779	13,815
		300	24	23,117	14,161	14,402
	30	100	24	22,929	14,408	14,456
		200	24	23,017	14,720	14,765
		300	24	21,309	15,058	15,353
	90	100	24	23,756	13,586	14,005
		200	24	23,854	14,194	14,639
		300	24	23,942	14,954	15,731
20	0	100	24	23,886	14,071	13,707
		200	24	23,783	14,344	14,372
		300	24	23,941	14,720	14,765
	1	100	24	23,765	13,780	13,797
		200	24	23,819	14,181	14,231
		300	24	23,732	14,630	15,227
	7	100	24	23,770	13,601	13,665
		200	24	22,849	13,719	13,966
		300	24	22,283	14,152	14,689
	30	100	24	23,640	13,714	13,765
		200	24	23,483	14,358	14,449
		300	24	22,951	15,053	15,602
	90	100	24	23,987	13,738	13,802
		200	24	23,431	14,077	14,476
		300	24	23,556	14,446	15,223
50	0	100	24	23,866	14,655	14,699
		200	24	23,650	14,800	14,858
		300	24	23,845	15,028	15,251
	1	100	24	22,978	13,852	14,070
		200	24	23,519	14,012	14,221
		300	24	23,729	14,157	14,284
	7	100	24	23,704	14,560	14,572
		200	24	23,720	14,513	14,552
		300	24	23,135	14,072	14,890

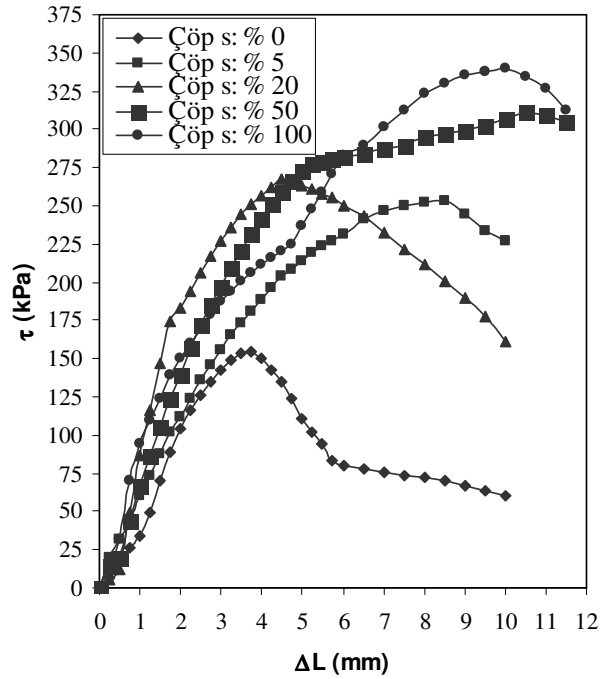
	30	100	24	23,900	13,606	13,665
		200	24	23,654	14,479	14,489
		300	24	23,791	14,302	14,642
	90	100	24	23,765	13,795	14,219
		200	24	23,865	14,153	14,290
		300	24	23,986	15,103	15,464
100	0	100	24	23,750	14,575	14,582
		200	24	23,658	15,091	15,237
		300	24	23,750	15,614	16,522
	1	100	24	23,563	14,209	14,394
		200	24	23,669	14,398	14,528
		300	24	23,741	14,550	14,639
	7	100	24	22,760	14,485	14,502
		200	24	23,719	14,103	14,125
		300	24	23,260	14,036	14,743
	30	100	24	23,171	12,755	12,776
		200	24	23,866	13,090	13,102
		300	24	23,643	13,429	13,493
	90	100	24	23,564	13,331	13,474
		200	24	23,765	13,499	13,648
		300	24	23,987	13,671	13,763



Şekil 4.28 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman Eğrisi ( $\sigma = 200$  kPa,  $t = 0$ )

Şekil 4.28’ de  $\sigma = 200$  kPa’ a ait eğriler görülmektedir.  $\sigma = 100$  kPa grafiğinde olduğu gibi % 20 çöp sızıntı suyu oranında  $\tau_{maks}$  en büyük ve temiz zeminde en küçüktür. Pik noktalara ulaşılan deformasyon seviyeleri incelendiğinde; % 100 çöp sızıntı suyu oranında deformasyon seviyesinin en yüksek, temiz zeminde ise en düşük olduğu görülür.

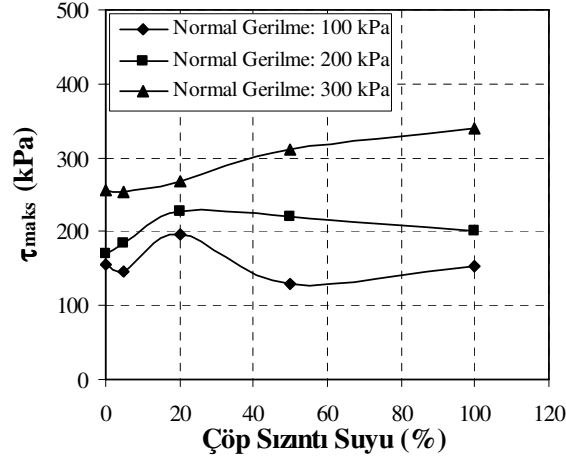
Şekil 4.29’ da  $\sigma = 300$  kPa’ a ait eğriler görülmektedir. Her çöp sızıntı suyu oranına ait  $\tau_{maks}$  değerleri incelendiğinde % 100 çöp sızıntı suyu oranında bu değer maksimum, temiz zeminde ise minimum olduğu görülür. Pik noktalara ulaşılan deformasyon seviyeleri incelendiğinde; % 50 çöp sızıntı suyu oranında deformasyon seviyesinin en yüksek, temiz zeminde ise en düşük olduğu görülür.



Şekil 4.29 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman Eğrisi ( $\sigma = 300$  kPa,  $t = 0$ )

$t = 0$  için hazırlanmış olan  $\tau - \Delta L$  grafiklerinden yararlanarak kür oranı ile zeminin kayma mukavemeti değişimleri Şekil 4.30’ da gösterilmiştir.  $\sigma = 100$  kPa gerilme seviyesinde çöp sızıntı suyu katılmış numunelerin  $\tau_{maks}$  değerleri temiz zemine göre daha düşüktür. % 50 çöp sızıntı suyu oranında  $\tau_{maks}$  en küçük değerdedir. % 100 çöp sızıntı suyu oranında  $\tau_{maks}$  değeri % 50 çöp sızıntı suyu oranına göre artmıştır.  $\sigma = 200$  kPa’ da ise  $\tau_{maks}$  değeri % 50’ den düşük çöp sızıntı suyu oranlarında temiz

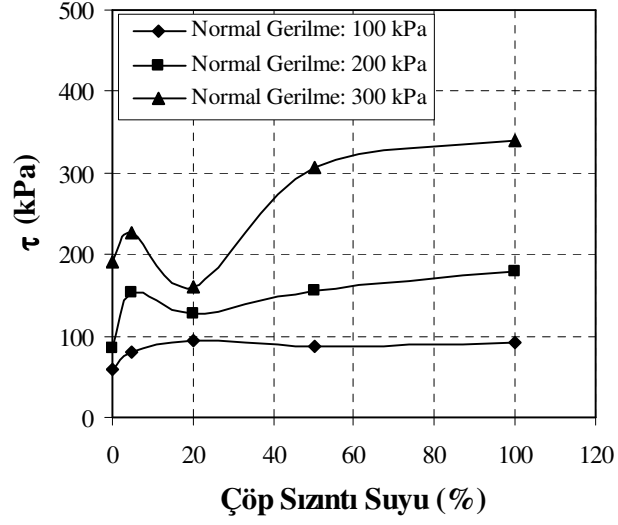
zemine göre artmıştır. % 100 çöp sızıntı suyu oranında ise  $\tau_{maks}$  % 50 çöp sızıntı suyu oranına göre azalmıştır. 300 kPa normal gerilme seviyesinde de % 100 çöp sızıntı suyu oranına kadar temiz zemine göre  $\tau_{maks}$  artmıştır.  $\tau_{maks}$ , % 100 çöp sızıntı suyu oranında maksimum değere ulaşmıştır.



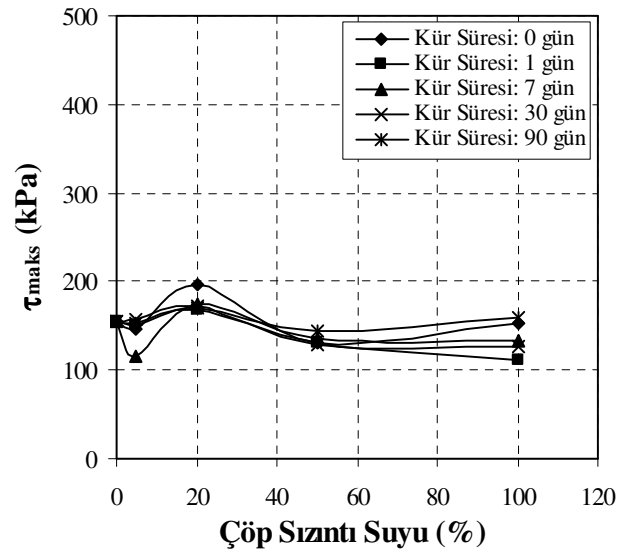
Şekil 4.30 : Kür Oranın  $\tau_{maks}$  Üzerine Etkisi ( $t=0$ )

Deneyin tamamlandığı % 17 deformasyon seviyesine karşı gelen kayma gerilmeleri ( $\tau$ ) kür oranları arasında karşılaştırma için kullanılmıştır. Şekil 4.31' de görüldüğü gibi  $\sigma = 100$  kPa' da % 100 çöp sızıntı suyu oranına kadar temiz zemine göre  $\tau$  artmıştır.  $\tau$ , % 100 çöp sızıntı suyu oranında maksimum değere ulaşmıştır.  $\sigma = 200$  ve 300 kPa' da ise % 5 çöp sızıntı suyu oranı için  $\tau$  değeri artmıştır. % 20 çöp sızıntı suyu oranı için  $\tau$  minimum değere ulaşmıştır. % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında tekrar artarak, % 100 çöp sızıntı suyu oranında maksimum değere ulaşmıştır.

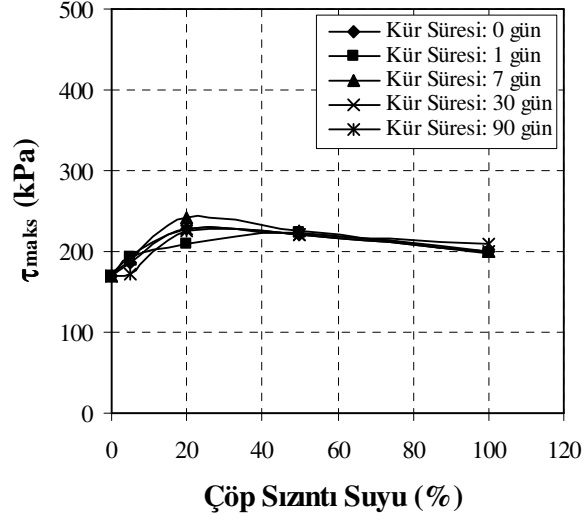
Şekil 4.32' de tüm kür sürelerine ait  $\tau_{maks}$  değerlerinin kür oranı ile değişimi 100 kPa normal gerilme için verilmiştir. Bu gerilme seviyesinde zemine çöp sızıntı suyu karıştırılması ile  $\tau_{maks}$  temiz zemine göre azalmıştır. 200 kPa ve 300 kPa normal gerilme kademelerinde ise  $\tau_{maks}$  temiz zemine göre artmıştır (Şekil 4.33 ve Şekil 4.34).



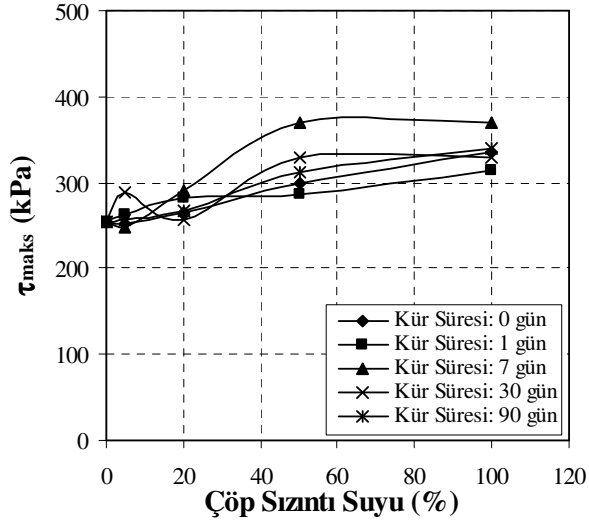
Şekil 4.31 : Kür Oranın  $\tau$  Üzerine Etkisi ( $\gamma$ : % 17,  $t=0$ )



Şekil 4.32 : Kür Oranın  $\tau_{maks}$  Üzerine Etkisi ( $\sigma=100$  kPa)



Şekil 4.33 : Kür Oranın  $\tau_{maks}$  Üzerine Etkisi ( $\sigma = 200$  kPa)



Şekil 4.34 : Kür Oranın  $\tau_{maks}$  Üzerine Etkisi ( $\sigma = 300$  kPa)

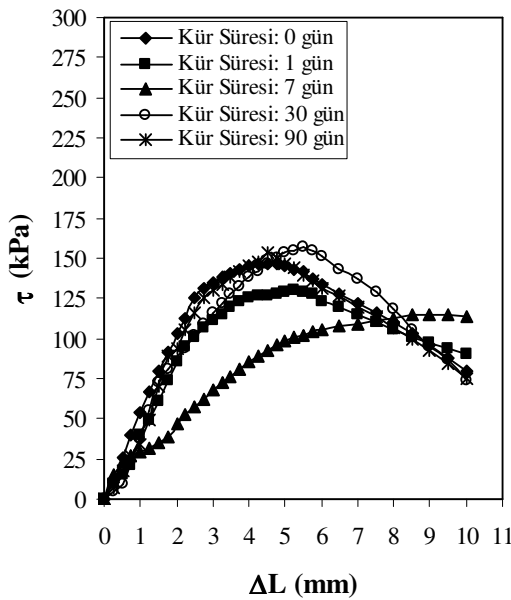
#### 4.4.2 Suya Doymun Olmayan Numunelerde Gerilme-Şekil Değişirme Davranışı Üzerinde Kür Süresinin Etkisi

Zeminin gerilme-şekil değişirme davranışı üzerine çöp sızıntı suyu oranının ve kür süresinin etkisini incelemek amacı ile farklı kür oranlarında ve farklı kür sürelerinde

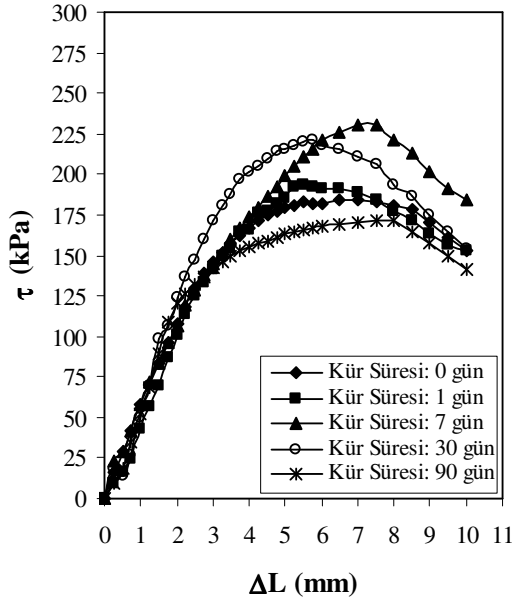
hazırlanan numuneler konsolidasyonsuz-drenajsız deneye tabi tutulmuştur. Bu deney sonuçlarının değerlendirilmesi sırasında aynı kür oranına sahip numuneler kendi aralarında gruplandırılarak kür süresi ile gerilme-şekil değiştirme davranışı arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır.

Çöp sızıntı suyu ile karıştırılmış zemin numunelerinde zemin ve çöp sızıntı suyu arasındaki kimyasal reaksiyonlar nedeni ile kür süresine bağlı olarak gerilme-şekil değiştirme davranışında değişme gözlenmiştir.

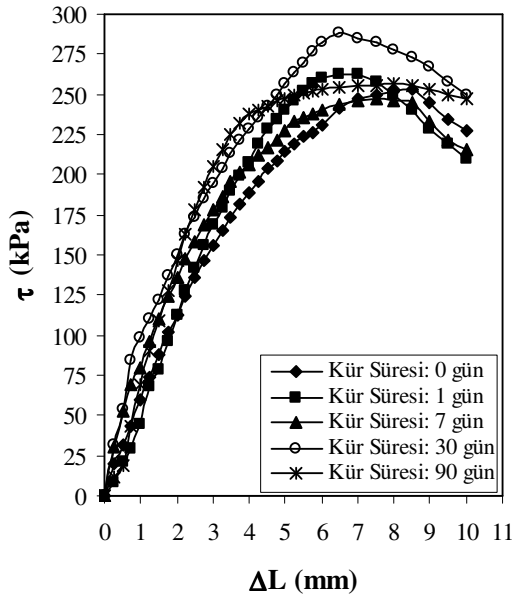
Şekil 4.35’ de % 5 çöp sızıntı suyu içeren numunelerin  $\sigma = 100$  kPa gerilme seviyesi için  $\tau - \Delta L$  grafiğinin kür süresi ile değişimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi 7 gün küre bırakılmış numuneye ait  $\tau_{maks}$  değeri en küçüktür. Bu kür süresine ait  $\tau_{maks}$  değerine ulaşılan yatay deformasyon seviyesi de en büyüktür. En büyük  $\tau_{maks}$  30 gün kür süresi sonunda elde edilmiştir. Bu değere karşı gelen deformasyon seviyesi 0, 1 ve 90 gün kür sürelerine göre daha büyüktür. 0 ve 90 gün kür süresi sonundaki davranışlar benzerdir. 200 kPa gerilme seviyesi için 7 gün kür süresi sonunda  $\tau_{maks}$  en büyük değere, 90 gün kür süresi sonunda en küçük değere ulaşır (Şekil 4.36). 300 kPa gerilme seviyesi için 30 gün kür süresi sonunda  $\tau_{maks}$  en büyük değere, 7 gün kür süresi sonunda en küçük değere ulaşır (Şekil 4.37).



Şekil 4.35 :  $\tau$ - $\Delta L$  (Çöp S: % 5,  $\sigma = 100$  kPa)



Şekil 4.36 :  $\tau$ - $\Delta L$  (Çöp S: % 5,  $\sigma = 200$  kPa)

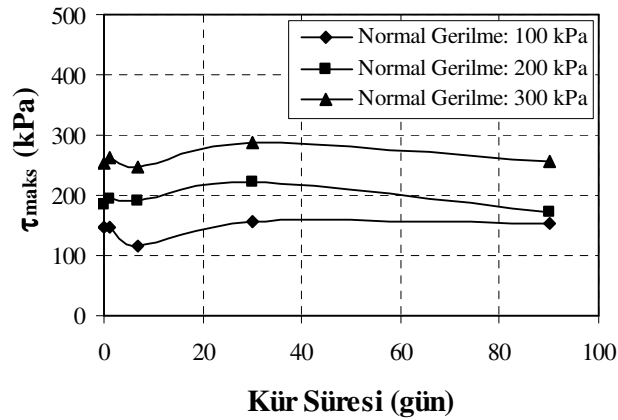


Şekil 4.37 :  $\tau$ - $\Delta L$  (Çöp S: % 5,  $\sigma = 300$  kPa)

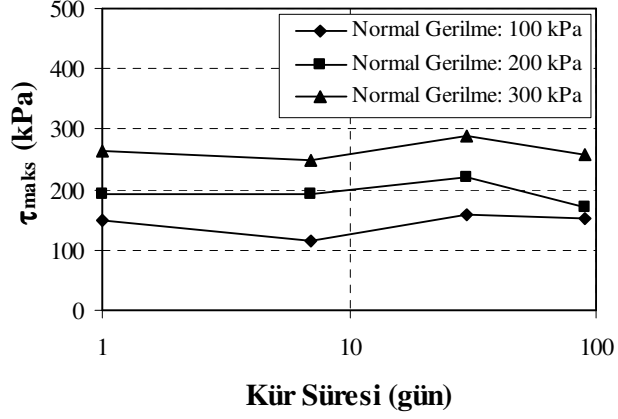
Şekil 4.38.a' da görüldüğü gibi 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa gerilme seviyelerinde 1 gün kür süresine bırakılmış numunelerin  $\tau_{maks}$  değerleri küre bırakılmamış numuneye göre daha büyüktür. Bu değerler her üç gerilme seviyesinde de, 7 gün kür süresi sonunda bir miktar azalma, 30 gün kür süresi sonunda bir miktar artma ve 90 gün kür süresi sonunda tekrar azalma göstermiştir. Şekil 4.38.b' de görüldüğü gibi üç

yük kademesinde de  $\tau_{maks}$  değeri 7 gün kür süresi sonunda 1 gün kür süresine göre doğrusal bir azalma göstermiştir. 7 günden sonra 30 gün kür süresi sonunda ise bir artma, 30 günden sonra 90 gün kür süresi sonunda da bir azalma söz konusudur.

Deneyin tamamlandığı % 17 deformasyon seviyesine karşı gelen kayma gerilmesi ( $\tau$ ) değerinin kür süresi ile değişimini ele alırsak; Şekil 4.39.a' da görüldüğü gibi 100 kPa ve 200 kPa' da benzer bir davranış gözükmemektedir. 7 gün kür süresine bırakılmış numunelerin  $\tau$  değerleri küre bırakılmamış numuneye göre daha büyüktür. 30 gün kür süresi sonunda  $\tau$  değerleri azalarak 90 gün kür süresi sonunda da bu azalışa devam etmiştir.  $\sigma = 300$  kPa' da  $\tau$  1 gün kür süresi sonunda azalma göstermiştir. 7 gün kür süresi sonunda  $\tau$  değeri artarak 30 gün kür süresi sonunda da bu artışa devam etmiştir. 90 gün kür süresi sonunda  $\tau$  değeri bir miktar azalmıştır. Şekil 4.39.b' de görüldüğü gibi üç yük kademesinde de  $\tau$  değeri 7 gün kür süresi sonunda 1 gün kür süresine göre doğrusal bir artma göstermiştir. 100 kPa ve 200 kPa' da, 30 gün kür süresi sonunda  $\tau$  değerleri azalarak 90 gün kür süresi sonunda bu azalışa devam etmiştir.  $\sigma = 300$  kPa' da  $\tau$  değeri 7 gün kür süresi sonunda 1 gün kür süresine göre doğrusal bir artma göstermiş, 30 ve 90 gün kür süreleri sonunda bu artışa devam etmiştir.

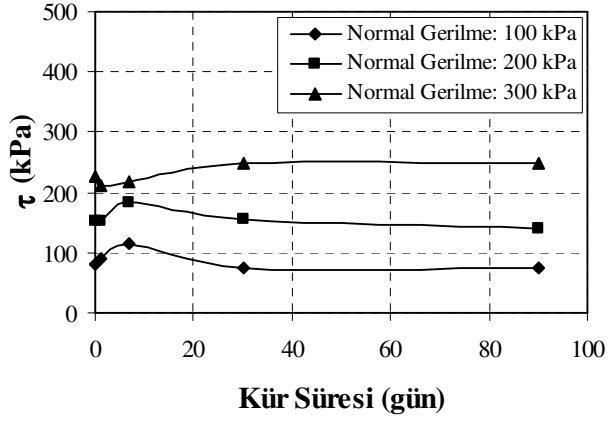


a) t= 0–90 gün

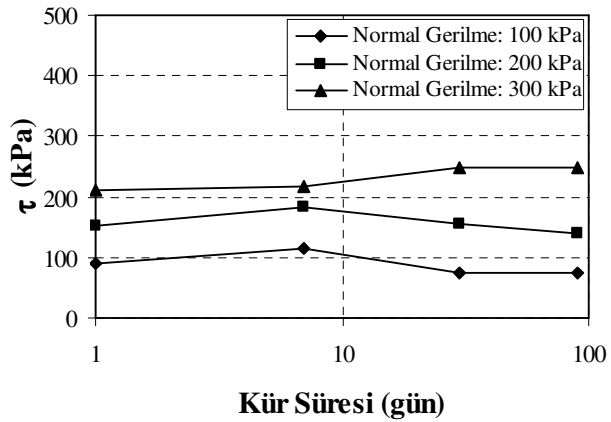


b) t= 1–90 gün

Şekil 4.38 : Kür Süresinin  $\tau_{maks}$  Üzerine Etkisi (Çöp S: % 5)



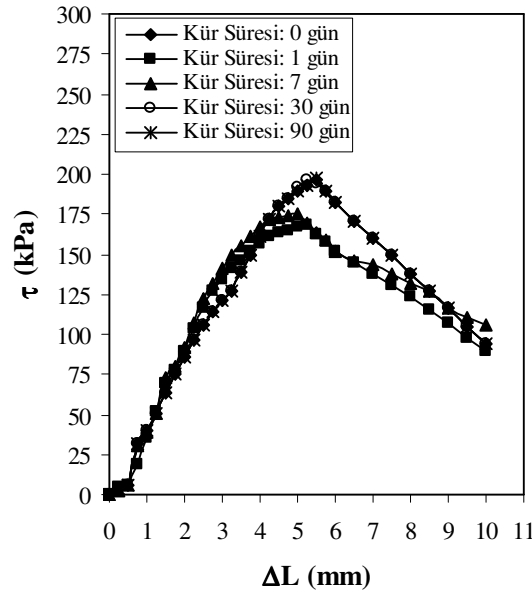
a) t= 0–90 gün



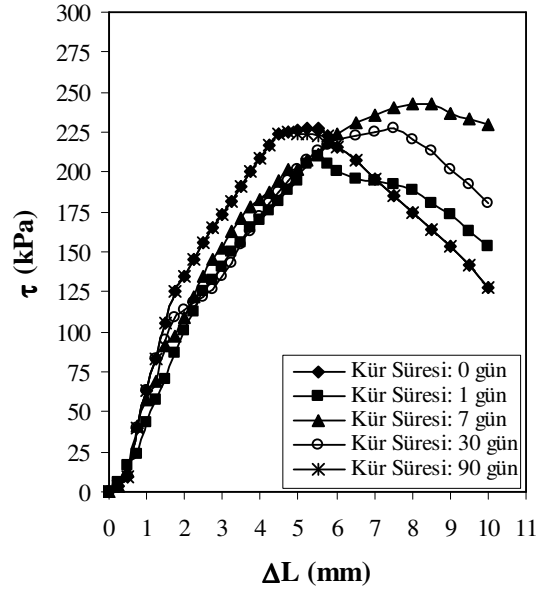
b) t= 1–90 gün

Şekil 4.39 : Kür Süresinin  $\tau$  Üzerine Etkisi ( $\gamma$ : % 17, Çöp S: % 5)

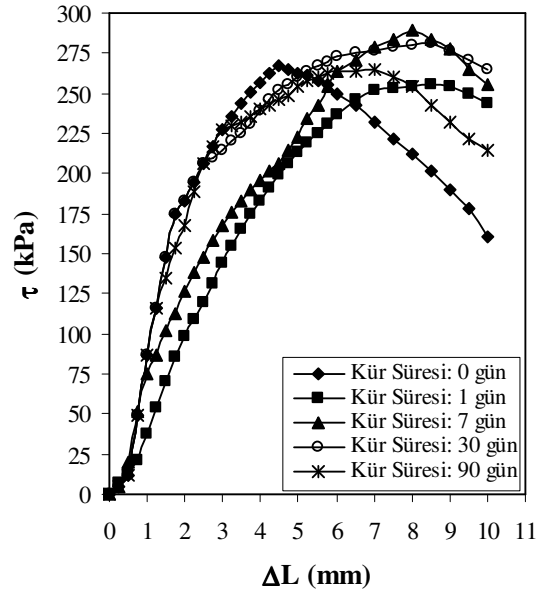
Şekil 4.40' da % 20 çöp sızıntı suyu içeren numunelerin  $\sigma = 100$  kPa gerilme seviyesi için  $\tau - \Delta L$  grafiğinin kür süresi ile değişimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi 0, 1, 7 gün kür süresine bırakılmış numuneler ve 30, 90 gün kür süresine bırakılmış numuneler benzer davranış göstermektedir. 30 ve 90 gün kür süresine bırakılmış numunelere ait  $\tau_{maks}$  değerleri en büyüktür. Bu kür sürelerine ait  $\tau_{maks}$  değerlerine ulaşılan yatay deformasyon seviyesi de en büyüktür. 0, 1 ve 7 gün kür süresine bırakılmış numunelere ait  $\tau_{maks}$  değerleri daha küçüktür. Bu kür sürelerine ait  $\tau_{maks}$  değerlerine ulaşılan yatay deformasyon seviyesi de daha küçüktür. 200 kPa gerilme seviyesi için 7 gün kür süresi sonunda  $\tau_{maks}$  en büyük değere, 1 gün kür süresi sonunda en küçük değere ulaşır (Şekil 4.41). 300 kPa gerilme seviyesi için 7 gün kür süresi sonunda  $\tau_{maks}$  en büyük değere, 0 gün kür süresi sonunda en küçük değere ulaşır (Şekil 4.42).



Şekil 4.40 :  $\tau - \Delta L$  (Çöp S: % 20,  $\sigma = 100$  kPa)



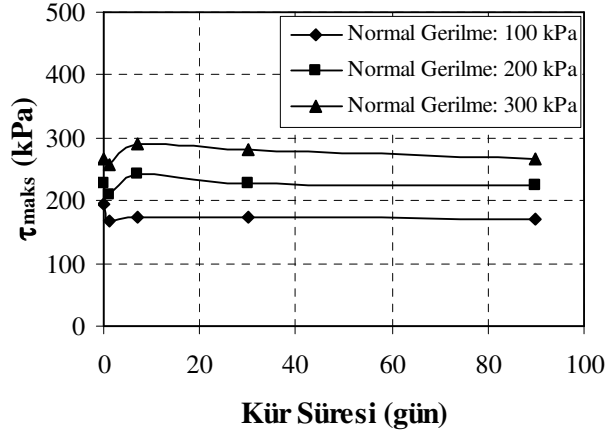
Şekil 4.41 :  $\tau$ - $\Delta L$  (Çöp S: % 20,  $\sigma = 200$  kPa)



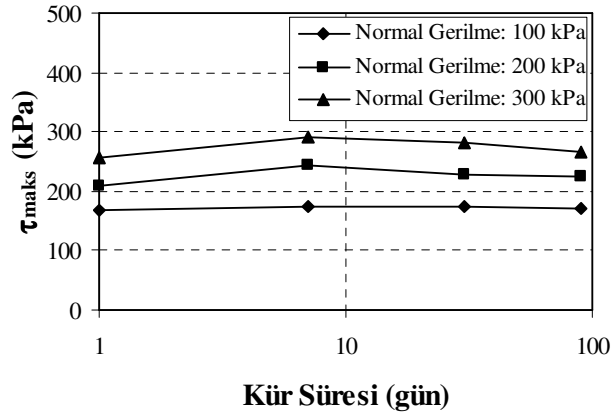
Şekil 4.42 :  $\tau$ - $\Delta L$  (Çöp S: % 20,  $\sigma = 300$  kPa)

% 20 çöp sızıntı suyu için hazırlanmış olan  $\tau$  -  $\Delta L$  grafiklerinden yararlanılarak kür süresi ile zeminin kayma mukavemeti değişimleri Şekil 4.43' de gösterilmiştir. Şekil 4.43.a' da görüldüğü gibi 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa gerilme seviyelerinde 1 gün kür süresine bırakılmış numunelerin  $\tau_{maks}$  değerleri küre bırakılmamış numuneye göre daha küçüktür. Bu değerler her üç gerilme seviyesinde de 7 gün kür süresi

sonunda artış göstermiştir. 30 gün kür süresi sonunda  $\tau_{maks}$  değeri azalarak 90 gün kür süresi sonunda da bu azalışa devam etmiştir. Şekil 4.43.b' de görüldüğü gibi üç yük kademesinde de  $\tau_{maks}$  değeri 7 gün kür süresi sonunda 1 gün kür süresine göre doğrusal bir artış göstermiştir. 30 gün kür süresi sonunda  $\tau_{maks}$  değeri azalarak 90 gün kür süresi sonunda da bu azalışa devam etmiştir.



a) t= 0–90 gün

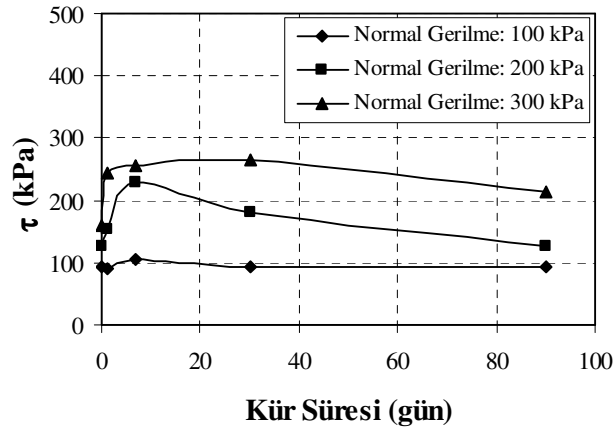


b) t= 1–90 gün

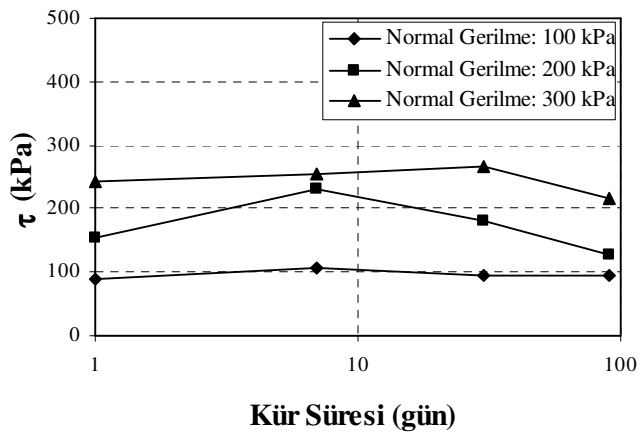
Şekil 4.43 : Kür Süresinin  $\tau_{maks}$  Üzerine Etkisi (Çöp S: % 20)

Deneyin tamamlandığı % 17 deformasyon seviyesine karşı gelen kayma gerilmesi ( $\tau$ ) değerinin kür süresi ile değişimini ele alırsak; Şekil 4.44.a' da görüldüğü gibi 100 kPa' da genelde sabit bir eğilim gözükmemektedir. 200 ve 300 kPa' da 7 gün kür süresine bırakılmış numunelerin  $\tau$  değerleri küre bırakılmamış numuneye göre daha

büyüktür. 200 kPa’ da 30 gün kür süresi sonunda  $\tau$  değerleri azalarak 90 gün kür süresi sonunda da bu azalışa devam etmiştir.  $\sigma = 300$  kPa’ da 30 gün kür süresi sonunda artma, 90 gün kür süresi sonunda ise azalma göstermiştir. Şekil 4.44.b’ de görüldüğü gibi 100 kPa’ da genelde sabit bir eğilim gözükmektedir. 200 ve 300 kPa’ da 7 gün kür süresine bırakılmış numunelerin  $\tau$  değerleri küre bırakılmamış numuneye göre daha büyüktür. 200 kPa’ da 30 gün kür süresi sonunda  $\tau$  değerleri azalarak 90 gün kür süresi sonunda da bu azalışa devam etmiştir.  $\sigma = 300$  kPa’ da 30 gün kür süresi sonunda artma, 90 gün kür süresi sonunda ise azalma göstermiştir.



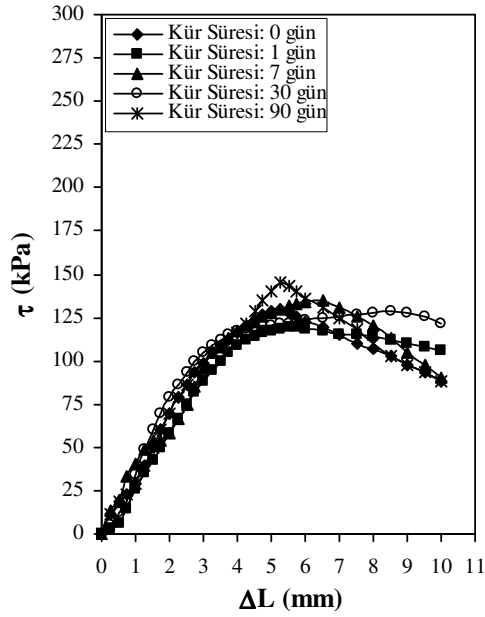
a) t= 0–90 gün



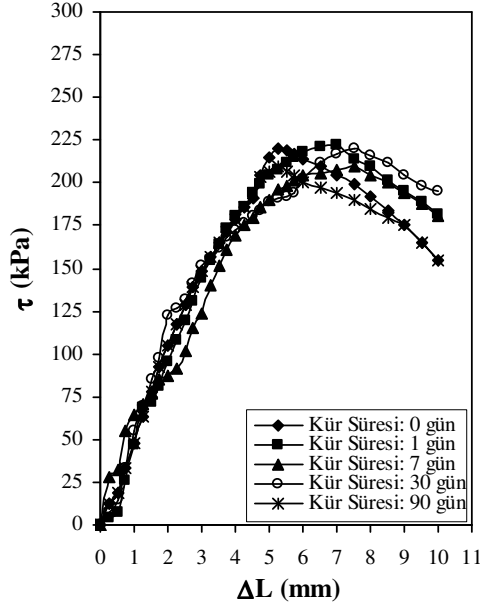
b) t= 1–90 gün

Şekil 4.44 : Kür Süresinin  $\tau$  Üzerine Etkisi ( $\gamma$ : % 17, Çöp S: % 20)

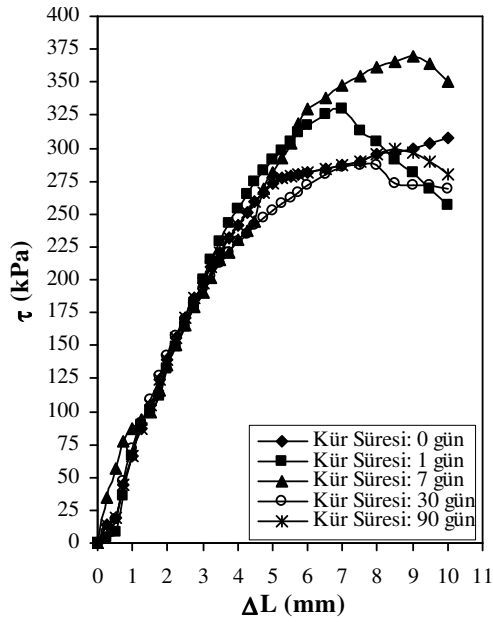
Şekil 4.45’ de % 50 çöp sızıntı suyu içeren numunelerin  $\sigma = 100$  kPa gerilme seviyesi için  $\tau - \Delta L$  grafiğinin kür süresi ile değişimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi bütün kür sürelerinde benzer davranışlar gözükmemektedir. 90 gün küre bırakılmış numuneye ait  $\tau_{maks}$  değeri diğer kür sürelerine göre biraz daha büyüktür. 200 kPa gerilme seviyesinde de bütün kür sürelerinde benzer davranışlar gözükmemektedir. 1 gün kür süresine bırakılmış  $\tau_{maks}$  değeri diğer kür sürelerine göre biraz daha büyüktür (Şekil 4.46). 300 kPa gerilme seviyesi için 7 gün kür süresi sonunda  $\tau_{maks}$  en büyük değere, 30 gün kür süresi sonunda en küçük değere ulaşır (Şekil 4.47).



Şekil 4.45 :  $\tau - \Delta L$  (Çöp S: % 50,  $\sigma = 100$  kPa)



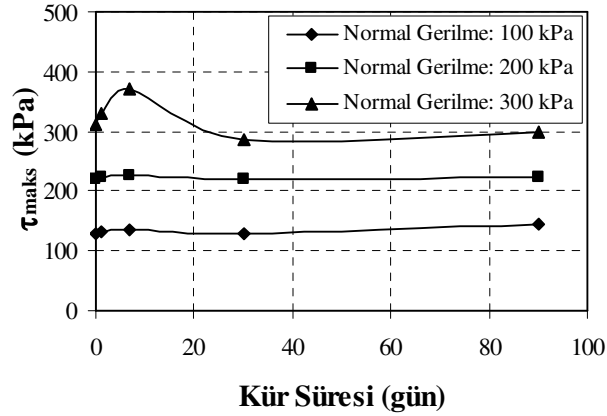
Şekil 4.46 :  $\tau$ - $\Delta L$  (Çöp S: % 50,  $\sigma = 200$  kPa)



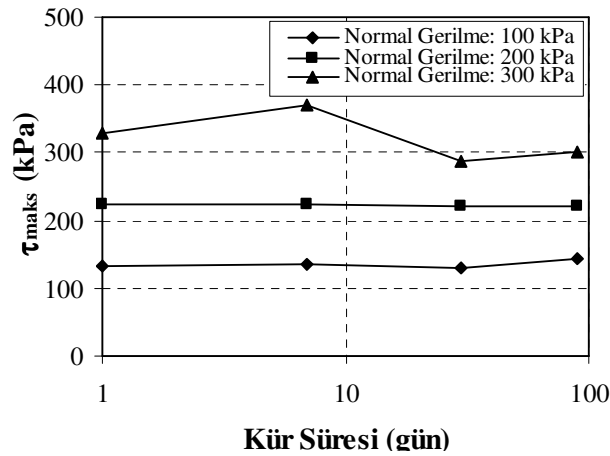
Şekil 4.47 :  $\tau$ - $\Delta L$  (Çöp S: % 50,  $\sigma = 300$  kPa)

% 50 çöp sızıntı suyu oranı için  $\tau_{maks}$  ' in kür süresi ile değişimi Şekil 4.48' de verilmiştir. Şekil 4.48.a' da görüldüğü gibi 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa gerilme seviyelerinde benzer davranışlar gözükmemektedir. 7 gün kür süresine bırakılmış numunelerin  $\tau_{maks}$  değerleri kür bırakılmamış numuneye göre daha büyüktür. Bu

değerler her üç gerilme seviyesinde de, 30 gün kür süresi sonunda azalma, 90 gün kür süresi sonunda artma göstermiştir. 100 kPa ve 200 kPa gerilme seviyelerinde bu artış ve azalışlar, 300 kPa gerilme seviyesine göre daha küçüktür. Şekil 4.48.b' de görüldüğü gibi 100 kPa ve 200 kPa gerilme seviyelerinde benzer davranışlar gözükmemektedir ve sabit bir eğilim söz konusudur. 300 kPa gerilme seviyesinde  $\tau_{maks}$  değeri 7 gün kür süresi sonunda 1 gün kür süresine göre doğrusal bir artma göstermiştir. 7 günden sonra 30 gün kür süresi sonunda ise bir azalma, 30 günden sonra 90 gün kür süresi sonunda da bir artma söz konusudur.



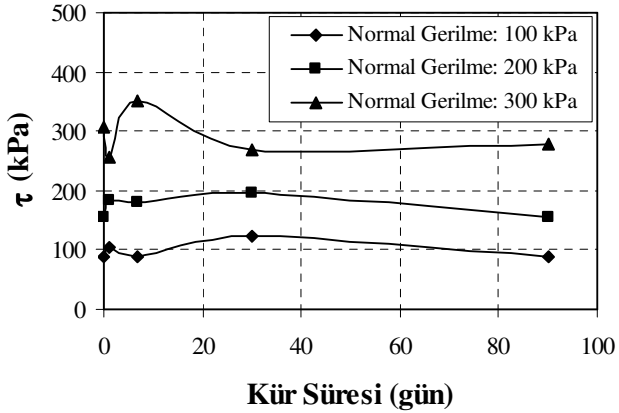
a) t= 0–90 gün



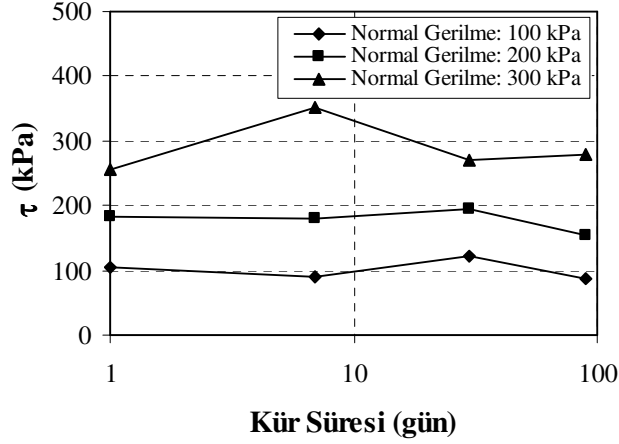
b) t= 1–90 gün

Şekil 4.48 : Kür Süresinin  $\tau_{maks}$  Üzerine Etkisi (Çöp S: % 50)

Şekil 4.49.a' da görüldüğü gibi % 50 çöp sızıntı suyu oranında % 17 deformasyona karşı gelen kayma gerilmesi 100 kPa ve 200 kPa gerilme seviyelerinde benzer davranışlar göstermektedir. 1 gün kür süresine bırakılmış numunelerin  $\tau$  değerleri küre bırakılmamış numuneye göre daha büyüktür. Bu değerler 7 gün kür süresi sonunda bir miktar azalma, 30 gün kür süresi sonunda bir miktar artma ve 90 gün kür süresi sonunda tekrar azalma göstermiştir. 300 kPa gerilme seviyesinde 1 gün kür süresine bırakılmış numunelerin  $\tau$  değerleri küre bırakılmamış numuneye göre daha küçüktür. Bu değerler 7 gün kür süresi sonunda bir miktar artma, 30 gün kür süresi sonunda bir miktar azalma ve 90 gün kür süresi sonunda tekrar artma göstermiştir. Şekil 4.49.b' de görüldüğü gibi 100 kPa ve 200 kPa gerilme seviyelerinde benzer davranışlar gözükmemektedir.  $\tau_{maks}$  değerleri 7 gün kür süresi sonunda 1 gün kür süresine göre doğrusal bir azalma göstermiştir. 7 günden sonra 30 gün kür süresi sonunda ise bir artma, 30 günden sonra 90 gün kür süresi sonunda da bir azalma söz konusudur. 300 kPa gerilme seviyesinde  $\tau_{maks}$  değeri 7 gün kür süresi sonunda 1 gün kür süresine göre doğrusal bir artma göstermiştir. 7 günden sonra 30 gün kür süresi sonunda ise bir azalma, 30 günden sonra 90 gün kür süresi sonunda da bir artma söz konusudur.



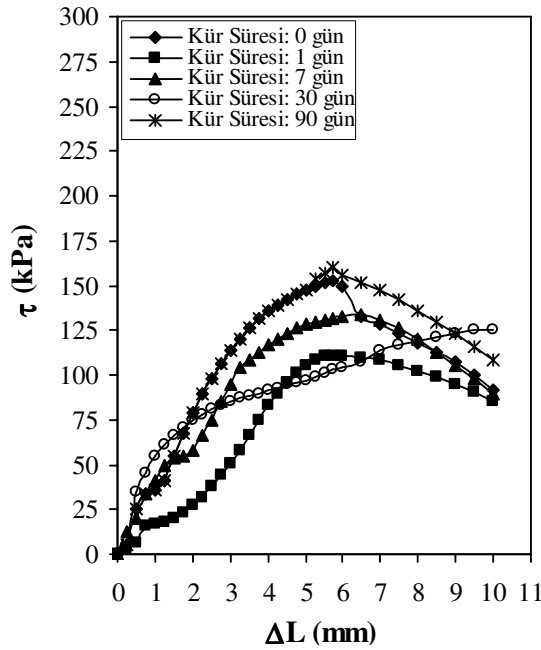
a) t= 0–90 gün



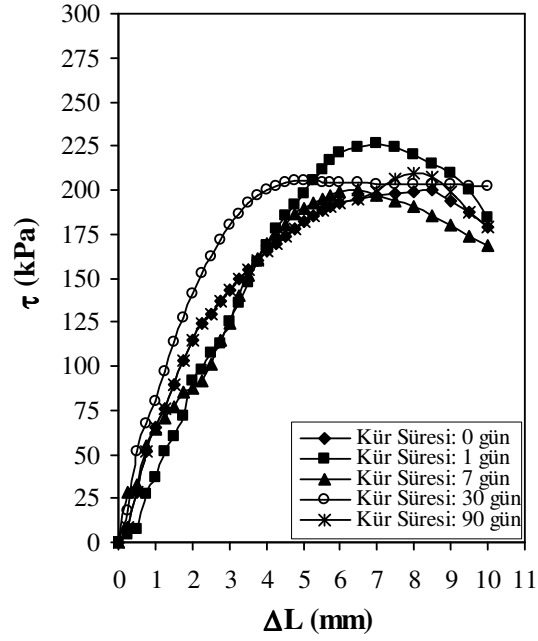
b) t= 1-90 gün

Şekil 4.49 : Kür Süresinin  $\tau$  Üzerine Etkisi ( $\gamma$ : % 17, Çöp S: % 50)

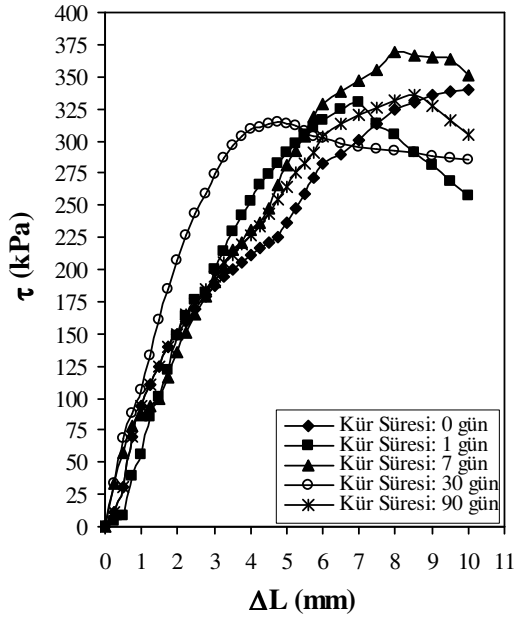
% 100 çöp sızıntı suyuna ait Şekil 4.50' de görüldüğü gibi  $\sigma = 100$  gerilme seviyesi için  $\tau_{maks}$  t= 90 gün kür süresi sonunda maksimum, t= 1 için ise minimumdur.  $\sigma = 200$  kPa gerilme seviyesinde ise  $\tau_{maks}$  t= 7 gün için minimum, t= 1 için ise maksimumdur (Şekil 4.51).  $\sigma = 300$  kPa gerilme seviyesinde  $\tau_{maks}$  t= 30 gün için minimum, t= 7 için ise maksimumdur (Şekil 4.52).



Şekil 4.50 :  $\tau$ - $\Delta L$  (Çöp S: % 100,  $\sigma = 100$  kPa)



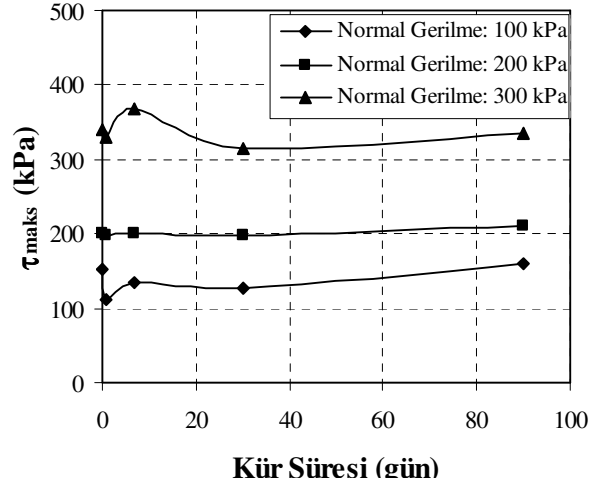
Şekil 4.51 :  $\tau$ - $\Delta L$  (Çöp S: % 100,  $\sigma = 200$  kPa)



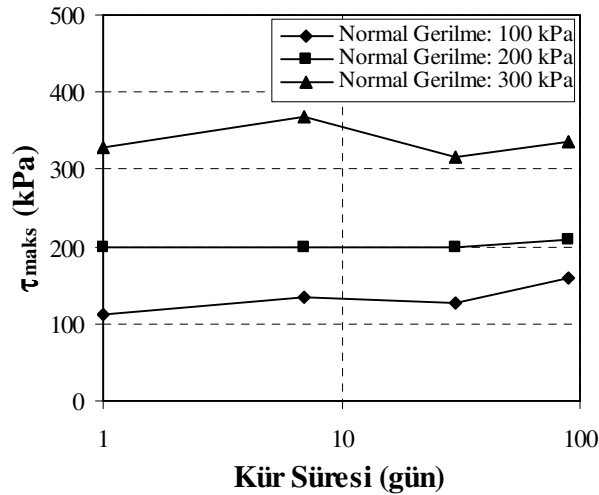
Şekil 4.52 :  $\tau$ - $\Delta L$  (Çöp S: % 100,  $\sigma = 300$  kPa)

Şekil 4.53.a' da görüldüğü gibi % 100 çöp sızıntı suyu oranında 200 kPa gerilme seviyesinde sabit bir eğilim söz konusudur. 100 kPa ve 300 kPa gerilme seviyelerinde 1 gün kür süresine bırakılmış numunelerin  $\tau_{maks}$  değerleri küre bırakılmamış numuneye göre daha küçüktür. Bu değerler 7 gün kür süresi sonunda artış, 30 gün

kür süresi sonunda azalma, 90 gün kür süresi sonunda artma göstermiştir. Şekil 4.53.b' de görüldüğü gibi 200 kPa gerilme seviyelerinde sabit bir eğilim söz konusudur. 100 kPa ve 300 kPa gerilme seviyesinde  $\tau_{maks}$  değeri 7 gün kür süresi sonunda 1 gün kür süresine göre doğrusal bir artma göstermiştir. 7 günden sonra 30 gün kür süresi sonunda ise bir azalma, 30 günden sonra 90 gün kür süresi sonunda da bir artma söz konusudur.



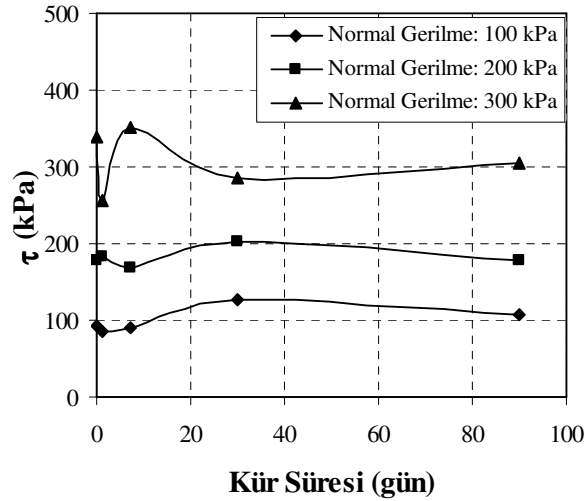
a) t= 0–90 gün



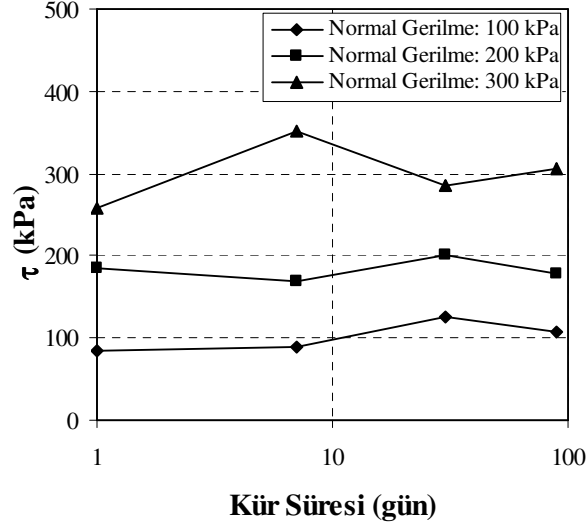
b) t= 1–90 gün

Şekil 4.53 : Kür Süresinin  $\tau_{maks}$  Üzerine Etkisi (Çöp S: %100)

% 100 çöp sızıntı suyu oranında kür süresi ile kayma gerilmesindeki değişimi incelemek amacı ile deneyin tamamlandığı % 17 yatay (kayma) deformasyon seviyesi değerleri karşılaştırmada kullanılmıştır. Şekil 4.54.a' da görüldüğü gibi 100 ve 300 kPa normal gerilme seviyelerinde  $t=0'$  a göre 1 günlük kür sonunda kayma gerilmesi azalmıştır. 7 gün kürü sonunda artış gözlenmiştir. 100 kPa gerilme seviyesinde 30 günlük kür süresi sonunda artma, 90 gün kür süresi sonunda azalma görülmüştür. 300 kPa gerilme seviyesinde 30 gün kür süresi sonunda azalma, 90 gün kür süresi sonunda artma gözlenmiştir. 200 kPa gerilme seviyesinde,  $t=0'$  a göre 1 günlük kür sonunda kayma gerilmesi artmıştır. 7 gün kür süresi sonunda azalma, 30 gün kür süresi sonunda artma ve 90 gün kür süresi sonunda tekrar azalma gözlenmiştir. Şekil 4.54.b' de 100 kPa ve 300 kPa gerilme seviyelerinde,  $\tau$  değeri 7 gün kür süresi sonunda 1 gün kür süresine göre doğrusal bir artma, 200 kPa gerilme seviyesinde de doğrusal bir azalma göstermiştir. 100 kPa ve 200 kPa gerilme seviyelerinde 30 gün kür süresi sonunda 7 gün kür süresine göre doğrusal bir artma, 90 gün kür süresi sonunda 30 gün kür süresine göre doğrusal bir azalma göstermiştir. 300 kPa gerilme seviyesinde 30 gün kür süresi sonunda 7 gün kür süresine göre doğrusal bir azalma, 90 gün kür süresi sonunda 30 gün kür süresine göre doğrusal bir artma göstermiştir.



a)  $t=0-90$  gün



b) t= 1–90 gün

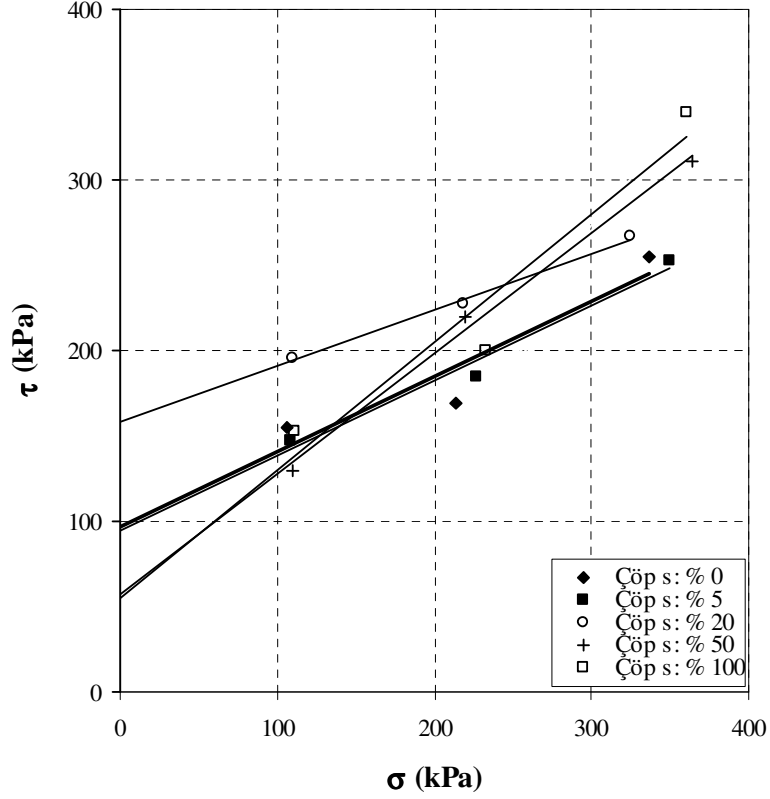
Şekil 4.54 : Kür Süresinin  $\tau$  Üzerine Etkisi ( $\gamma$ : % 17, Çöp S: % 100)

#### 4.4.3 Suya Doymun Olmayan Numunelerde Kayma Mukavemeti Üzerinde Kür Oranının Etkisi

Zemine farklı oranlarda çöp sızıntı suyu karıştırılarak hazırlanmış zemin numunelerinin kayma mukavemeti parametrelerinin ( $c$ ,  $\phi$ ) çöp sızıntı suyu miktarı ile değişimi bu bölümde ele alınacaktır. Bu amaçla küre bırakılmamış numunelere ait konsolidasyonsuz-drenajsız deney sonuçları kullanılarak Şekil 4.55’ de görüldüğü gibi tüm kür süreleri için kırılma zarfları çizilmiştir. Diğer kür sürelerine ait grafikler Ek A’ da verilmiştir. Daha sonra ise bu grafiklerden yararlanarak  $c$ ,  $\phi$  değerleri hesaplanmıştır.

Şekil 4.56’ da t= 0, 1, 7, 30 ve 90 günlük kür sürelerine ait  $\phi$  değerlerinin kür oranı ile değişimi görülmektedir. t= 0’ da % 20 çöp sızıntı suyu içeren numunenin kayma mukavemeti açısı ( $\phi$ ) minimumdur. Zemine çöp sızıntı suyu katılması ile  $\phi$  artmıştır. % 100 çöp sızıntı suyu oranında  $\phi$ ’ de en fazla artış görülür. Buna göre % 100 çöp sızıntı suyu oranında  $\phi$  maksimumdur. Çöp sızıntı suyu katılmış numuneleri kendi aralarında incelersek; % 5 çöp sızıntı suyu oranında tüm kür sürelerindeki  $\phi$  temiz zemine göre daha büyüktür. % 20 çöp sızıntı suyu oranına kadar 7 gün kür

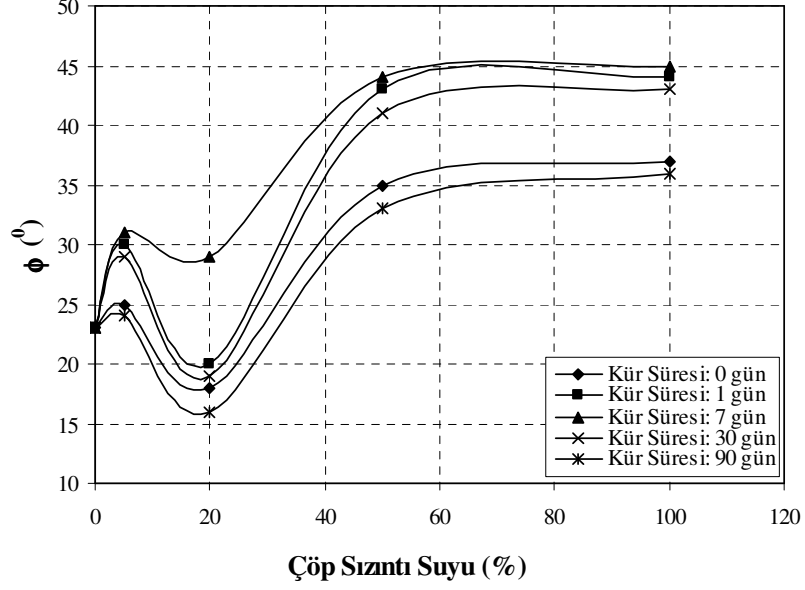
süresi haricinde, çöp sızıntı suyu oranındaki artışla  $\phi$  azalmıştır. 7 günlük kür sonunda % 20 çöp sızıntı suyu içeren numunenin  $\phi$  değeri temiz zemin numunesine göre daha büyüktür. %50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında, tüm kür sürelerindeki kayma mukavemeti açılı temiz zemine göre daha büyüktür.



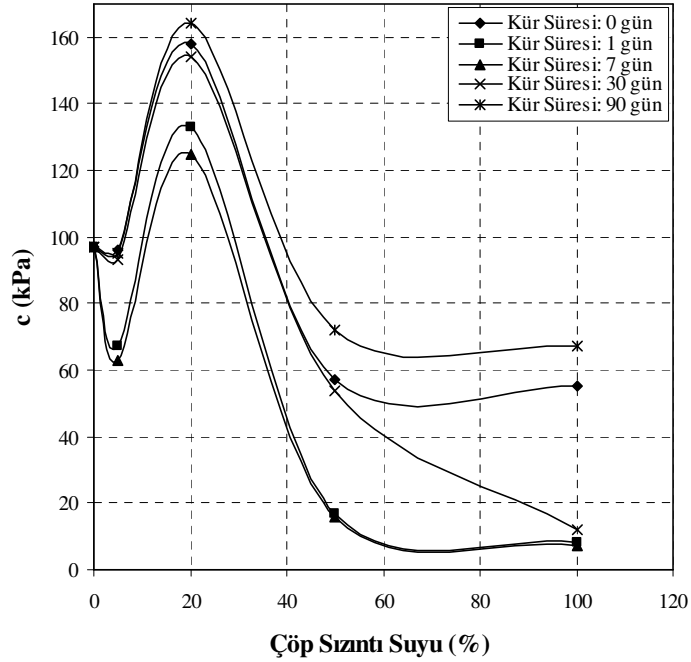
Şekil 4.55 : Kırılma Zarfı (t=0)

Şekil 4.57' de t= 0, 1, 7, 30 ve 90 günlük kür sürelerine ait c değerlerinin kür oranı ile değişimi görülmektedir. t= 0' da % 20 çöp sızıntı suyu içeren numunenin kohezyonu (c) maksimumdur. Zemine çöp sızıntı suyu katılması ile c azalmıştır. % 100 çöp sızıntı suyu oranında c' de en fazla azalma görülür. Buna göre % 100 çöp sızıntı suyu oranında c minimumdur. Çöp sızıntı suyu katılmış numuneleri kendi aralarında incelersek; % 5 çöp sızıntı suyu oranında tüm kür sürelerindeki c temiz zemine göre daha küçüktür. % 20 çöp sızıntı suyu oranına kadar tüm kür sürelerinde çöp sızıntı suyu oranındaki artışla c artmıştır ve c değerleri temiz zemin numunesine göre daha büyüktür. %50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında, tüm kür sürelerindeki c değerleri temiz zemine göre daha küçüktür. 1 ve 7 gün kür sürelerindeki c değerleri tüm çöp sızıntı suyu oranlarında benzer davranışlar

göstermektedir.  $c$  ve  $\phi$  grafiklerinden görüldüğü gibi % 20 oranına kadar çöp sızıntı suyu oranındaki artışla  $c$  azalıp  $\phi$  artmaktadır. Bu çöp sızıntı suyu oranından sonra ise çöp sızıntı suyu oranındaki artışla  $c$  azalmakta,  $\phi$  ise artmaktadır.



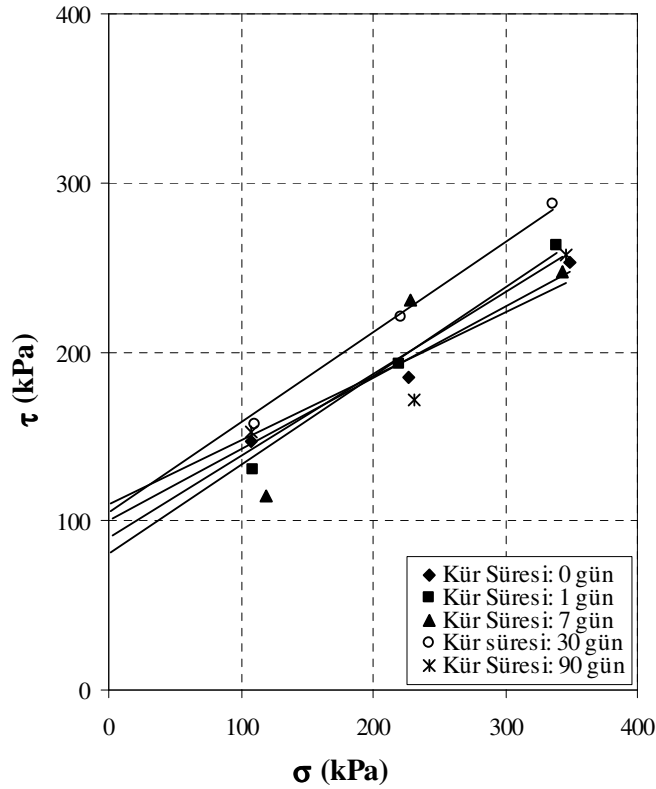
Şekil 4.56 : Çöp sızıntı suyu Oranın  $\phi$  Üzerine Etkisi ( $t=0$ )



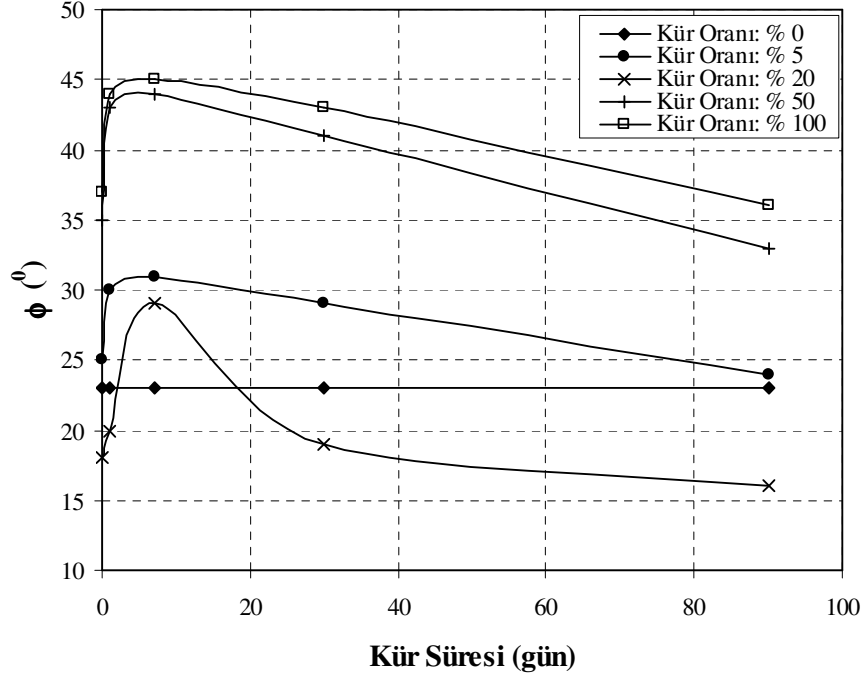
Şekil 4.57 : Çöp sızıntı suyu Oranın  $c$  Üzerine Etkisi ( $t=0$ )

#### 4.4.4 Suya Doygun Olmayan Numunelerde Kayma Mukavemeti Üzerinde Kür Süresinin Etkisi

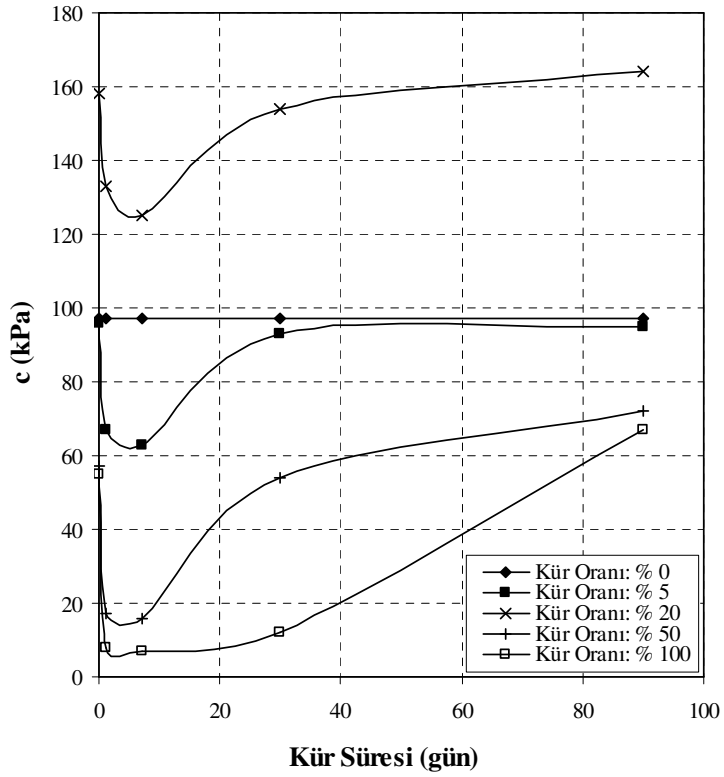
Zeminin kayma mukavemeti parametreleri ( $c$ ,  $\phi$ ) üzerine çöp sızıntı suyu oranının ve kür süresinin etkisini incelemek amacı ile kesme kutusu deney sonuçlarından yararlanmıştır. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi sırasında aynı kür oranına sahip numuneler kendi aralarında gruplandırılarak kür süresi ile  $c$  ve  $\phi$  değişimi ele alınmıştır. Bu amaçla Şekil 4.58’ de % 5 çöp sızıntı suyu oranı için gösterildiği gibi tüm çöp sızıntı suyu oranları için kırılma zarfları çizilir. Diğer kür oranlarına ait kırılma zarfları Ek A’ de gösterilmiştir. Bu kırılma zarflarından yararlanarak  $c$  ve  $\phi$  parametreleri hesaplanır. Çöp sızıntı suyu katılmış zemin numunelerinde zemin ve çöp sızıntı suyu arasındaki kimyasal reaksiyonlar nedeni ile kür süresine bağlı olarak  $c$  ve  $\phi$  değerlerinde değişme gözlenmiştir. Çöp sızıntı suyu katılmış zemin numunelerinin  $\phi$  ve  $c$  parametrelerinin kür süresine bağlı olarak gösterdikleri değişimler Şekil 4.59 ve Şekil 4.60’ da verilmiştir.



Şekil 4.58 : Kırılma Zarfı (Çöp S: % 5)

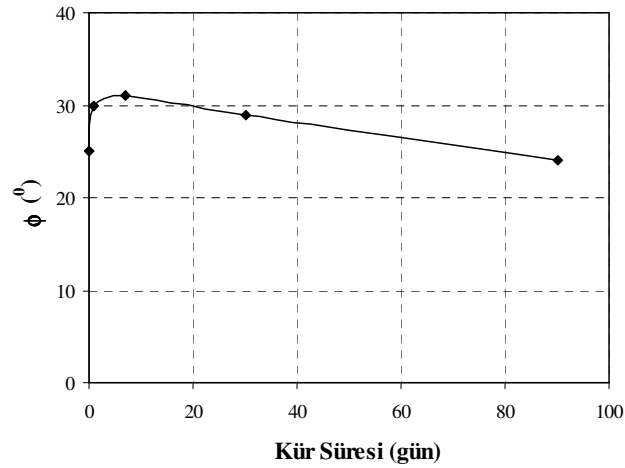


Şekil 4.59 : Kür Süresinin  $\phi$  Üzerine Etkisi

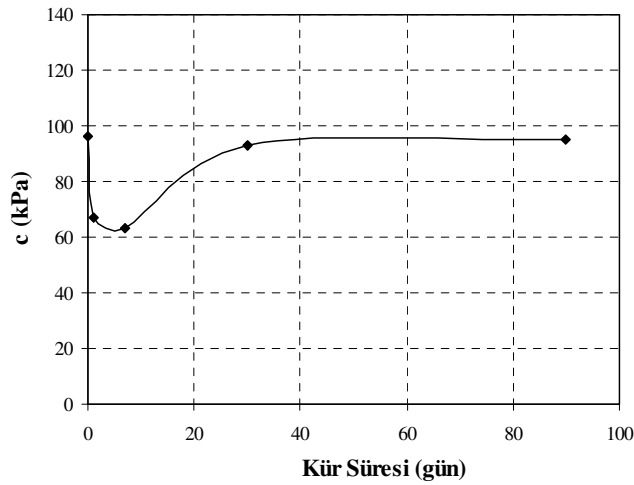


Şekil 4.60 : Kür Süresinin  $c$  Üzerine Etkisi

Şekil 4.61' de % 5 çöp sızıntı suyu ile hazırlanmış numunede olduğu gibi tüm çöp sızıntı suyu oranlarında  $\phi$ , 7 gün kür sonunda en yüksek değere ulaşmış, kür süresinin artmasıyla azalma göstermiştir. Şekil 4.62' de ise  $c$ , 7 gün kür sonunda en düşük değere ulaşmış, kür süresinin artmasıyla artış göstermiştir. % 100 çöp sızıntı suyu oranında hazırlanıp küre bırakılmadan hemen statik yük uygulanan numunelerle, 90 gün kürde bekletildikten sonra aynı yüklere maruz kalan numuneler arasında çok fazla değişim olmamıştır. % 100 çöp sızıntı suyu oranında  $t=0$  gün kür süresinde  $\phi = 37^\circ$  ve  $c=55$  kPa,  $t=90$  gün kür süresinde  $\phi = 36^\circ$  ve  $c=67$  kPa değerindedir.



Şekil 4.61 : Kür Süresinin  $\phi$  Üzerine Etkisi ( Çöp S: % 5)



Şekil 4.62 : Kür Süresinin  $c$  Üzerine Etkisi ( Çöp s: % 5)

#### 4.4.5 Suya Doygun Olan Numunelerde Gerilme-Şekil Değişirme Davranışı Üzerinde Kür Oranının Etkisi

Tablo 4.7’ de 7 gün kür süresine sahip numunlerin farklı oranlarda kür oranına ait su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlık değerleri verilmiştir.

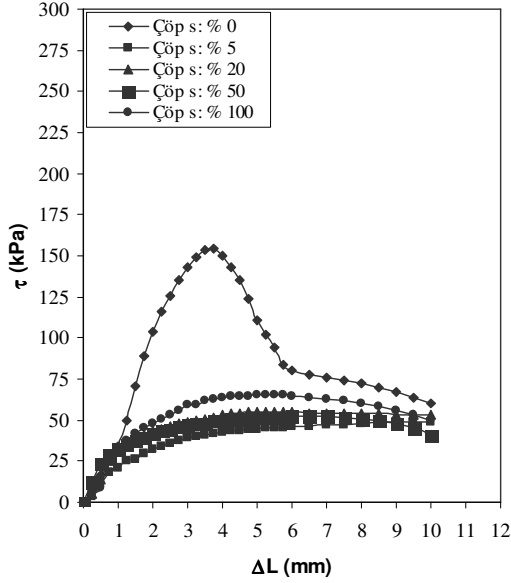
**Tablo 4.7 :** Suya Doygun Olan Numunelerde Kesme Kutusu Deneyi  $w$ -  $\gamma_k$  Değerleri

Kür Süresi (gün)	Çöp Suyu Muhtevası (%)	$\sigma_n$ (kPa)	Deney Başı $w_{ilk}$ (%)	Deney Sonu $w_{son}$ (%)	Deney Başı $\gamma_{kilk}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Deney Sonu $\gamma_{kson}$ (kN/m <sup>3</sup> )
7	5	100	39,483	35,280	13,506	14,561
		200	37,694	34,028	15,012	16,148
		300	38,186	31,218	15,850	17,414
	20	100	38,834	35,407	13,610	14,369
		200	37,594	32,596	14,691	15,629
		300	37,866	31,842	15,724	16,642
	50	100	39,123	35,305	14,086	14,804
		200	37,779	33,786	15,083	15,833
		300	38,095	34,205	15,881	16,765
	100	100	38,903	34,928	13,957	14,640
		200	38,421	34,126	13,872	14,555
		300	37,785	34,358	16,321	17,308

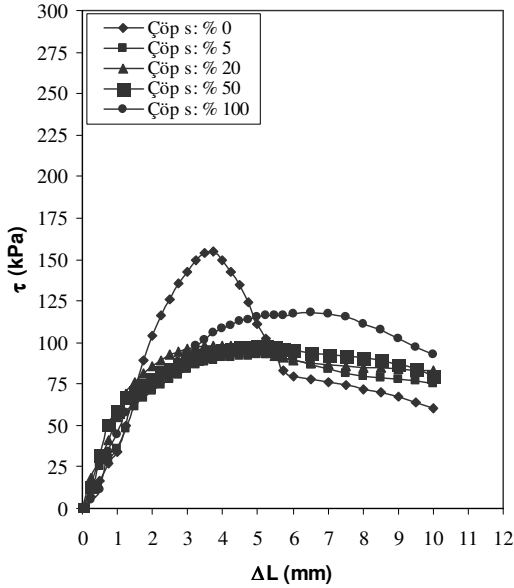
Şekil 4.63, 4.64 ve Şekil 4.65’ de farklı oranlarda çöp sızıntı suyu içeren zemin numunelerinin 100, 200 ve 300 kPa normal gerilme kademelerine ait kayma gerilmesi-yatay deplasman eğrileri verilmiştir. Şekil 4.63’ de  $\sigma = 100$  kPa’ a ait eğriler görülmektedir. Her çöp sızıntı suyu oranına ait  $\tau_{maks}$  değerleri incelendiğinde temiz zeminin  $\tau_{maks}$  değerinin suya doymun olan numunlerden daha büyük olduğu görülür. Suya doymun olan numunler kendi aralarında incelendiğinde % 100 çöp sızıntı suyu oranına sahip numunenin  $\tau_{maks}$  değerinin maksimum olduğu görülür.

Şekil 4.64’ de  $\sigma = 200$  kPa’ a ait eğriler görülmektedir.  $\sigma = 100$  kPa grafiğinde olduğu gibi temiz zeminin  $\tau_{maks}$  değerinin suya doymun olan numunlerden daha büyük olduğu görülür. Suya doymun olan numunler kendi aralarında incelendiğinde % 100 çöp sızıntı suyu oranına sahip numunenin  $\tau_{maks}$  değerinin maksimum olduğu görülür.

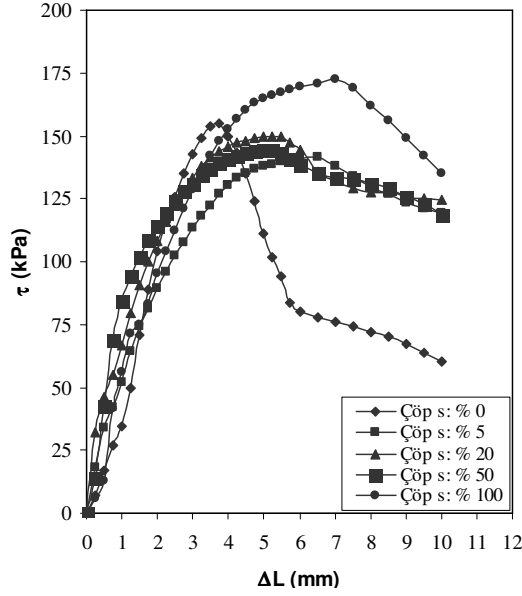
Şekil 4.65' de  $\sigma = 300$  kPa' a ait eğriler görülmektedir. Her çöp sızıntı suyu oranına ait  $\tau_{maks}$  değerleri incelendiğinde % 100 çöp sızıntı suyu oranında bu değerlerin temiz zeminden daha büyük olduğu görülür.



**Şekil 4.63 :** Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman Eğrisi  
( $\sigma = 100$  kPa,  $t = 7$ , S.D.)



**Şekil 4.64 :** Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman Eğrisi  
( $\sigma = 200$  kPa,  $t = 7$ , S.D.)

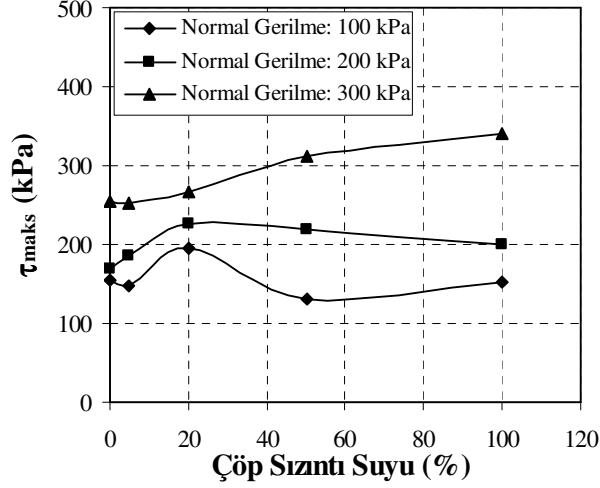


**Şekil 4.65** : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman Eğrisi

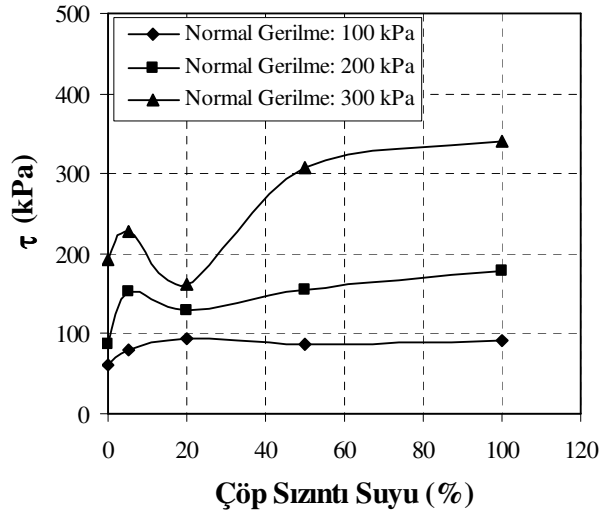
( $\sigma = 300$  kPa,  $t = 7$ , S.D.)

$t = 7$  için hazırlanmış olan  $\tau - \Delta L$  grafiklerinden yararlanarak kür oranı ile zeminin kayma mukavemeti değişimleri Şekil 4.66' da gösterilmiştir.  $\sigma = 100$  kPa gerilme seviyesinde çöp sızıntı suyu katılmış numunelerin  $\tau_{maks}$  değerleri % 5 çöp sızıntı suyu oranında temize zemine göre düşük, % 20 çöp sızıntı suyu oranında yüksektir. % 50 çöp sızıntı suyu oranında  $\tau_{maks}$  en küçük değerdedir. % 100 çöp sızıntı suyu oranında  $\tau_{maks}$  değeri % 50 çöp sızıntı suyu oranına göre artmıştır.  $\sigma = 200$  kPa' da ise  $\tau_{maks}$  değerleri temiz zemine göre artmıştır. % 20 çöp sızıntı suyu oranında maksimum değerdedir. 300 kPa normal gerilme seviyesinde % 5 çöp sızıntı suyu oranında  $\tau_{maks}$  değeri temiz zemine göre azalmış, diğer çöp sızıntı suyu oranlarında artmıştır.

Deneyin tamamlandığı % 17 deformasyon seviyesine karşı gelen kayma gerilmeleri ( $\tau$ ) kür oranları arasında karşılaştırma için kullanılmıştır. Şekil 4.67' de görüldüğü gibi  $\sigma = 100$  kPa ve 200 kPa' da  $\tau$  değerleri temiz zemine göre artmıştır.  $\sigma = 300$  kPa' da ise % 20 çöp sızıntı suyu oranı için  $\tau$  değeri temiz zemine göre azalmış, %5, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında temiz zemine göre artmıştır.



Şekil 4.66 : Kür Oranın  $\tau_{maks}$  Üzerine Etkisi ( $t=7$ , S.D.)

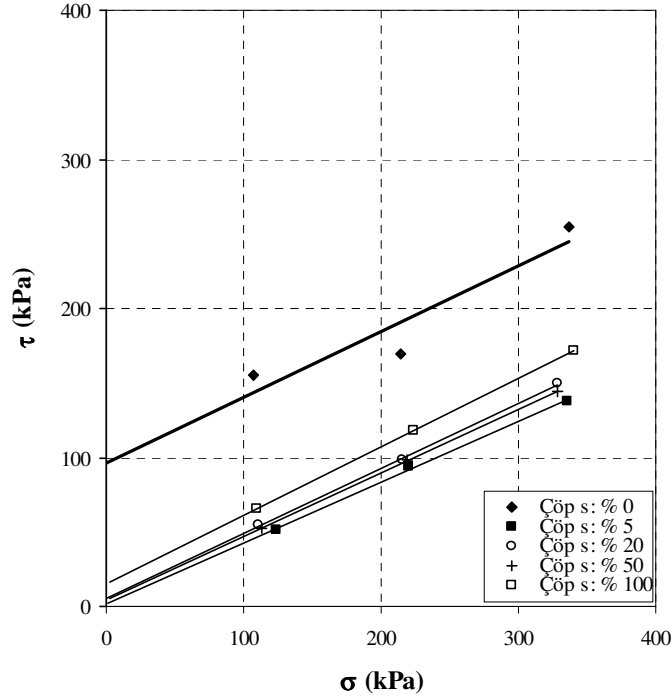


Şekil 4.67 : Kür Oranın  $\tau$  Üzerine Etkisi ( $\gamma: \% 17$ ,  $t=7$ , S.D.)

#### 4.4.6 Suya Doymun Olan Numunelerde Kayma Mukavemeti Üzerinde Kür Oranının Etkisi

Küre bırakılmamış temiz zemin numunesi ile zemine farklı oranlarda çöp sızıntı suyu karıştırılarak hazırlanmış suya doymun olan numunelerin kayma mukavemeti parametrelerinin ( $c$ ,  $\phi$ ) çöp sızıntı suyu miktarı ile değişimi bu bölümde ele alınacaktır. Bu amaçla suya doymun  $t=7$  gün kür süresine sahip numunelere ait

konsolidasyonsuz-drenajsız deney sonuçları kullanılarak Şekil 4.68’ de görüldüğü gibi kırılma zarfları çizilmiştir. Daha sonra ise bu grafiklerden yararlanarak  $c$ ,  $\phi$  değerleri hesaplanmıştır.

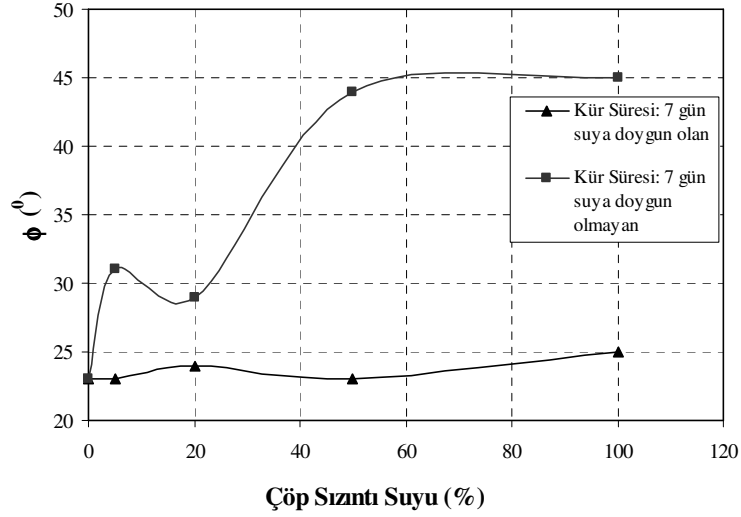


Şekil 4.68 : Kırılma Zarfı (t=7, S.D.)

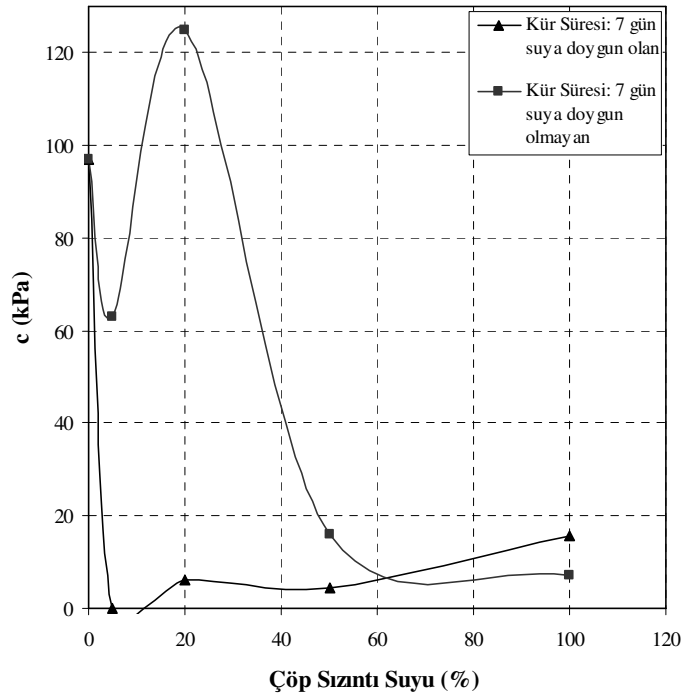
Şekil 4.69’ da suya doymun olan ve suya doymun olmayan,  $t=7$  gün kür sürelerine ait  $\phi$  değerlerinin kür oranı ile değişimi görülmektedir. Suya doymun olan numunelerde % 5 ve % 50 çöp sızıntı suyu oranlarında  $\phi$  değeri temiz zemine aynıdır, % 20 ve % 50 çöp sızıntı suyu oranlarında temiz zemine göre artış görülmektedir. Suya doymun olmayan numunelerde çöp sızıntı suyu oranı arttıkça  $\phi$  değerinin temiz zemine ve suya doymun olan numunelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Şekil 4.70’ de suya doymun olan ve suya doymun olmayan,  $t=7$  gün kür sürelerine ait  $c$  değerlerinin kür oranı ile değişimi görülmektedir. Suya doymun olan numunelerde çöp sızıntı suyu ile karıştırılan zeminlerin temiz zemine göre oldukça düşük olduğu görülmektedir. % 5 çöp sızıntı suyu oranında  $c$  değerinin sıfır olduğu, çöp sızıntı suyu oranı arttıkça  $c$  değerlerinde bir miktar artış olduğu görülmektedir. Suya doymun olmayan numunelerde % 5 çöp sızıntı suyu oranında  $c$  değerinin temiz zemine göre

düştüğü fakat suya doygun olan numuneye göre de yüksek olduğu görölmektedir. % 20 çöp sızıntı suyu oranında  $c$  değerinin maksimum olduğu, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında  $c$  değerinin düştüğü görölmektedir. Suya doygun olmayan numunenin % 100 çöp sızıntı suyu oranında  $c$  değerinin, suya doygun olan numuneye göre daha küçük olduğu görölmektedir.



Şekil 4.69 : Çöp sızıntı suyu Oranın  $\phi$  Üzerine Etkisi (t=7)



Şekil 4.70 : Çöp sızıntı suyu Oranın  $c$  Üzerine Etkisi (t=7)

#### 4.5 Suya Doymun Olmayan Numunelerde Ödometre Deney Sonuçları

% 5, 20, 50 ve 100 çöp sızıntı suyu oranı ile hazırlanmış suya doymun olmayan numuneler 0, 30 ve 90 gün küre bırakılarak ödometre deneyine tabi tutulmuş, zeminin hacim değıştirme davranışı, ön konsolidasyon basıncı ve permeabilite katsayısı üzerine çöp sızıntı suyu oranının ve kür süresinin etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla elde edilen deney sonuçları iki aşamada ele alınacaktır. İlk olarak ön konsolidasyon basıncındaki değışim daha sonra ise permeabilite katsayısındaki değışim ele alınacaktır. Tablo 4.8' de ödometre deneyine ait  $w$  ve  $\gamma_k$  değerleri verilmiştir.

**Tablo 4.8 :** Ödometre Deneyi  $w$  ve  $\gamma_k$  Değerleri

Çöp Sızıntı Suyu Muhtevası (%)	Kür Süresi (gün)	Deney Başı $w_{ilk}$ (%)	Deney Sonu $w_{son}$ (%)	Deney Başı $\gamma_{ilk}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Deney Sonu $\gamma_{son}$ (kN/m <sup>3</sup> )
0	0	24	30	13,18	15,91
5	0	24	31	13,33	15,11
	30	24	31	14,52	15,69
	90	24	30	14,93	15,40
20	0	24	31	14,74	15,73
	30	24	31	14,25	15,78
	90	24	30	14,31	15,49
50	0	24	31	12,73	15,57
	30	24	31	14,40	16,04
	90	24	30	14,87	15,32
100	0	24	32	13,43	15,41
	30	24	31	14,70	16,35
	90	24	30	14,50	15,42

##### 4.5.1 Suya Doymun Olmayan Numunelerde Hacim Değıştirme Davranışı

##### Üzerinde Kür Oranı ve Kür Süresinin Etkisi

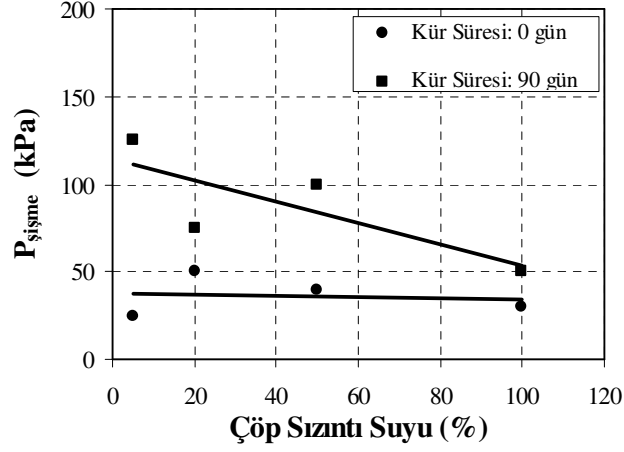
Zeminin hacim değıştirme davranışı, oturma ile olan direkt ilişkisinden dolayı önemlidir. Hacim değıştirme davranışı zeminin dayanım ve deformasyon özellikleri üzerinde etkilidir. Bu nedenle farklı oranlarda çöp sızıntı suyu ile kirletilmiş ve küre bırakılmış zemin numunelerinin hacim değıştirme davranışındaki değışimler

incelenmiştir. Bu amaçla ödometre deney sonuçlarından yararlanılmıştır. Şekil 4.72, 4.73 ve 4.74' da kür süresi  $t=0$ ,  $t=30$  ve  $t=90$  gün olan numunelere ait boşluk oranı-konsolidasyon grafikleri verilmiştir.

Konsolidasyon deneyleri başında her numuneye ait şişme basınçları belirlenmiştir. Tablo 4.9 ve Şekil 4.71' de  $t=0$  ve  $t=90$  gün için şişme basınçları verilmiştir.  $t=30$  gün ve temiz zemine ait şişme basıncı gözlenmemiştir.  $t=0$ ' da % 5 çöp sızıntı suyu oranında en düşük şişme basıncı gözlenmiştir ve 25 kPa olarak belirlenmiştir. % 20 çöp sızıntı suyu oranında şişme basıncı artarak 50 kPa olarak belirlenmiştir. Bu çöp sızıntı suyu oranından daha yüksek çöp sızıntı suyu oranlarında ise şişme basıncı azalmıştır. 90 günlük kür sonunda çöp sızıntı suyu ile kirletilmiş numunelerin şişme basınçları 0 günlük kür sonunda çöp sızıntı suyu ile kirletilmiş numunelerin şişme basınçlarına göre artış göstermiştir.  $t=90$ ' da % 5 çöp sızıntı suyu oranında en yüksek şişme basıncı gözlenmiştir ve 125 kPa olarak belirlenmiştir. % 20 çöp sızıntı suyu oranında şişme basıncı azalarak 75 kPa olarak belirlenmiştir. % 50 çöp sızıntı suyu oranında şişme basıncı artış göstermiş, % 100 çöp sızıntı suyu oranında tekrar azalarak en düşük şişme basıncı gözlenmiştir 50 kPa olarak belirlenmiştir.

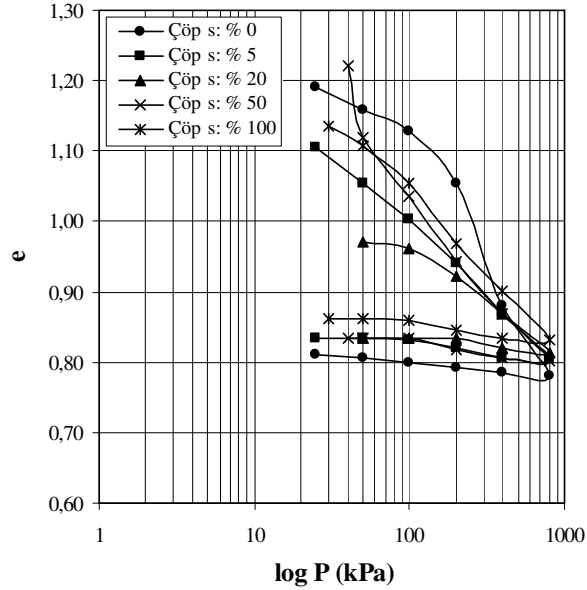
**Tablo 4.9 :** Kür Oranı ve Kür Süresinin  $P_{\text{şişme}}$  Üzerine Etkisi

Çöp Sızıntı Suyu Muhtevası (%)	Kür Süresi (gün)	$P_{\text{şişme}}$ (kPa)
5	0	25
	90	125
20	0	50
	90	75
50	0	40
	90	100
100	0	30
	90	50

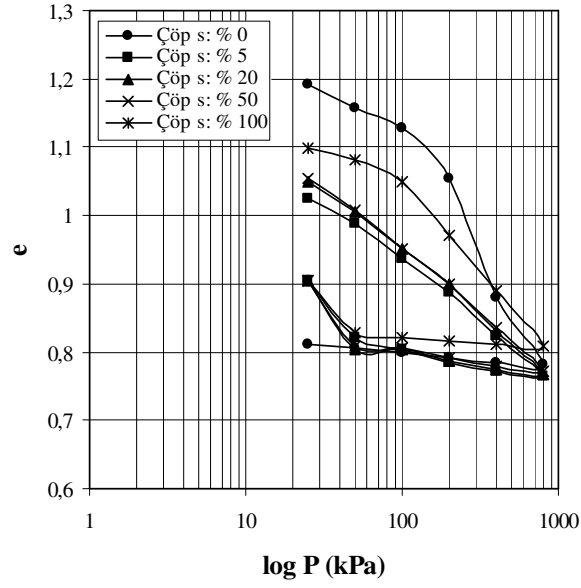


Şekil 4.71 : Kür Oranı ve Kür Süresi İle  $P_{şışme}$  Değerindeki Değişim

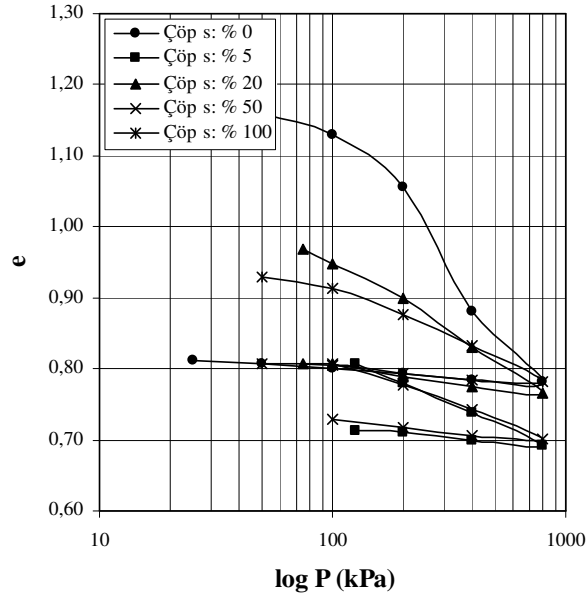
Küre bırakılmamış numunelere ait e-log P (Şekil 4.72) grafiğinden yararlanarak çöp sızıntı suyu oranı ile hacim değişimi incelenmiştir. Konsolidasyon basıncı değerlerine karşı gelen boşluk oranlarına göre temiz zeminde en az oturma olmuştur. En çok oturma ise % 20 çöp sızıntı suyu oranında gözlenmiştir. 30 günlük kür sonunda ise Şekil 4.73' de ve 90 günlük kür sonunda ise Şekil 4.74' de görüldüğü gibi en az oturma temiz zeminde, en çok oturma ise % 5 çöp sızıntı suyu oranında olmuştur.



Şekil 4.72 : e-log P (t= 0)



Şekil 4.73: e-log P (t= 30 gün)

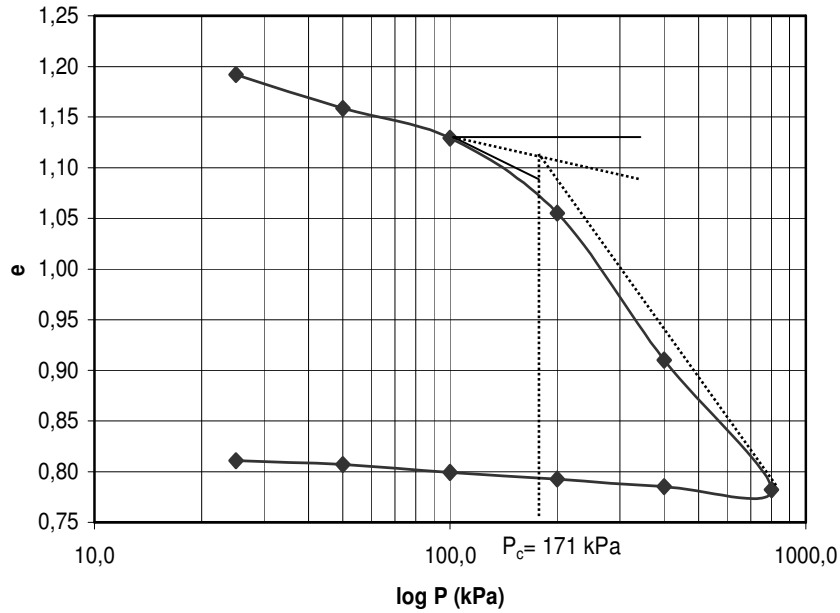


Şekil 4.74 : e-log P (t= 90 gün)

#### 4.5.2 Suya Doymun Olmayan Numunelerde Ön Konsolidasyon Basıncı Üzerinde Kür Oranı ve Kür Süresinin Etkisi

Bir kil tabakasının geçmişte etkisi altında kaldığı en yüksek konsolidasyon basıncı ön konsolidasyon basıncı olarak tanımlanmaktadır. Ön konsolidasyon basıncı ( $P_c$ ) e-

logP grafiklerinden (Şekil 4.72, Şekil 4.73 ve Şekil 4.74) Casagrande yönteminden yararlanılarak belirlenmiştir. Şekil 4.75’ de küre bırakılmamış % 0 çöp sızıntı suyu oranı ile hazırlanmış numuneye ait grafikte gösterildiği gibi önce eğrinin en küçük yarıçap değerine sahip olduğu nokta yaklaşık olarak belirlenmekte, bu noktadan bir yatay doğru ve bu noktaya teğet bir başka doğru çizilmektedir. Bu iki doğrunun yaptığı açının açısı ortayı ile konsolidasyon eğrisinin doğru kısmının uzantısının kesiştiği nokta ön konsolidasyon basıncı değerini vermektedir. Ek B’ de bütün çöp sızıntı suyu oranları ve kür süreleri için e-log P grafikleri verilmiştir. ,Tablo 4.10’ da her çöp sızıntı suyu oranına ait  $t=0$ ,  $t=30$  ve  $t=90$  güne ait  $P_c$  değerleri verilmiştir.

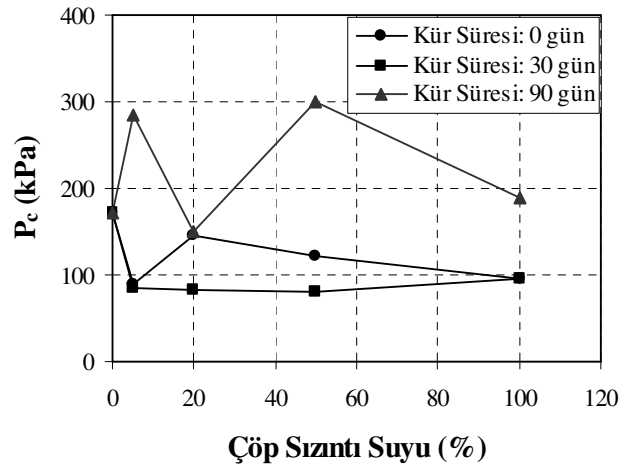


**Şekil 4.75 :** Ön Konsolidasyon Basıncının Ödometre Eğrisinden Bulunması  
(Çöp s: % 0, Kür S: 0)

Şekil 4.76’ da görüldüğü gibi  $t=90$  kür süresine ait  $P_c$  değerleri  $t=0$  ve  $t=30$  gündeki değerlerden yüksektir. % 5 çöp sızıntı suyu oranında  $t=0$  ve  $t=30$  gün için  $P_c$  düşme eğilimi göstermiştir.  $t=0$  gün için % 20 çöp sızıntı suyu oranında artış gözlenmiş, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında düşüş gözlenmiştir.  $t=30$  gün için % 20, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında  $P_c$  değerinde artış gözlenmiştir.

**Tablo 4.10 : Kür Oranı ve Kür Süresinin  $P_c$  Üzerine Etkisi**

Çöp Sızıntı Suyu Muhtevası (%)	Kür Süresi (gün)	$P_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	171
5	0	90
	30	85
	90	284
20	0	146
	30	83
	90	150
50	0	121
	30	80
	90	300
100	0	125
	30	95
	90	189



**Şekil 4.76 : Kür Oranı ve Kür Süresi İle  $P_c$  Değerindeki Değişim**

#### 4.5.3 Suya Doymun Olmayan Numunelerde Permeabilite Katsayısı Üzerinde Kür Oranı ve Kür Süresinin Etkisi

% 5, 20, 50 ve 100 çöp sızıntı suyu oranları ile hazırlanan numuneler küre bırakılmadan, 30 gün ve 90 gün kür süresi sonunda ödometre deneyine tabi tutularak

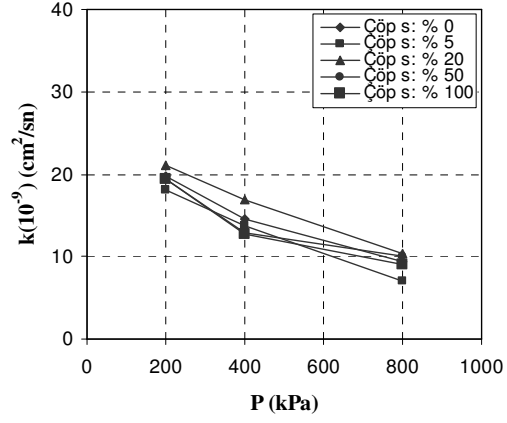
permeabilite üzerinde kür oranı ve kür süresinin etkisi araştırılmıştır. Çöp sızıntı suyu ile hazırlanan numuneler üzerinde sabit seviyeli veya düşen seviyeli permeabilite deney yöntemleri uygulanması halinde numune içinden sadece temiz su geçişi yapılabilecek ve numune yıkanarak çöp sızıntı suyunun 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. Tablo 4.11’ de ödometre deney sonuçları görülmektedir.

Permeabilite katsayısı 200, 400 ve 800 kPa yük kademesi için Logaritma Zaman Yöntemi ile belirlenmiştir. Şekil 4.77’ de bu yöntemle elde edilmiş permeabilite katsayılarının konsolidasyon basıncı ile değişimleri gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi konsolidasyon basıncı arttıkça permeabilite katsayısı azalmıştır.

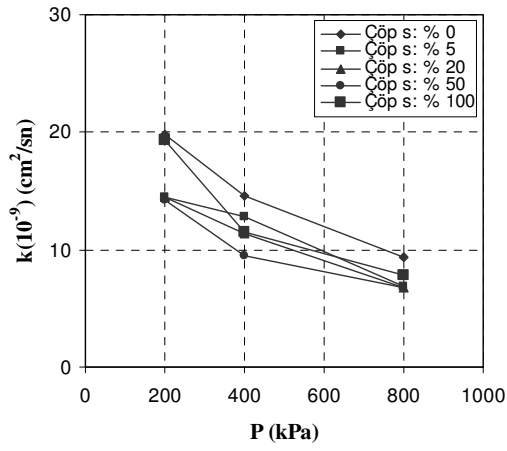
Şekil 4.78’ de görüldüğü gibi 30 günlük kür sonunda üç yük kademesinde de permeabilite katsayıları  $t = 0$ ’ a göre, 90 günlük kür sonunda üç yük kademesinde de permeabilite katsayıları  $t = 0$  ve  $t = 30$ ’ a göre azalmıştır.

**Tablo 4.11 : Ödometre Deney Sonuçları**

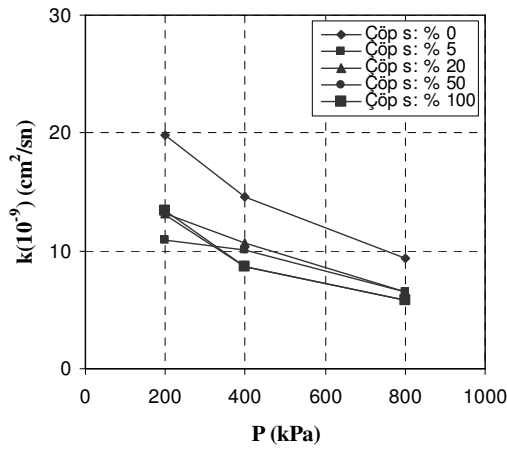
Çöp Sızıntı Suyu Muhtevası (%)	P (kPa)	Kür S: 0 gün		Kür S: 30 gün		Kür S: 90 gün	
		$c_v$ (cm <sup>2</sup> /sn)	k (cm/sn)	$c_v$ (cm <sup>2</sup> /sn)	k (cm/sn)	$c_v$ (cm <sup>2</sup> /sn)	k (cm/sn)
0	200	$5.58 \cdot 10^{-4}$	$19.77 \cdot 10^{-9}$	$5.58 \cdot 10^{-4}$	$19.77 \cdot 10^{-9}$	$5.58 \cdot 10^{-4}$	$19.77 \cdot 10^{-9}$
	400	$6.15 \cdot 10^{-4}$	$14.57 \cdot 10^{-9}$	$6.15 \cdot 10^{-4}$	$14.57 \cdot 10^{-9}$	$6.15 \cdot 10^{-4}$	$14.57 \cdot 10^{-9}$
	800	$7.00 \cdot 10^{-4}$	$9.37 \cdot 10^{-9}$	$7.00 \cdot 10^{-4}$	$9.37 \cdot 10^{-9}$	$7.00 \cdot 10^{-4}$	$9.37 \cdot 10^{-9}$
5	200	$5.58 \cdot 10^{-4}$	$18.01 \cdot 10^{-9}$	$7.00 \cdot 10^{-4}$	$14.44 \cdot 10^{-9}$	$7.08 \cdot 10^{-4}$	$10.87 \cdot 10^{-9}$
	400	$7.40 \cdot 10^{-4}$	$13.80 \cdot 10^{-9}$	$7.48 \cdot 10^{-4}$	$12.76 \cdot 10^{-9}$	$8.67 \cdot 10^{-4}$	$10.03 \cdot 10^{-9}$
	800	$8.05 \cdot 10^{-4}$	$7.03 \cdot 10^{-9}$	$8.16 \cdot 10^{-4}$	$6.85 \cdot 10^{-9}$	$9.60 \cdot 10^{-4}$	$6.51 \cdot 10^{-9}$
20	200	$10.43 \cdot 10^{-4}$	$21.15 \cdot 10^{-9}$	$5.41 \cdot 10^{-4}$	$14.41 \cdot 10^{-9}$	$5.09 \cdot 10^{-4}$	$13.15 \cdot 10^{-9}$
	400	$11.82 \cdot 10^{-4}$	$16.88 \cdot 10^{-9}$	$6.30 \cdot 10^{-4}$	$11.38 \cdot 10^{-9}$	$5.66 \cdot 10^{-4}$	$10.62 \cdot 10^{-9}$
	800	$13.92 \cdot 10^{-4}$	$10.33 \cdot 10^{-9}$	$8.13 \cdot 10^{-4}$	$6.80 \cdot 10^{-9}$	$6.60 \cdot 10^{-4}$	$6.55 \cdot 10^{-9}$
50	200	$4.19 \cdot 10^{-4}$	$19.41 \cdot 10^{-9}$	$5.35 \cdot 10^{-4}$	$14.19 \cdot 10^{-9}$	$7.94 \cdot 10^{-4}$	$13.10 \cdot 10^{-9}$
	400	$5.01 \cdot 10^{-4}$	$6.28 \cdot 10^{-9}$	$6.28 \cdot 10^{-4}$	$9.54 \cdot 10^{-9}$	$8.72 \cdot 10^{-4}$	$8.62 \cdot 10^{-9}$
	800	$5.83 \cdot 10^{-4}$	$9.96 \cdot 10^{-9}$	$7.76 \cdot 10^{-4}$	$6.75 \cdot 10^{-9}$	$9.69 \cdot 10^{-4}$	$5.85 \cdot 10^{-9}$
100	200	$11.50 \cdot 10^{-4}$	$19.39 \cdot 10^{-9}$	$11.56 \cdot 10^{-4}$	$19.35 \cdot 10^{-9}$	$6.91 \cdot 10^{-4}$	$13.36 \cdot 10^{-9}$
	400	$13.20 \cdot 10^{-4}$	$12.72 \cdot 10^{-9}$	$13.26 \cdot 10^{-4}$	$11.48 \cdot 10^{-9}$	$8.46 \cdot 10^{-4}$	$8.60 \cdot 10^{-9}$
	800	$16.20 \cdot 10^{-4}$	$9.05 \cdot 10^{-9}$	$16.23 \cdot 10^{-4}$	$7.86 \cdot 10^{-9}$	$9.32 \cdot 10^{-4}$	$5.80 \cdot 10^{-9}$



a)  $t=0$  gün

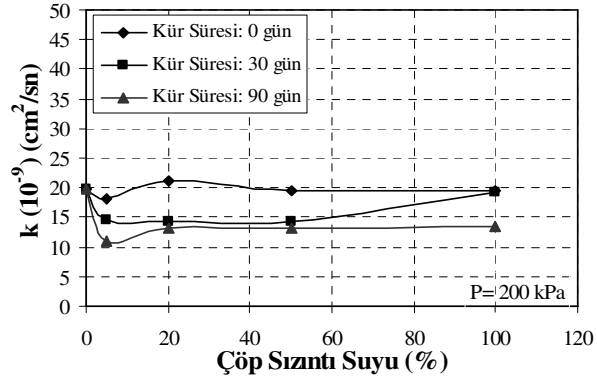


b)  $t=30$  gün

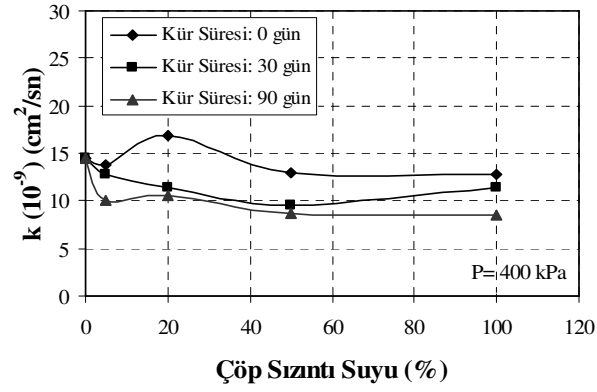


c)  $t=90$  gün

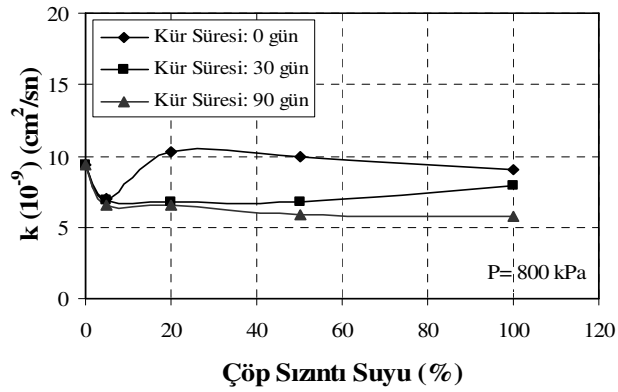
Şekil 4.77 : Konsolidasyon Basıncı İle Permeabilite Katsayısındaki Değişim



a) Yük Kademesi 200 kPa



b) Yük Kademesi 400 kPa



c) Yük Kademesi 800 kPa

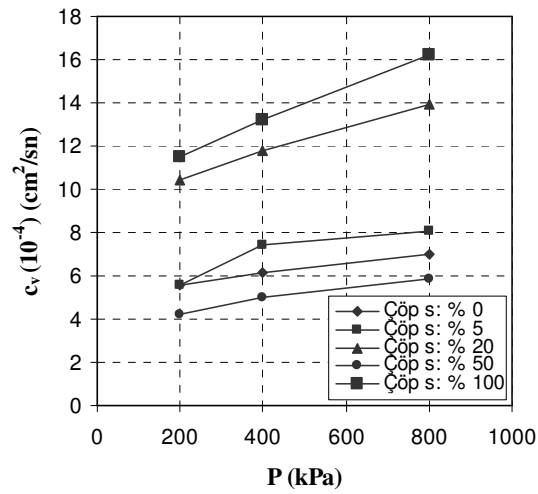
Şekil 4.78 : Kür Oranı ve Kür Süresinin Permeabilite Katsayısı Üzerine Etkisi

#### 4.5.4 Suya Doygun Olmayan Numunelerde Konsolidasyon Katsayısı Üzerinde Kür Oranı ve Kür Süresinin Etkisi

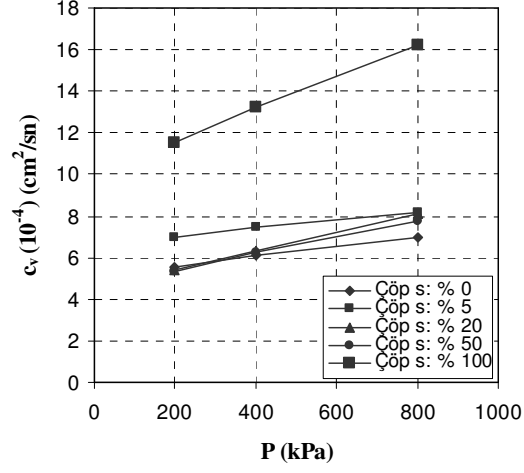
% 5, 20, 50 ve 100 çöp sızıntı suyu oranları ile hazırlanan numuneler küre bırakılmadan ve 30 günlük kür süresi sonunda ödometre deneyine tabi tutularak konsolidasyon katsayısı ( $c_v$ ) üzerinde kür oranı ve kür süresinin etkisi araştırılmıştır. Konsolidasyon katsayısı 200, 400 ve 800 kPa yük kademesi için Logaritma Zaman Yöntemi ile hesaplanmıştır.

Konsolidasyon katsayısı 200, 400 ve 800 kPa yük kademesi için Logaritma Zaman Yöntemi ile belirlenmiştir. Şekil 4.79' da bu yöntemle elde edilmiş konsolidasyon kat sayılarının konsolidasyon basıncı ile değişimleri gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi konsolidasyon basıncı arttıkça konsolidasyon katsayısı artmıştır. Ek B' de bütün çöp sızıntı suyu oranları ve kür süreleri için sırasıyla 200, 400 ve 800 kPa yük kademelerinde oturma-log t grafikleri verilmiştir.

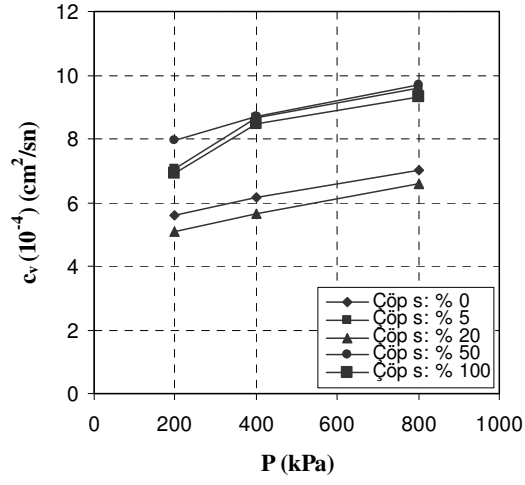
Şekil 4.80' de görüldüğü gibi % 5, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında 30 günlük kür sonunda üç yük kademesinde de konsolidasyon katsayıları  $t=0$ ' a göre artmış, % 20 çöp sızıntı suyu oranında ise azalmıştır. 90 günlük kür sonunda üç yük kademesinde de konsolidasyon katsayıları , %5 ve % 50 çöp sızıntı suyu oranlarında  $t=0$  ve  $t=30$ ' a göre artmaya devam etmiştir. % 20 çöp sızıntı suyu oranında  $t=0$  ve  $t=30$ ' a göre, % 100 çöp sızıntı suyu oranında  $t=30$ ' a göre azalma göstermiştir.



a)  $t=0$  gün

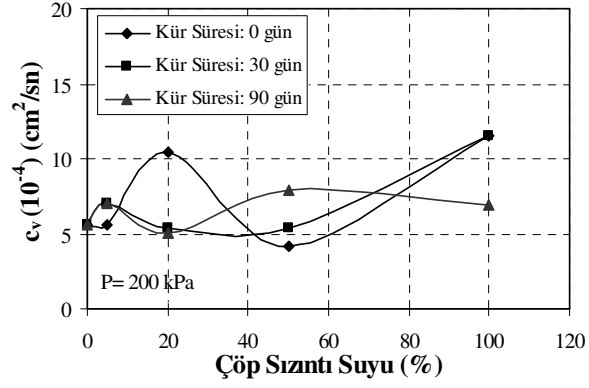


b) t = 30 gün

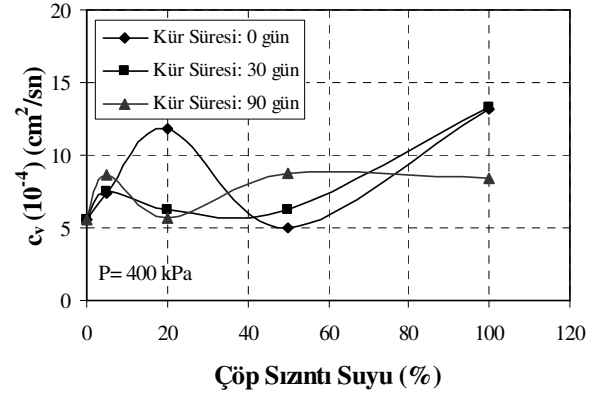


c) t = 90 gün

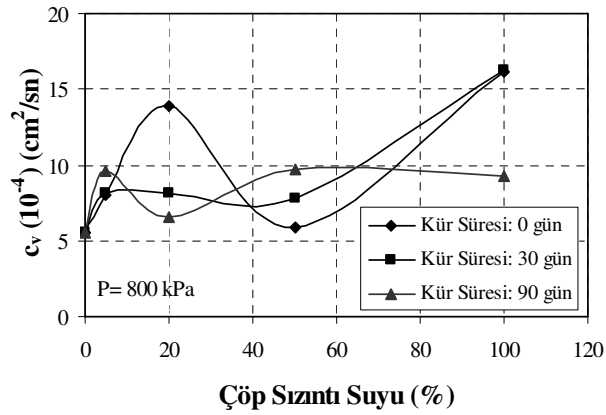
Şekil 4.79 : Konsolidasyon Basıncı İle Konsolidasyon Katsayısındaki Değişim



a) Yük Kademesi 200 kPa



b) Yük Kademesi 400 kPa



c) Yük Kademesi 400 kPa

Şekil 4.80 : Kür Oranı ve Kür Süresinin Konsolidasyon Katsayısı Üzerine Etkisi

#### 4.5.5 Suya Doygun Olan Numunelerde Ödometre Deney Sonuçları

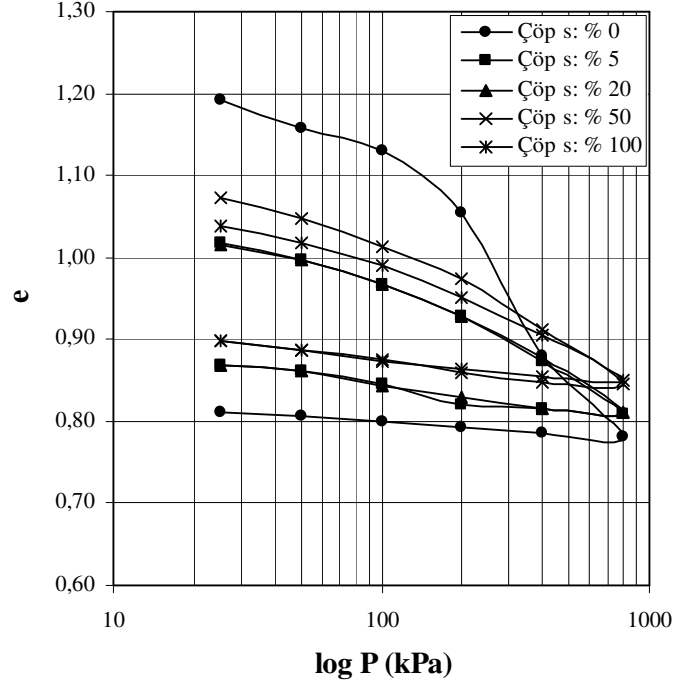
% 5, 20, 50 ve 100 çöp sızıntı suyu oranı ile hazırlanmış suya doygun olan numuneler 7 gün kür bırakılarak ödometre deneyine tabi tutulmuş, zeminin hacim değiştirme davranışı, ön konsolidasyon basıncı ve permeabilite katsayısı üzerine çöp sızıntı suyu oranının ve kür süresinin etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla elde edilen deney sonuçları iki aşamada ele alınacaktır. İlk olarak ön konsolidasyon basıncındaki değişim daha sonra ise permeabilite katsayısındaki değişim ele alınacaktır. Tablo 4.12' de ödometre deneyine ait  $w$  ve  $\gamma_k$  değerleri verilmiştir.

**Tablo 4.12 :** Suya Doygun Olan Numunelerde Ödometre Deneyi  $w$  ve  $\gamma_k$  Değerleri

Çöp Sızıntı Suyu Muhtevası (%)	Kür Süresi (gün)	Deney Başı $w_{ilk}$ (%)	Deney Sonu $w_{son}$ (%)	Deney Başı $\gamma_{ilk}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Deney Sonu $\gamma_{son}$ (kN/m <sup>3</sup> )
0	0	24	30	13,18	15,91
5	7	37	32	13,75	14,91
20	7	35	32	14,02	15,78
50	7	39	33	13,15	11,38
100	7	37	33	14,03	15,88

#### 4.5.6 Suya Doygun Olan Numunelerde Hacim Değişirme Davranışı Üzerinde Kür Oranı ve Kür Süresinin Etkisi

Şekil 4.81' de kür süresi  $t = 7$  gün olan numunelere ait e-log P grafiğinden yararlanarak çöp sızıntı suyu oranı ile hacim değişimi incelenmiştir. Konsolidasyon basıncı değerlerine karşı gelen boşluk oranlarına göre temiz zeminde en az oturma olmuştur. En çok oturma ise % 5 ve % 20 çöp sızıntı suyu oranında yaklaşık olarak aynı miktarda gözlenmiştir.



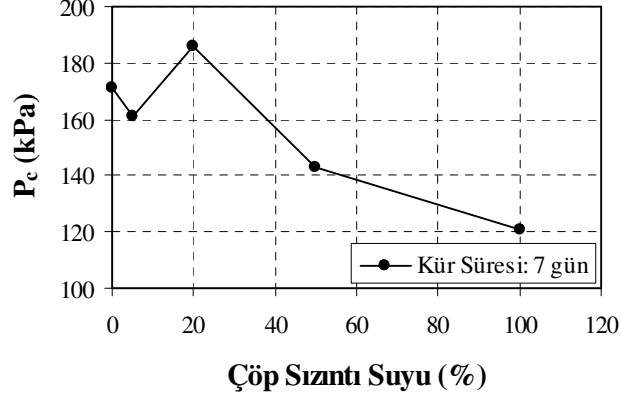
Şekil 4.81 : e-log P (t= 0)

#### 4.5.7 Suya Doygun Olan Numunelerde Ön Konsolidasyon Basıncı Üzerinde Kür Oranı ve Kür Süresinin Etkisi

t= 7 gün kür süresine ait  $P_c$  değerleri Şekil 4.82' de görüldüğü gibidir. En büyük  $P_c$  değeri % 20 çöp sızıntı suyu oranında, en düşük  $P_c$  değeri % 100 çöp sızıntı suyu oranında gözlenmiştir.

Tablo 4.13 : Kür Oranı ve Kür Süresinin  $P_c$  Üzerine Etkisi

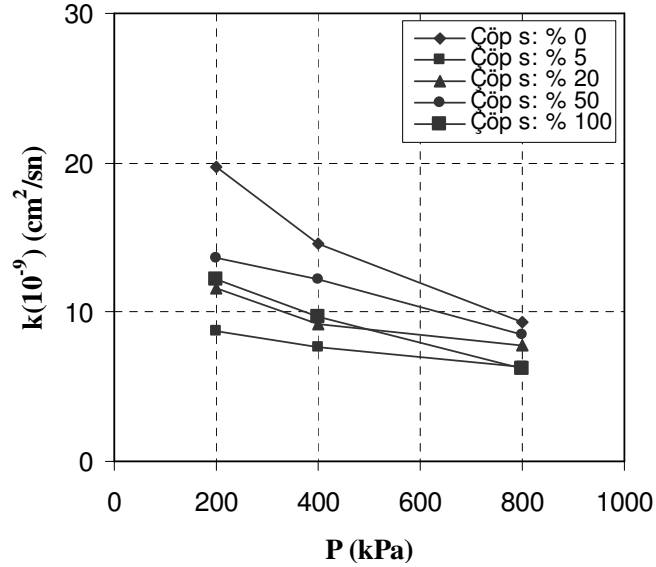
Çöp Sızıntı Suyu Muhtevası (%)	Kür Süresi (gün)	$P_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	171
5	7	161
20	7	186
50	7	143
100	7	121



Şekil 4.82 : Kür Oranı ve Kür Süresi İle P<sub>c</sub> Değerindeki Değişim

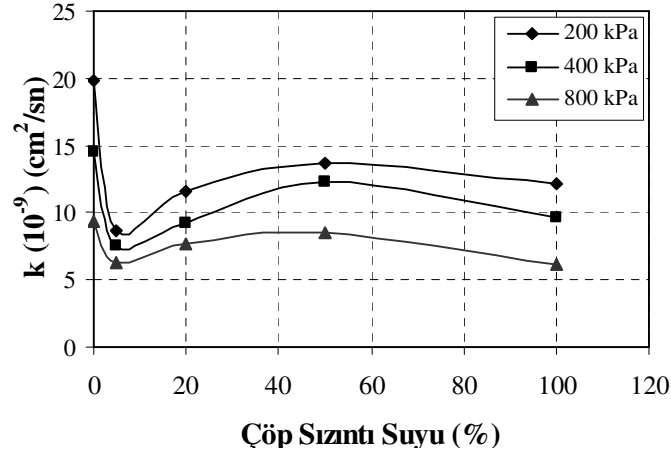
#### 4.5.8 Suya Doymun Olan Numunelerde Permeabilite Katsayısı Üzerinde Kür Oranı ve Kür Süresinin Etkisi

Permeabilite katsayısı 200, 400 ve 800 kPa yük kademesi için Logaritma Zaman Yöntemi ile belirlenmiştir. Şekil 4.83' de bu yöntemle elde edilmiş permeabilite katsayılarının konsolidasyon basıncı ile değişimleri gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi konsolidasyon basıncı arttıkça permeabilite katsayısı azalmıştır.



Şekil 4.83 : Konsolidasyon Basıncı İle Permeabilite Katsayısındaki Değişim

Şekil 4.84’ de görüldüğü gibi 7 gün kür sonunda aynı çöp sızıntı suyu oranlarında üç yük kademesinde de permeabilite aynı davranışı göstermektedir. Permeabilite, % 5 çöp sızıntı suyu oranında temiz zemine göre azalmıştır, % 20 ve % 50 çöp sızıntı suyu oranlarında artış göstermiştir, % 100 çöp sızıntı suyu oranında tekrar azalmıştır.



Şekil 4.84 : Kür Oranı ve Kür Süresinin Permeabilite Katsayısı Üzerine Etkisi

Tablo 4.14’ de ödometre deney sonuçları görülmektedir.

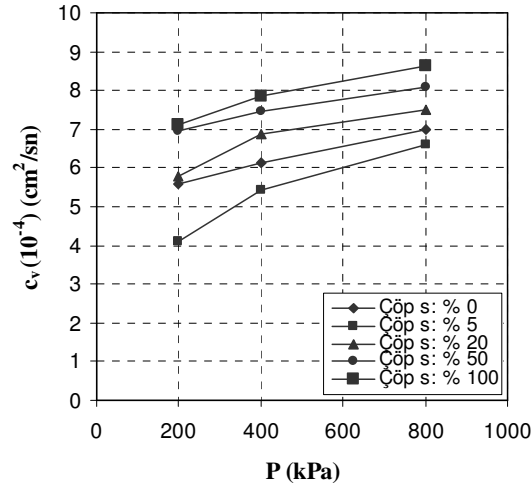
Tablo 4.14 : Ödometre Deney Sonuçları (suya doymun olan)

Çöp Sızıntı Suyu Muhtevası (%)	P (kPa)	Kür S: 7 gün	
		$c_v$ (cm <sup>2</sup> /sn)	k (cm/sn)
5	200	$4.11 \cdot 10^{-4}$	$8.69 \cdot 10^{-9}$
	400	$5.44 \cdot 10^{-4}$	$7.59 \cdot 10^{-9}$
	800	$7.25 \cdot 10^{-4}$	$6.33 \cdot 10^{-9}$
20	200	$5.80 \cdot 10^{-4}$	$11.61 \cdot 10^{-9}$
	400	$6.88 \cdot 10^{-4}$	$9.17 \cdot 10^{-9}$
	800	$8.53 \cdot 10^{-4}$	$7.71 \cdot 10^{-9}$
50	200	$6.96 \cdot 10^{-4}$	$13.66 \cdot 10^{-9}$
	400	$7.45 \cdot 10^{-4}$	$12.23 \cdot 10^{-9}$
	800	$8.09 \cdot 10^{-4}$	$7.17 \cdot 10^{-9}$
100	200	$6.41 \cdot 10^{-4}$	$12.19 \cdot 10^{-9}$
	400	$7.84 \cdot 10^{-4}$	$9.64 \cdot 10^{-9}$
	800	$8.64 \cdot 10^{-4}$	$6.17 \cdot 10^{-9}$

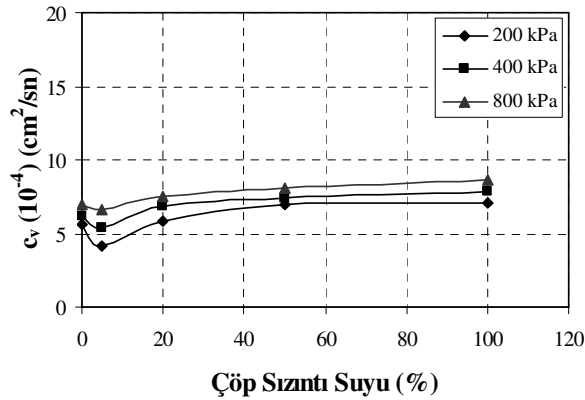
#### 4.5.9 Suya Doygun Olan Numunelerde Konsolidasyon Katsayısı Üzerinde Kür Oranı ve Kür Süresinin Etkisi

Konsolidasyon katsayısı 200, 400 ve 800 kPa yük kademesi için Logaritma Zaman Yöntemi ile belirlenmiştir. Şekil 4.85’ de bu yöntemle elde edilmiş konsolidasyon kat sayılarının konsolidasyon basıncı ile değişimleri gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi konsolidasyon basıncı arttıkça konsolidasyon katsayısı artmıştır.

Şekil 4.86’ da görüldüğü gibi 7 gün kür sonunda aynı çöp sızıntı suyu oranlarında üç yük kademesinde de konsolidasyon katsayısı aynı davranışı göstermektedir. Konsolidasyon katsayısı, % 5 çöp sızıntı suyu oranında temiz zemine göre azalmıştır, % 20, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında artış göstermiştir.



Şekil 4.85 : Konsolidasyon Basıncı İle Konsolidasyon Katsayısındaki Değişim



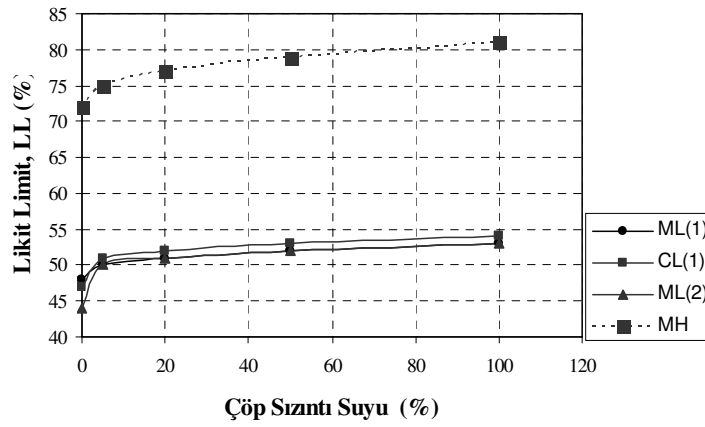
Şekil 4.86 : Kür Oranı ve Kür Süresinin Konsolidasyon Katsayısı Üzerine Etkisi

#### 4.6 Yüksek Plastisiteli Siltler İle Düşük Plastisiteli Zeminlerin Karşılaştırması

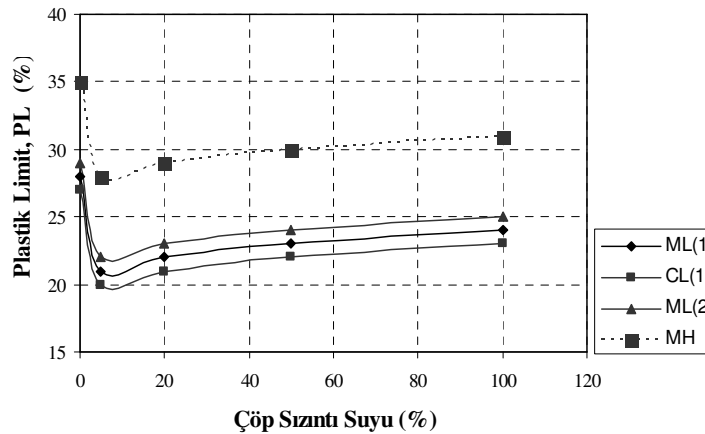
Er (2006) “Yüksek Plastisiteli Zeminlerin Davranışları Üzerinde Çöp Suyunun Etkisi” isimli tez çalışmasında LL= (%) 72, PL= (%) 35 ve PI= (%) 37 olan MH (yüksek plastisiteli silt) kullanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar yüksek plastisiteli siltlerin deney sonuçları (Er, 2006) karşılaştırılmıştır.

- **Atterberg Limitleri**

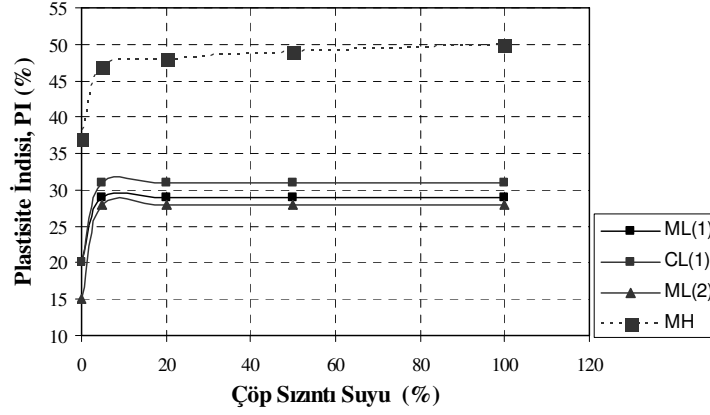
Şekil 4.87, Şekil 4.88 ve Şekil 4.89’ da görüldüğü gibi MH numunesinin çöp sızıntı suyunun etkisi ile elde edilen likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerlerinin ML(1), CL(1) ve ML(2) numunelerine göre oldukça yüksek ve davranışlarının benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 4.87 : Çöp Sızıntı Suyu Oranının Likit Limit Üzerine Etkisi (t= 0, Karş.)

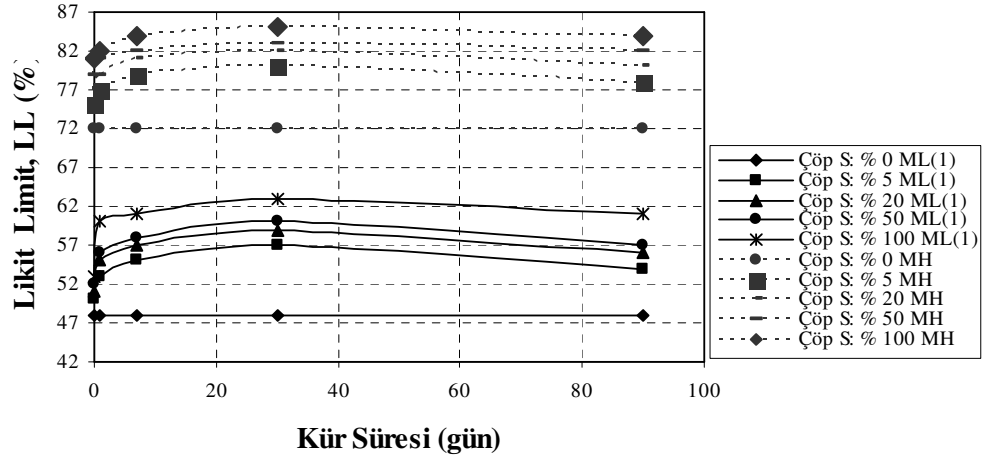


Şekil 4.88 : Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastik Limit Üzerine Etkisi (t= 0, Karş.)

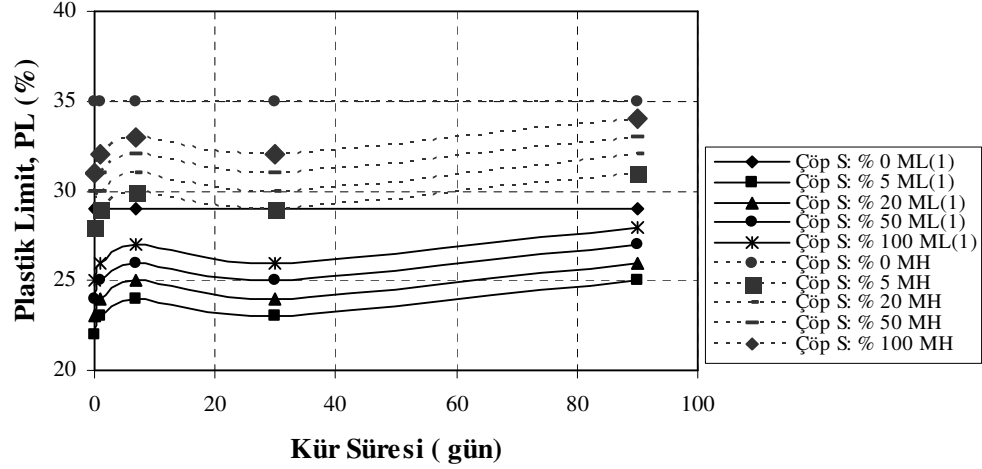


Şekil 4.89 : Çöp Sızıntı Suyu Oranının Plastisite İndisi Üzerine Etkisi (t= 0, Karş.)

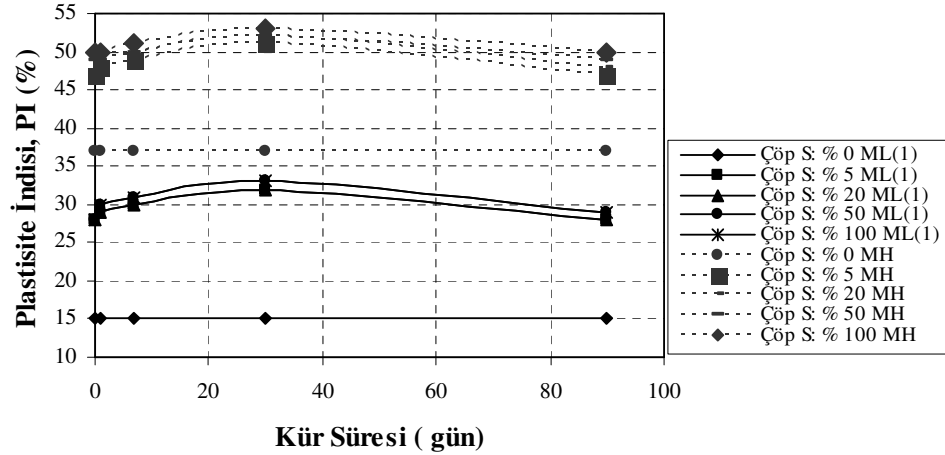
Şekil 4.90, Şekil 4.91 ve Şekil 4.92' de görüldüğü gibi MH numunesinin farklı çöp sızıntı suyu oranları ile karıştırılıp, farklı kür sürelerinde bekletilmesi ile elde edilen likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerlerinin ML(1), CL(1) ve ML(2) numunelerine göre oldukça yüksek ve davranışlarının benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 4.90 : Kür Süresinin Likit Limit Üzerine Etkisi (Karş.)



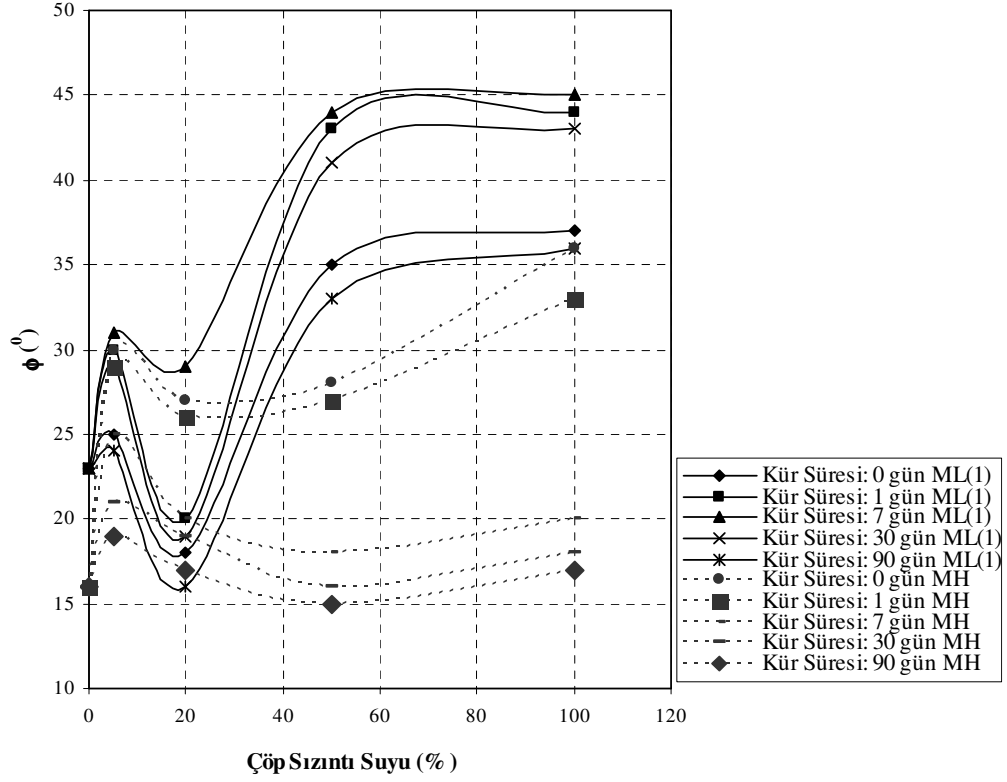
Şekil 4.91 : Kür Süresinin Plastik Limit Üzerine Etkisi (Karş.)



Şekil 4.92 : Kür Süresinin Plastisite İndisi Üzerine Etkisi (Karş.)

- Kesme Kutusu Deneyi

Çöp sızıntı suyu oranının  $\phi$  üzerine etkisi incelendiğinde Şekil 4.93' de görüldüğü gibi ML(1) ve MH numunelerinin % 5 çöp sızıntı suyu oranında temiz zemine göre arttığı gözlenmiştir. ML(1) numunesinin % 20 çöp sızıntı suyu oranında düştüğü, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında giderek arttığı görülmüştür. MH numunesinin % 50 çöp sızıntı suyu oranında düştüğü, % 100 çöp sızıntı suyu oranında tekrar arttığı gözlenmiştir.

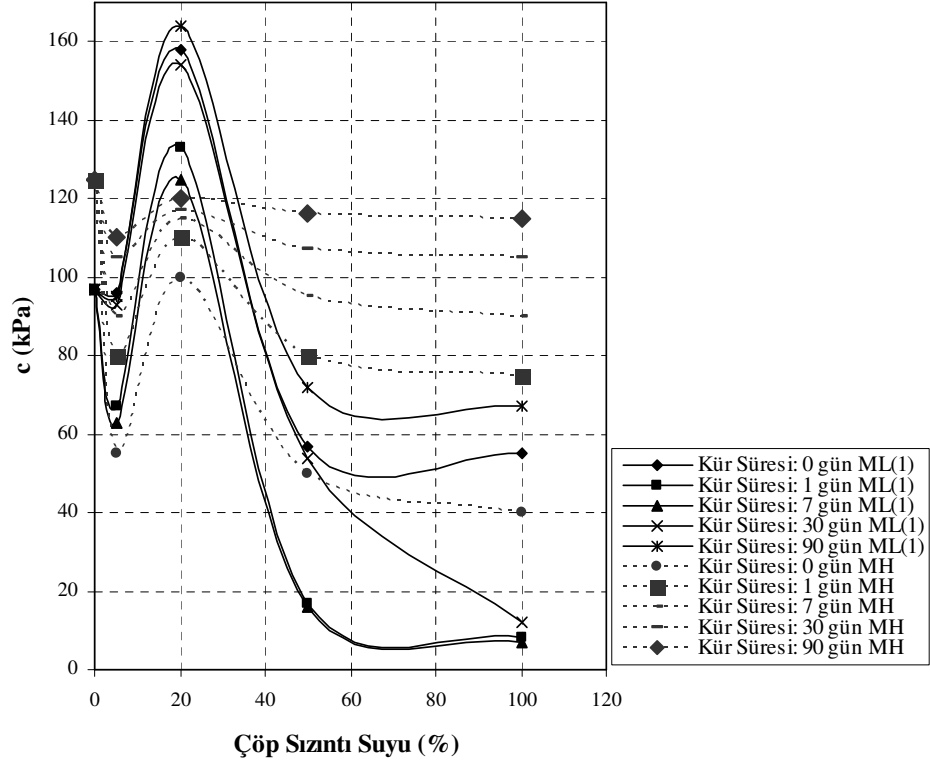


**Şekil 4.93 : Çöp Sızıntı Suyu Oranının  $\phi$  Üzerine Etkisi (Karş.)**

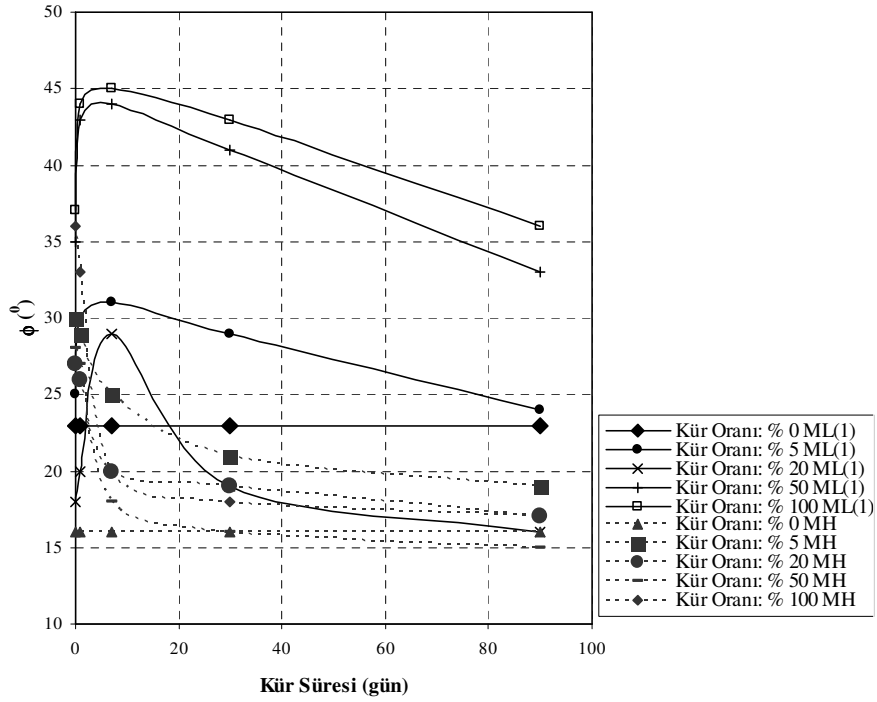
Çöp sızıntı suyu oranının  $c$  üzerine etkisi incelendiğinde Şekil 4.94' de görüldüğü gibi ML(1) ve MH numunelerinin % 5 çöp sızıntı suyu oranında temiz zemine göre düştüğü, % 20 çöp sızıntı suyu oranında tekrar arttığı, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında giderek düştüğü gözlenmiştir.

Kür süresinin  $\phi$  üzerine etkisi incelendiğinde Şekil 4.95' de görüldüğü gibi ML(1) numunesinin 7 gün kür süresinde maksimum olduğu, 30 ve 90 gün kür sürelerinde giderek azaldığı görülmüştür. MH numunesinin 0 gün kür süresine göre giderek azaldığı 90 gün kür süresinde minimum olduğu görülmektedir.

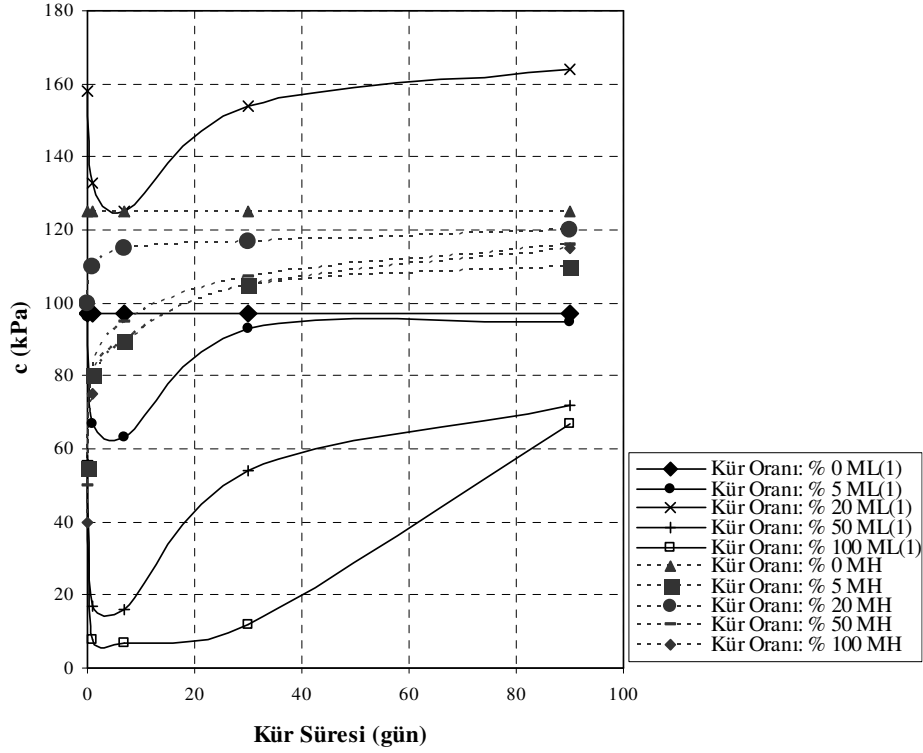
Kür süresinin  $c$  üzerine etkisi incelendiğinde Şekil 4.96' da görüldüğü gibi ML(1) numunesinin 7 gün kür süresinde minimum olduğu, 30 ve 90 gün kür sürelerinde giderek arttığı görülmüştür. MH numunesinin 0 gün kür süresine göre giderek arttığı 90 gün kür süresinde maksimum olduğu görülmektedir.



Şekil 4.94 : Çöp Sızıntı Suyu Oranın  $c$  Üzerine Etkisi (Karş.)



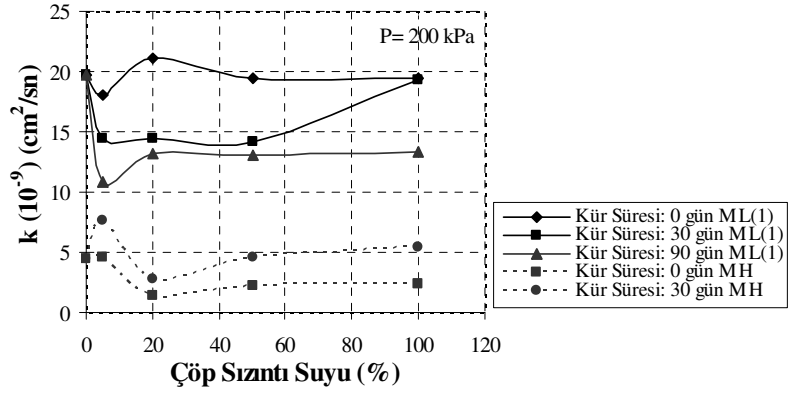
Şekil 4.95 : Kür Süresinin  $\phi$  Üzerine Etkisi (Karş.)



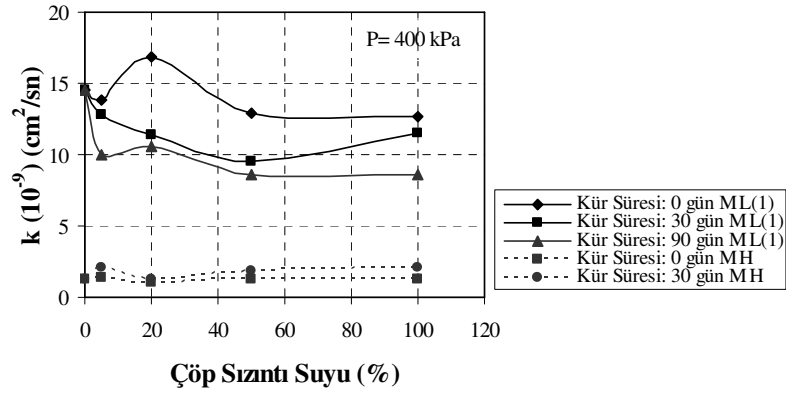
Şekil 4.96 : Kür Süresinin  $c$  Üzerine Etkisi (Karş.)

- **Ödometre Deneyi**

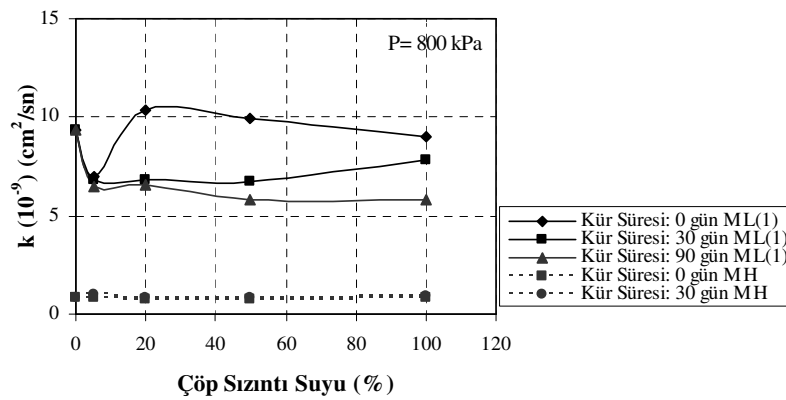
Kür oranı ve kür süresinin permeabilite ve konsolidasyon katsayısı üzerine etkisi incelendiğinde Şekil 4.97 ve Şekil 4.98’ de görüldüğü gibi MH numunesinin permeabilite ve konsolidasyon katsayısı değerleri her üç yük kademesinde de ML(1) numunesine göre küçüktür. Yük kademesi arttıkça MH numunesinin permeabilite ve konsolidasyon katsayısı değerlerinin ML(1) numunesinin permeabilite ve konsolidasyon katsayısı değerlerine göre daha da azaldığı görülmektedir. Kür süreleri dikkate alındığında ML(1) numunesi için permeabilite ve konsolidasyon katsayıları arasındaki fark MH numunesine göre fazladır.



a) Yük Kademesi 200 kPa

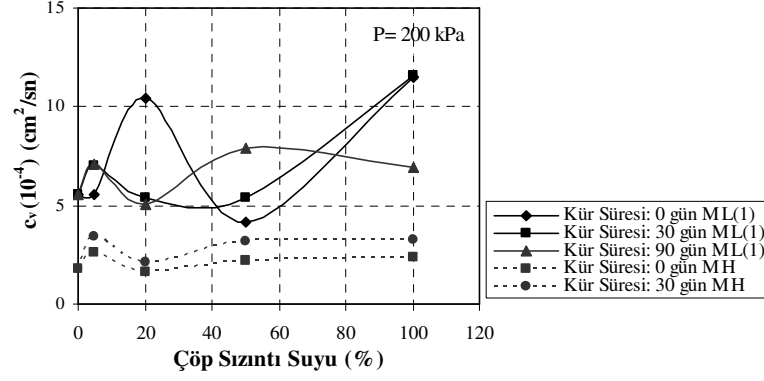


b) Yük Kademesi 400 kPa

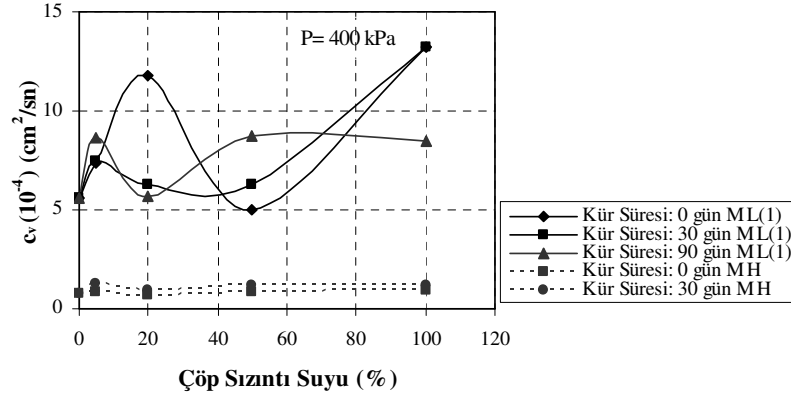


c) Yük Kademesi 800 kPa

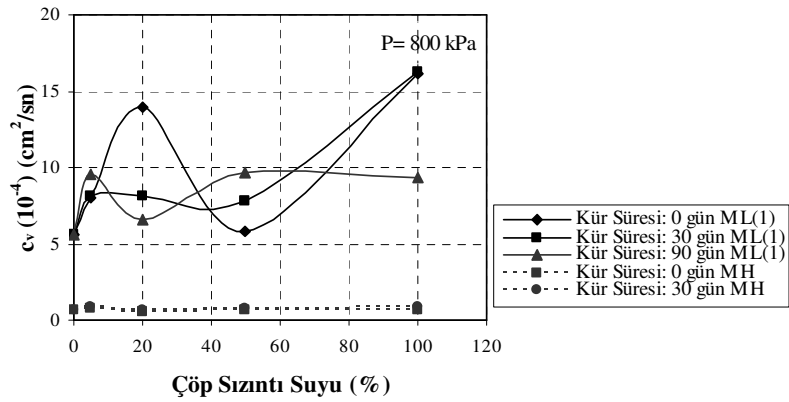
Şekil 4.97 : Kür Oranı ve Kür Süresinin Permeabilite Katsayısı Üzerine Etkisi (Karş.)



a) Yük Kademesi 200 kPa



b) Yük Kademesi 400 kPa



c) Yük Kademesi 800 kPa

Şekil 4.98 : Kür Oranı ve Kür Süresinin Konsolidasyon Katsayısı Üzerine Etkisi (Karş.)

## 4.7 Sonuçlar

Bu b6l6mde çalışma kapsamında yer alan kıvam limitleri, kesme kutusu ve 6dometre deney sonuçlarına yer verilmiştir.

Kıvam limitleri deney sonuçlarında g6r6lm6řt6r ki yeni 6p sızıntı suyu ile karıştırılan ML(1), CL(1), ML(1) ve ML(2) numunelerinde 6p sızıntı suyu oranı ve k6r s6resi arttıca likit limit, plastik limit ve plastisite indisi artmıştır. Endeks 6zellikleri farklı iki CL numunesinin % 100 yeni 6p sızıntı suyu ile karıştırılmasından ve 30 g6n k6r s6resinde bekletilmesinden sonra likit limiti daha b6y6k olan numunede likit limit değerinin daha çok arttığı g6zlenmiştir.

Kesme kutusu deney sonuçlarından yararlanılarak 6p sızıntı suyunun suya doygun olmayan ve suya doygun olan zemin 6zerindeki  $c$  ve  $\phi$  değerlerinin etkisi incelenmiştir. Suyu doygun olmayan zemin numelerinde  $c$  ve  $\phi$  grafiklerinden g6r6ld6ėu gibi (şekil 4.57 ve şekil 4.58) % 20 6p sızıntı suyu oranına kadar temiz zemine g6re  $c$  artmakta,  $\phi$  azalmaktadır. Bu 6p sızıntı suyu oranından sonra ise 6p sızıntı suyu oranındaki artışla  $c$  azalmakta,  $\phi$  ise artmaktadır. şekil 4.62' de % 5 6p sızıntı suyu ile hazırlanmış numunede olduğu gibi t6m 6p sızıntı suyu oranlarında  $\phi$ , 7 g6n k6r sonunda en y6ksek değere ulaşmış, k6r s6resinin artmasıyla azalma g6stermiştir. şekil 4.63' de ise  $c$ , 7 g6n k6r sonunda en d6ř6k değere ulaşmış, k6r s6resinin artmasıyla artış g6stermiştir. Suyu doygun olan zemin numunelerinde % 5, % 20, % 50 ve % 100 6p sızıntı suyu oranlarında  $\phi$  değeri temiz zeminin  $\phi$  değeri ile aynıdır. Suyu doygun olan numunelerde 6p sızıntı suyu ile karıştırılan zeminlerin  $c$  değerlerinin temiz zemine g6re oldukça d6ř6k olduğu g6r6lmektedir. % 5 6p sızıntı suyu oranında  $c$  değerinin sıfır olduğu, 6p sızıntı suyu oranı arttığca  $c$  değerlerinde bir miktar artış olduğu g6r6lmektedir.

6dometre deney sonuçlarından yararlanılarak 6p sızıntı suyunun suya doygun olmayan ve suya doygun olan zemin 6zerindeki permeabilite katsayısı ve konsolidasyon katsayısı değerlerinin etkisi incelenmiştir. Suyu doygun olmayan zemin numunelerinde konsolidasyon basıncı arttığca permeabilite katsayısı azalmıştır. şekil 4.79' te g6r6ld6ėu gibi 30 g6nl6k k6r sonunda 6 y6k kademesinde de permeabilite katsayıları  $t=0$ ' a g6re, 90 g6nl6k k6r sonunda 6 y6k kademesinde

de permeabilite katsayıları  $t=0$  ve  $t=30'$  a göre azalmıştır. Suyu doymun olmayan zemin numunelerinde konsolidasyon basıncı arttıkça konsolidasyon katsayısı artmıştır. Şekil 4.81' de görüldüğü gibi % 5, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında 30 günlük kür sonunda üç yük kademesinde de konsolidasyon katsayıları  $t=0'$  a göre artmış, % 20 çöp sızıntı suyu oranında ise azalmıştır. 90 günlük kür sonunda üç yük kademesinde de konsolidasyon katsayıları , %5 ve % 50 çöp sızıntı suyu oranlarında  $t=0$  ve  $t=30'$  a göre artmaya devam etmiştir. % 20 çöp sızıntı suyu oranında  $t=0$  ve  $t=30'$  a göre, % 100 çöp sızıntı suyu oranında  $t=30'$  a göre azalma göstermiştir. Suyu doymun olan zemin numunelerinde konsolidasyon basıncı arttıkça permeabilite katsayısı azalmıştır. Şekil 4.85' da görüldüğü gibi 7 gün kür sonunda aynı çöp sızıntı suyu oranlarında üç yük kademesinde de permeabilite aynı davranışı göstermektedir. Permeabilite, % 5 çöp sızıntı suyu oranında temiz zemine göre azalmıştır, % 20 ve % 50 çöp sızıntı suyu oranlarında artış göstermiştir, % 100 çöp sızıntı suyu oranında tekrar azalmıştır. Suyu doymun olan zemin numunelerinde konsolidasyon basıncı arttıkça konsolidasyon katsayısı artmıştır. Şekil 4.87' de görüldüğü gibi 7 gün kür sonunda aynı çöp sızıntı suyu oranlarında üç yük kademesinde de konsolidasyon katsayısı aynı davranışı göstermektedir. Konsolidasyon katsayısı, % 5 çöp sızıntı suyu oranında temiz zemine göre azalmıştır, % 20, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında artış göstermiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar yüksek plastisiteli siltlerin deney sonuçları (Er, 2006) karşılaştırıldığında; Şekil 4.88, Şekil 4.89 ve Şekil 4.90' da görüldüğü gibi MH numunesinin çöp sızıntı suyunun etkisi ile elde edilen likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerlerinin ML(1), CL(1) ve ML(2) numunelerine göre oldukça yüksek ve davranışlarının benzer olduğu görülmektedir.

Çöp sızıntı suyu oranının  $\phi$  üzerine etkisi incelendiğinde Şekil 4.94' de görüldüğü gibi ML(1) ve MH numunelerinin % 5 çöp sızıntı suyu oranında temiz zemine göre arttığı gözlenmiştir. ML(1) numunesinin % 20 çöp sızıntı suyu oranında düştüğü, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında giderek arttığı görülmüştür. MH numunesinin % 50 çöp sızıntı suyu oranında düştüğü, % 100 çöp sızıntı suyu oranında tekrar arttığı gözlenmiştir. Çöp sızıntı suyu oranının  $c$  üzerine etkisi incelendiğinde Şekil 4.95' de görüldüğü gibi ML(1) ve MH numunelerinin % 5 çöp sızıntı suyu oranında temiz zemine göre düştüğü, % 20 çöp sızıntı suyu oranında

tekrar arttığı, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında giderek düştüğü gözlenmiştir.

Kür süresinin  $\phi$  üzerine etkisi incelendiğinde Şekil 4.96' da görüldüğü gibi ML(1) numunesinin 7 gün kür süresinde maksimum olduğu, 30 ve 90 gün kürelerinde giderek azaldığı görülmüştür. MH numunesinin 0 gün kür süresine göre giderek azaldığı 90 gün kür süresinde minimum olduğu görülmektedir. Kür süresinin  $c$  üzerine etkisi incelendiğinde Şekil 4.97' de görüldüğü gibi ML(1) numunesinin 7 gün kür süresinde minimum olduğu, 30 ve 90 gün kürelerinde giderek arttığı görülmüştür. MH numunesinin 0 gün kür süresine göre giderek arttığı 90 gün kür süresinde maksimum olduğu görülmektedir.

Kür oranı ve kür süresinin permeabilite ve konsolidasyon katsayısı üzerine etkisi incelendiğinde Şekil 4.98 ve Şekil 4.99' da görüldüğü gibi MH numunesinin permeabilite ve konsolidasyon katsayısı değerleri her üç yük kademesinde de ML(1) numunesine göre küçüktür. Yük kademesi arttıkça MH numunesinin permeabilite ve konsolidasyon katsayısı değerlerinin ML(1) numunesinin permeabilite ve konsolidasyon katsayısı değerlerine göre daha da azaldığı görülmektedir. Kür süreleri dikkate alındığında ML(1) numunesi için permeabilite ve konsolidasyon katsayıları arasındaki fark MH numunesine göre fazladır.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada çöp sızıntı suyu oranının ve zeminle etkileşim süresinin zeminin statik davranışları üzerine etkileri ele alınmıştır. Bu amaçla Atterberg kıvam limitleri, kesme kutusu ve ödometre deney sonuçları detaylı şekilde ele alınmıştır. Atterberg kıvam limitleri deneylerinde zemine % 5, 20, 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu katılarak kür oranının kıvam limitleri üzerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca aynı kür oranlarında hazırlanmış numuneler 1, 7, 30 ve 90 gün küre bırakılarak kür süresi ile kıvam limitlerindeki değişimler incelenmiştir. Kıvam limitleri deney sonuçlarında görülmüştür ki yeni çöp sızıntı suyu ile karıştırılan ML(1), CL(1), ML(1) ve ML(2) numunelerinde çöp sızıntı suyu oranı ve kür süresi arttıkça likit limit, plastik limit ve plastisite indisi artmıştır. Endeks özellikleri farklı ML(1), CL(1) ve CL(2) numunelerinin % 100 yeni çöp sızıntı suyu ile karıştırılmasından ve 30 gün kür süresinde bekletilmesinden sonra likit limiti daha büyük olan numunede likit limit değerinin daha çok arttığı gözlenmiştir.

Farklı çöp sızıntı suyu ile yapılan bu çalışmada aynı kür oranı ve aynı kür süresindeki iki farklı CL(1) ve CL(2) numunesinin farklı pH değerlerinde farklı likit limit değerlerine sahip olduğu görülmüştür. CL(1) numunesi pH değeri 7.27 olan çeşme suyu ile karıştırıldığında likit limiti değeri 47, pH değeri 8.03 olan yeni çöp sızıntı suyu ile karıştırıldığında likit limit değeri 58' dir. CL(2) numunesi pH değeri 7.27 olan çeşme suyu ile karıştırıldığında likit limiti değeri 34, pH değeri 7.72 olan hava ile temas etmeyerek uzun süre bekletilmiş çöp sızıntı suyu ile karıştırıldığında likit limit değeri 37' dir. Buradan anlaşıldığı gibi pH değeri artarak likit limitin artmasına neden olmuştur. Likit limit üzerinde çöp sızıntı suyu oranının yanı sıra kür süresi de etkilidir. Kür süresindeki artışla likit limit artarak 30 günlük kür sonunda maksimum değere ulaşmıştır. Bu kür süresinden sonra, kür süresindeki artışla likit limit düşmeye başlamıştır. Plastik limit deneyleri sonucunda; çöp sızıntı suyu katkılı zemin numunelerinin plastik limit değerlerinin temiz zeminden daha düşük olduğu görülmüştür. Fakat çöp sızıntı suyu katılmış numuneler kendi aralarında

değerlendirildiğinde çöp sızıntı suyu oranındaki artışla plastik limit değerinin arttığı gözlenmiştir. Plastik limit değeri de küre bırakılmamış numunelere göre kür süresindeki artışla artmıştır. 30 günlük kür sonunda plastik limit 7 güne göre bir miktar azalmıştır. 90 günde tekrar artmıştır. Zeminin plastisite indisi kür oranındaki artışla artarak % 100 çöp sızıntı suyu oranında en büyük değere ulaşmıştır. Plastisite indisi kür süresindeki artışla önce artış göstererek 30 günlük kür sonunda maksimum değere ulaşmıştır.

Kesme kutusu deney sonuçlarından yararlanılarak çöp sızıntı suyunun suya doymun olmayan ve suya doymun olan zemin üzerindeki  $c$  ve  $\phi$  değerlerinin etkisi incelenmiştir. Suya doymun olmayan zemin numelerinde % 20 çöp sızıntı suyu oranına kadar temiz zemine göre  $c$  artmış,  $\phi$  azalmıştır. Bu çöp sızıntı suyu oranından sonra ise çöp sızıntı suyu oranındaki artışla  $c$  azalmış,  $\phi$  ise artmıştır. % 5 çöp sızıntı suyu ile hazırlanmış numunede olduğu gibi tüm çöp sızıntı suyu oranlarında  $\phi$ , 7 gün kür sonunda en yüksek değere ulaşmış, kür süresinin artmasıyla azalma göstermiştir.  $c$ , 7 gün kür sonunda en düşük değere ulaşmış, kür süresinin artmasıyla artış göstermiştir.

Suya doymun olan zemin numunelerinde % 5, % 20, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında  $\phi$  değeri temiz zeminin  $\phi$  değeri ile aynıdır. Suya doymun olan numunelerde çöp sızıntı suyu ile karıştırılan zeminlerin  $c$  değerlerinin temiz zemine göre oldukça düşük olduğu görülmüştür. % 5 çöp sızıntı suyu oranında  $c$  değerinin sıfır olduğu, çöp sızıntı suyu oranı artıkça  $c$  değerlerinde bir miktar artış olduğu görülmüştür. Suya doymun olmayan ve suya doymun olan numuneleri karşılaştırmak için farklı çöp sızıntı suyu oranlarında 7 gün kür süresinde bekletilmiş numuneler ele alınmıştır. Suya doymun olmayan numunelerde % 5 çöp sızıntı suyu oranında  $c$  değerinin temiz zemine göre düştüğü fakat suya doymun olan numuneye göre de yüksek olduğu görülmüştür. % 20 çöp sızıntı suyu oranında  $c$  değerinin maksimum olduğu, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında  $c$  değerinin düştüğü görülmüştür. Suya doymun olmayan numunenin % 100 çöp sızıntı suyu oranında  $c$  değerinin, suya doymun olan numuneye göre daha küçük olduğu görülmüştür.

Ödometre deney sonuçlarından yararlanılarak çöp sızıntı suyunun suya doymun olmayan ve suya doymun olan zemin üzerindeki permeabilite katsayısı ve

konsolidasyon katsayısı değerlerinin etkisi incelenmiştir. Suya doygun olmayan zemin numunelerinde konsolidasyon basıncı arttıķa permeabilite katsayısı azalmıştır. 30 günlük kür sonunda üç yük kademesinde de permeabilite katsayıları  $t=0'$  a göre, 90 günlük kür sonunda üç yük kademesinde de permeabilite katsayıları  $t=0$  ve  $t=30'$  a göre azalmıştır. Suya doygun olmayan zemin numunelerinde konsolidasyon basıncı arttıķa konsolidasyon katsayısı artmıştır. % 5, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında 30 günlük kür sonunda üç yük kademesinde de konsolidasyon katsayıları  $t=0'$  a göre artmış, % 20 çöp sızıntı suyu oranında ise azalmıştır. 90 günlük kür sonunda üç yük kademesinde de konsolidasyon katsayıları, %5 ve % 50 çöp sızıntı suyu oranlarında  $t=0$  ve  $t=30'$  a göre artmaya devam etmiştir. % 20 çöp sızıntı suyu oranında  $t=0$  ve  $t=30'$  a göre, % 100 çöp sızıntı suyu oranında  $t=30'$  a göre azalma göstermiştir.

Suya doygun olan zemin numunelerinde konsolidasyon basıncı arttıķa permeabilite katsayısı azalmıştır. 7 gün kür sonunda aynı çöp sızıntı suyu oranlarında üç yük kademesinde de permeabilite aynı davranışı göstermektedir. Permeabilite, % 5 p sızıntı suyu oranında temiz zemine göre azalmıştır, % 20 ve % 50 çöp sızıntı suyu oranlarında artış göstermiştir, % 100 çöp sızıntı suyu oranında tekrar azalmıştır. Suya doygun olan zemin numunelerinde konsolidasyon basıncı arttıķa konsolidasyon katsayısı artmıştır. 7 gün kür sonunda aynı çöp sızıntı suyu oranlarında üç yük kademesinde de konsolidasyon katsayısı aynı davranışı göstermektedir. Konsolidasyon katsayısı, % 5 çöp sızıntı suyu oranında temiz zemine göre azalmıştır, % 20, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında artış göstermiştir. Zemin suya doygun olduğunda hem temiz zemine göre hemde suya doygun olmayan zemine göre permeabilite katsayısı ve konsolidasyon katsayısı azalıyor.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar yüksek plastisiteli siltlerin deney sonuçları (Er, 2006) karşılaştırıldığında; MH numunesinin çöp sızıntı suyunun etkisi ile elde edilen likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerlerinin ML(1), CL(1) ve ML(2) numunelerine göre oldukça yüksek ve davranışlarının benzer olduğu görülmektedir.

p sızıntı suyu oranının  $\phi$  üzerine etkisi incelendiğinde ML(1) ve MH numunelerinin % 5 çöp sızıntı suyu oranında temiz zemine göre arttığı gözlenmiştir. ML(1) numunesinin % 20 çöp sızıntı suyu oranında düştüğü, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında giderek arttığı grlmştir. MH numunesinin % 50 çöp

sızıntı suyu oranında düştüğü, % 100 çöp sızıntı suyu oranında tekrar arttığı gözlenmiştir. Çöp sızıntı suyu oranının  $c$  üzerine etkisi incelendiğinde ML(1) ve MH numunelerinin % 5 çöp sızıntı suyu oranında temiz zemine göre düştüğü, % 20 çöp sızıntı suyu oranında tekrar arttığı, % 50 ve % 100 çöp sızıntı suyu oranlarında giderek düştüğü gözlenmiştir.

Kür süresinin  $\phi$  üzerine etkisi incelendiğinde ML(1) numunesinin 7 gün kür süresinde maksimum olduğu, 30 ve 90 gün kürelerinde giderek azaldığı görülmüştür. MH numunesinin 0 gün kür süresine göre giderek azaldığı 90 gün kür süresinde minimum olduğu görülmektedir. Kür süresinin  $c$  üzerine etkisi incelendiğinde ML(1) numunesinin 7 gün kür süresinde minimum olduğu, 30 ve 90 gün kürelerinde giderek arttığı görülmüştür. MH numunesinin 0 gün kür süresine göre giderek arttığı 90 gün kür süresinde maksimum olduğu görülmektedir.

Kür oranı ve kür süresinin permeabilite ve konsolidasyon katsayısı üzerine etkisi incelendiğinde MH numunesinin permeabilite ve konsolidasyon katsayısı değerleri her üç yük kademesinde de ML(1) numunesine göre küçüktür. Yük kademesi arttıkça MH numunesinin permeabilite ve konsolidasyon katsayısı değerlerinin ML(1) numunesinin permeabilite ve konsolidasyon katsayısı değerlerine göre daha da azaldığı görülmektedir. Kür süreleri dikkate alındığında ML(1) numunesi için permeabilite ve konsolidasyon katsayıları arasındaki fark MH numunesine göre fazladır.

Bu çalışmada öneri olarak; zemin davranışına etki eden çöp sızıntı suyu bileşimindeki maddelerin belirlenmesi gerekir. Daha sonra çöp sızıntı suyunun yapısı bozulmadan zeminin geoteknik özellikleri incelenmelidir. Daha sonra zemin davranışında organik maddelerin mi yoksa inorganik maddelerin mi daha etkili olduğunu belirlemek için çöp sızıntı suyu içerisindeki organik maddeler uzaklaştırılarak, çöp sızıntı suyu içerisindeki inorganik maddeler ile aynı deneyler tekrarlanmalıdır. Ayrıca laboratuvar ortamında temsili çöp sızıntı suyu hazırlanıp, çöp sızıntı suyu içindeki maddelerin miktarları değiştirilerek zemin davranışındaki değişimler izlenerek etkin maddelerin tayini yapılabilir. Bunlara ek olarak temiz zeminin yanı sıra çöp sızıntı suyu ile karıştırılmış numunelerin mineralojik yapıları belirlenerek çöp sızıntı suyu ile zemin arasındaki ilişkinin anlaşılması kolaylaşacaktır.

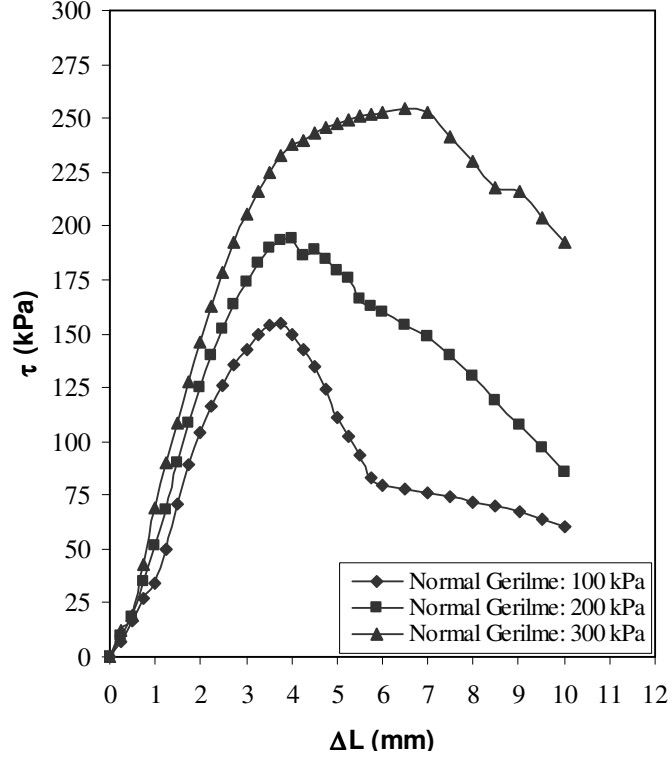
## KAYNAKLAR

- 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 *Engineering Geology*, **42**, 223–237
- Brandl, H.,** 1992. Mineral Liners for Hazardous Waste Containment, *Geotechnique*, **42.1**, 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*, **130**, 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.
- Er, N.** 2006. Yüksek Plastisiteli Zeminlerin Davranışları Üzerinde Çöp Suyunun Etkisi, *Y.Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

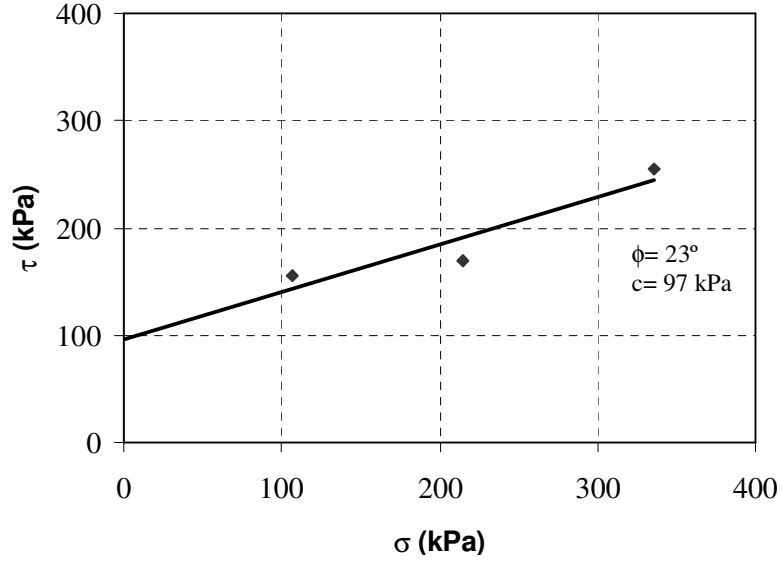
- Erşan, H.** 1996. Uçucu Küllerin Siltli Zeminlerin Kayma Mukavemeti Üzerindeki Etkisi, *Y.Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fahoum, K., Aggour M.S. and Amini, F.**, 1996. Dynamic Properties of Cohesive Soils Treated With Lime *Journal of Geotechnical Engineering* pp. 382-389.
- Güler, E., Avcı, C.B., ve Çığızoğlu, 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*, **119**, 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, **7**, 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. Fundamentals of Soil Behavior, University of California, Berkeley.
- Osinubi, K.J.**, 1998. Permeability of Lime Treated Lateritic Soil *Journal of Transportation Engineering*, **124**, 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 Is–40) Treatment Method on Strength 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 Materials 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*, **32**, 133.
- Sridharan, A. and Rao, G.V.**, 1973. Mechanisms Controlling Volume Change of Saturated Clays and the Role of the Effective Stres Concept, *Geotechnique*, **23**, 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*, **59**, 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.

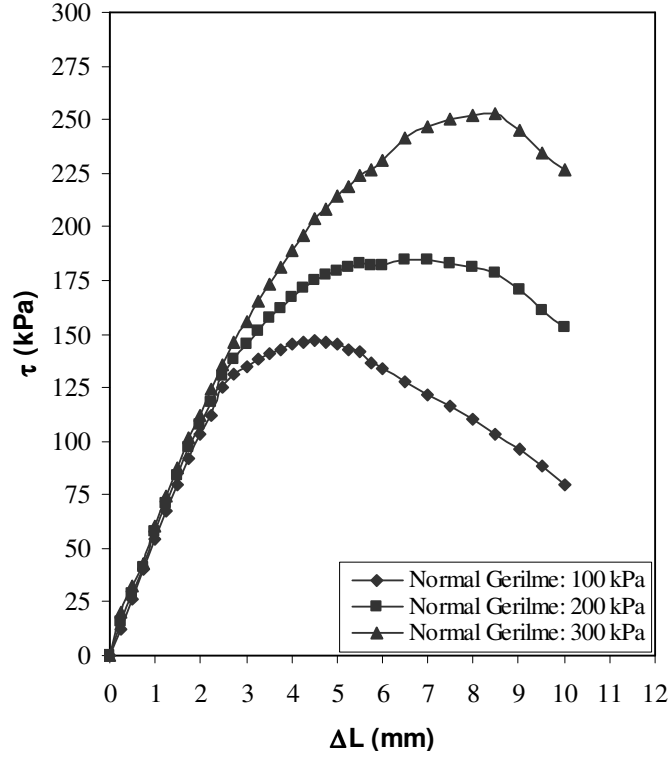
**EK - A**



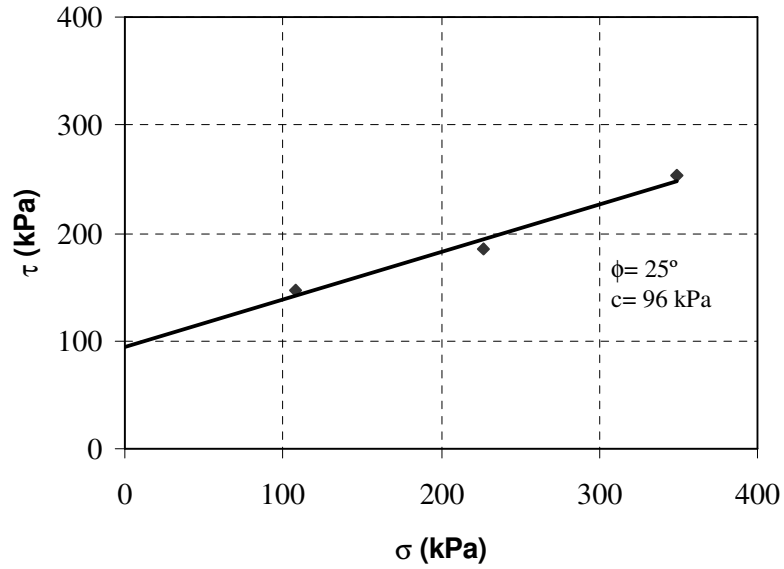
Şekil A.1 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman  
(Temiz Zemin)



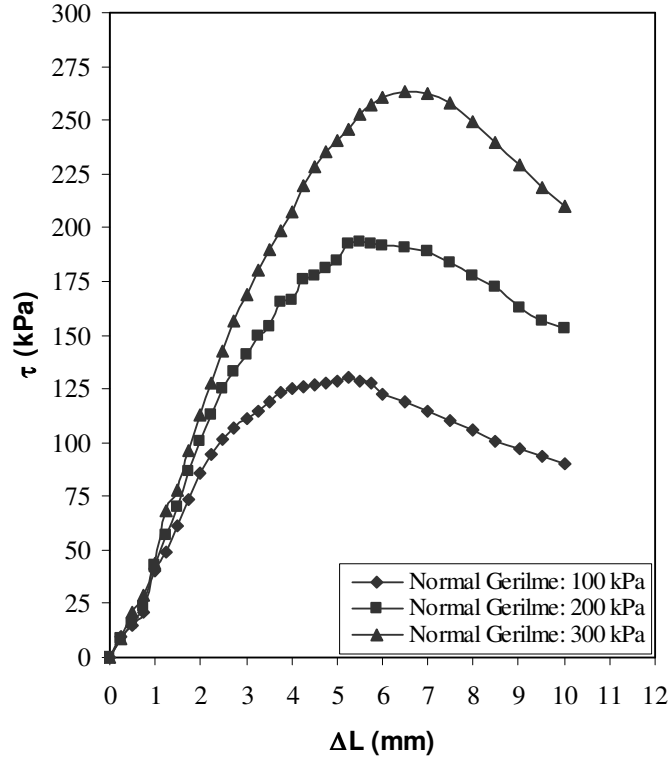
Şekil A.2 : Kırılma Zarfı  
(Temiz Zemin)



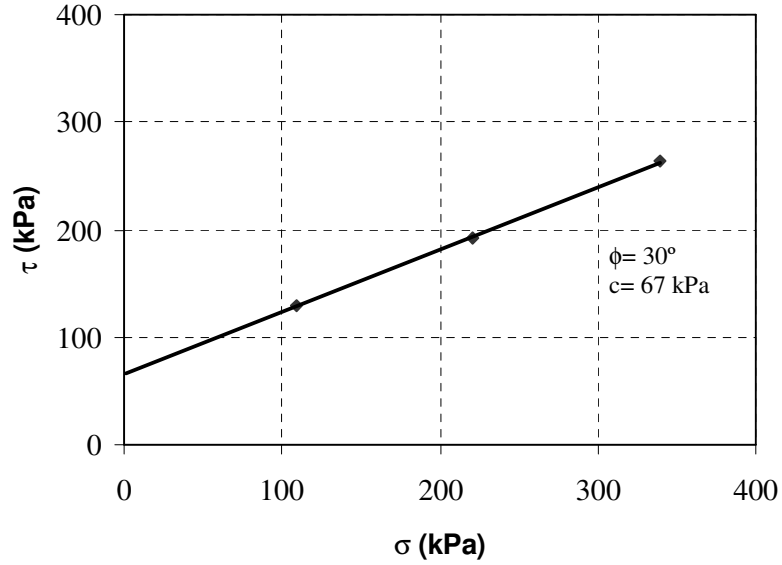
**Şekil A.3 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman**  
(Çöp S: % 5, t= 0 gün)



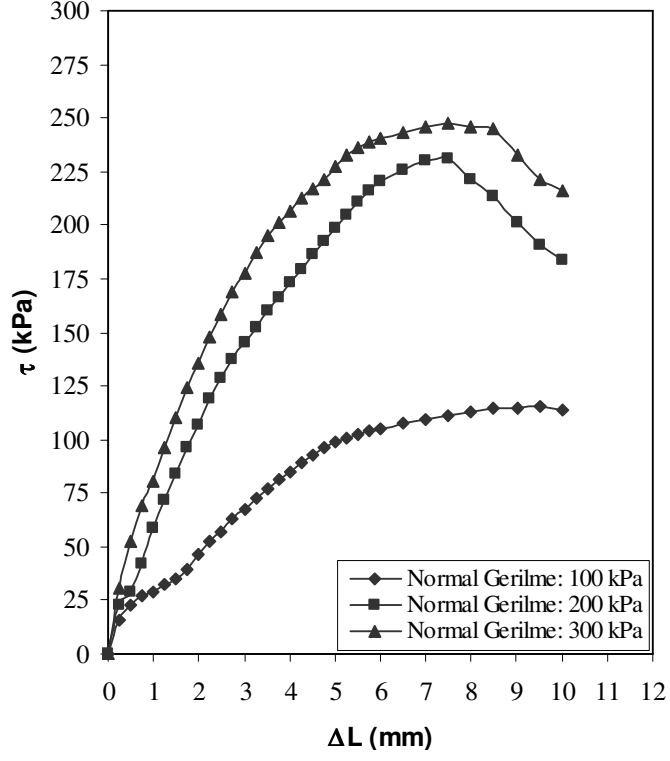
**Şekil A.4 : Kırılma Zarfı**  
(Çöp S: % 5, t= 0 gün)



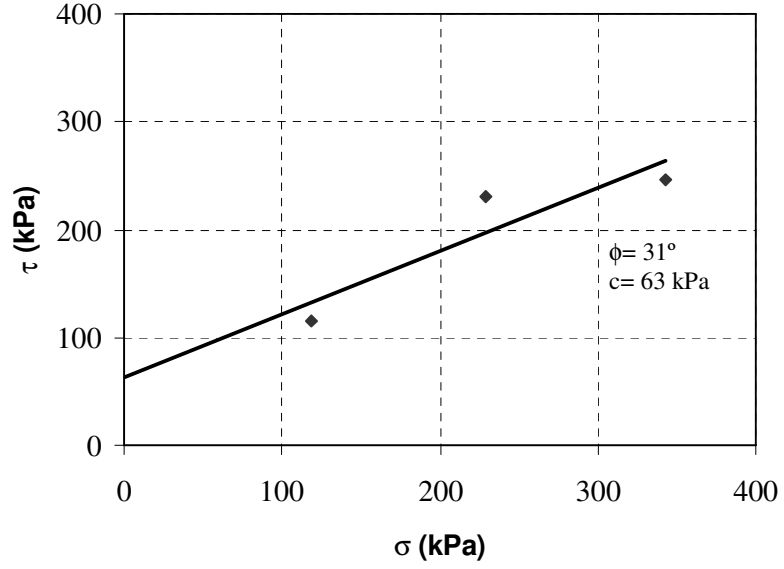
**Şekil A.5 :** Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman  
(Çöp S: % 5, t= 1 gün)



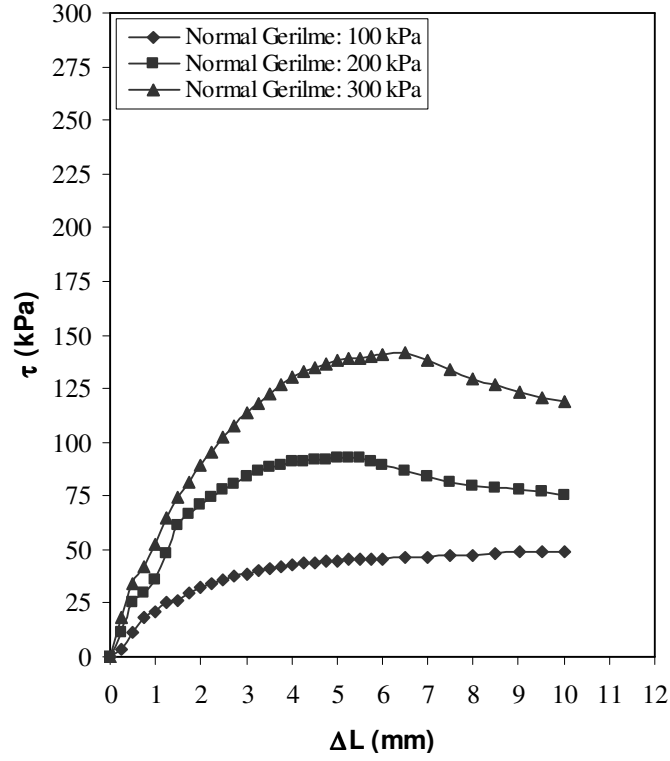
**Şekil A.6 :** Kırılma Zarfı  
(Çöp S: % 5, t= 1 gün)



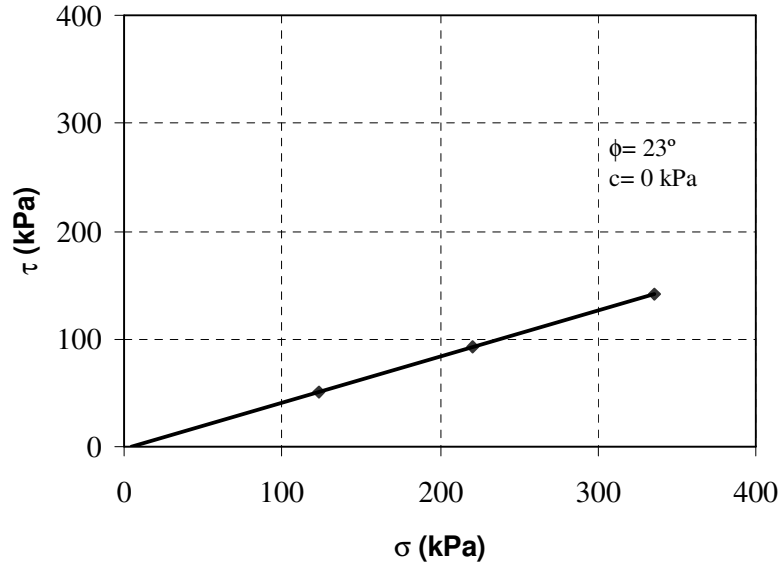
**Şekil A.7 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman**  
(Çöp S: % 5, t= 7 gün)



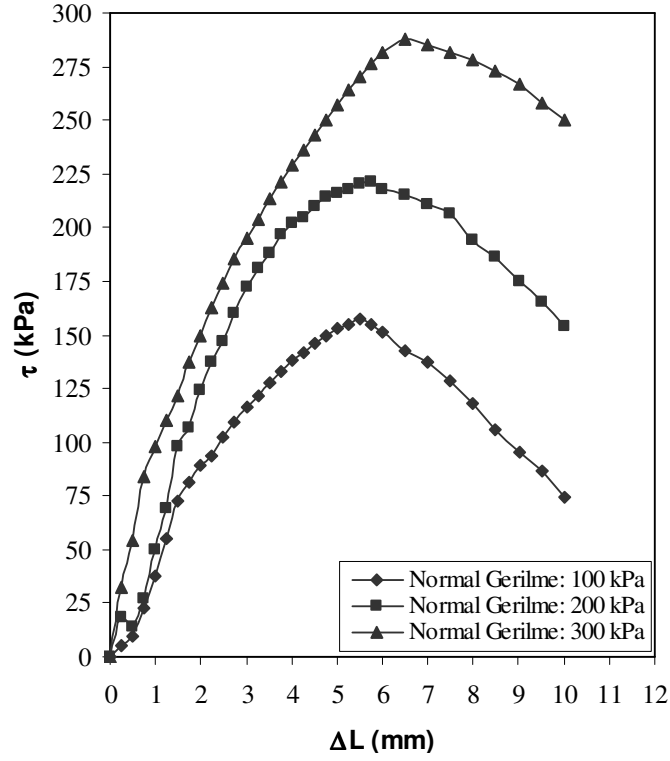
**Şekil A.8 : Kırılma Zarfı**  
(Çöp S: % 5, t= 7 gün)



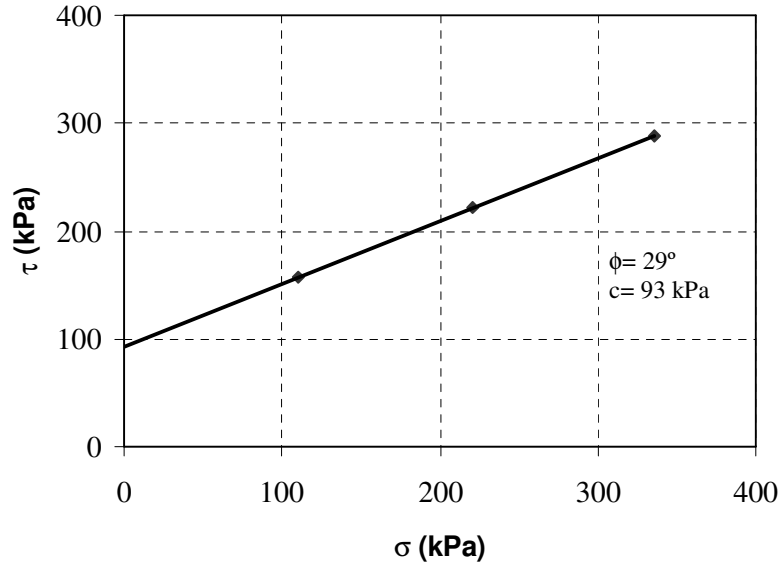
**Şekil A.9 :** Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman  
(Çöp S: % 5, t= 7 gün, Suyu Doygun)



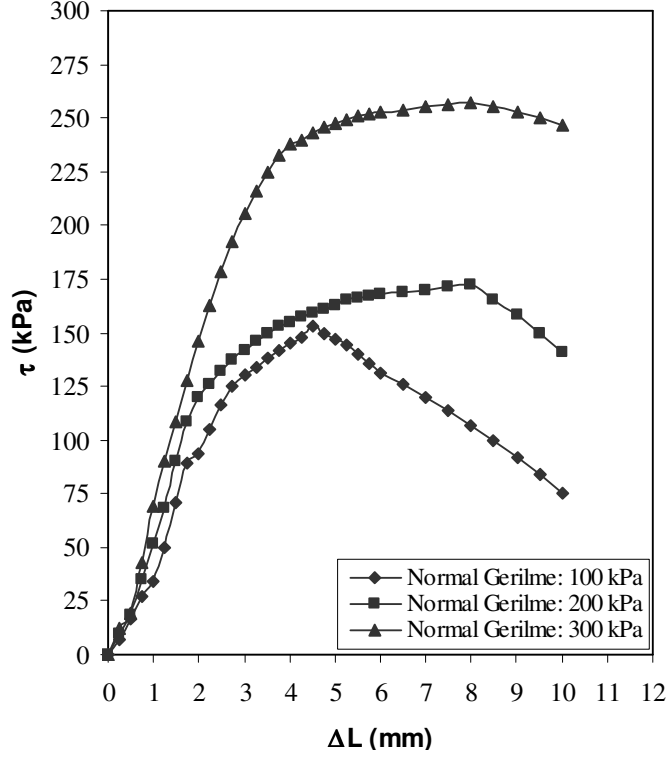
**Şekil A.10 :** Kırılma Zarfı  
(Çöp S: % 5, t= 7 gün, Suyu Doygun)



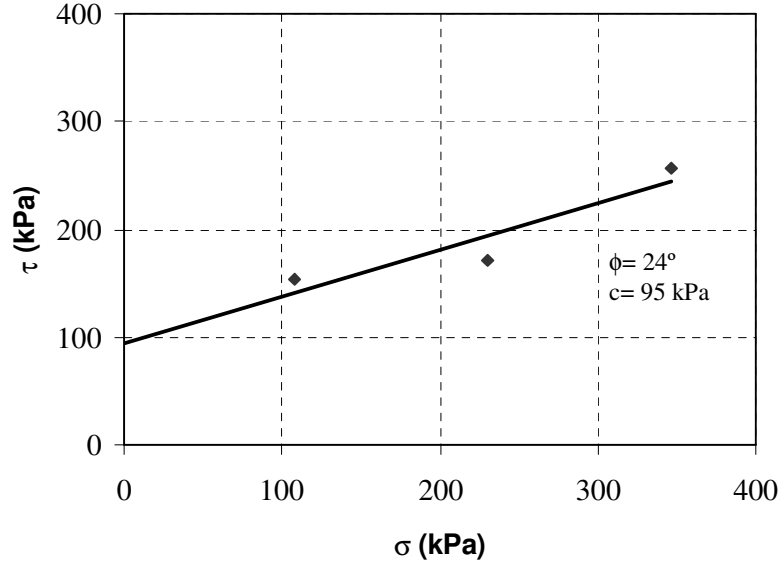
Şekil A.11 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman  
(Çöp S: % 5, t= 30 gün)



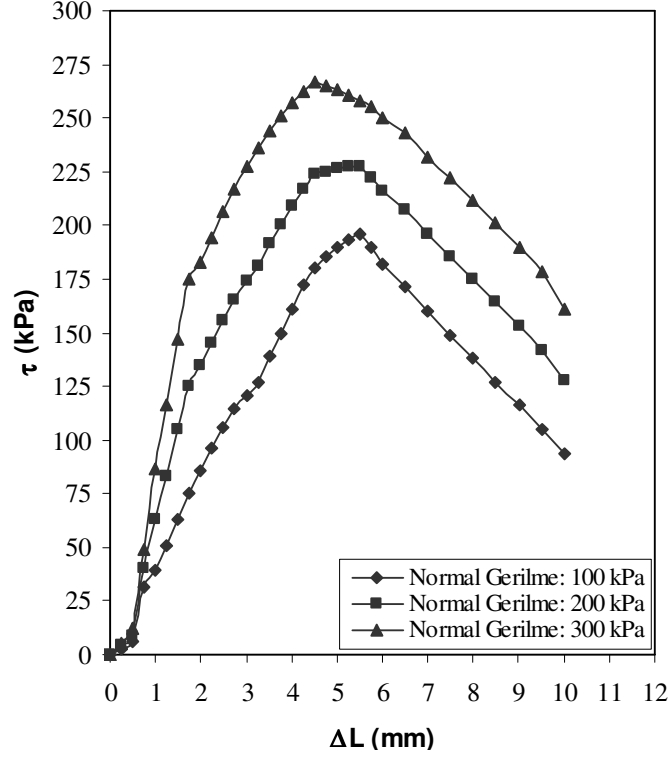
Şekil A.12 : Kırılma Zarfı  
(Çöp S: % 5, t= 30 gün)



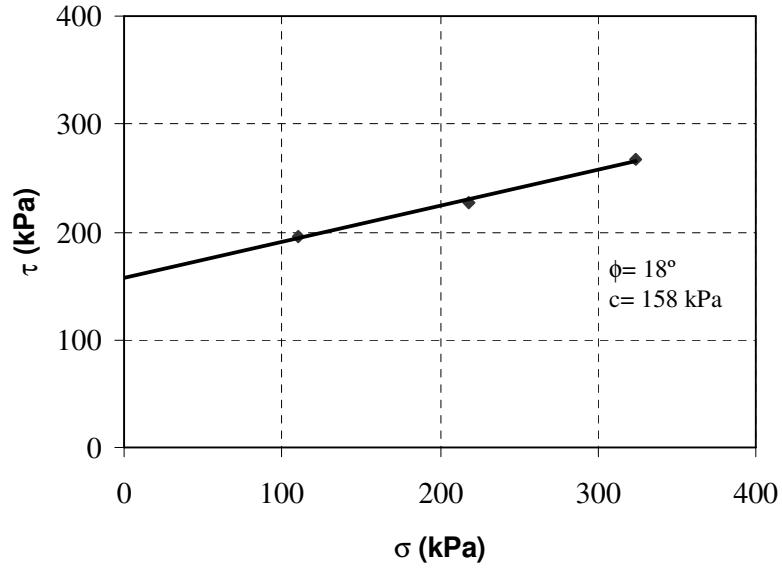
**Şekil A.13 :** Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman  
(Çöp S: % 5, t= 90 gün)



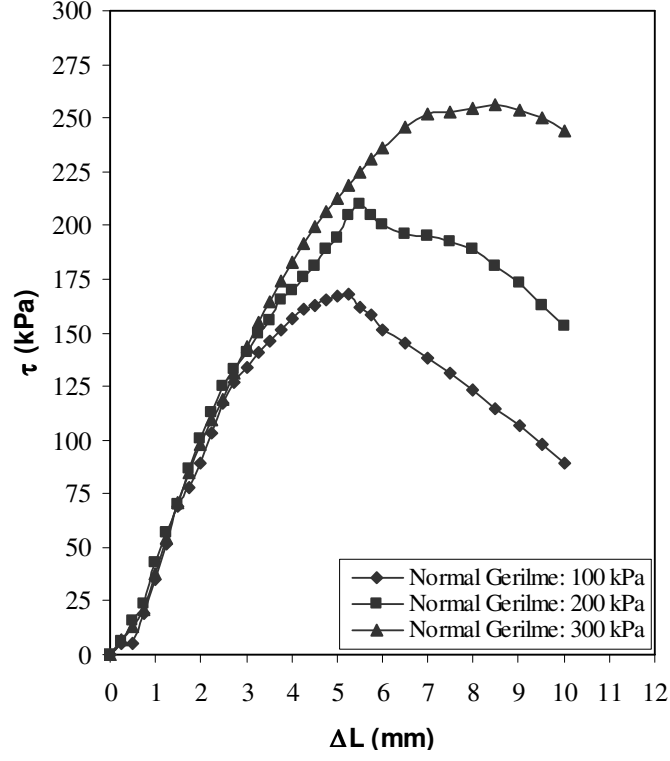
**Şekil A.14 :** Kırılma Zarfı  
(Çöp S: % 5, t= 90 gün)



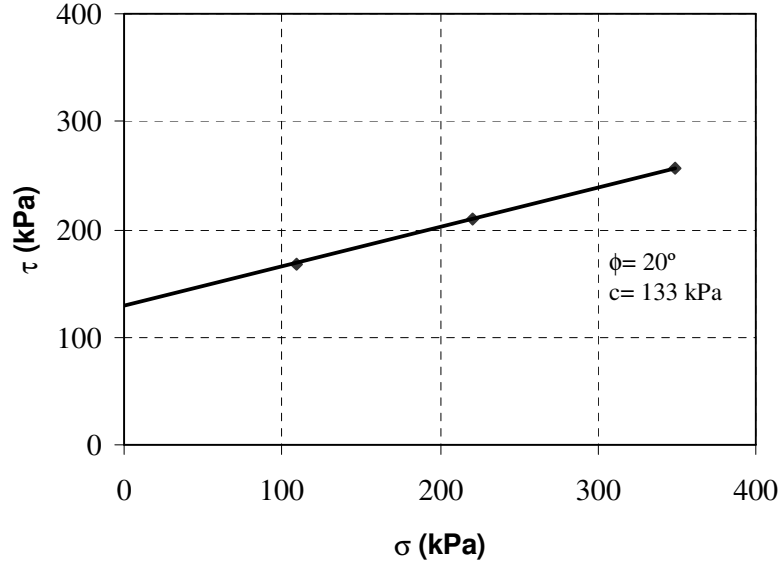
**Şekil A.15 :** Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman  
(Çöp S: % 20, t= 0 gün)



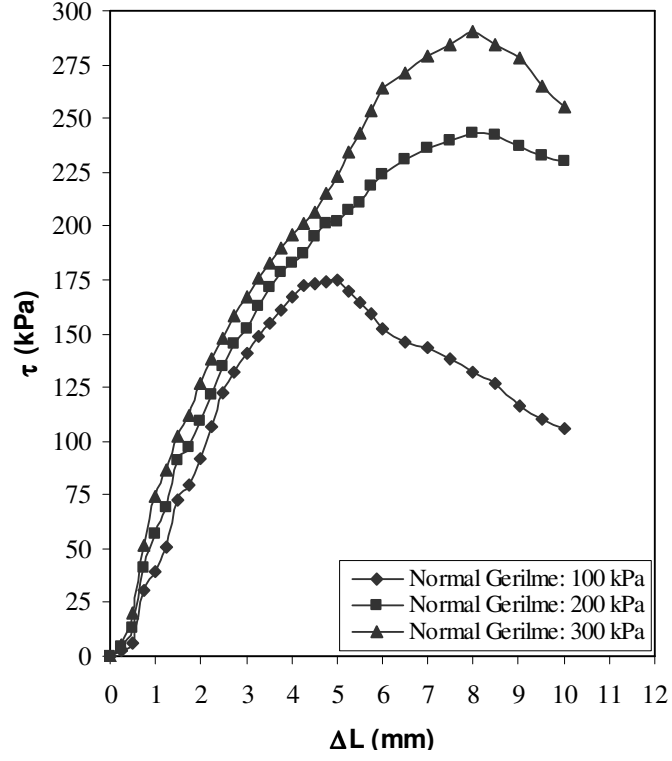
**Şekil A.16 :** Kırılma Zarfı  
(Çöp S: % 20, t= 0 gün)



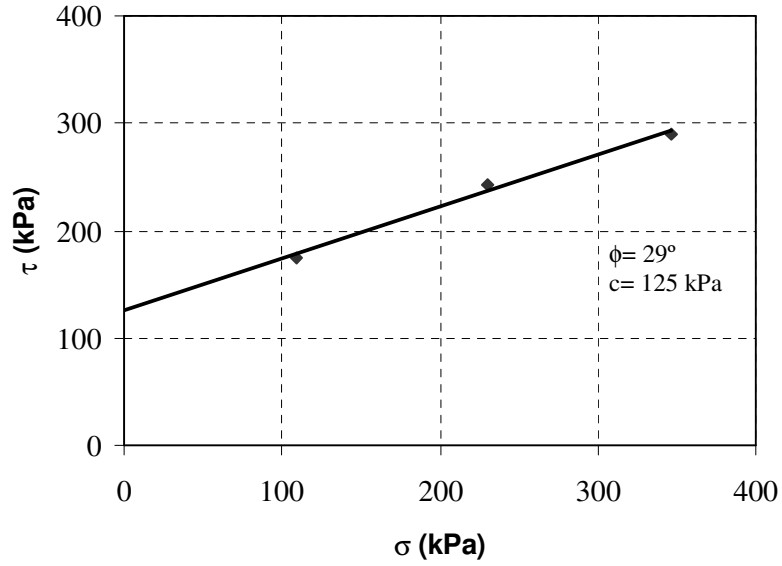
**Şekil A.17 :** Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman  
(Çöp S: % 20, t= 1 gün)



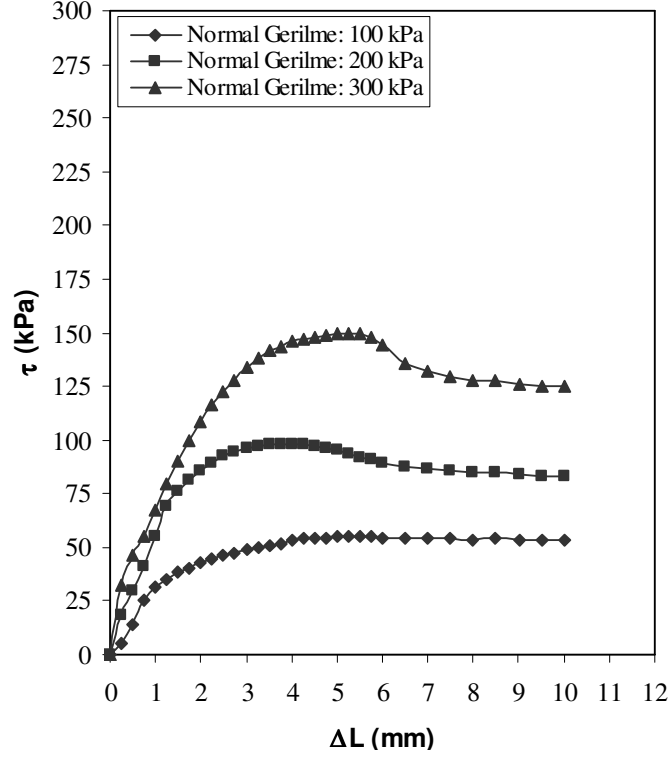
**Şekil A.18 :** Kırılma Zarfı  
(Çöp S: % 20, t= 1 gün)



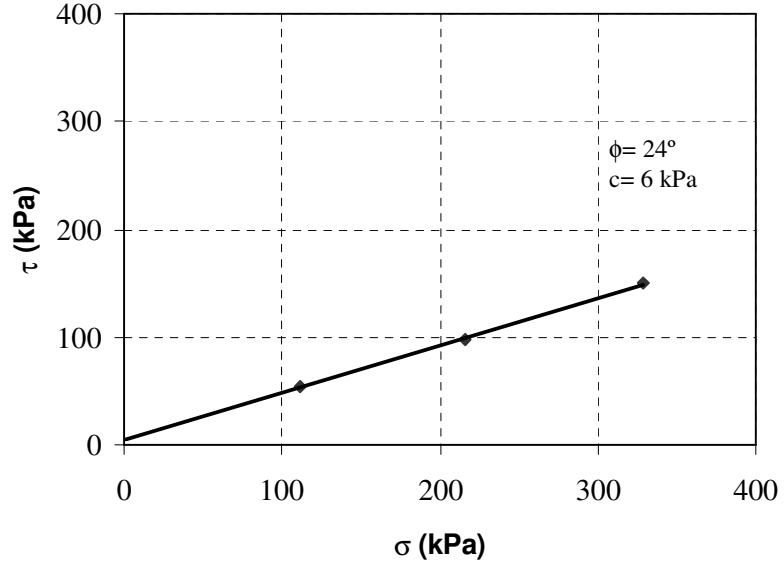
**Şekil A.19 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman**  
(Çöp S: % 20, t= 7 gün)



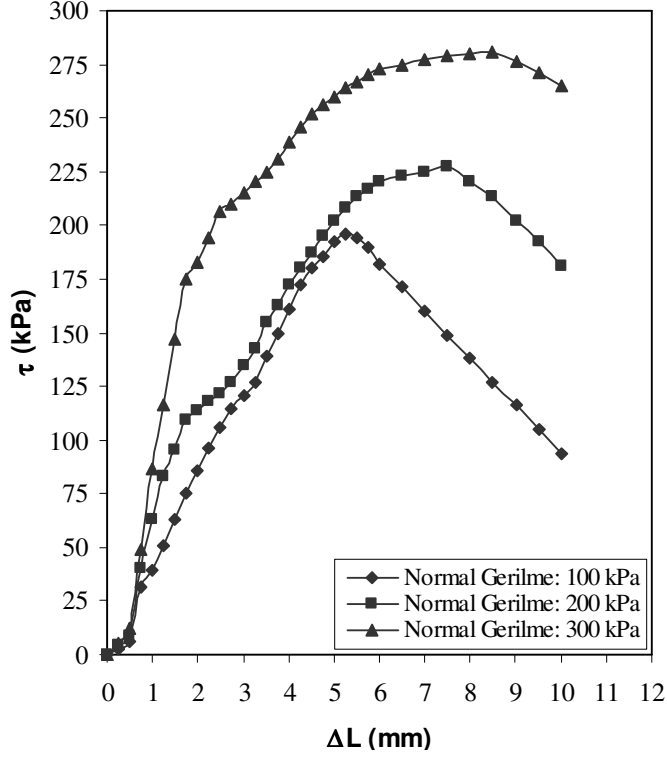
**Şekil A.20 : Kırılma Zarfı**  
(Çöp S: % 20, t= 7 gün)



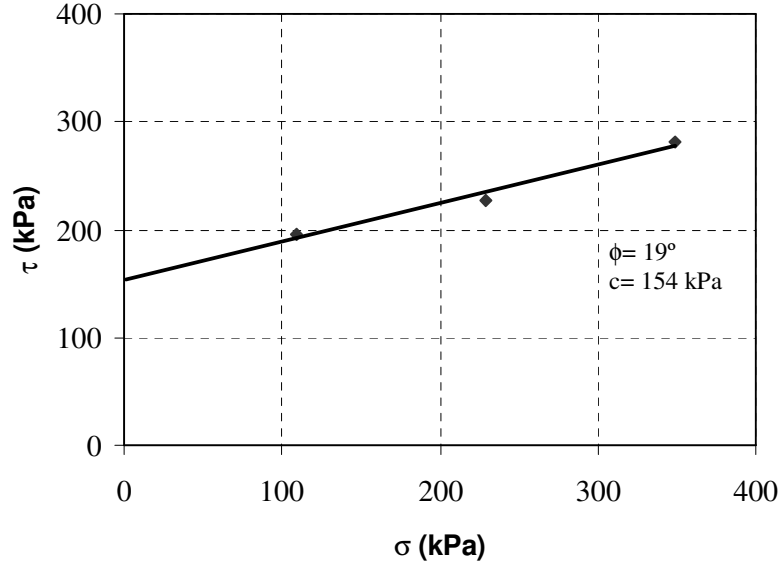
**Şekil A.21 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman**  
(Çöp S: % 20, t= 7 gün, Suya Doygun)



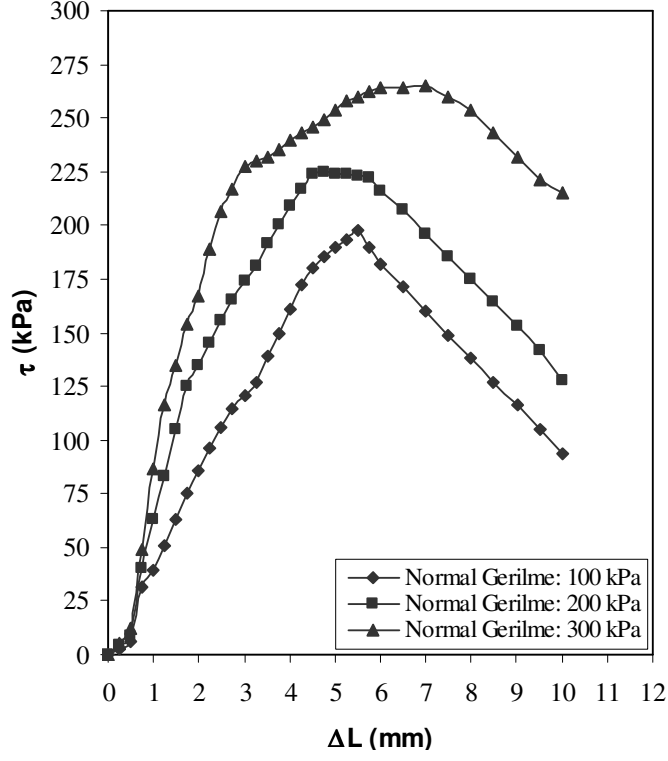
**Şekil A.22 : Kırılma Zarfı**  
(Çöp S: % 20, t= 7 gün, Suya Doygun)



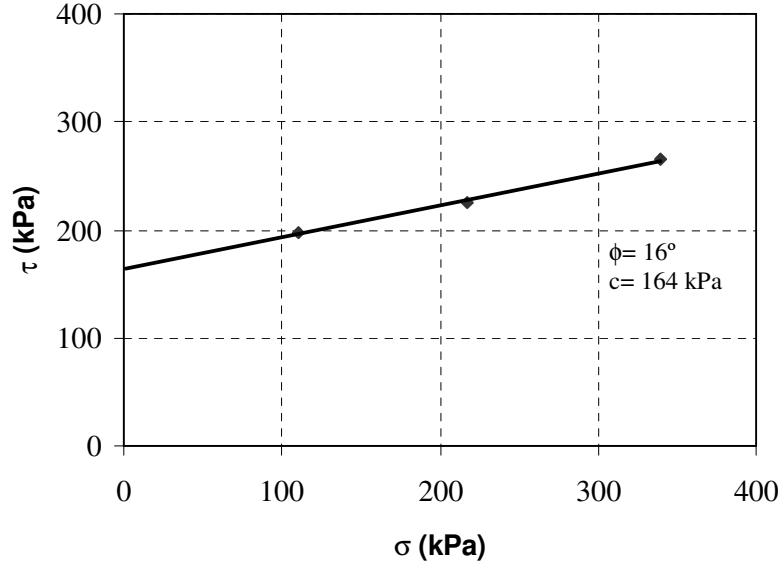
**Şekil A.23 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman**  
(Çöp S: % 20, t= 30 gün)



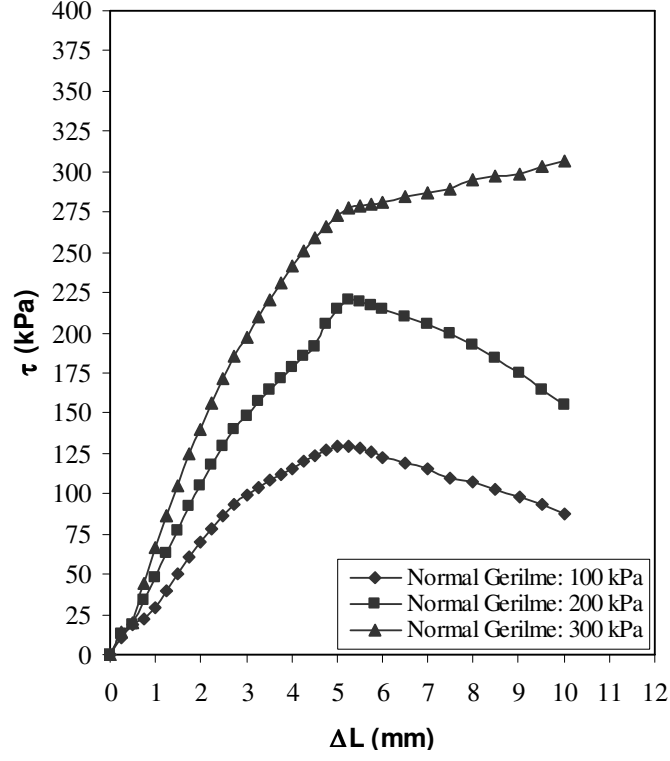
**Şekil A.24 : Kırılma Zarfı**  
(Çöp S: % 20, t= 30 gün)



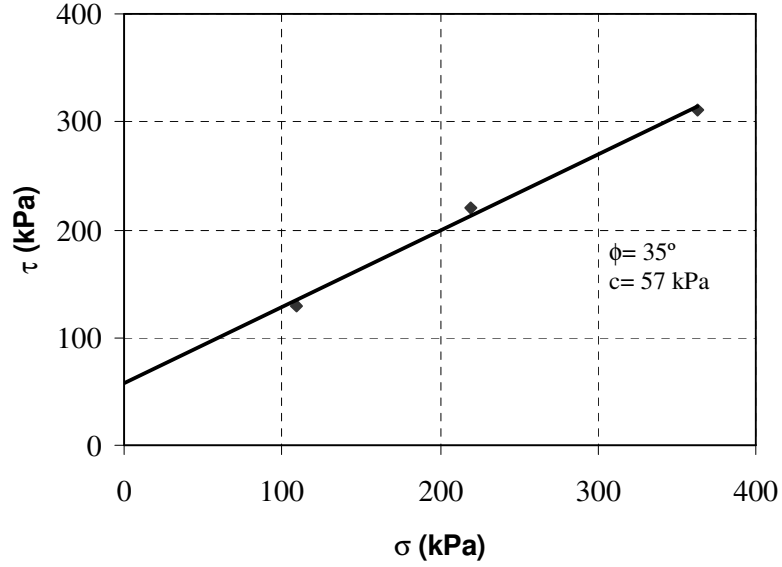
Şekil A.25 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman  
(Çöp S: % 20, t= 90 gün)



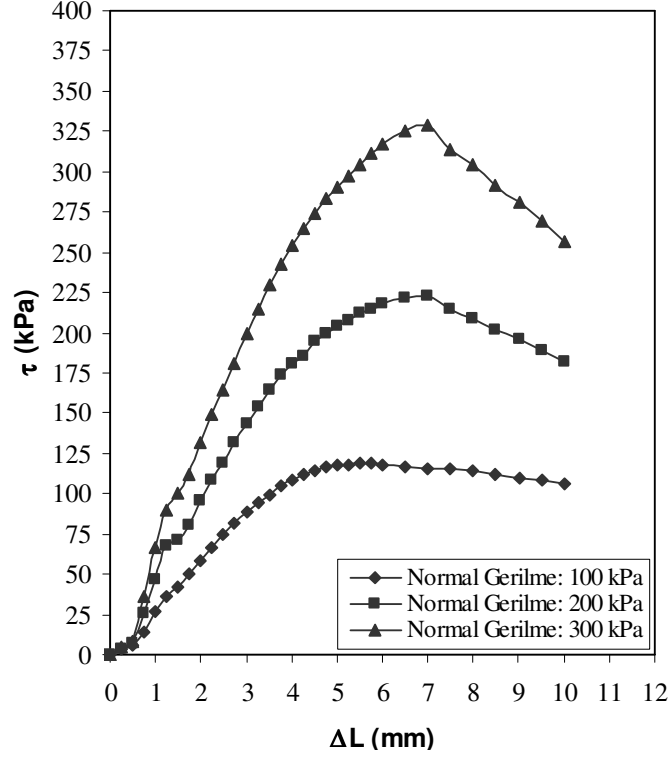
Şekil A.26 : Kırılma Zarfı  
(Çöp S: % 20, t= 90 gün)



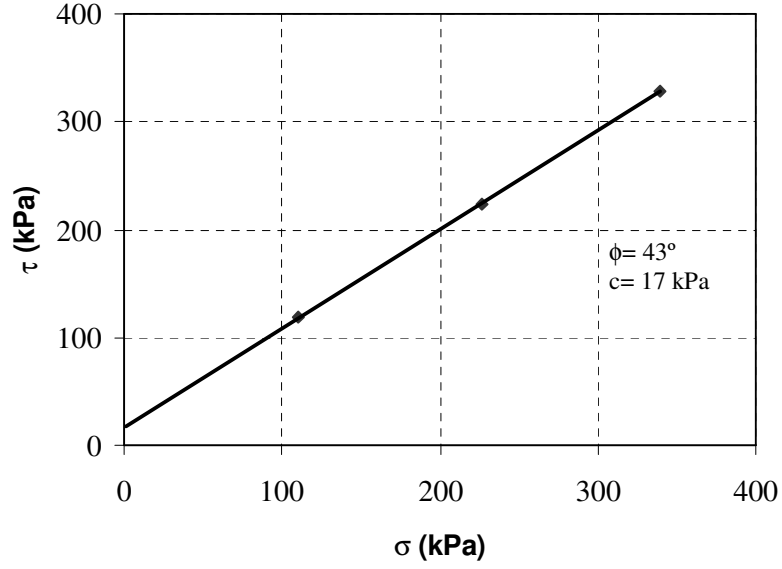
**Şekil A.27 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman**  
(Çöp S: % 50, t= 0 gün)



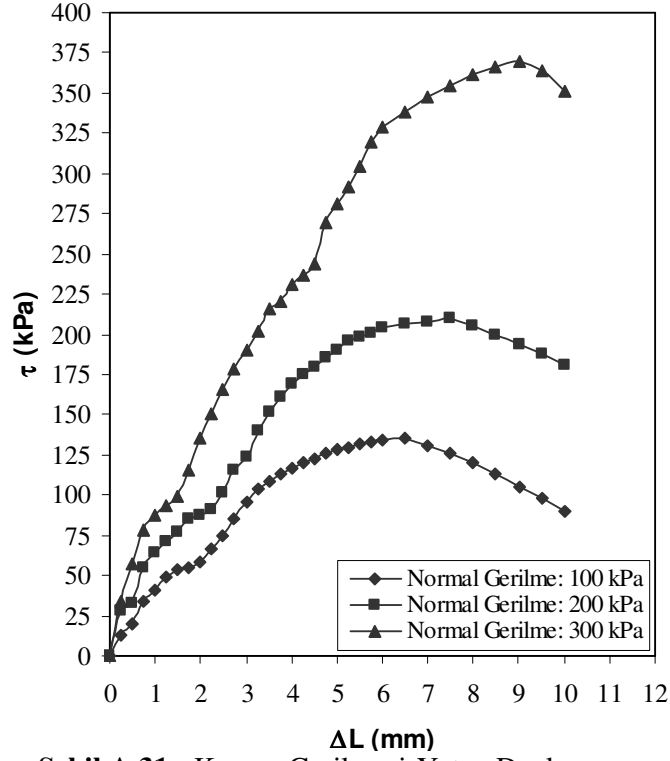
**Şekil A.28 : Kırılma Zarfı**  
(Çöp S: % 50, t= 0 gün)



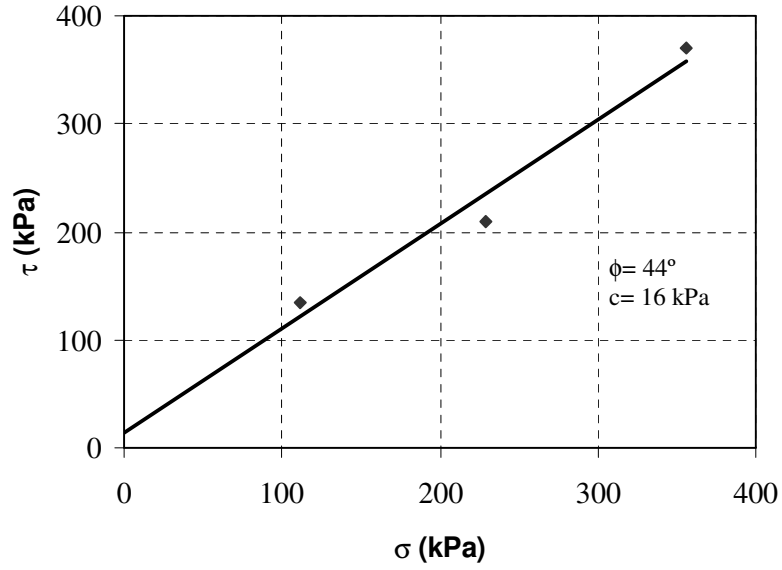
**Şekil A.29 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman**  
(Çöp S: % 50, t= 1 gün)



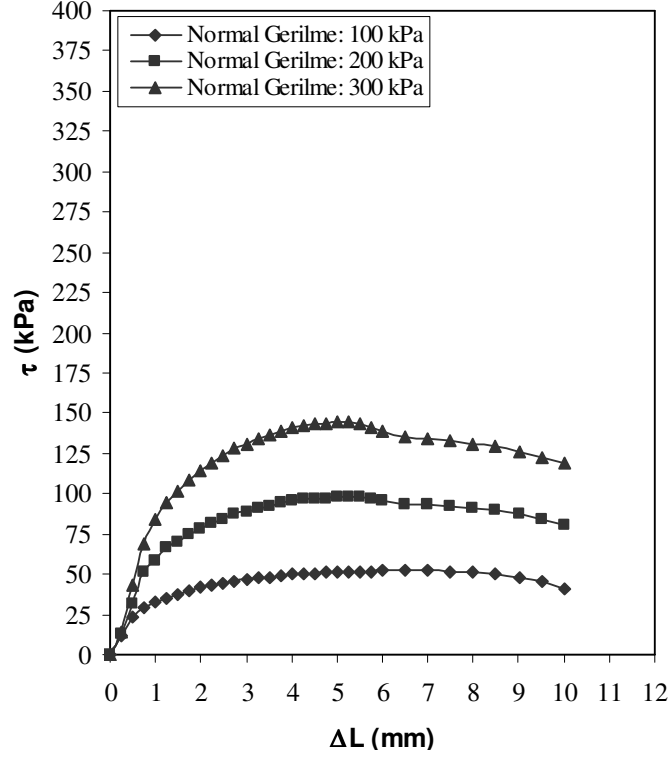
**Şekil A.30 : Kırılma Zarfı**  
(Çöp S: % 50, t= 1 gün)



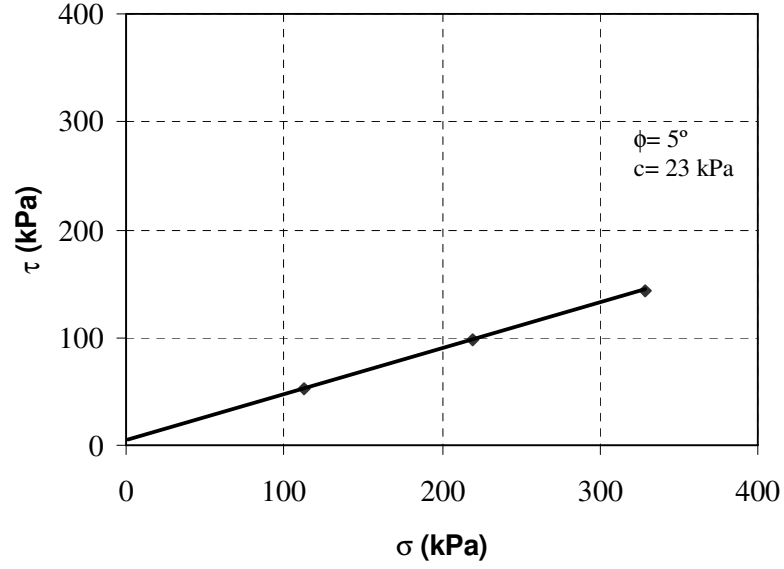
**Şekil A.31 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman**  
(Çöp S: % 50, t= 7 gün)



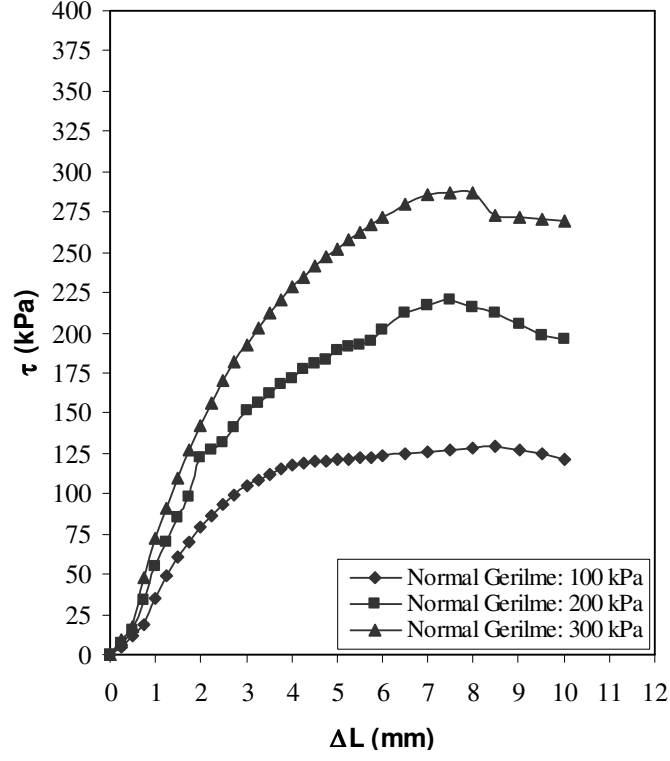
**Şekil A.32 : Kırılma Zarfı**  
(Çöp S: % 50, t= 7 gün)



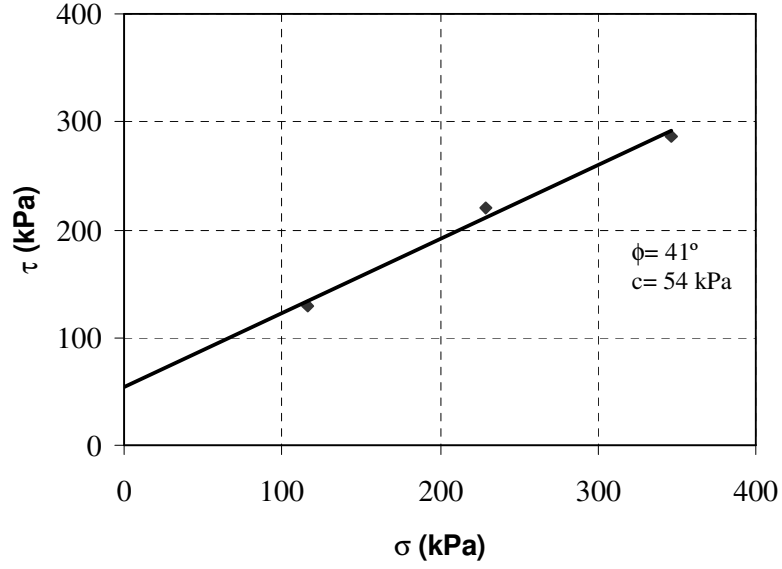
**Şekil A.33 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman**  
(Çöp S: % 50, t= 7 gün, Suya Doymun)



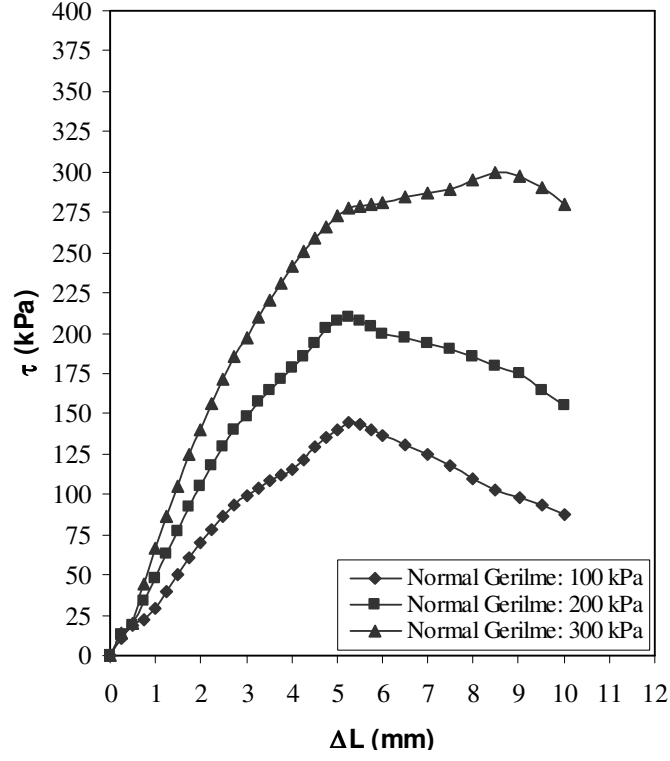
**Şekil A.34 : Kırılma Zarfı**  
(Çöp S: % 50, t= 7 gün, Suya Doymun)



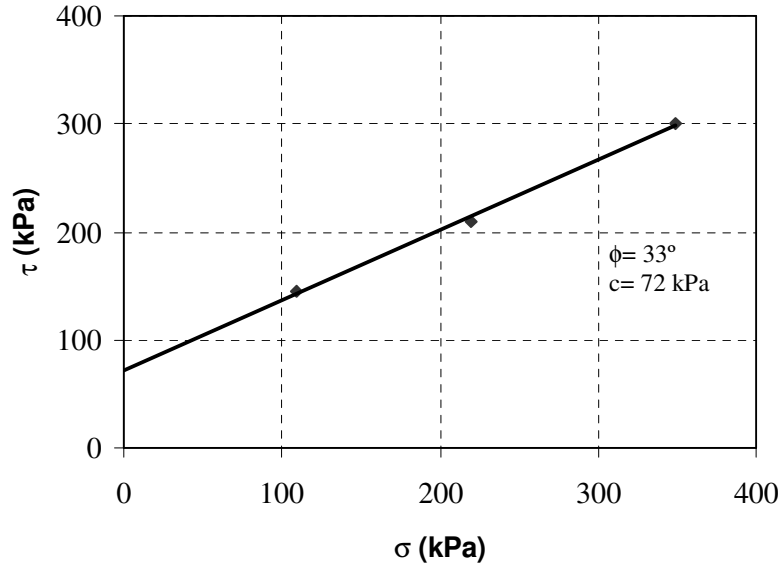
**Şekil A.35 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman**  
(Çöp S: % 50, t= 30 gün)



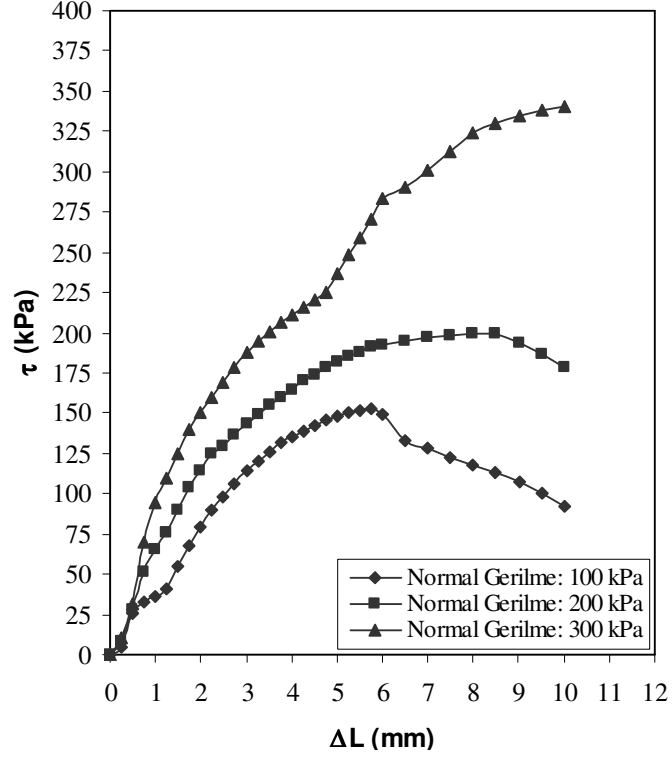
**Şekil A.36 : Kırılma Zarfı**  
(Çöp S: % 50, t= 30 gün)



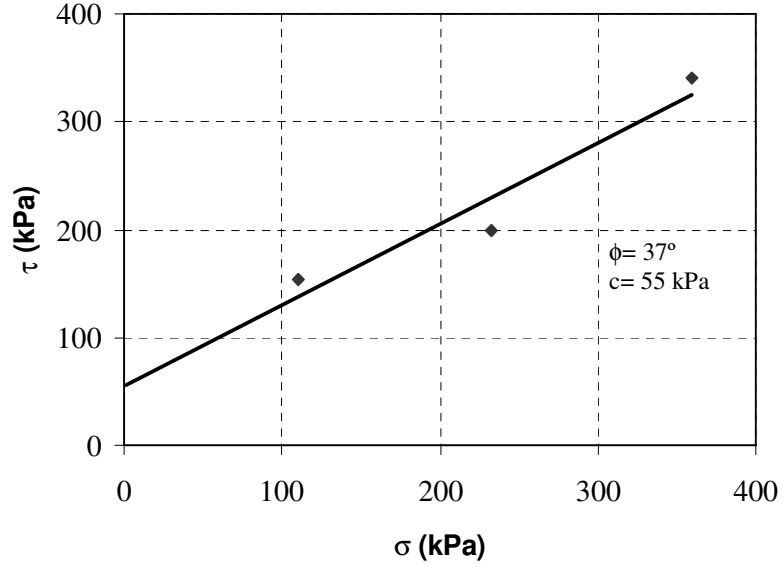
**Şekil A.37 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman**  
(Çöp S: % 50, t= 90 gün)



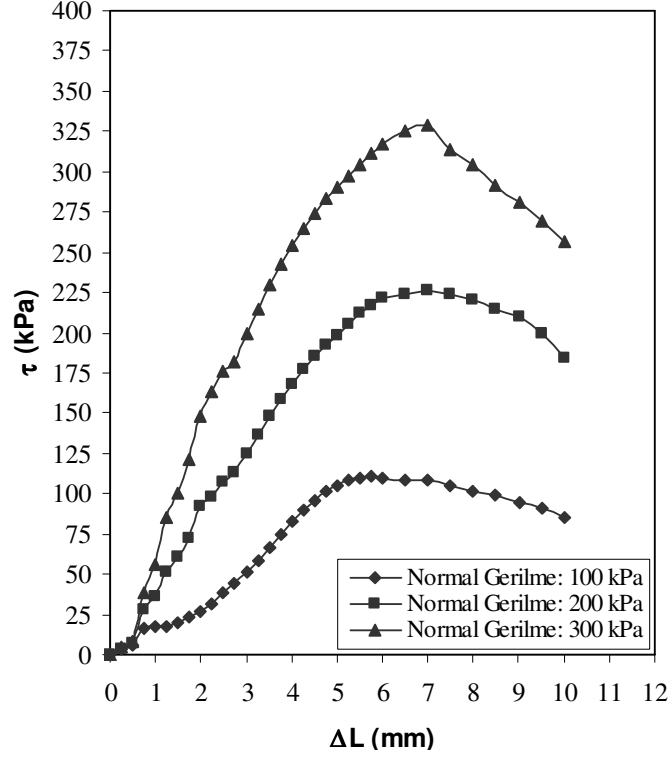
**Şekil A.38 : Kırılma Zarfı**  
(Çöp S: % 50, t= 90 gün)



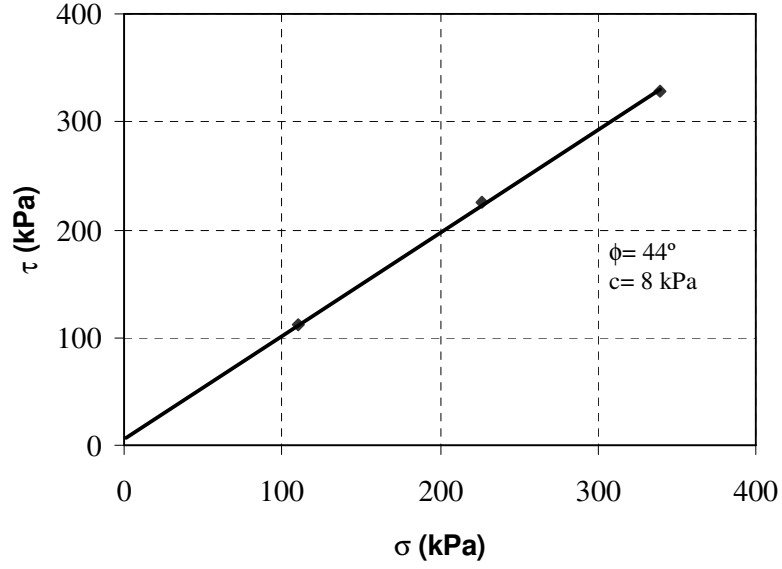
**Şekil A.39** : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman  
(Çöp S: % 100, t= 0 gün)



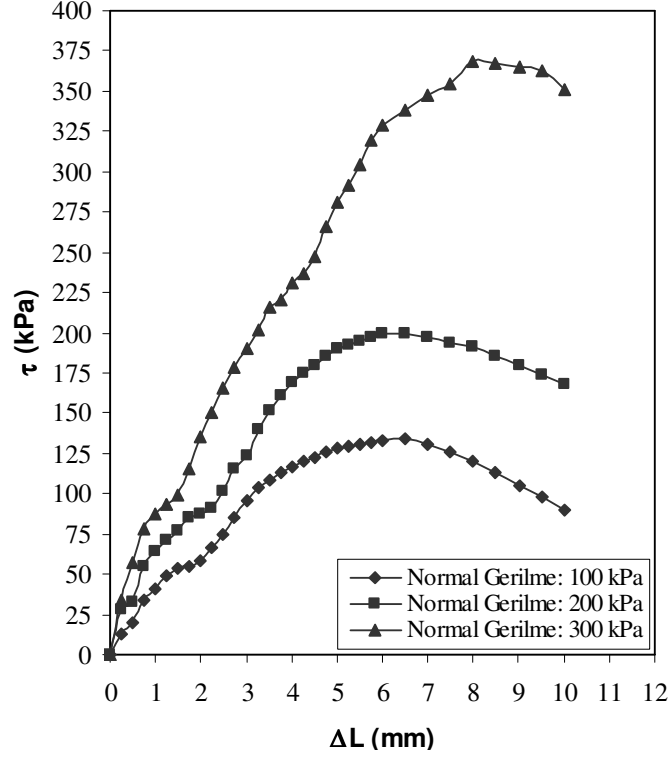
**Şekil A.40** : Kırılma Zarfı  
(Çöp S: % 100, t= 0 gün)



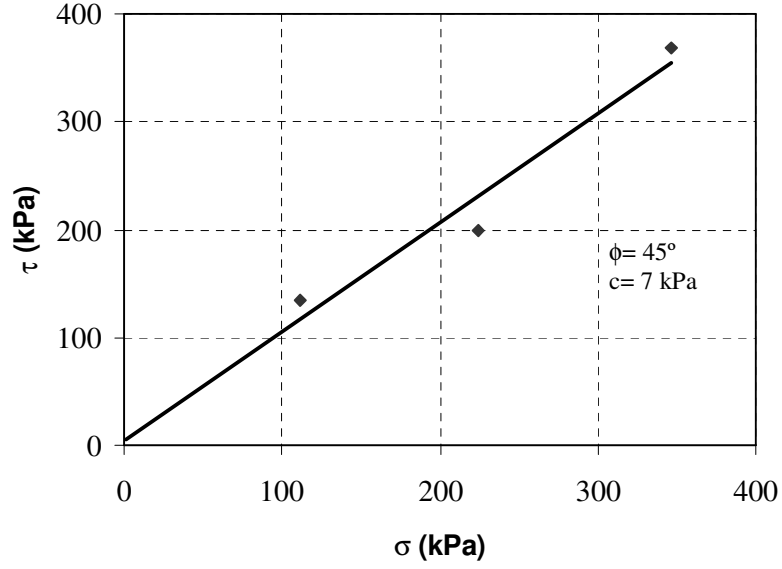
**Şekil A.41 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman**  
(Çöp S: % 100, t= 1 gün)



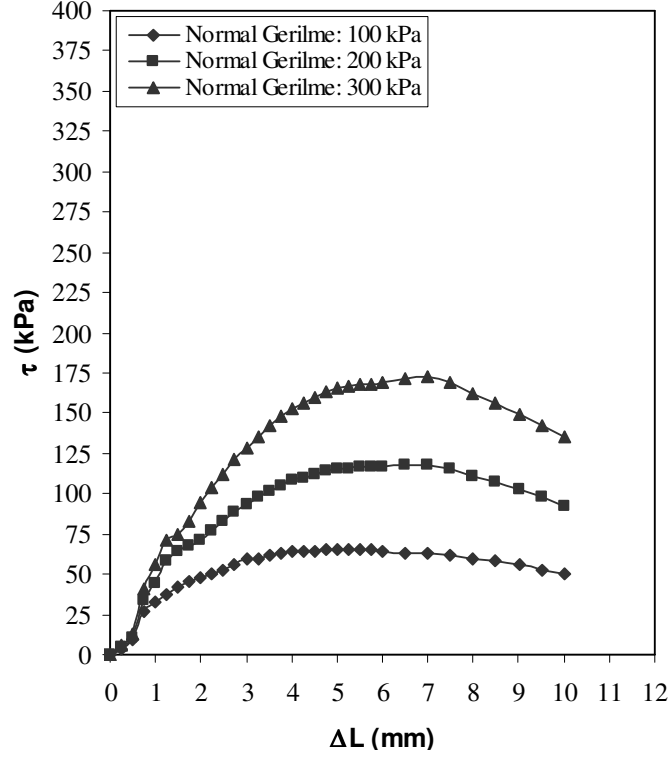
**Şekil A.42 : Kırılma Zarfı**  
(Çöp S: % 100, t= 1 gün)



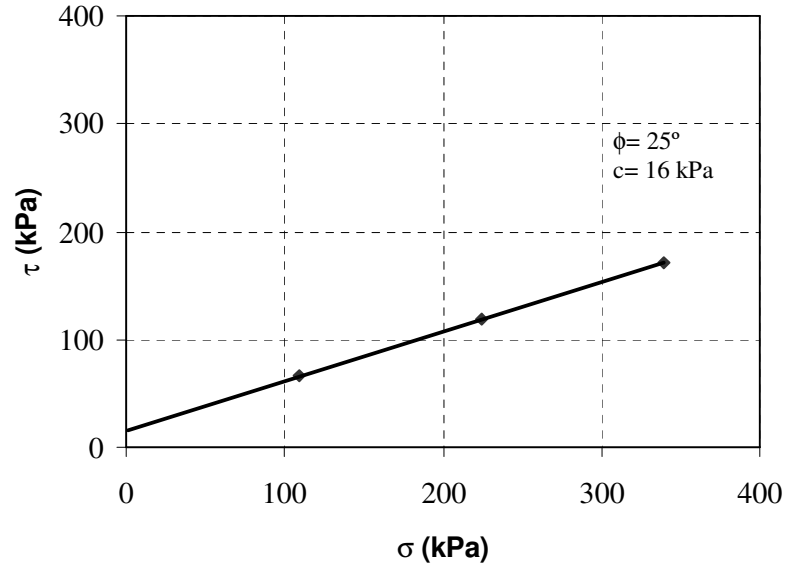
**Şekil A.43 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman**  
(Çöp S: % 100, t= 7 gün)



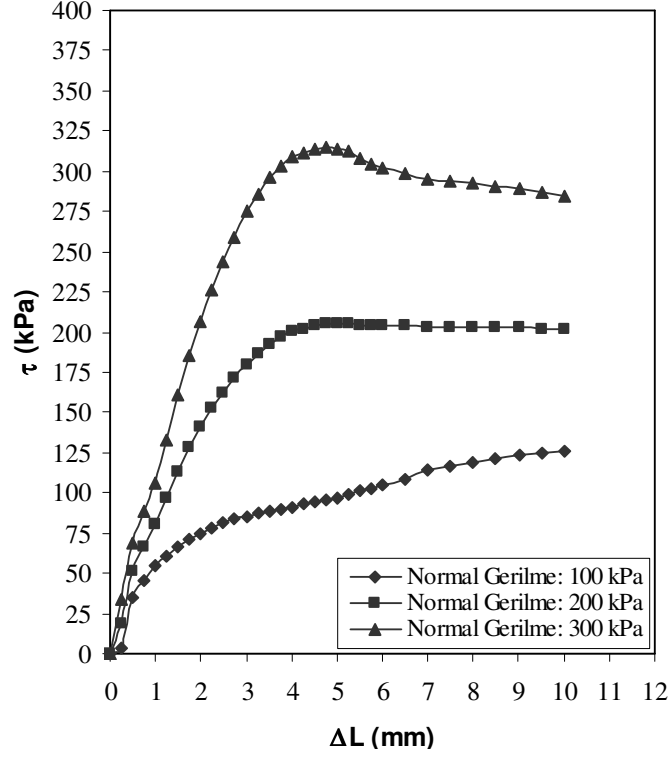
**Şekil A.44 : Kırılma Zarfı**  
(Çöp S: % 100, t= 7 gün)



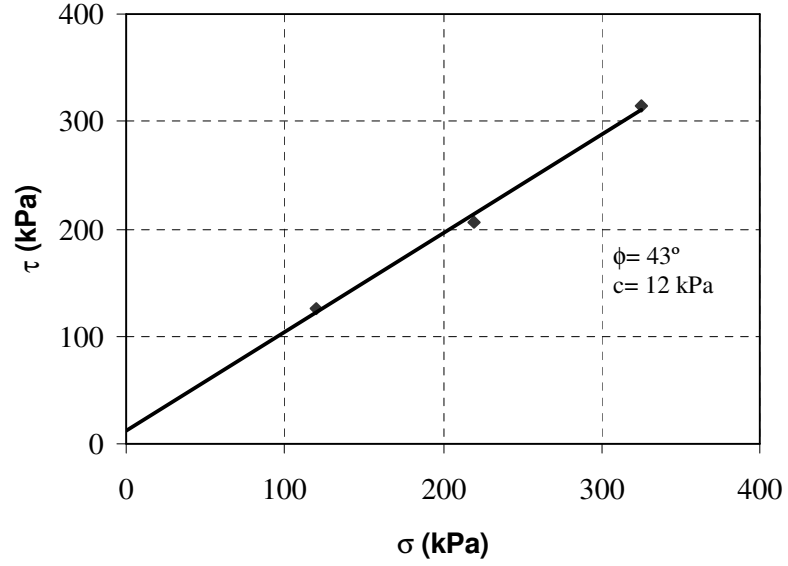
**Şekil A.45 :** Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman  
(Çöp S: % 100, t= 7 gün, Suya Doymun)



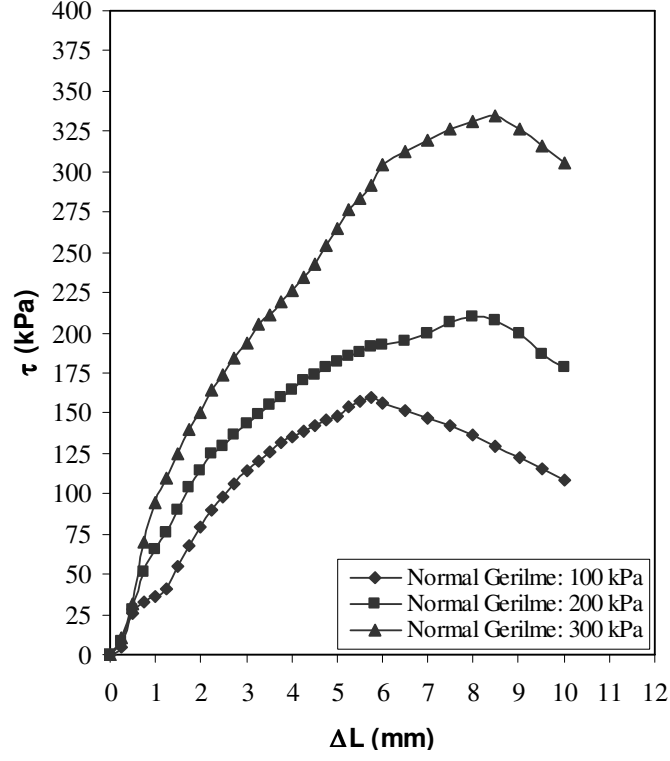
**Şekil A.46 :** Kırılma Zarfı  
(Çöp S: % 100, t= 7 gün, Suya Doymun)



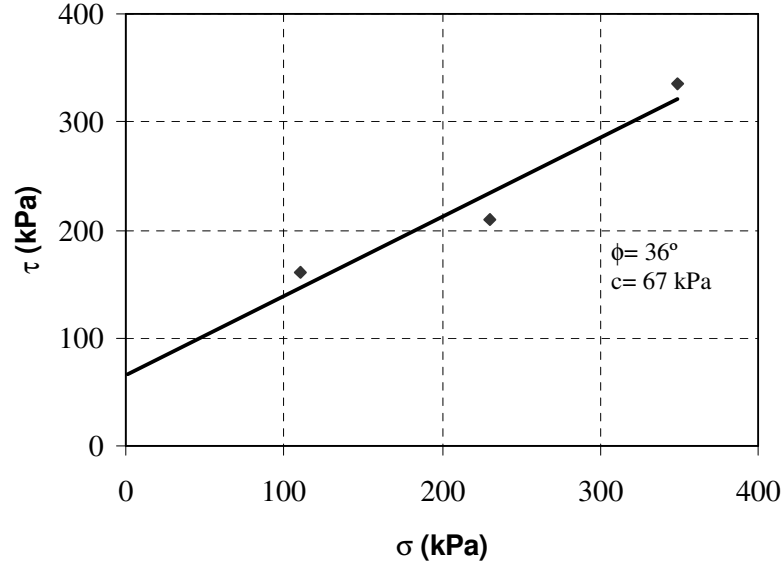
Şekil A.47 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman  
(Çöp S: % 100, t= 30 gün)



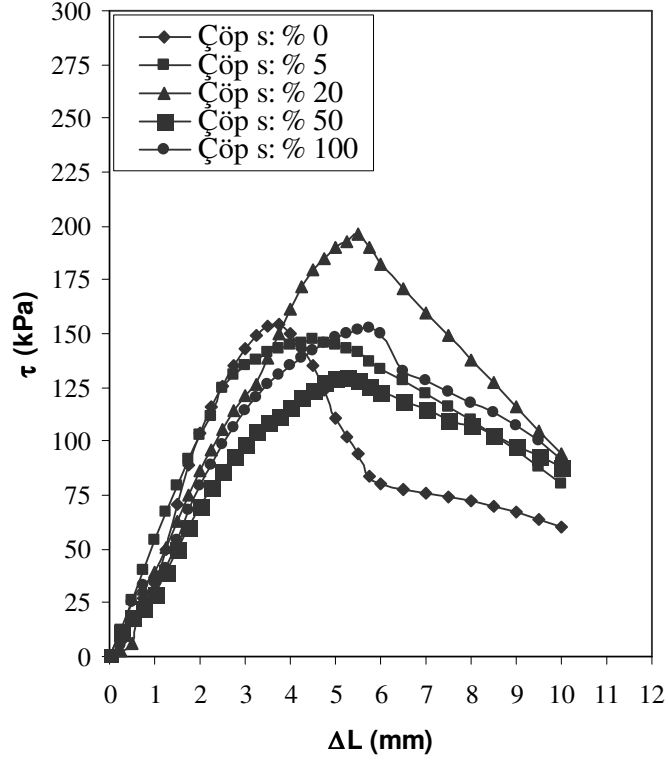
Şekil A.48 : Kırılma Zarfı  
(Çöp S: % 100, t= 30 gün)



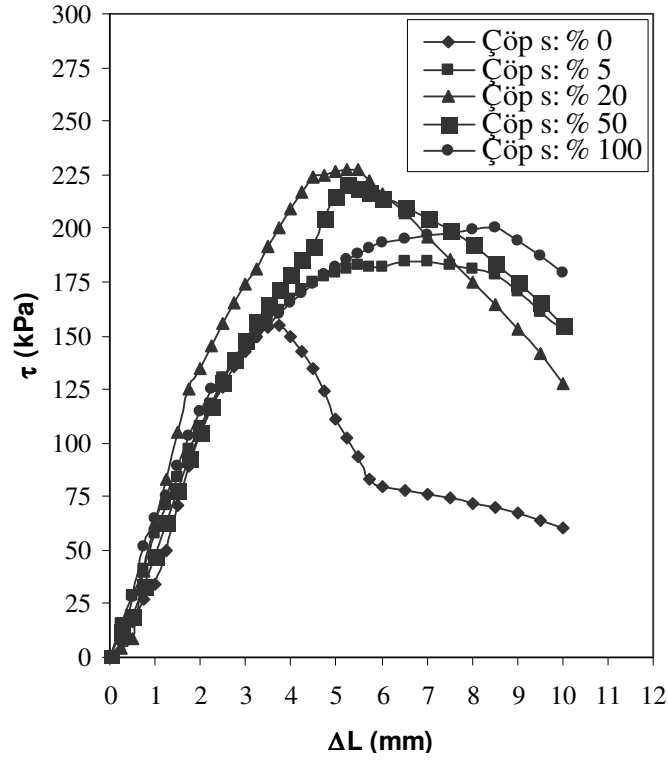
**Şekil A.49** : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman  
(Çöp S: % 100, t= 90 gün)



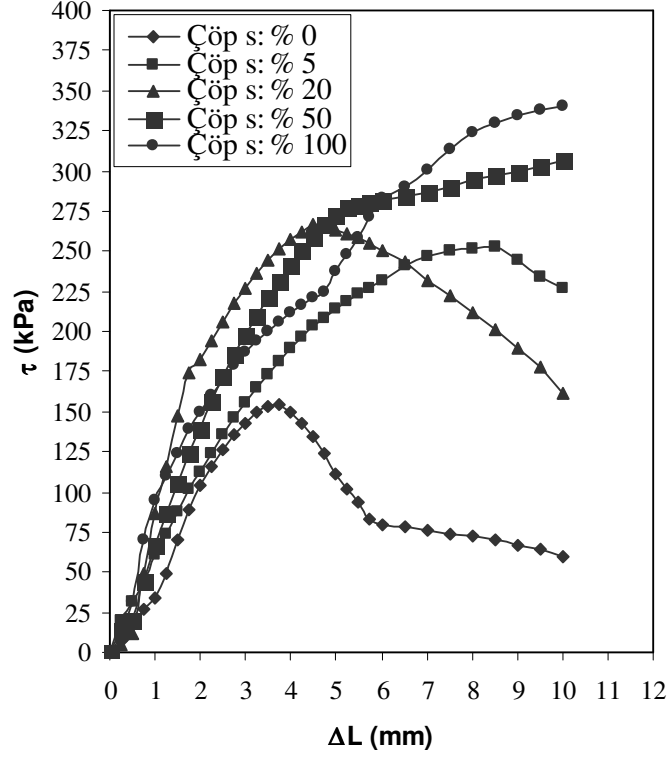
**Şekil A.50** : Kırılma Zarfı  
(Çöp S: % 100, t= 90 gün)



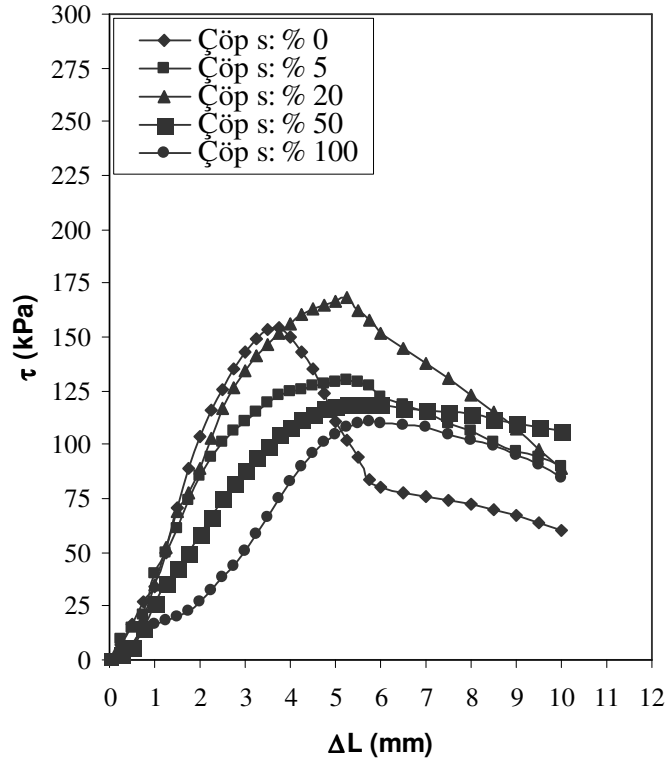
Şekil A.51 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau = 100$  kPa,  $t = 0$  gün)



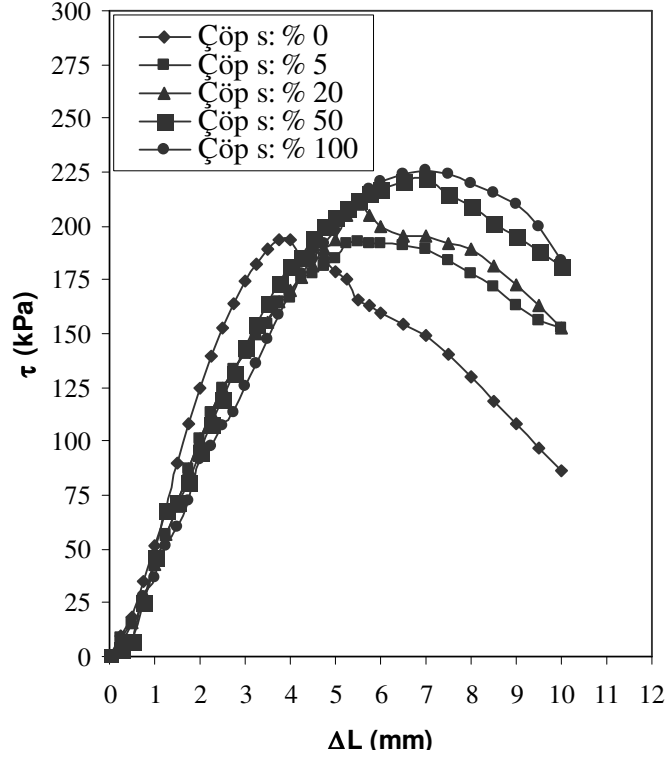
Şekil A.52 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau = 200$  kPa,  $t = 0$  gün)



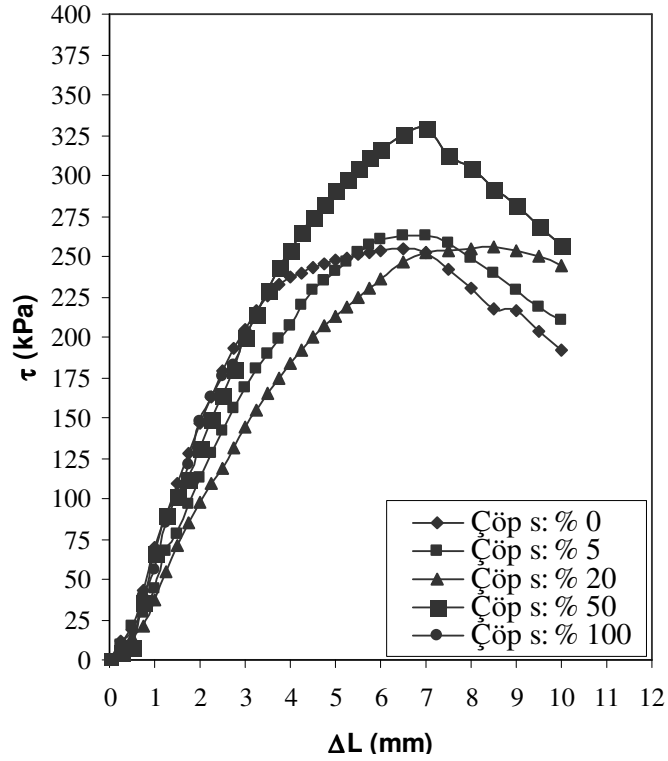
Şekil A.53 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau= 300$  kPa,  $t= 0$  gün)



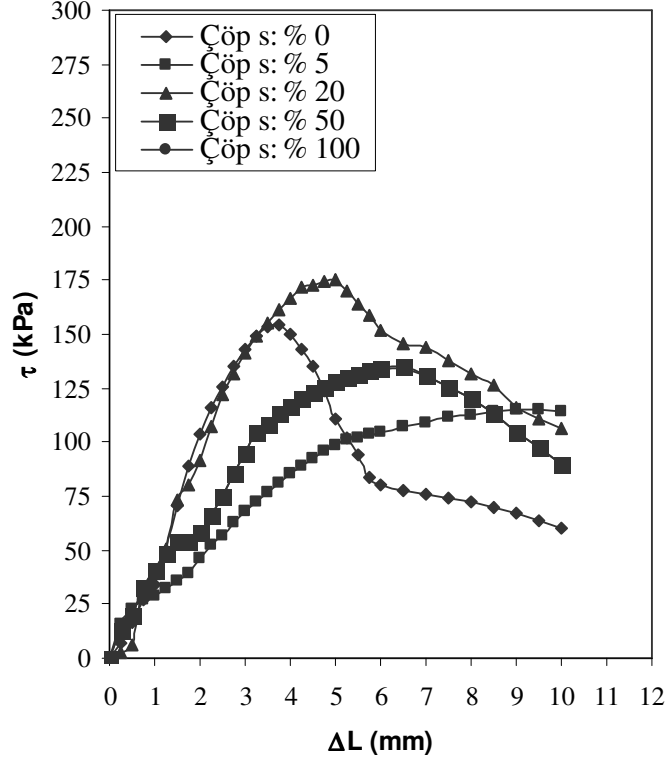
Şekil A.54 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau= 100$  kPa,  $t= 1$  gün)



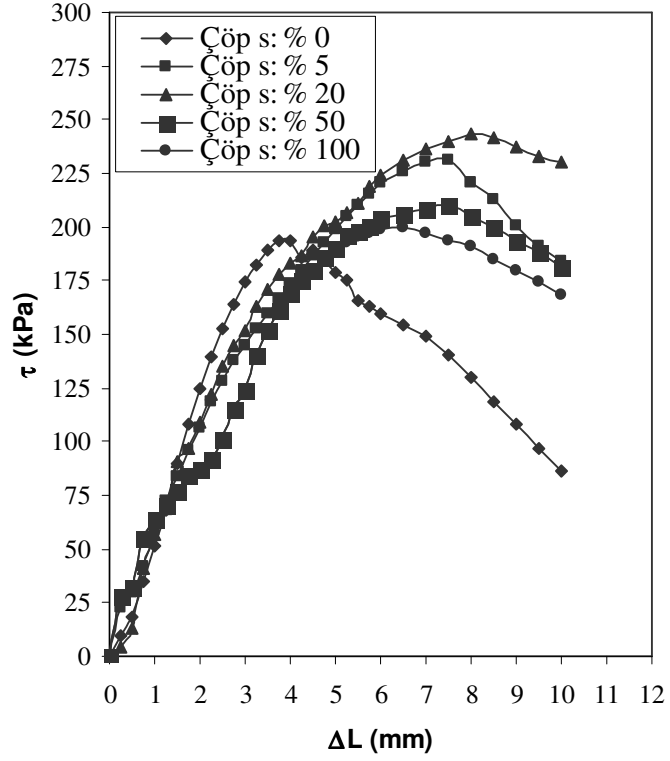
Şekil A.55 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau= 200$  kPa,  $t= 1$  gün)



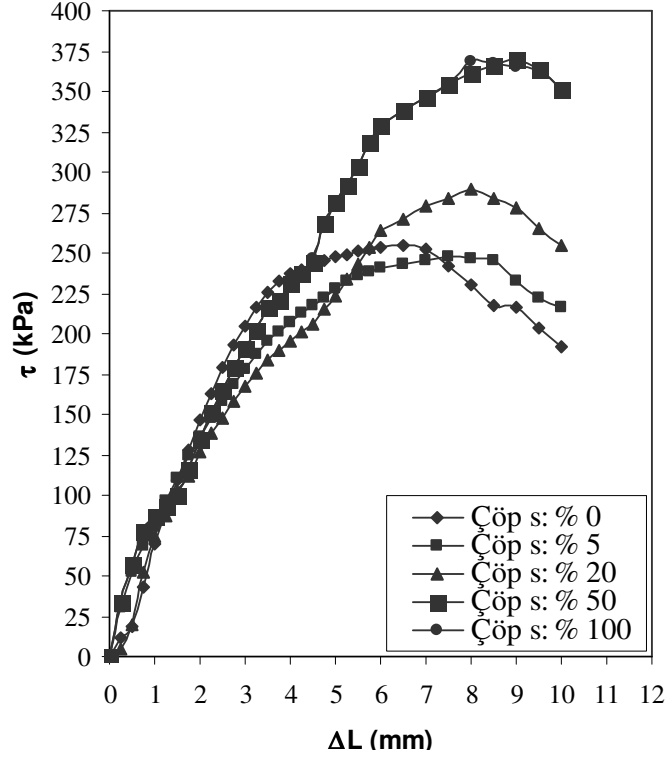
Şekil A.56 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau= 300$  kPa,  $t= 1$  gün)



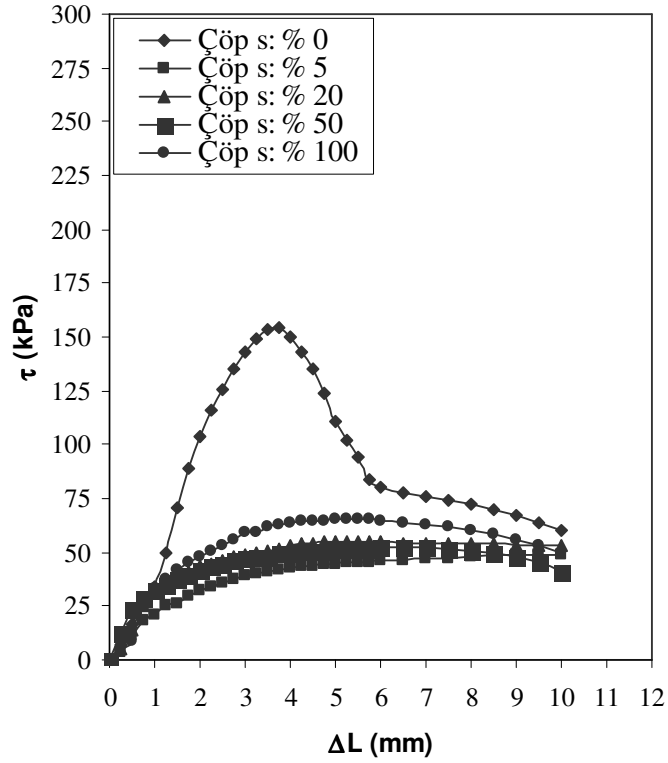
Şekil A.57 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau= 100$  kPa,  $t= 7$  gün)



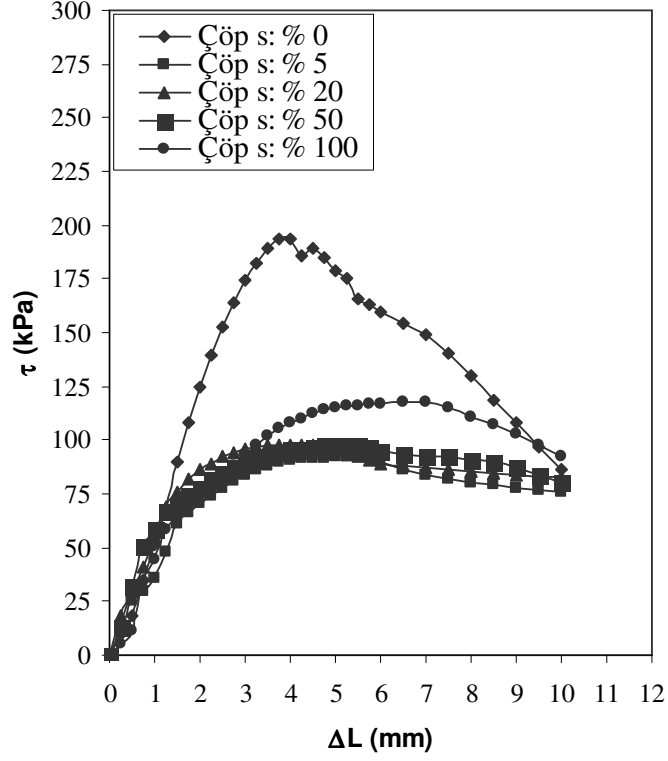
Şekil A.58 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau= 200$  kPa,  $t= 7$  gün)



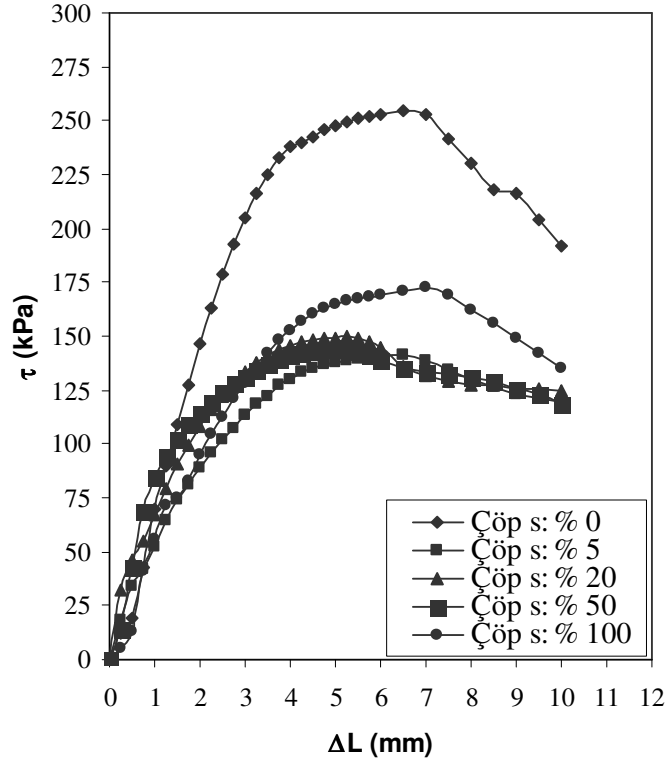
Şekil A.59 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau=300$  kPa,  $t=7$  gün)



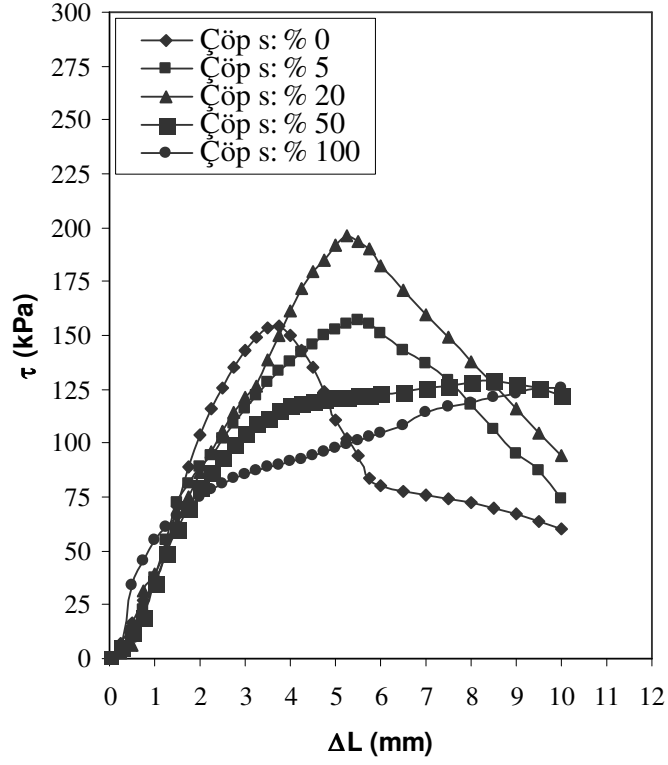
Şekil A.60 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau=100$  kPa,  $t=7$  gün, S.D.)



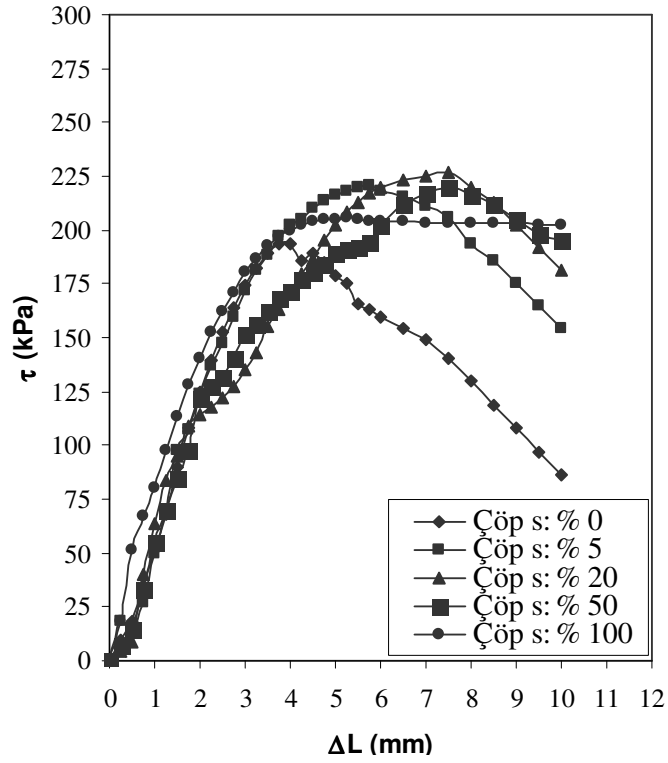
Şekil A.61 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau= 200$  kPa,  $t= 7$ , S.D.)



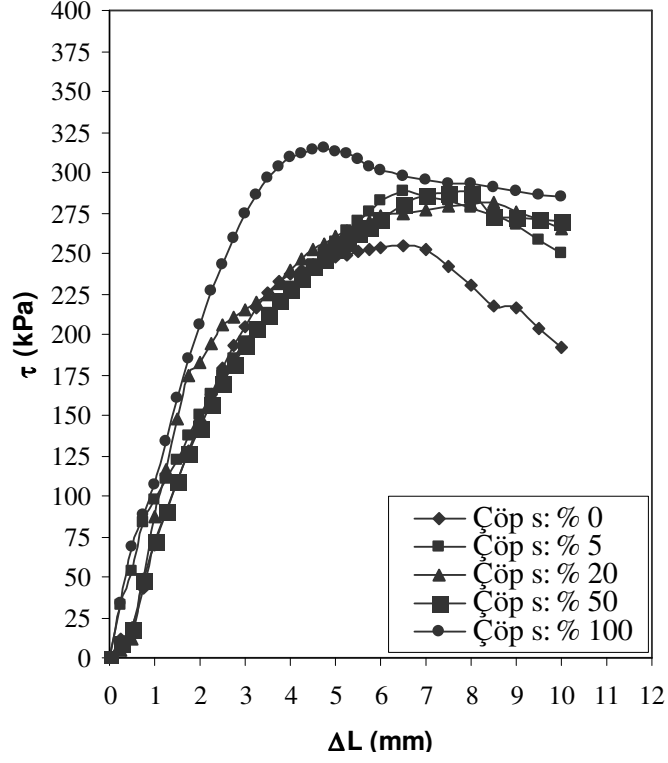
Şekil A.62 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau= 300$  kPa,  $t= 7$  gün, S.D.)



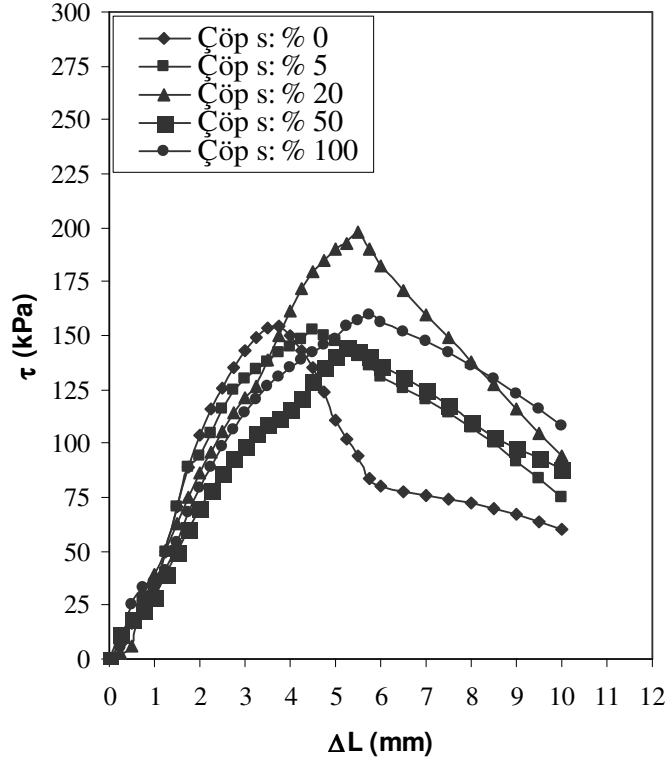
Şekil A.63 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau= 100$  kPa,  $t=30$  gün)



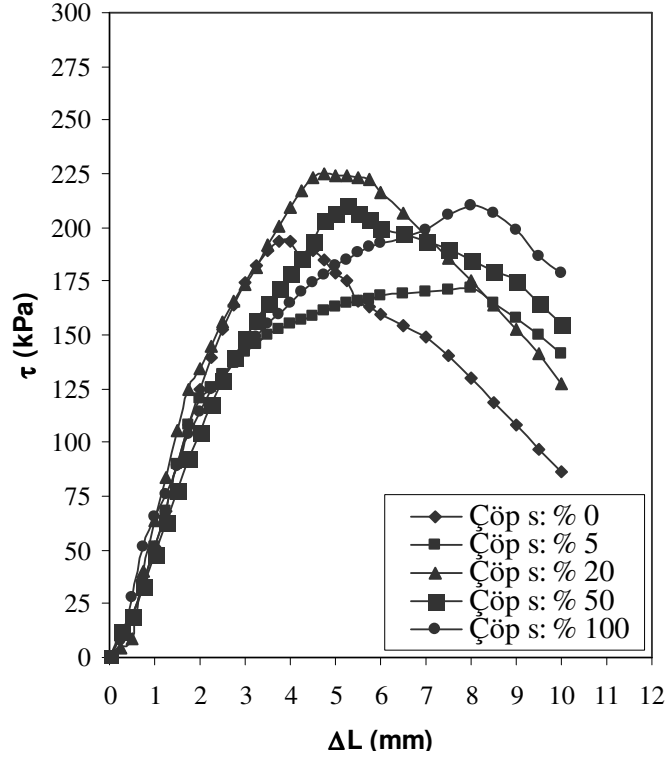
Şekil A.64 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau= 200$  kPa,  $t= 30$  gün)



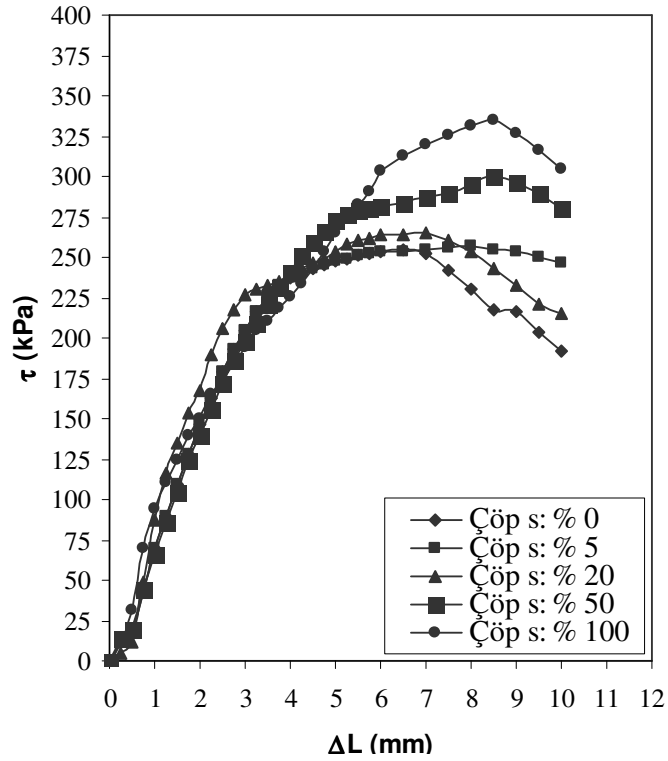
Şekil A.65 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau= 300$  kPa,  $t= 30$  gün)



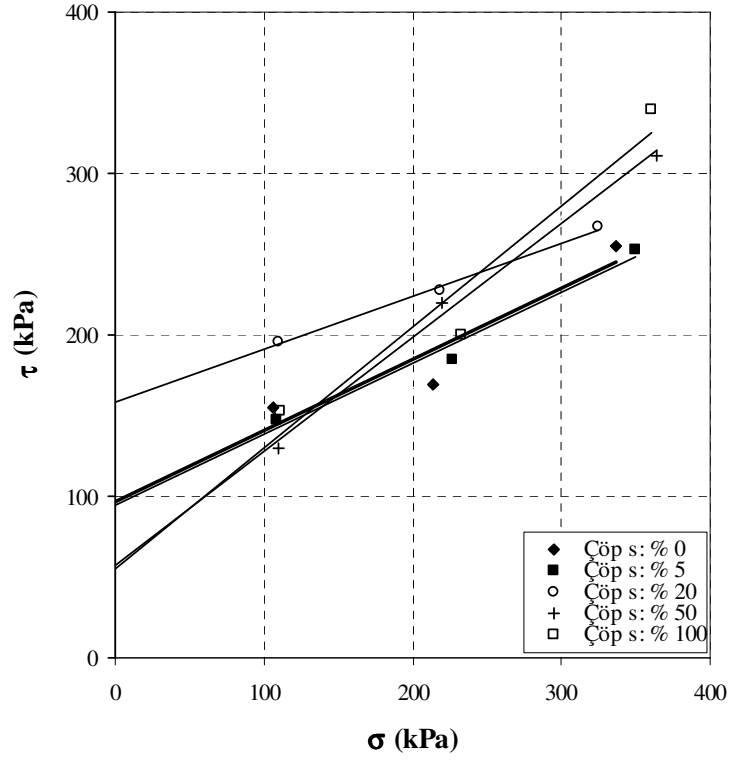
Şekil A.66 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau= 100$  kPa,  $t= 90$  gün)



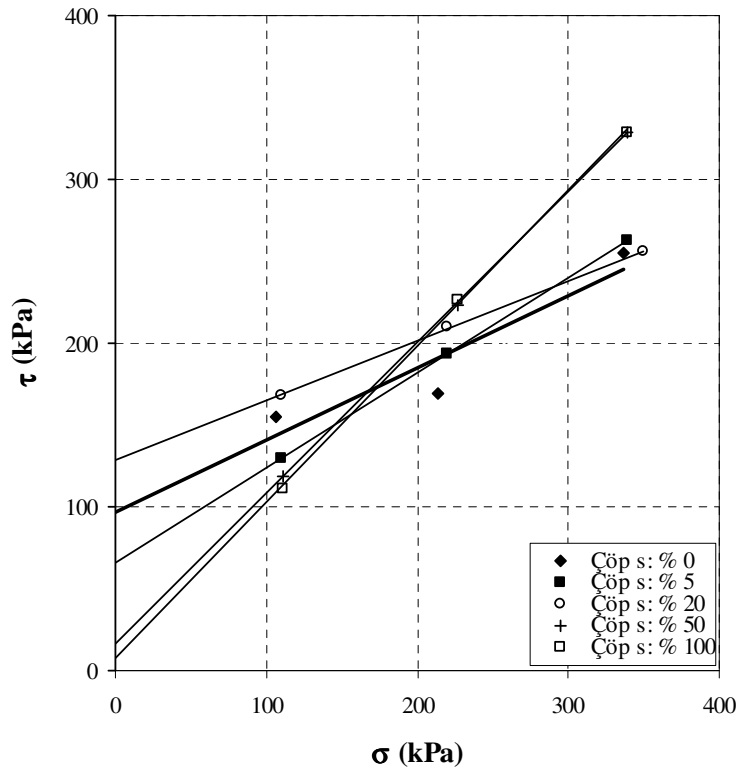
Şekil A.67 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau= 200$  kPa,  $t= 90$  gün)



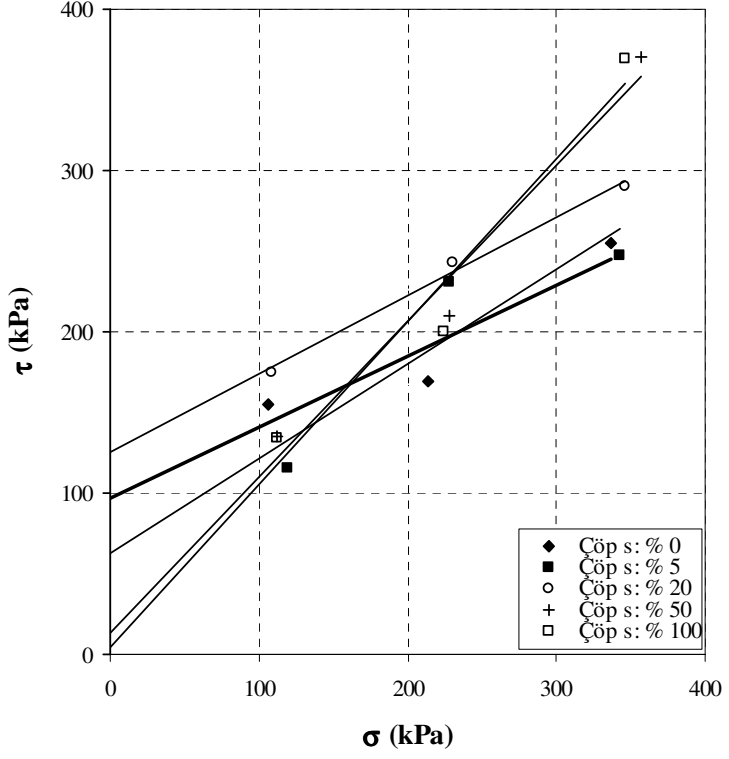
Şekil A.68 : Kayma Gerilmesi-Yatay Deplasman ( $\tau= 300$  kPa,  $t= 90$  gün)



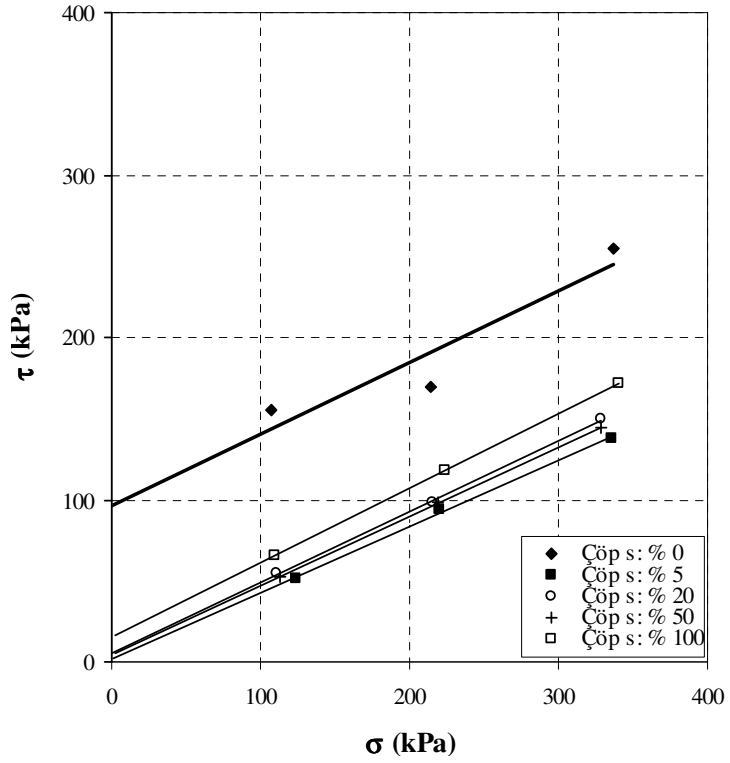
Şekil A.69 : Kırılma Zarfı (t= 0 gün)



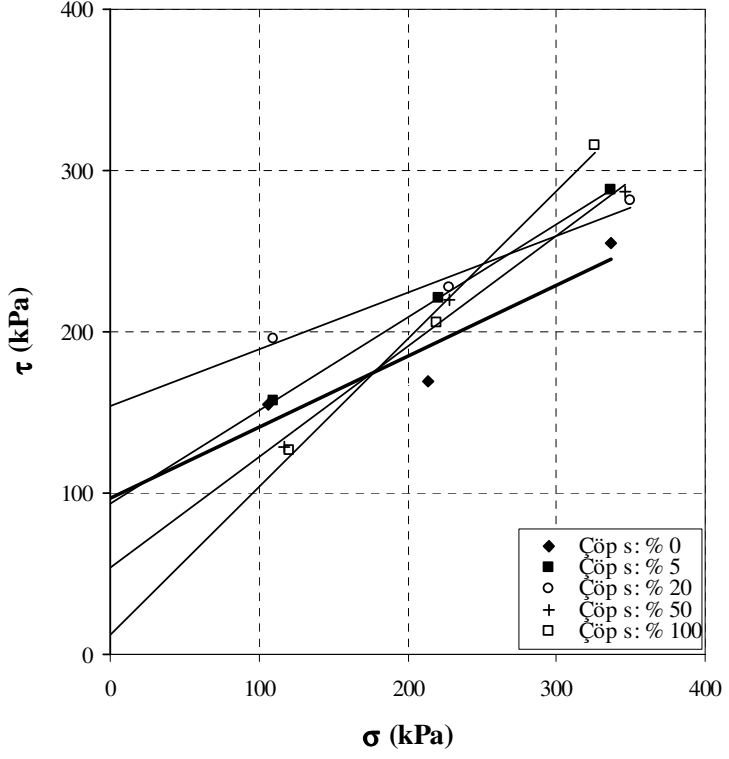
Şekil A.70 : Kırılma Zarfı (t= 1 gün)



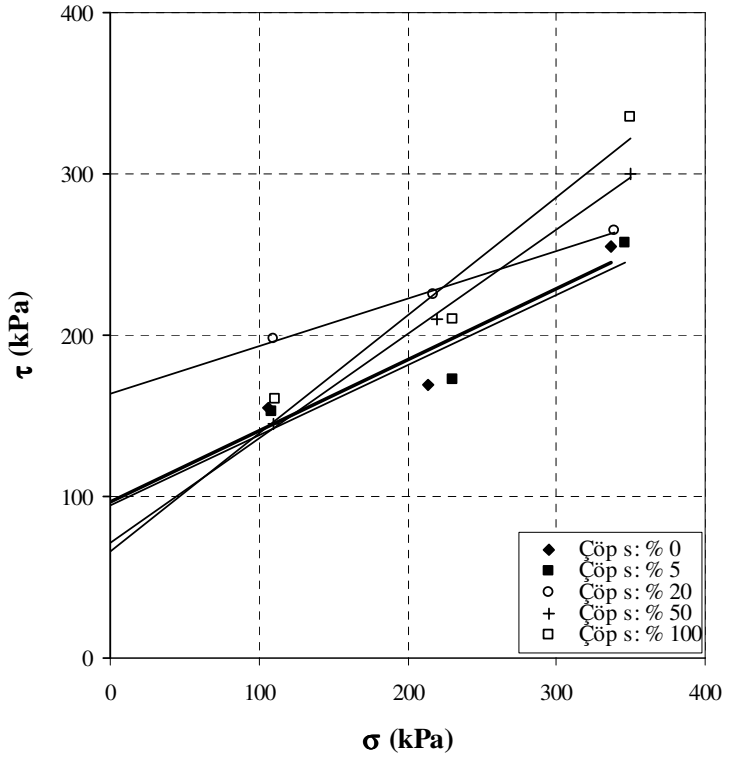
Şekil A.71 : Kırılma Zarfı (t= 7 gün)



Şekil A.72 : Kırılma Zarfı (t= 7 gün, Suya Doymun)

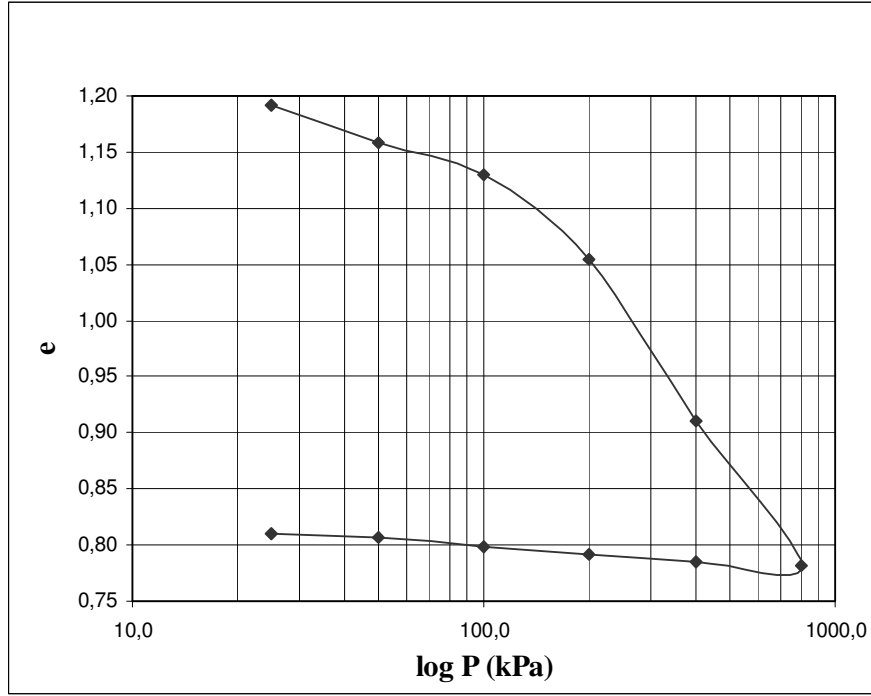


Şekil A.73 : Kırılma Zarfı (t= 30 gün)

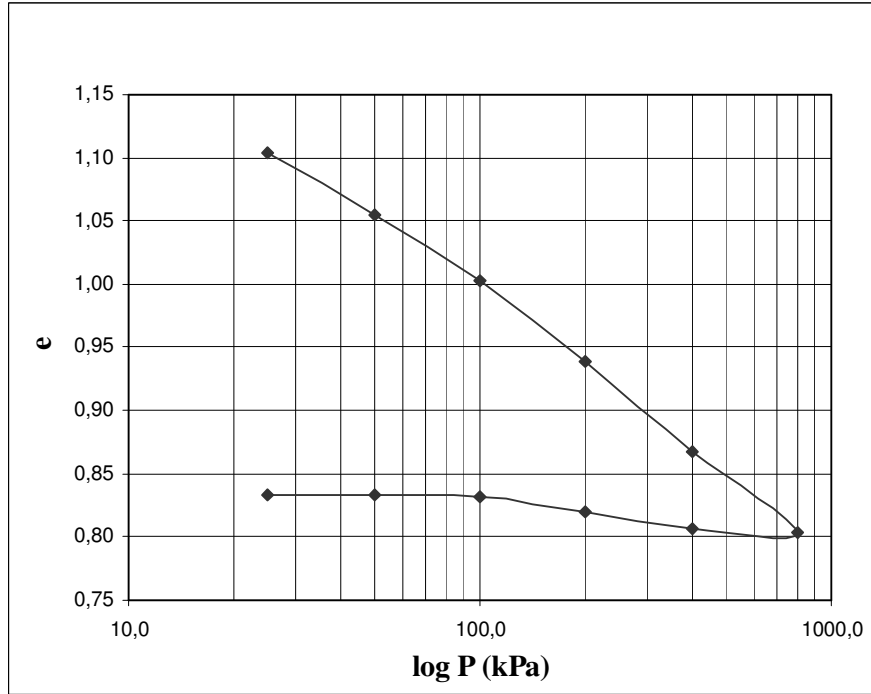


Şekil A.74 : Kırılma Zarfı (t= 90 gün)

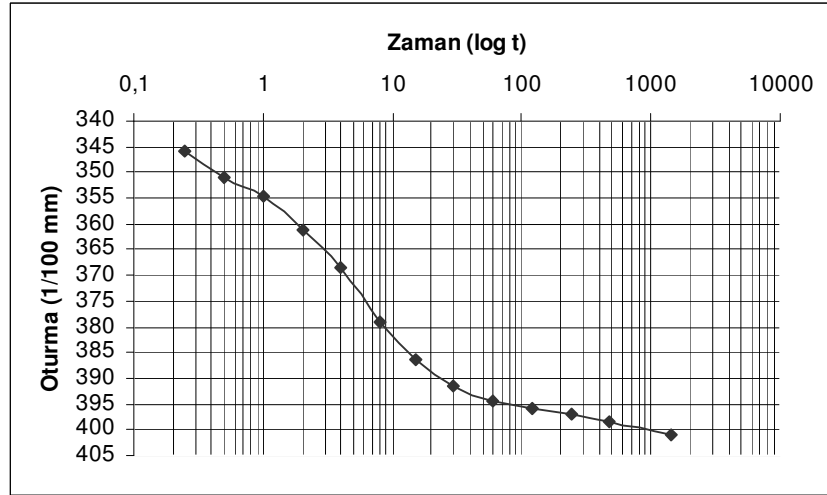
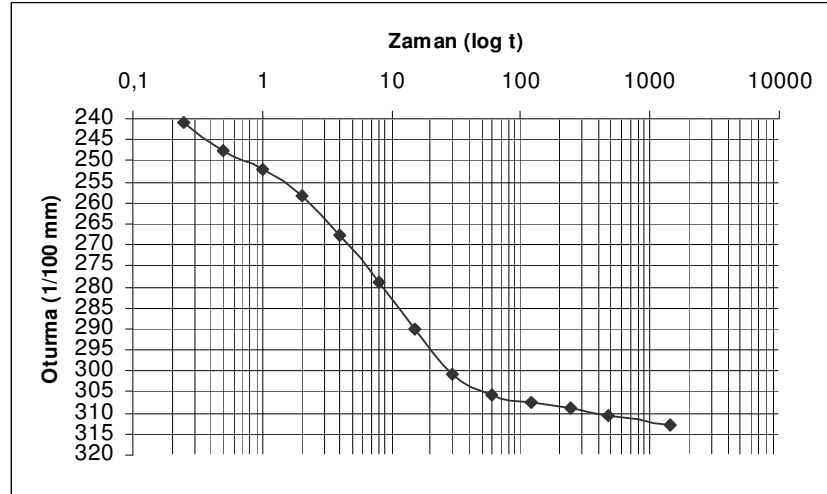
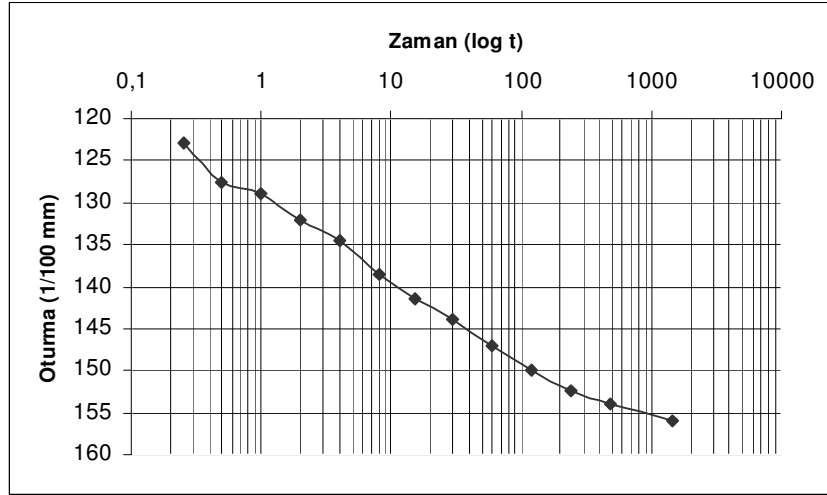
**EK - B**



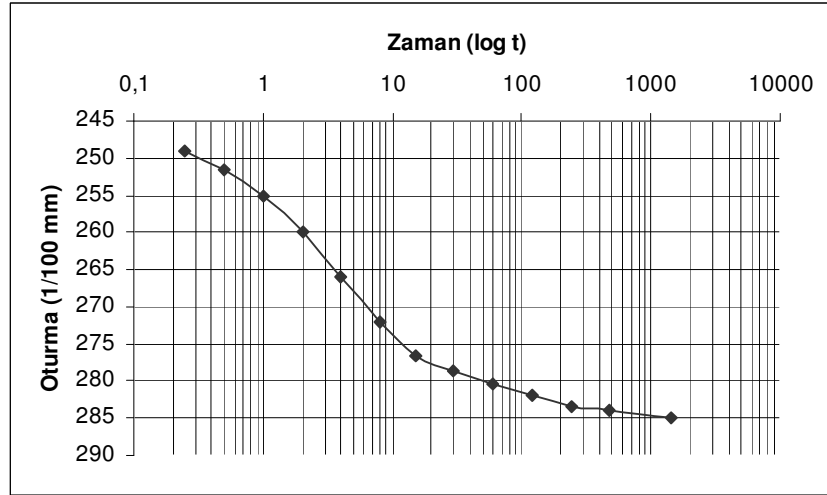
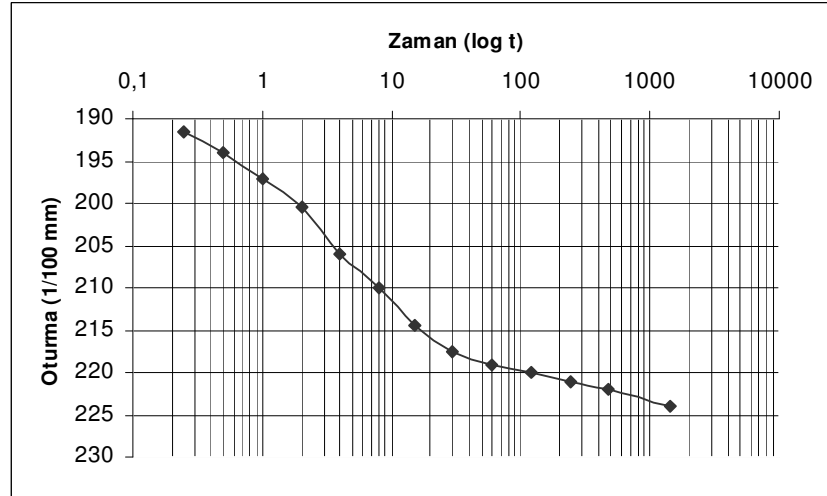
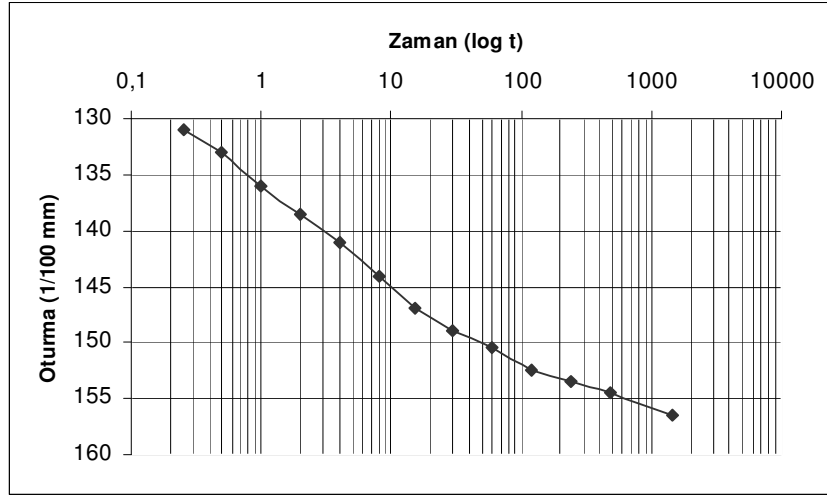
Şekil B.1 : e-log P (Temiz Zemin)



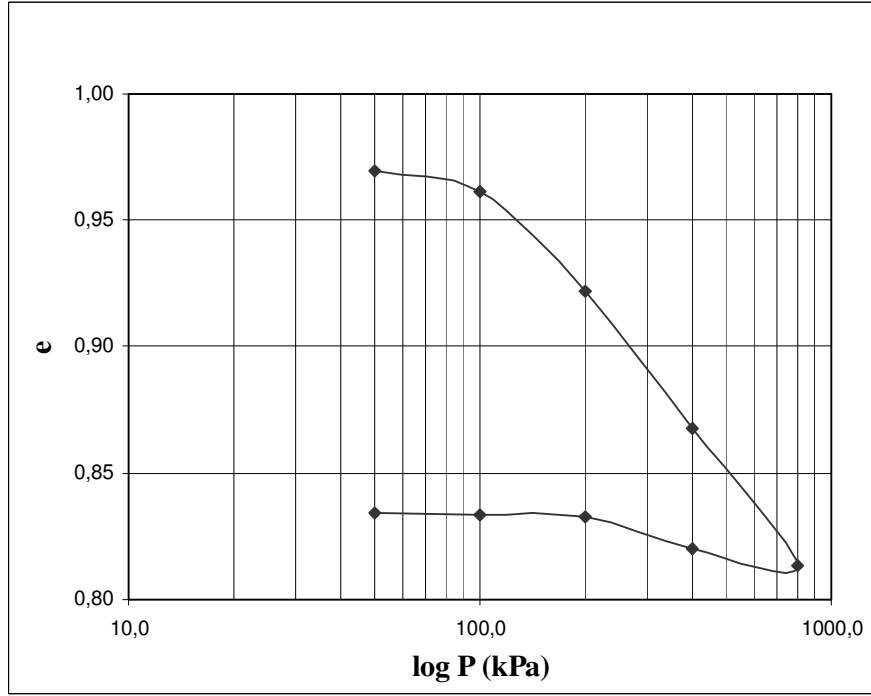
Şekil B.2 : e-log P (Çöp S: % 5, t= 0 gün)



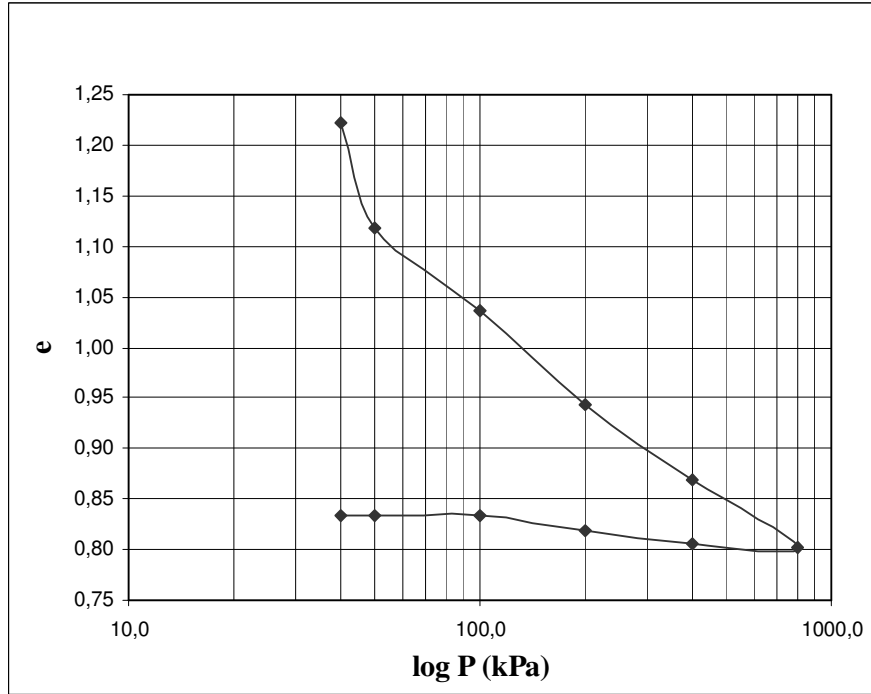
Şekil B.3 : Oturma-log t (Temiz Zemin)



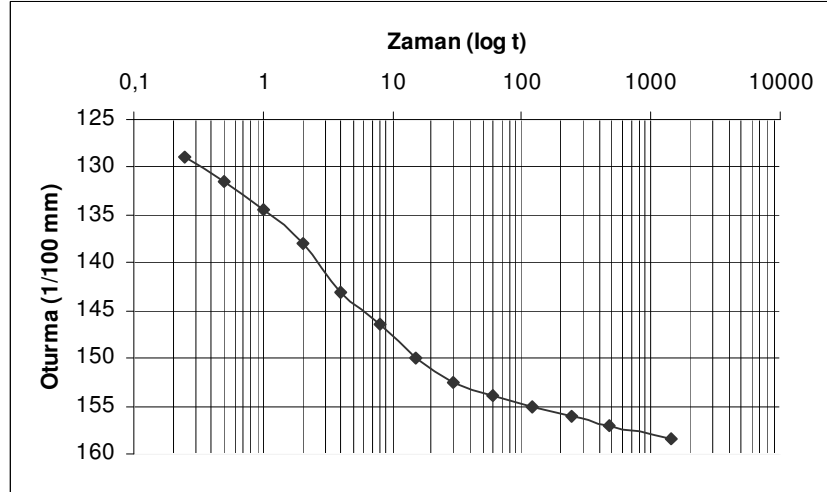
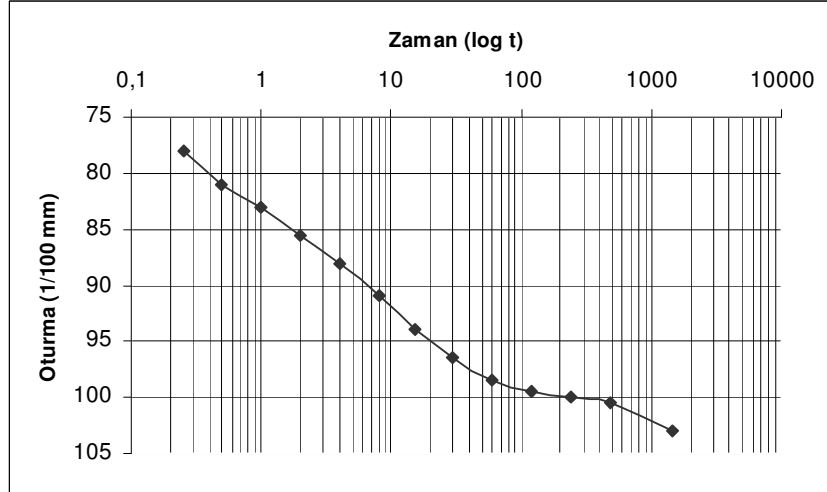
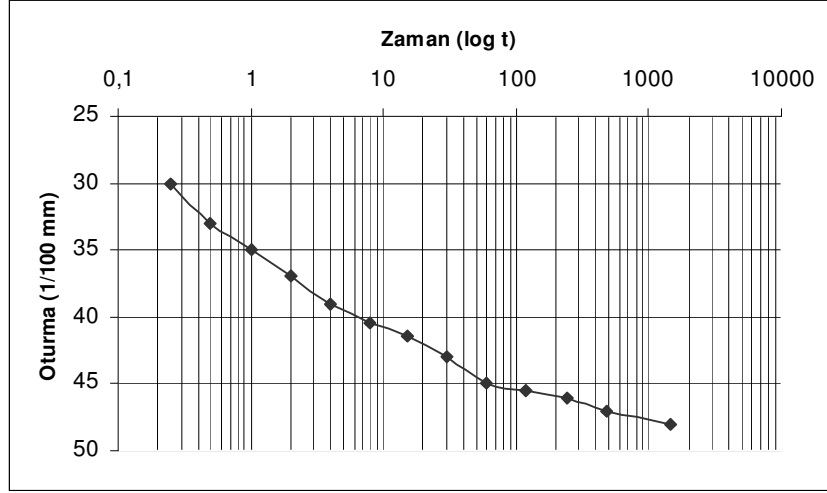
Şekil B.4 : Oturma-log t (Çöp S: % 5, t= 0 gün)



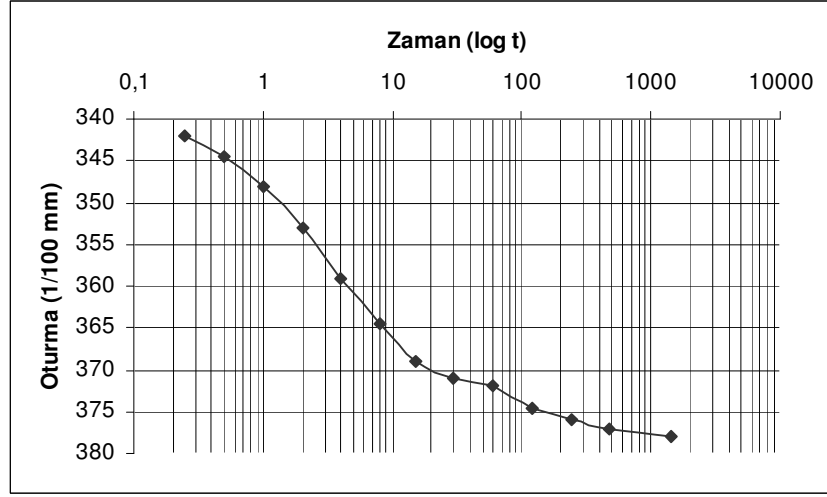
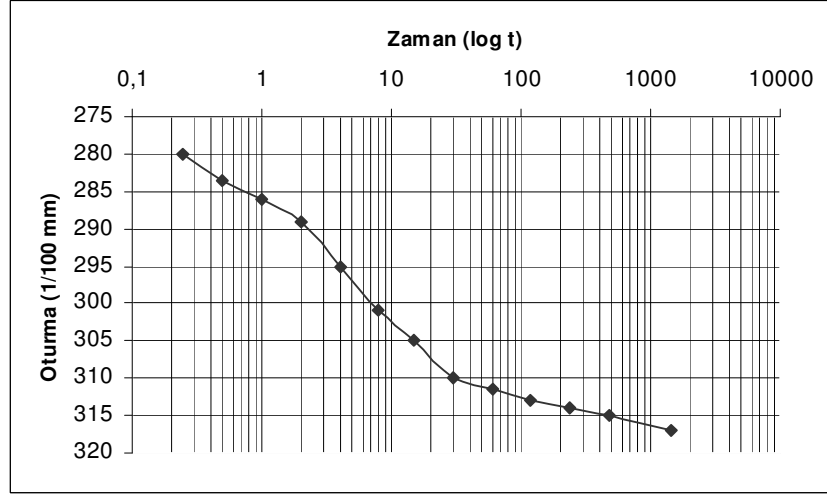
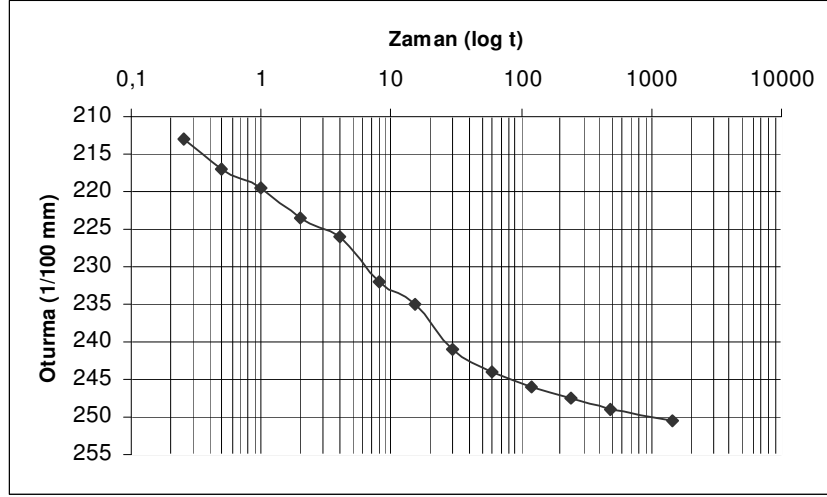
Şekil B.5 : e-log P (Çöp S: % 5, t= 30 gün)



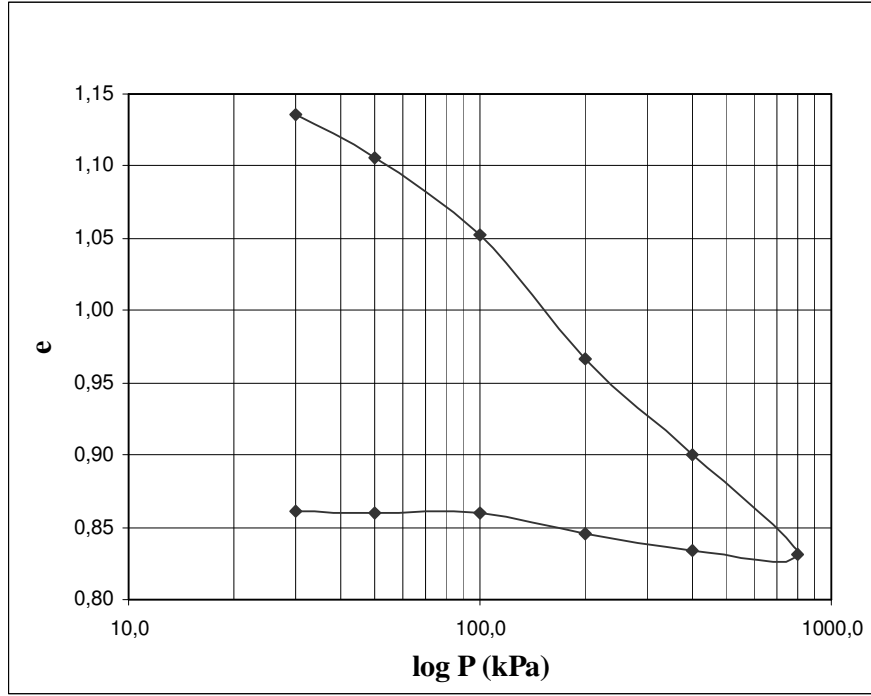
Şekil B.6 : e-log P (Çöp S: % 5, t= 90 gün)



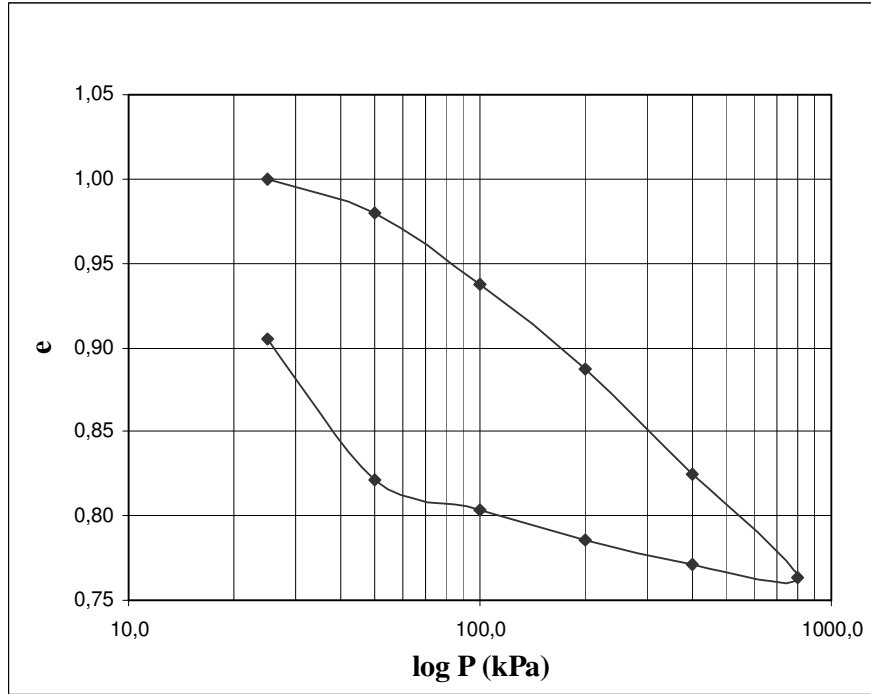
Şekil B.7 : Oturma-log t (Çöp S: % 5, t= 30 gün)



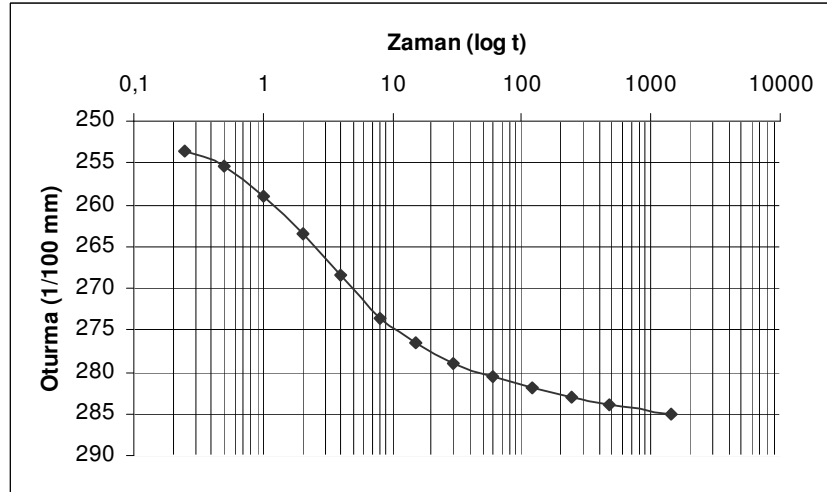
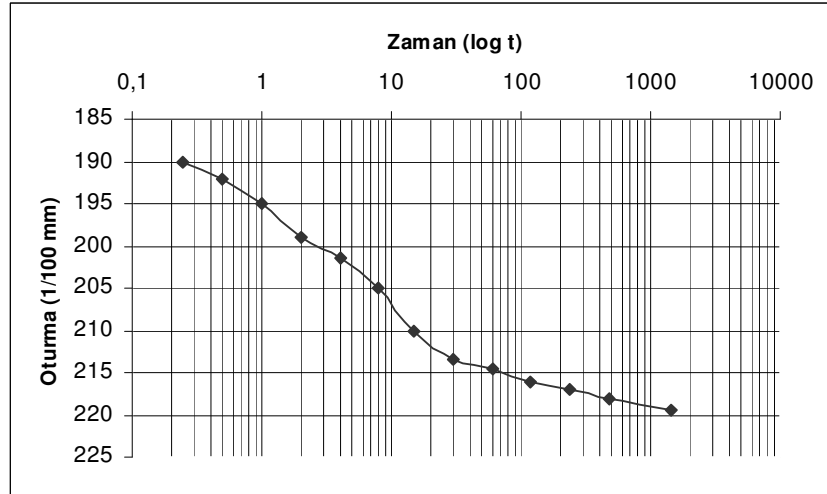
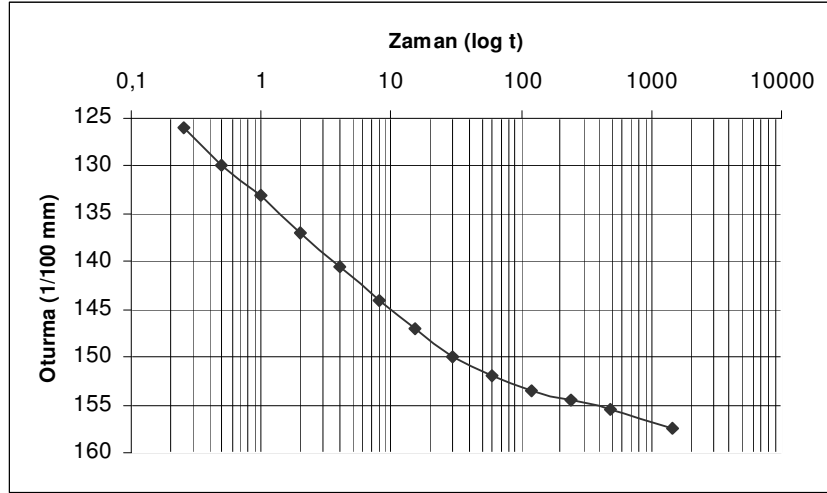
Şekil B.8 : Oturma-log t (Çöp S: % 5, t= 90 gün)



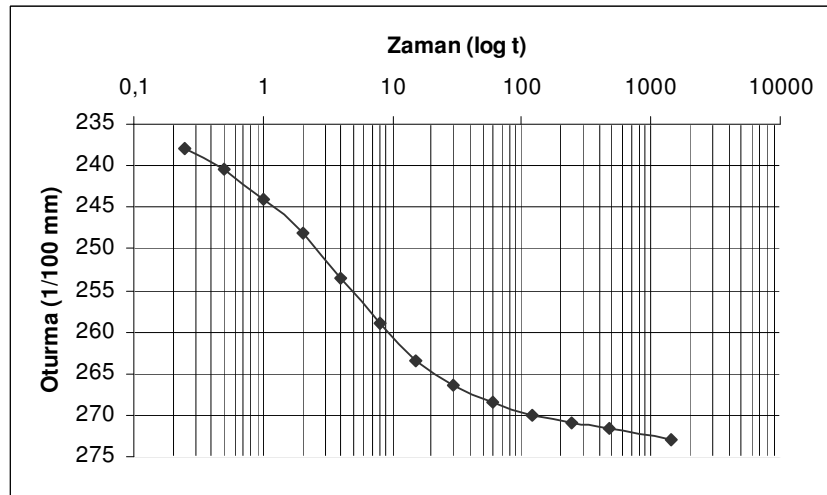
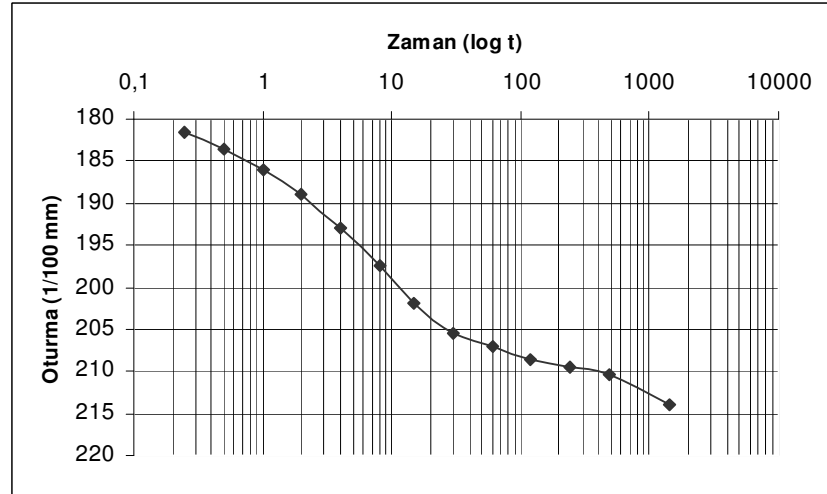
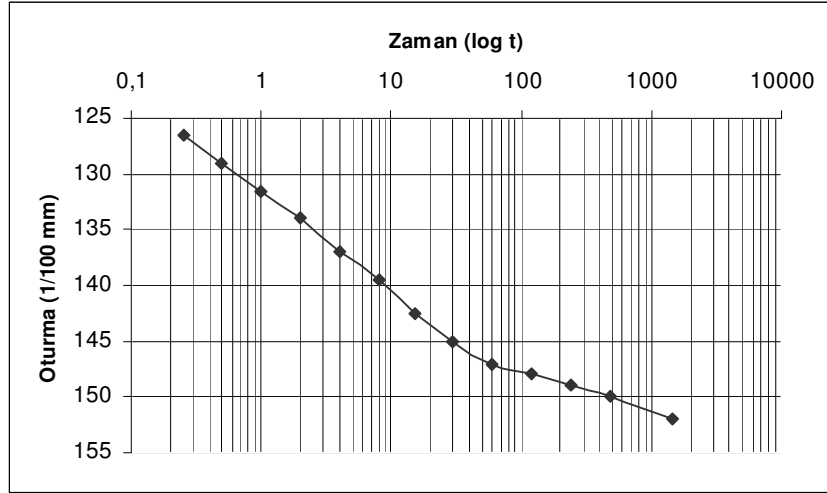
Şekil B.9 : e-log P (Çöp S: % 20, t= 0 gün)



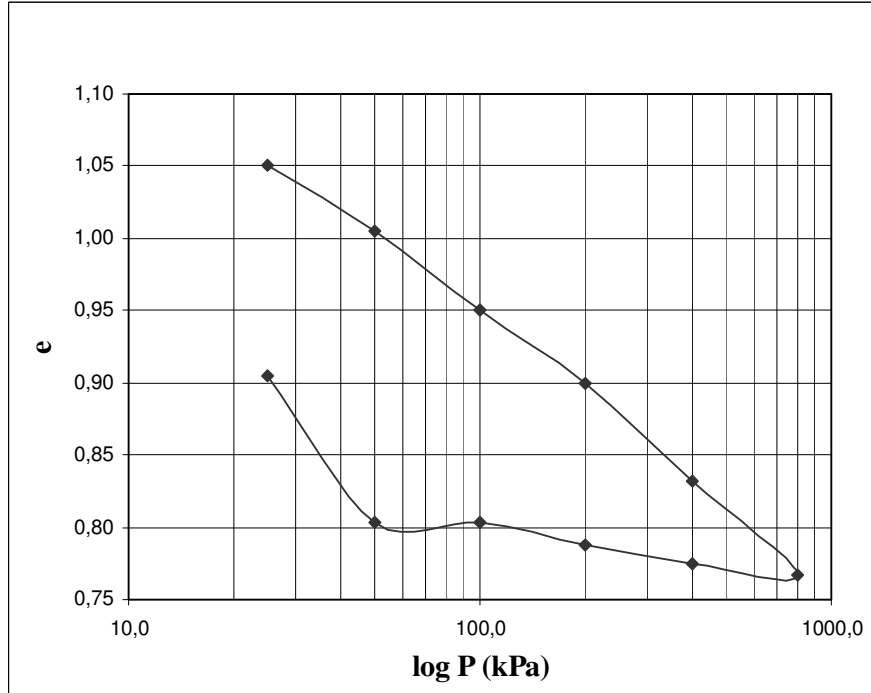
Şekil B.10 : e-log P (Çöp S: % 20, t= 30 gün)



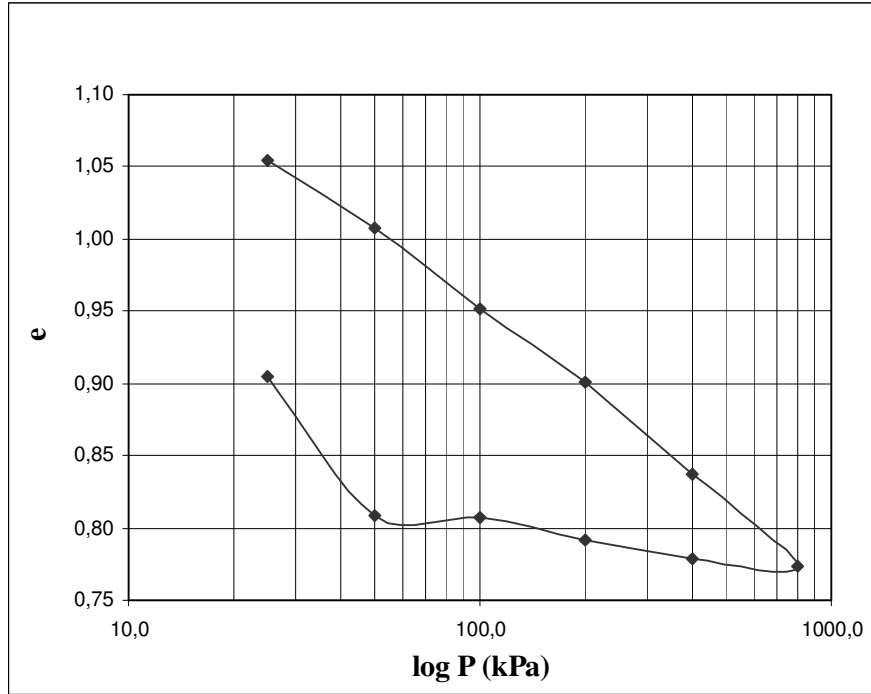
Şekil B.11 : Oturma-log t (Çöp S: % 20, t= 0 gün)



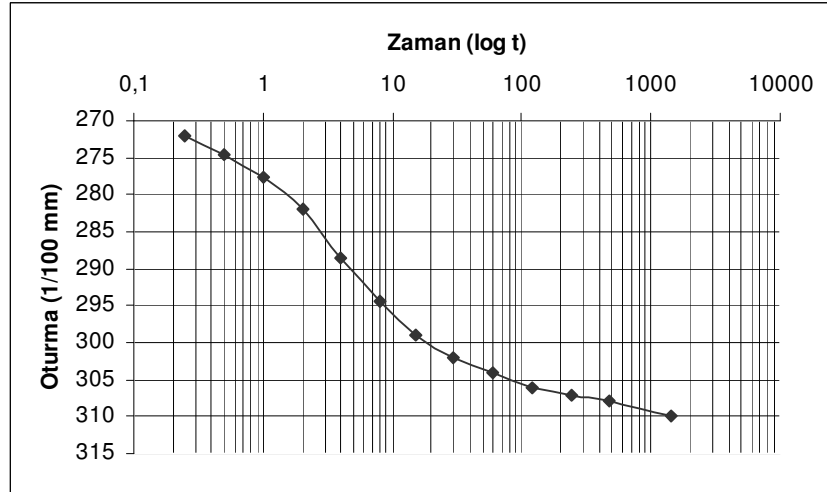
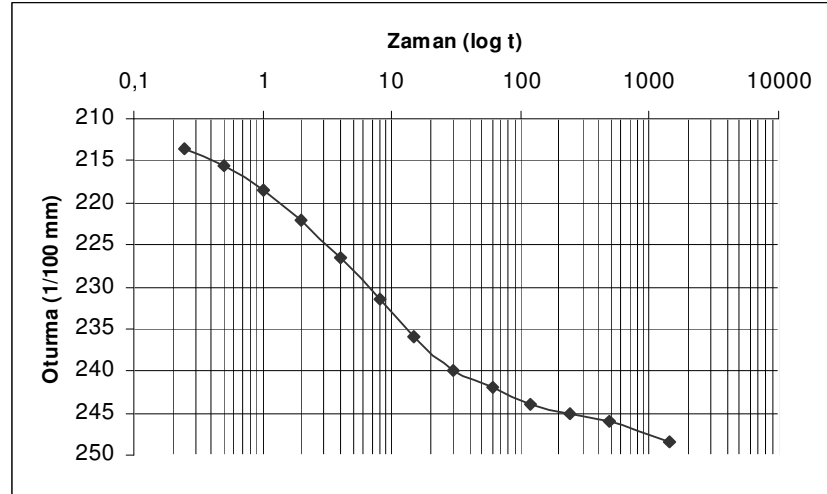
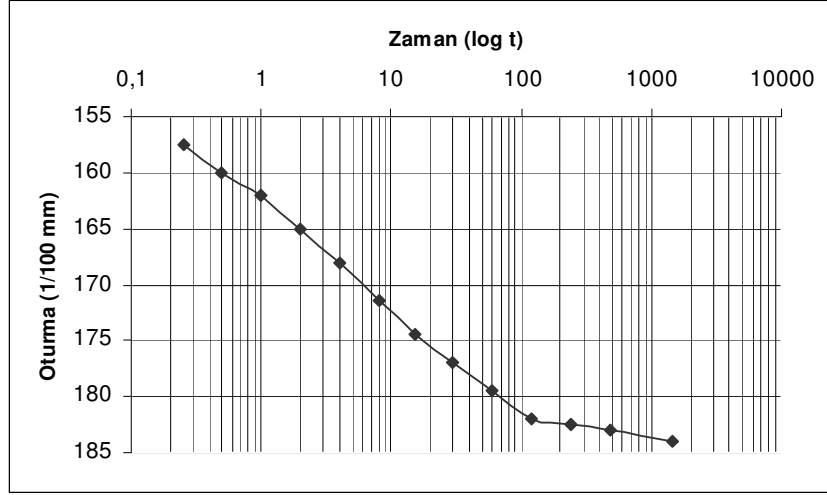
Şekil B.12 : Oturma-log t (Çöp S: % 20, t= 30 gün)



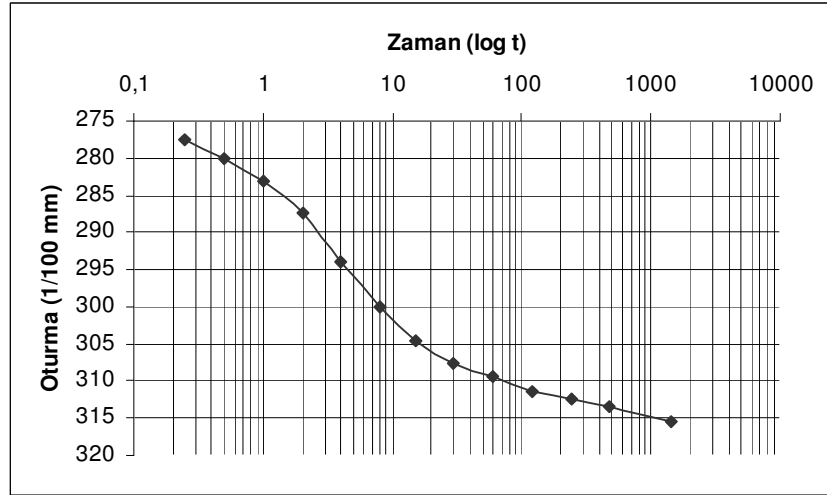
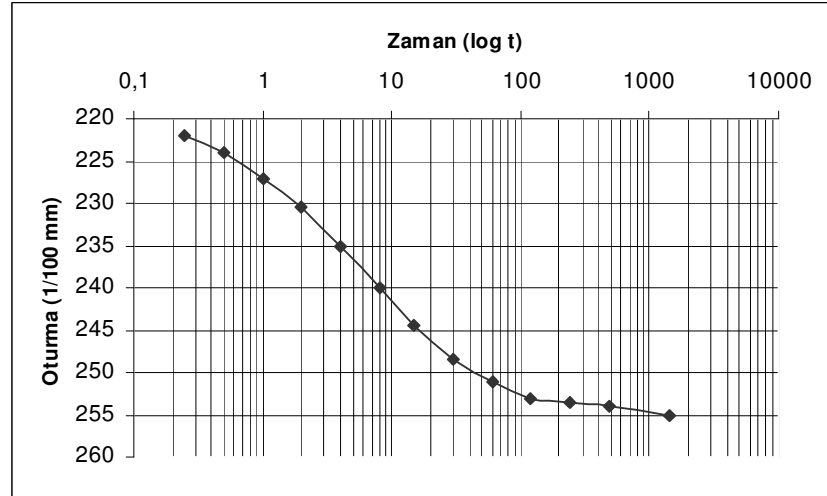
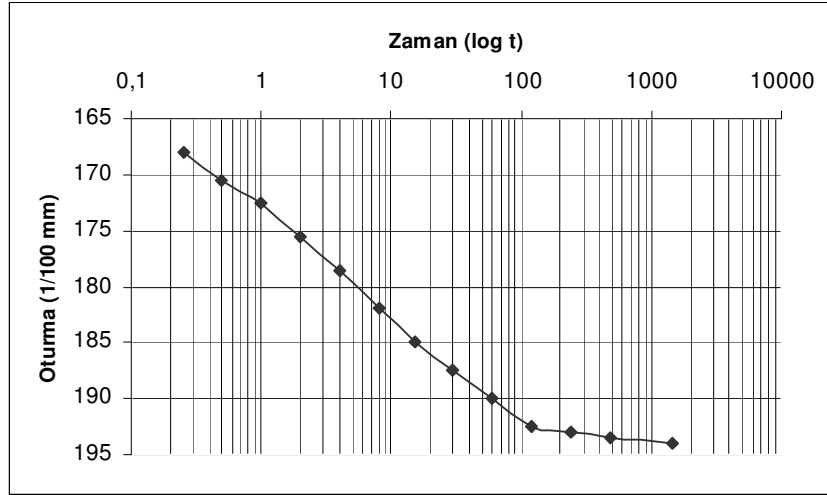
Şekil B.13 : e-log P (Çöp S: % 20, t= 90 gün)



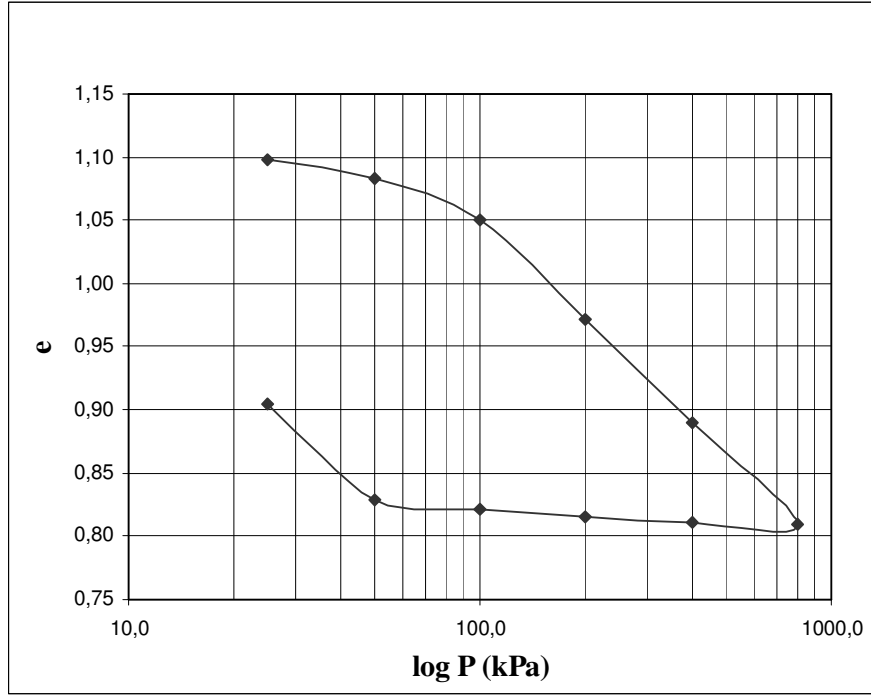
Şekil B.14 : e-log P (Çöp S: % 50, t= 0 gün)



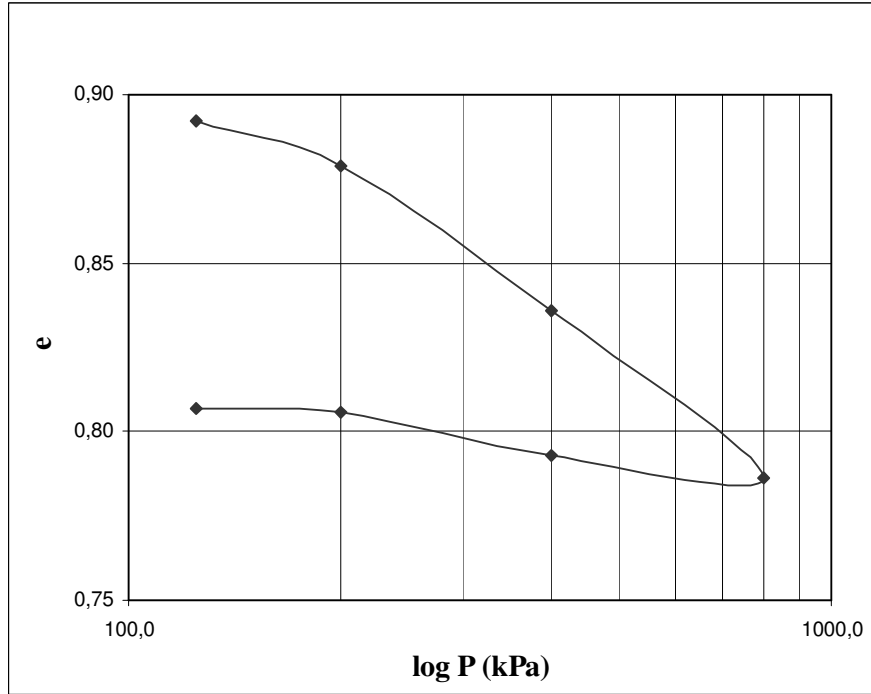
Şekil B.15 : Oturma-log t (Çöp S: % 20, t= 90 gün)



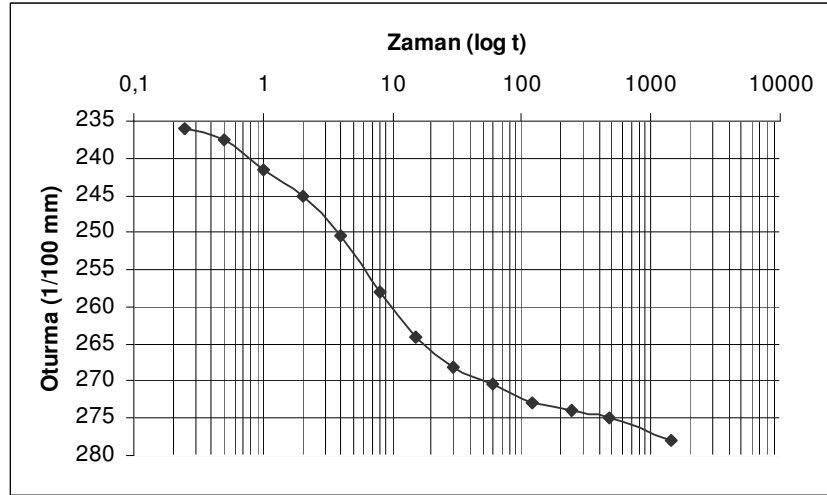
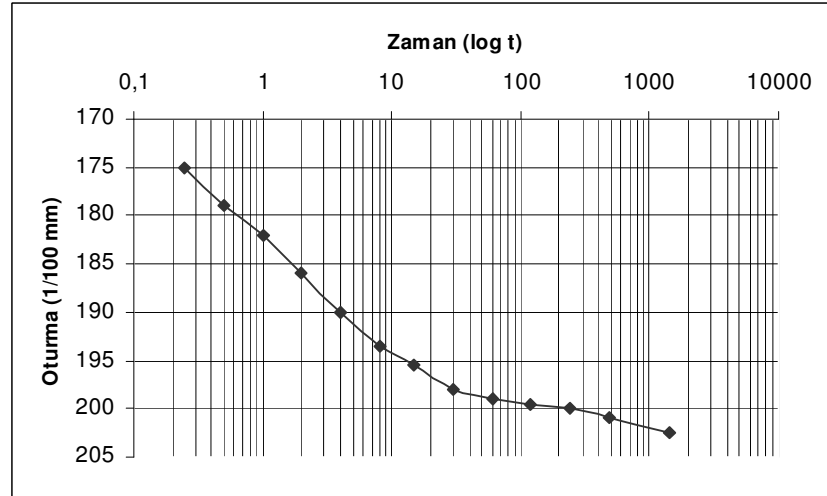
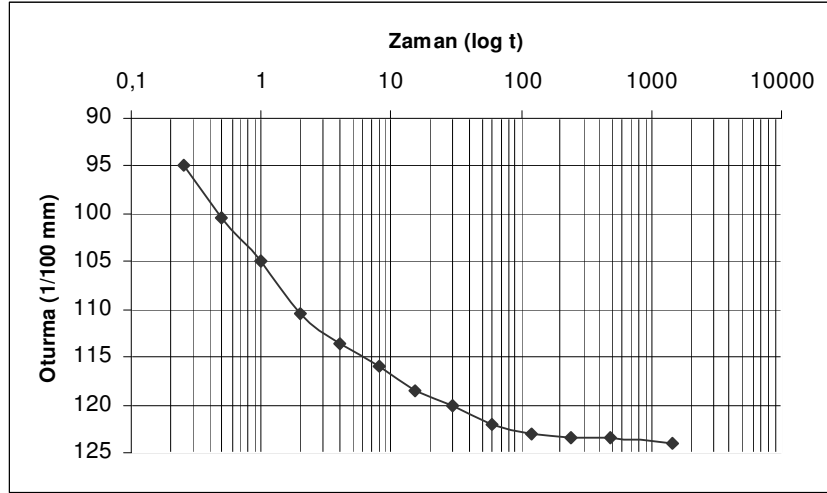
Şekil B.16 : Oturma-log t (Çöp S: % 50, t= 0 gün)



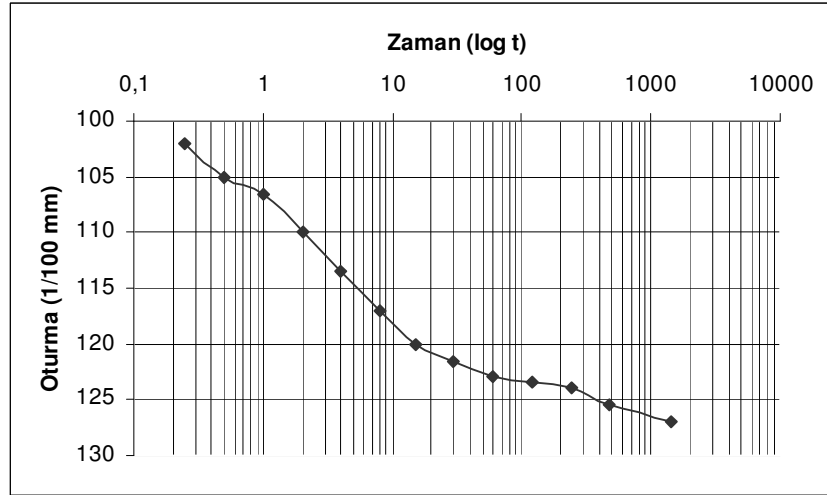
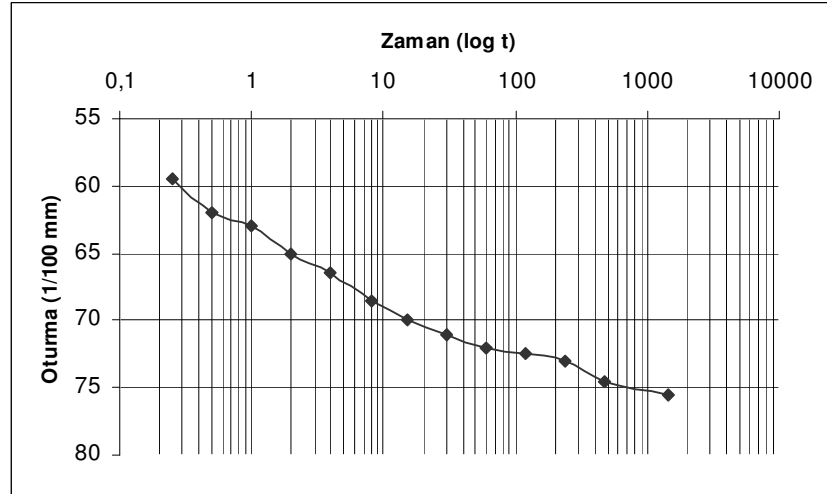
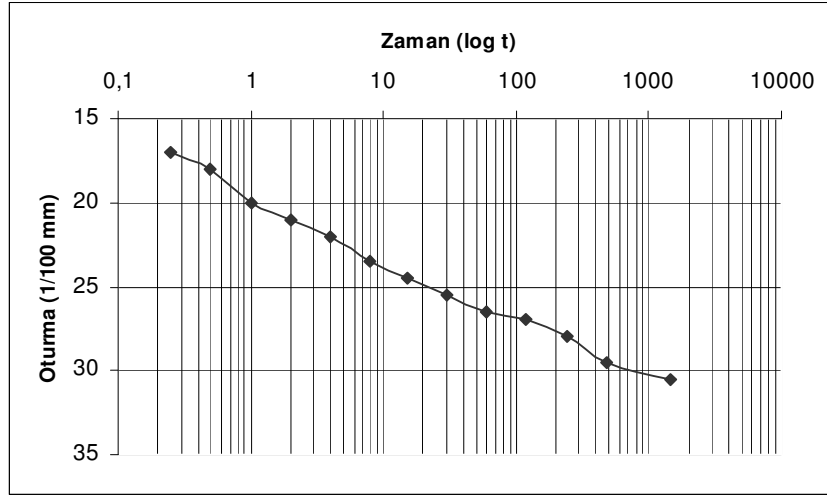
Şekil B.17 :  $e$ - $\log P$  (Çöp S: % 50,  $t= 30$  gün)



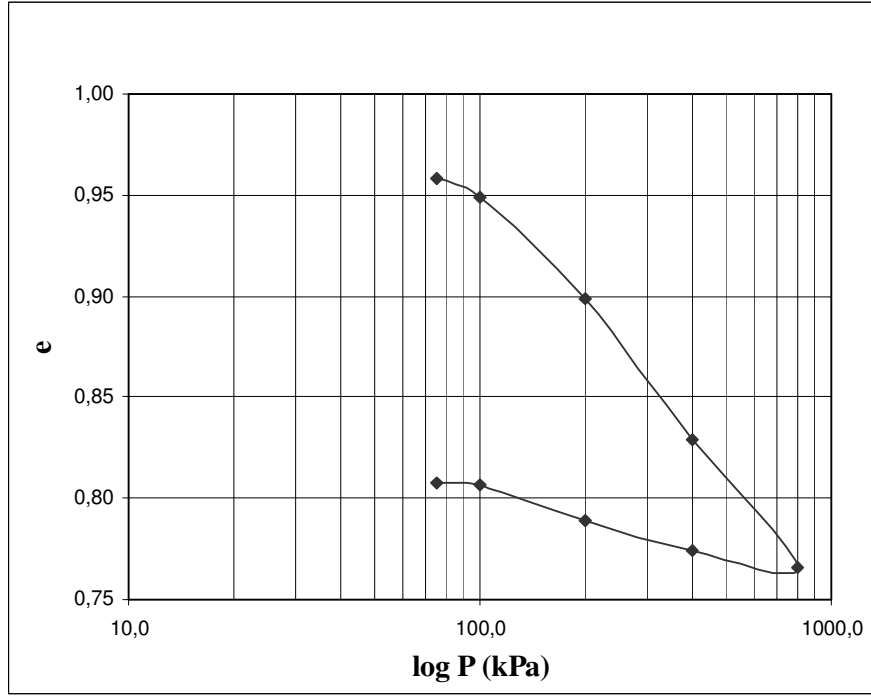
Şekil B.18 :  $e$ - $\log P$  (Çöp S: % 50,  $t= 90$  gün)



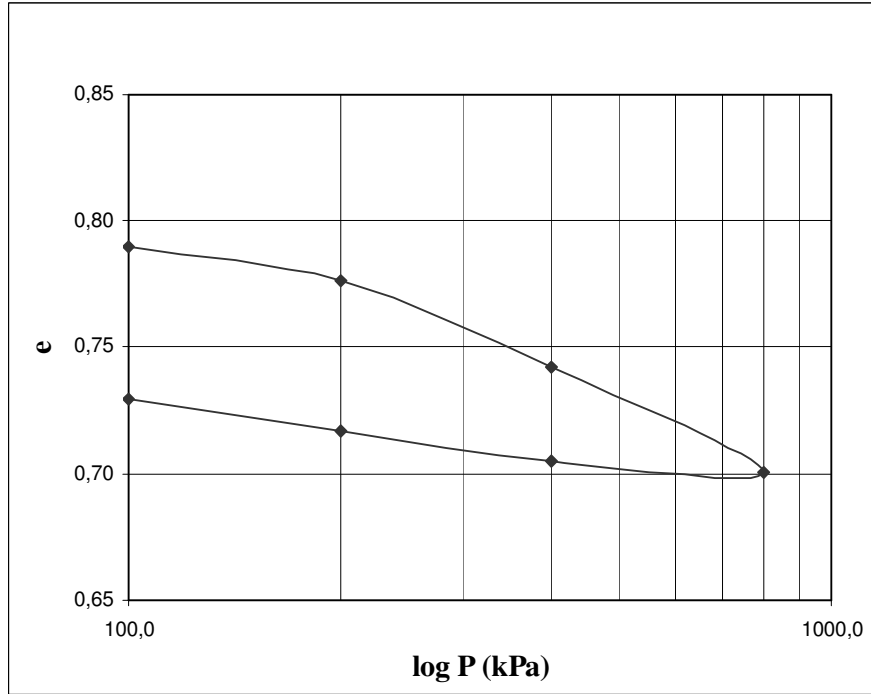
Şekil B.19 : Oturma-log t (Çöp S: % 50, t= 30 gün)



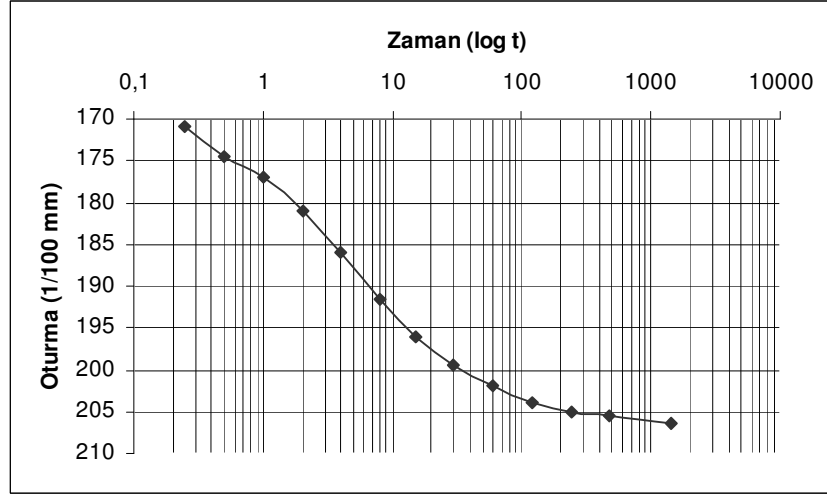
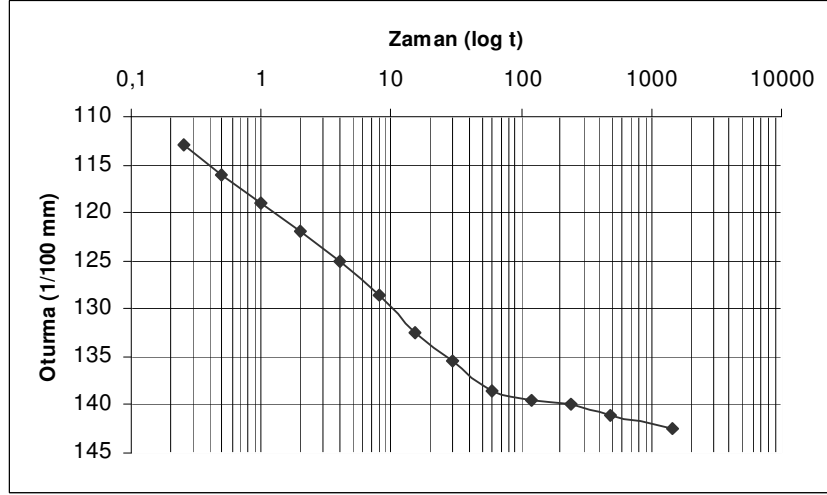
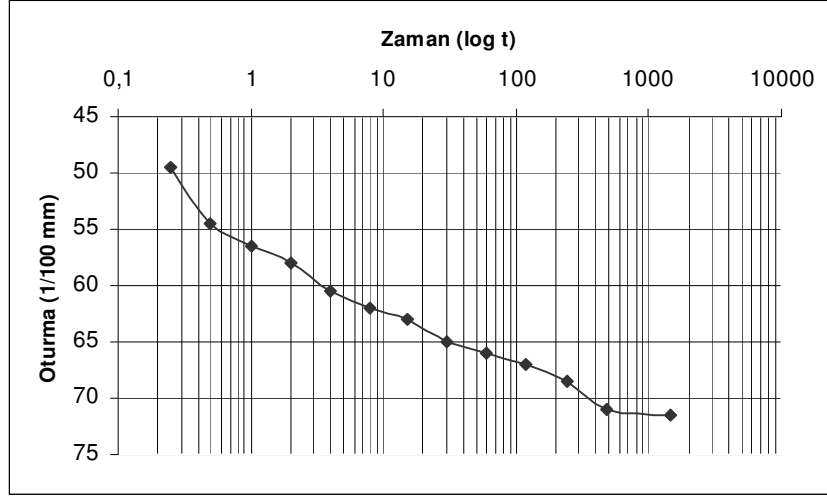
Şekil B.20 : Oturma-log t (Çöp S: % 50, t= 90 gün)



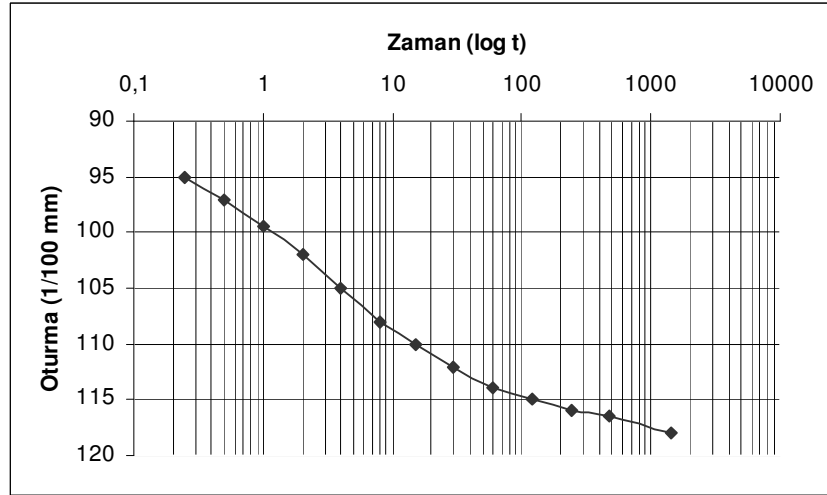
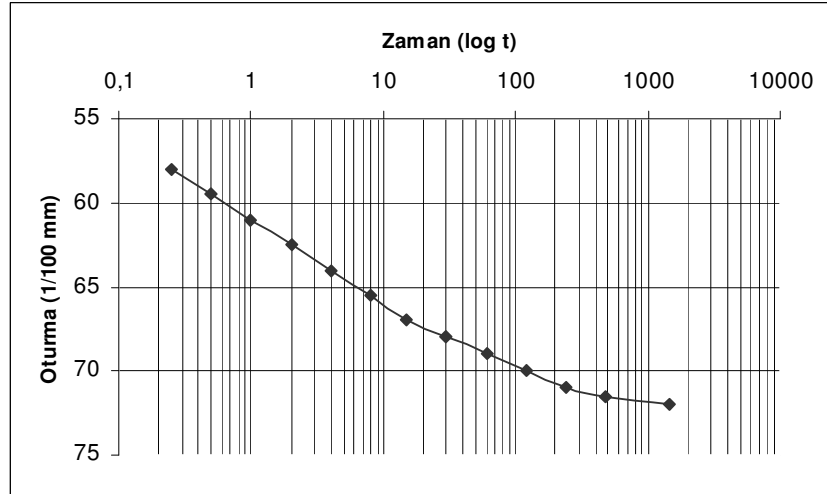
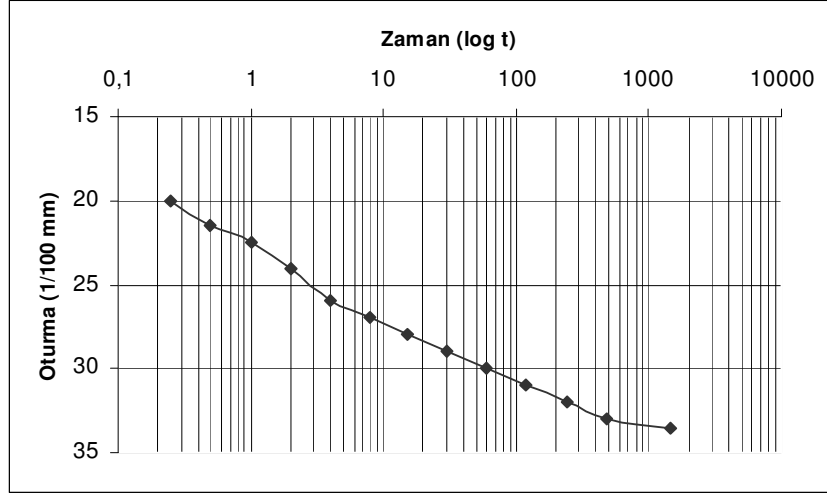
Şekil B.21 : e-log P (Çöp S: % 100, t= 0 gün)



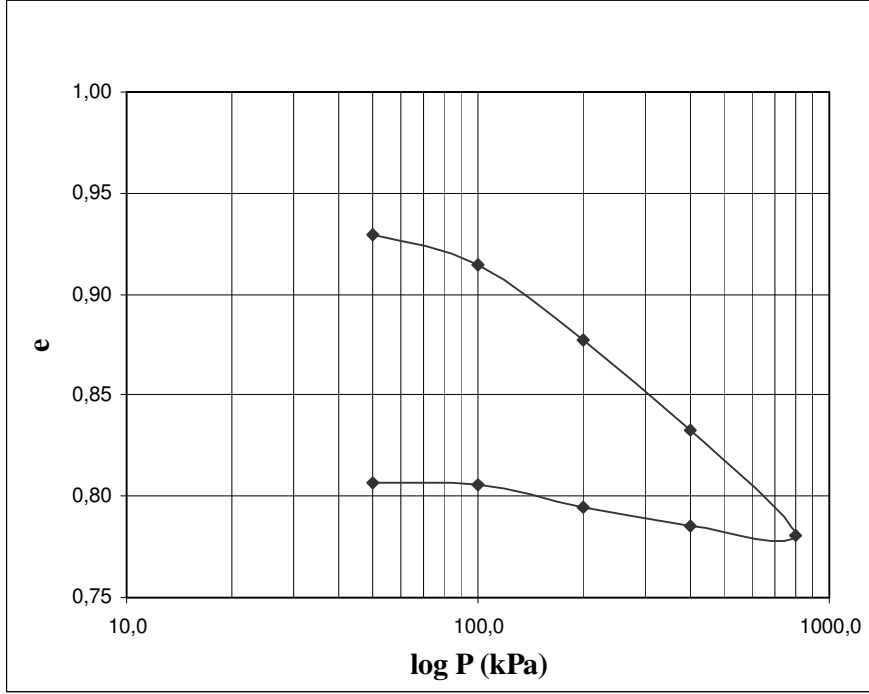
Şekil B.22 : e-log P (Çöp S: % 100, t= 30 gün)



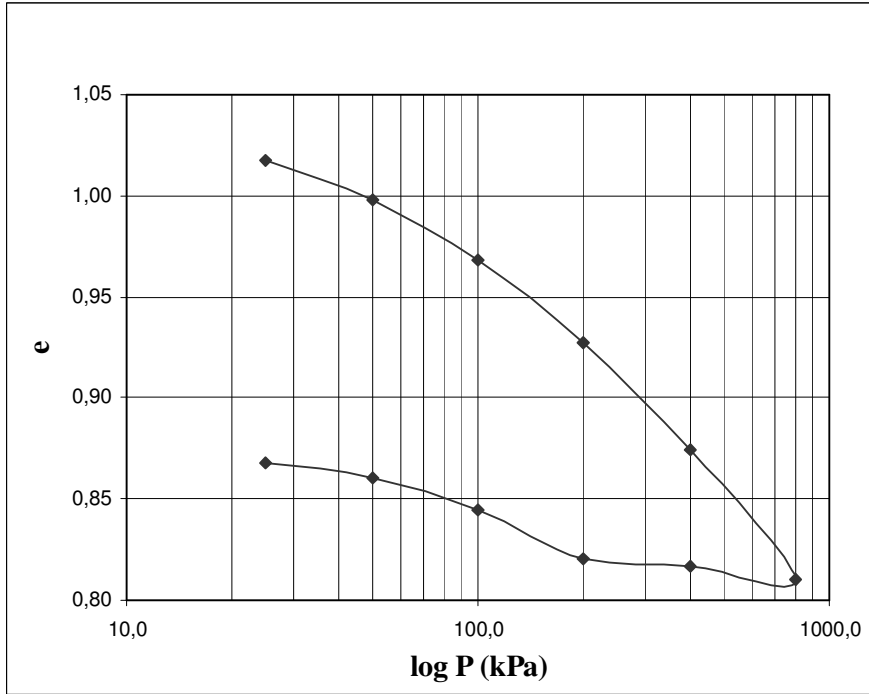
Şekil B.23 : Oturma-log t (Çöp S: % 100, t= 0 gün)



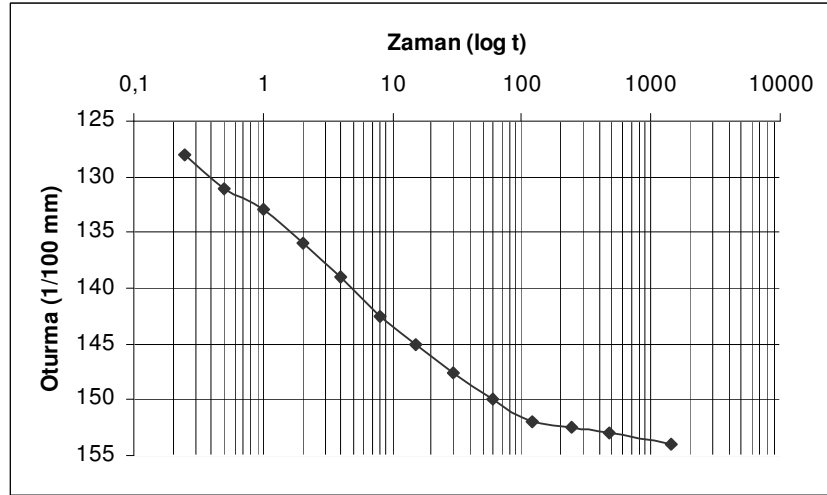
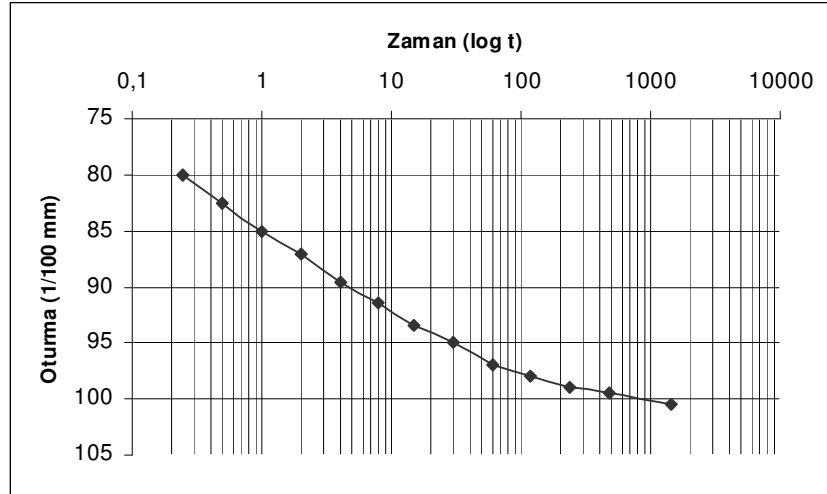
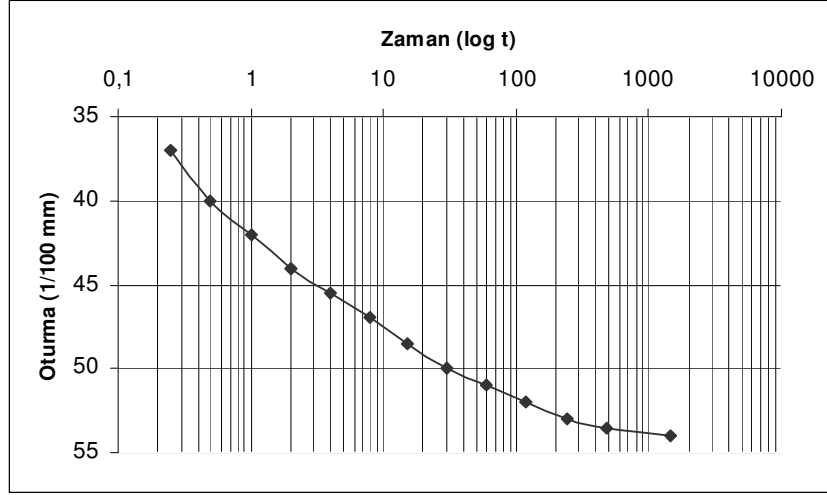
Şekil B.24 : Oturma-log t (Çöp S: % 100, t= 30 gün)



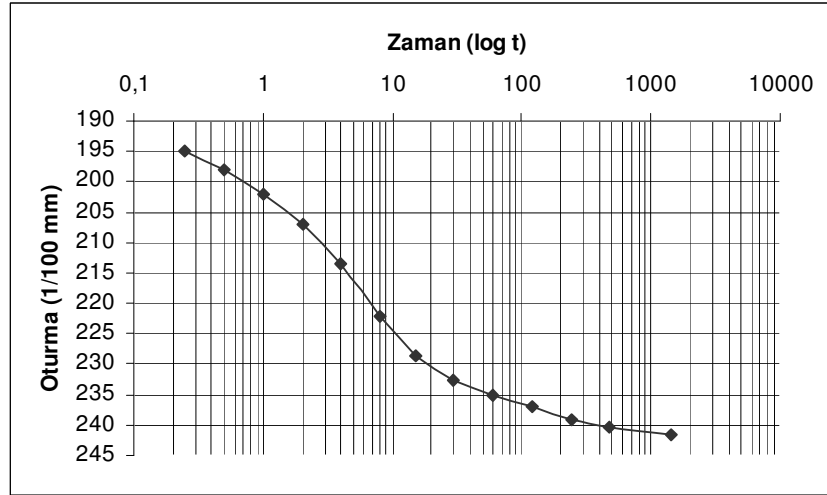
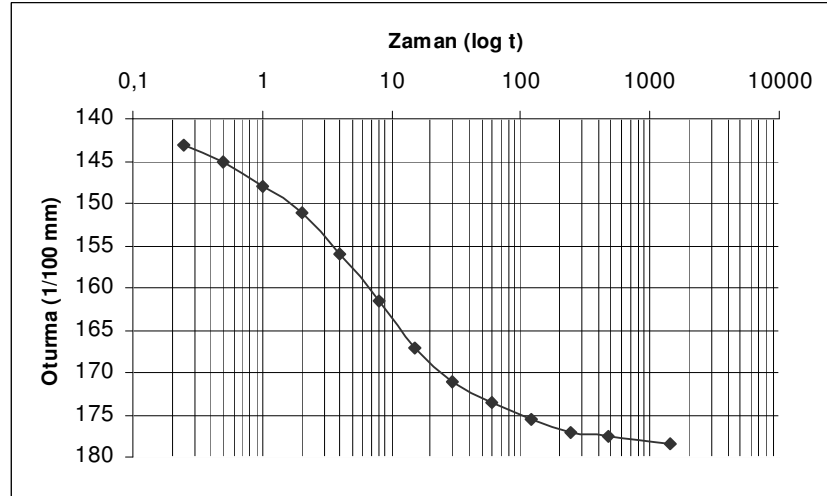
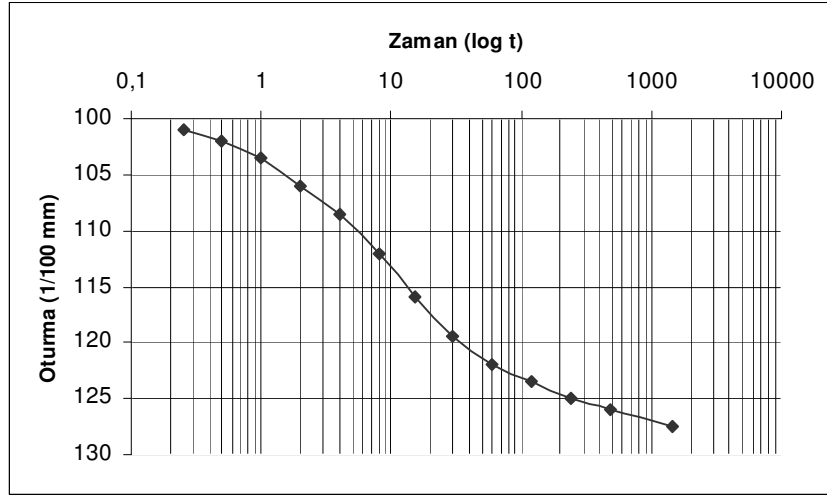
Şekil B.25 : e-log P (Çöp S: % 100, t= 90 gün)



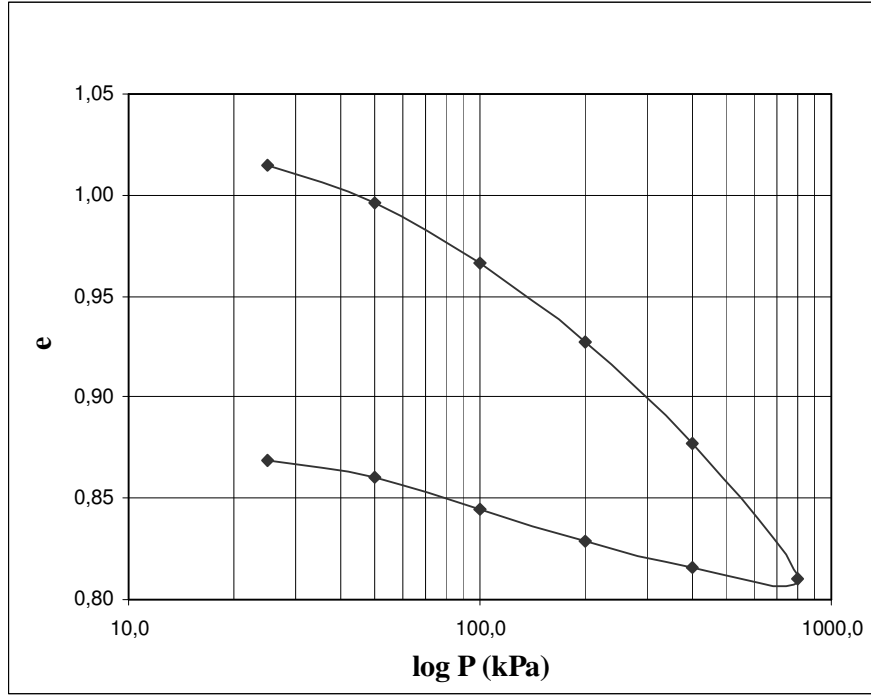
Şekil B.26 : e-log P (Çöp S: % 5, t= 7 gün, Suya Doygun)



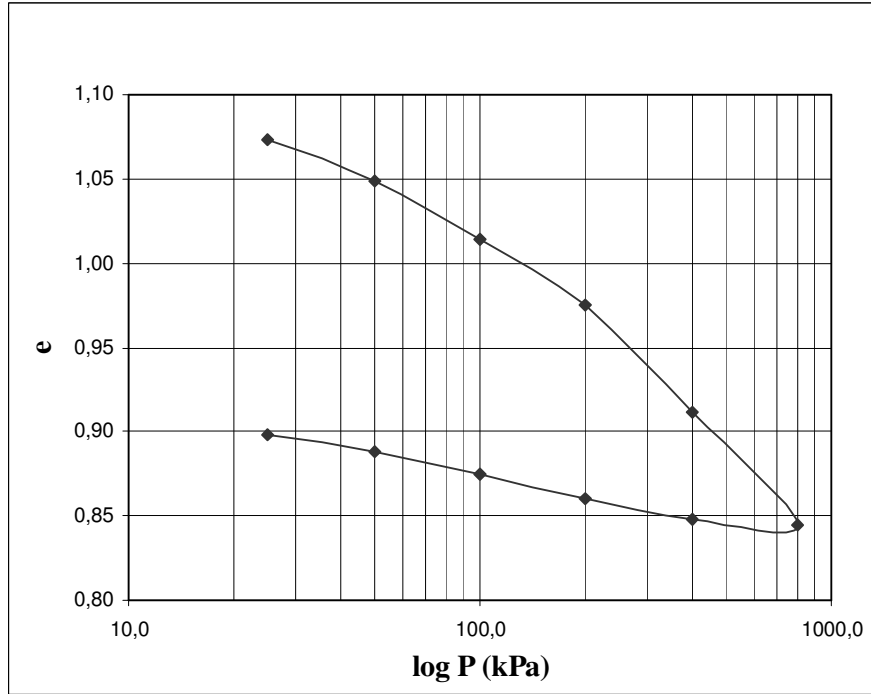
Şekil B.27 : Oturma-log t (Çöp S: % 100, t= 90 gün)



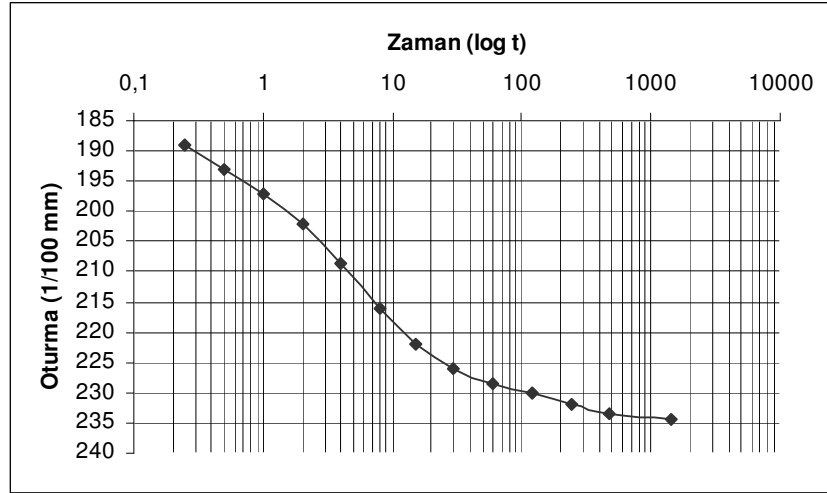
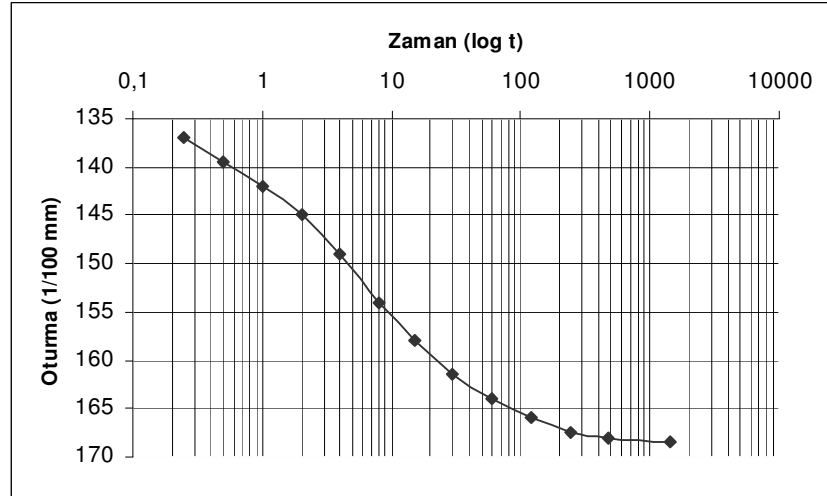
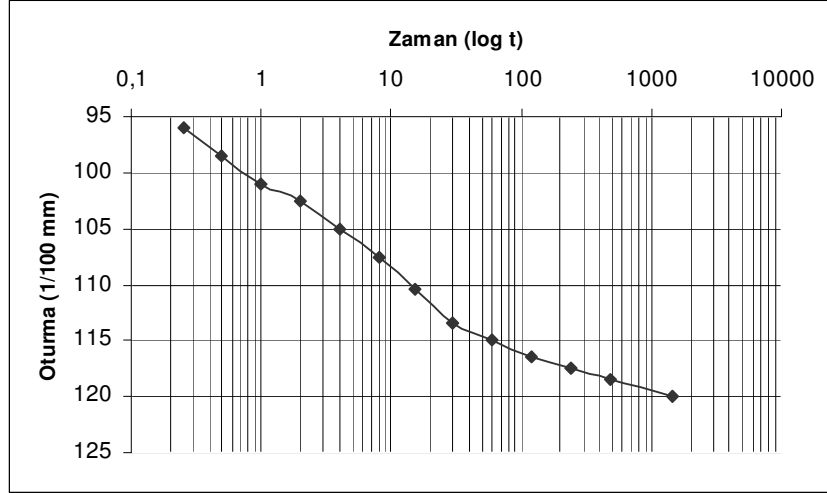
Şekil B.28 : Oturma-log t (Çöp S: % 5, t= 7 gün, Suya Doymun)



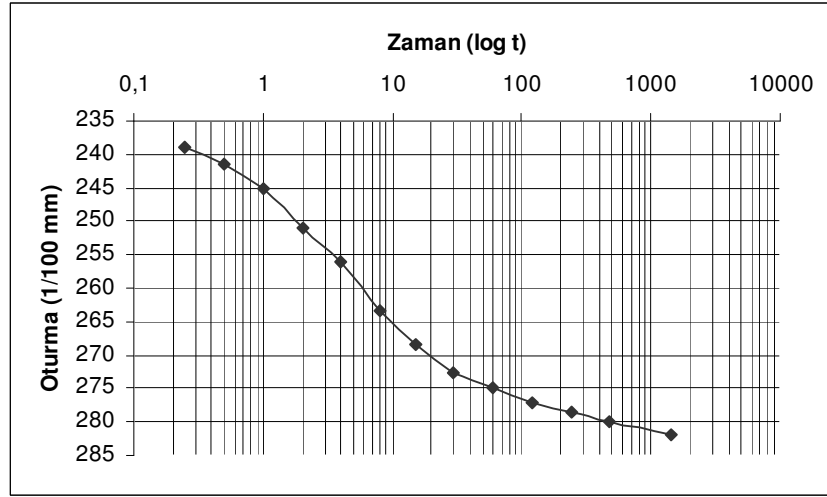
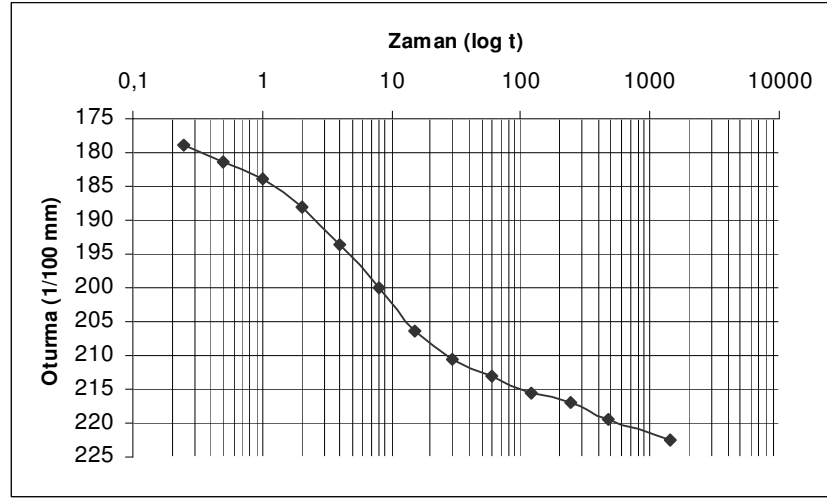
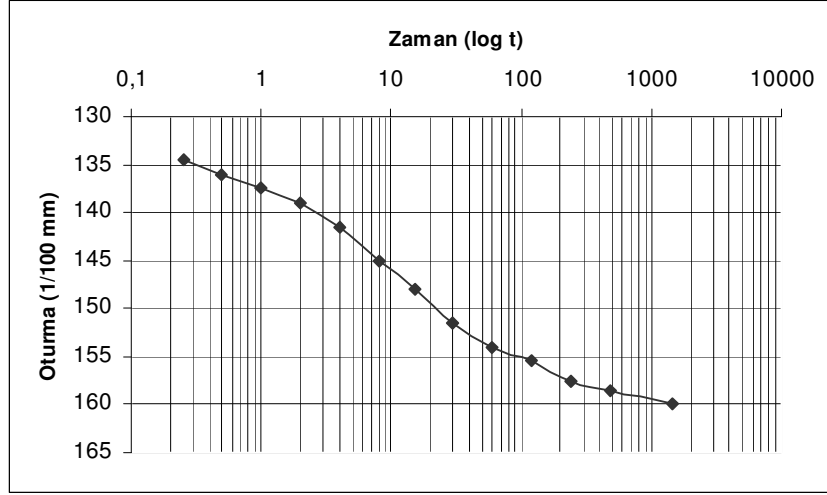
**Şekil B.29** :  $e$ - $\log P$  (Çöp S: % 20,  $t= 7$  gün, Suya Doymun)



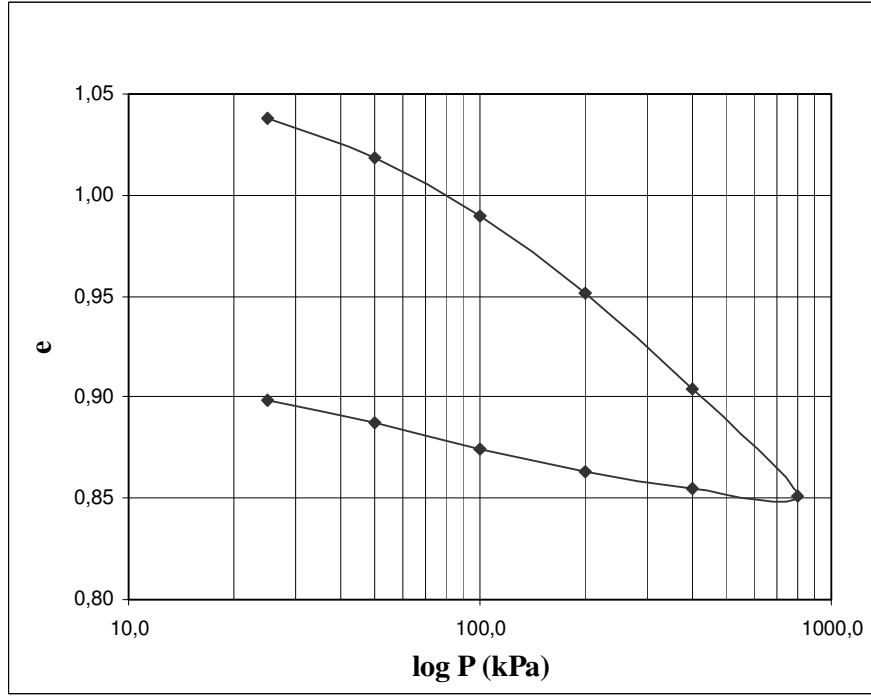
**Şekil B.30** :  $e$ - $\log P$  (Çöp S: % 50,  $t= 7$  gün, Suya Doymun)



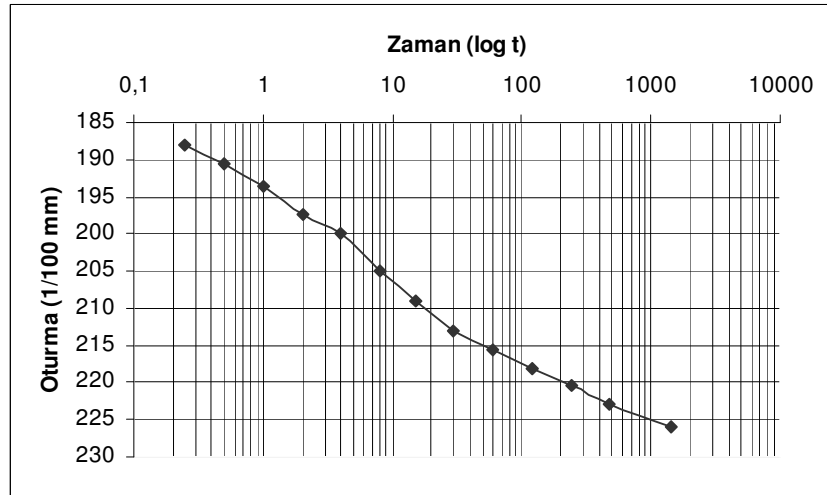
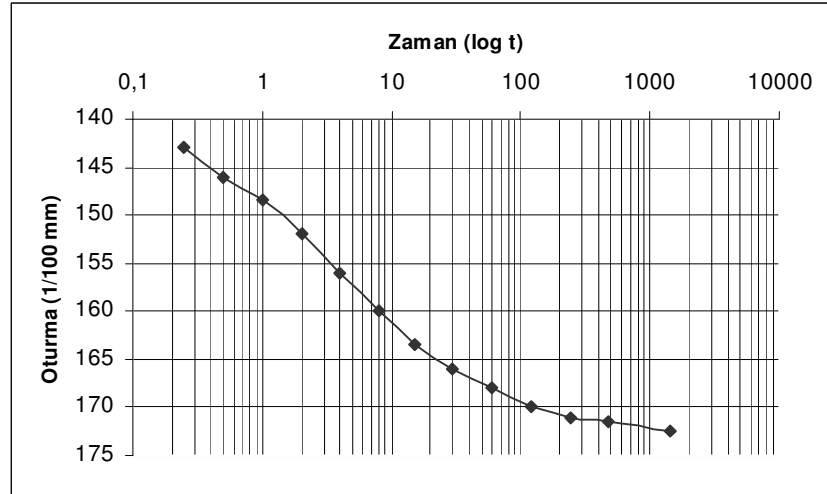
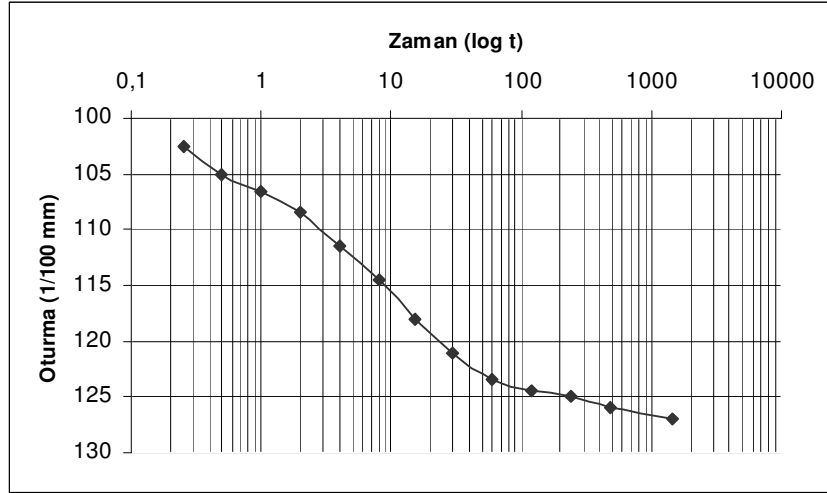
Şekil B.31 : Oturma-log t (Çöp S: % 20, t= 7 gün, Suya Doygun)



Şekil B.32 : Oturma-log t (Çöp S: % 50, t= 7 gün, Suya Doygun)



Şekil B.33 : e-log P (Çöp S: % 100, t= 7 gün, Suyu Doygun)



Şekil B.34 : Oturma-log t (Çöp S: % 100, t= 7 gün, Suya Doygun)

## **ÖZGEÇMİŞ**

28.10.1980' de İstanbul' da doğdu. 1997 yılında Özel Ahmet Şimşek Fen Lisesi' den mezun oldu. 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği bölümünden, 2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen bu bölümde öğrenimini sürdürmektedir.