

**ZEMİNLERİN ÖNKONSOLIDASYON BASINCI
ÜZERİNDE KUM VE ZEOLİTİN ETKİSİ**

Önder ÖZTÜRK

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül - 2002

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Önder ÖZTÜRK'ün “ Zeminlerin Ön Konsolidasyon Basıncı Üzerinde Kum ve Zeolitin Etkisi” başlıklı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 20 / 09 / 2002 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisans Üstü Eğitim - Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı – Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) :Yrd.Doç.Dr.Gülgün ÜNAL

Üye : Prof.Dr. Mustafa TUNCAN

Üye : Yrd.Doç.Dr. Hakan KOYUNCU

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
26.09.2002.... tarih ve33/3..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Orhan ÖZER
Fen Bilimleri Enstitüsü
Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ZEMİNLERİN ÖN KONSOLIDASYON BASINCI ÜZERİNDE KUM VE ZEOLİTİN ETKİSİ

ÖNDER ÖZTÜRK

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr.Gülgün ÜNAL
2002, 107 sayfa

Ön konsolidasyon basıncı dolguların oturma miktarlarının hesabında ve yapı yüklerini taşıyacak temel tasarımlarında büyük önem taşır. Bu çalışmada kil zeminlerin ön konsolidasyon basıncı değerleri üzerinde kum ve zeolit etkisinin ne şekilde olduğu araştırılmıştır. Bu amaçla farklı su içeriklerinde hazırlanan kaolinit ve bentonit farklı oranlarda kum ve zeolit katılarak ön konsolidasyon uygulaması yapılmıştır. Ön konsolidasyon basınçları konsolidasyon deneyinden hesaplanmıştır. Benzer şekilde hazırlanan kaolinit ve bentonit numunelerinin, tek eksenli basınç deneyi sonuçları da elde edilmiştir. Sonuçlar ön konsolidasyon basıncı değerlerinin deformasyon oranı ve tek eksenli basınç değerleri ile bire bir ilişkili olduğunu göstermiştir. Çalışmada ayrıca Casagrande Yöntemi ve Sridharan Yöntemi karşılaştırılmış, elde edilen ön konsolidasyon değerlerinin yöntemlerle uyumlu ön konsolidasyon olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Ön konsolidasyon basıncı, kaolinit, kum, zeolit

ABSTRACT

Master of Science Thesis

THE EFFECTS OF SAND AND ZEOLITE ON PRECONSOLIDATION PRESSURE OF SOILS

ÖNDER ÖZTÜRK

**Anadolu Üniversitesi
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Program**

**Supervisor : Assist. Prof. Dr.Gülgün ÜNAL
2002, 107 pages**

Preconsolidation pressure is one of the most important parameters for both settlement calculations of embankments and designs of foundations. In this study, the effects of sand and zeolite on the preconsolidation values of soils were investigated. In the experimental work, kaolinite and bentonite mixture containing different amount of water to sand and zeolite were added in different ratios. After the preparation of the samples, preconsolidation applications were performed on the samples. Preconsolidation values were also calculated by means of the results of the consolidation experiments. One dimensional compressive strength values were also determined for these samples. The results have indicated that preconsolidation pressure values are very much related to strain rate and one-dimensional compressive strength. Casagrande and Shidharan methods were compared and it was observed that preconsolidation values obtained from the experiments in this study are compatible with these two methods.

Keywords: Preconsolidation pressure, kaolinite, sand, zeolite

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında sonsuz desteğini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Gülgün ÜNAL'a, Yrd. Doç. Dr. Yücel GÜNEY'e, Yrd. Doç. Dr. Hakan KOYUNCU'ya , İnşaat Mühendisliğinin diğer öğretim elemanlarına ve Zemin Mekaniği Laboratuvarında çalışan arkadaşlara teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim süresince dersleri takip etmemde, izin konusunda gerekli kolaylığı gösteren Odunpazarı Belediye Başkanı Sayın İsmail Haşim ATEŞ'e, Odunpazarı Belediye Başkan Yardımcısı Sayın Erman GÖLET'e ve Fen İşleri Şantiye Şefi Tunay TÜZÜNTÜRK'e teşekkür ederim.

Tüm öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili annem ve babama şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1.GİRİŞ.....	1
2.ZEMİNLERİN KONSOLİDASYONU	4
2.1. Konsolidasyon ve Zeminlerin Oturması	4
2.2. Konsolidasyon Olayı ve Konsolidasyon Oturması	5
2.3. Konsolidasyon (Ödometre) Deneyi	7
2.4. Konsolidasyon Oturmasının Hesaplanması.....	11
2.4.1. Hacimsel Sıkışma Katsayısı (m_v) ile	12
2.4.2. Sıkışma İndisi (C_c) ile	12
2.5. Ön Konsolidasyon Basıncı ve Önemi.....	14
2.6. Konsolidasyon Durumuna Göre Killerin Sınıflandırılması	16
3. ÖNKONSOLİDASYON BASINCININ BELİRLEME YÖNTEMLERİ....	17
3.1. Cassagrande Yöntemi	17
3.2. Schmertmann Yöntemi	18
3.3. Janbu Yöntemi.....	20
3.4. Butterfield Yöntemi.....	20
3.5. Tavenas Yöntemi.....	21
3.6. Burmister Yöntemi.....	21
3.7. Van Zels Yöntemi.....	23
3.8. Eski Yöntem.....	24

4. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER.....	25
4.1. Zeolitler	25
4.1.1. Tarihçesi.....	25
4.1.2. Deneylerde kullanılan zeolitlerin özellikleri.....	26
4.2. Kil Minarelleri.....	27
4.2.1. Tanımlar.....	27
4.2.2. Kil malzemelerinin oluşumu ve sınıflandırılması.....	29
4.2.3. Deneylerde kullanılan kaolinitin özellikleri.....	30
4.3. Bentonit.....	31
4.3.1. Bentonit çeşitleri.....	32
4.3.2. Na – Bentonit.....	33
4.4. Kum.....	35
5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	36
5.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	36
5.2. Deneylerde Kullanılan Aletler.....	36
5.2.1. Ön konsolidasyon aleti ve numunelerin ön konsolide edilmesi.....	36
5.2.2. Konsolidasyon aleti ve numunelerin konsolide edilmesi.....	38
5.3. Konsolidasyon ve Tek Eksenli Basınç Deneyi Verileri.....	39
5.4. Deney Verilerinin Değerlendirilmesi.....	42
5.4.1. Artan basınç uygulamasının ön konsolidasyon basıncına etkisi.....	42
5.4.2. Ön konsolidasyon basıncı ve tek eksenli basınç ilişkisi.....	44
5.4.3. Ön konsolidasyon basıncı ve deformasyon oranı ilişkisi.....	46
6.ÖN KONSOLIDASYON DEĞERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN SRİDHARAN YÖNTEMİNİN KULLANIMI.....	48
6.1. Sridharan Yöntemi.....	48

6.2. Casagrande Yöntemi ve Sridharan Yönteminin Karşılaştırılması..	49
7. SONUÇLAR.....	51
8. KAYNAKLAR.....	53
9. EKLER.....	
Ek – 1. Numunelerin ($e - \text{Log } \sigma'$) grafiği	56
Ek – 2. Numunelerin $(1+e) - \text{Log } \sigma'$ grafiği.....	75
Ek – 3. Numunelerin $(\sigma - \varepsilon)$ grafiği.....	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Kohezyonsuz zeminde oturma.....	4
2.2. Suyu doymuş kohezyonlu zeminde oturma.....	5
2.3. Konsolidasyon olayında ek boşluk suyu basıncı değişimi.....	6
2.4. Ödometre deney aleti.....	7
2.5. Konsolidasyon deneyinde oturma-yük- zaman grafiği.....	8
2.6. Boşluk oranlarının hesabı.....	8
2.7. Konsolidasyon deneyleri sonucunda çizilen sıkışma eğrisi.....	10
2.8. Konsolidasyon deneyinde logaritmik sıkışma eğrisi.....	11
2.9. Konsolidasyon oturması.....	11
2.10. Hacimsel sıkışma katsayısının (m_v) bulunması.....	12
2.11. Sıkışma indisinin (C_c) bulunması.....	13
3.1. Cassagrande yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi.....	17
3.2. Schmertmann yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi.....	19
3.3. Butterfield yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi.....	20
3.4. Tavenas yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi.....	21
3.5. Burmister yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi.....	22
3.6. Van Zelst yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi.....	23
3.7. Eski yöntem ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi.....	24
4.1. Zeolitin EDX analizi.....	26
4.2. Zeolitin SEM fotoğrafı.....	27
4.3. Kaolinitin EDX analizi.....	30
4.4. Kaolinitin XRD grafiği.....	30
4.5. Kaolinitin SEM fotoğrafı.....	31
4.6. Na – Bentonitin EDX analizi.....	33
4.7. Na – Bentonitin SEM fotoğrafı.....	34
4.8. Kumun dane çapı dağılımı.....	35
5.1. Ön konsolidasyon aleti parçaları.....	37
5.2. Ön konsolidasyon aleti şematik gösterimi.....	37
5.3. Ön konsolidasyon aletlerinin fotoğrafı.....	38
5.4. Uygulanan hava basıncı değerleri ile ön konsolidasyon basıncı ilişkisi.....	43

5.5. Uygulanan hava basıncı değerleri ile tek eksenli basınç ilişkisi.....	43
5.6. Numunelerin 7 günlük ön konsolidasyon.ile tek eksenli basınç ilişkisi.....	45
5.7. Numunelerin 15 günlük ön konsolidasyon.ile tek eksenli basınç ilişkisi...	45
5.8. Numunelerin 7 günlük ön konsolidasyon. ile deformasyon oranı ilişkisi..	46
5.9. Numunelerin 15 günlük ön konsolidasyon.ile deformasyon oranı ilişkisi.	47
6.1. $\log(1+e) - \log \sigma'$ grafiği (Sridharan vd. 1991).....	50
Ek – 1.1. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	56
Ek – 1.2. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	56
Ek – 1.3. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	57
Ek – 1.4. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	57
Ek – 1.5. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	58
Ek – 1.6. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	58
Ek – 1.7. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	59
Ek – 1.8. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	59
Ek – 1.9. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	60
Ek – 1.10. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	60
Ek – 1.11. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	61
Ek – 1.12. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	61
Ek – 1.13. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	62
Ek – 1.14. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	62
Ek – 1.15. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	63
Ek – 1.16. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	63
Ek – 1.17. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	64
Ek – 1.18. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	64
Ek – 1.19. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	65
Ek – 1.20. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	65
Ek – 1.21. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	66
Ek – 1.22. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	66
Ek – 1.23. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	67
Ek – 1.24. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	67
Ek – 1.25. B/Z ($W_L + \% 20$ su) e – $\log \sigma'$ grafiği.....	68

Ek – 1.26. B/Z ($W_L + \% 20$ su) e – Log σ' grafiği.....	68
Ek – 1.27. B/Z ($W_L + \% 20$ su) e – Log σ' grafiği.....	69
Ek – 1.28. B/Z ($W_L + \% 20$ su) e – Log σ' grafiği.....	69
Ek – 1.29. B/Z ($W_L + \% 20$ su) e – Log σ' grafiği.....	70
Ek – 1.30. B/Z ($W_L + \% 20$ su) e – Log σ' grafiği.....	70
Ek – 1.31. B/Z ($W_L + \% 20$ su) e – Log σ' grafiği.....	71
Ek – 1.32. B/Z ($W_L + \% 20$ su) e – Log σ' grafiği.....	71
Ek – 1.33. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) e – Log σ' grafiği (60 psi).....	72
Ek – 1.34. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) e – Log σ' grafiği (45 psi).....	72
Ek – 1.35. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) e – Log σ' grafiği (45 psi).....	73
Ek – 1.36. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) e – Log σ' grafiği (45 psi).....	73
Ek – 1.37. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) e – Log σ' grafiği (45 psi).....	74
Ek – 2.1. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) (1+e) – Log σ' grafiği.....	75
Ek – 2.2. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) (1+e) – Log σ' grafiği.....	75
Ek – 2.3. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) (1+e) – Log σ' grafiği.....	76
Ek – 2.4. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) (1+e) – Log σ' grafiği.....	76
Ek – 2.5. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) (1+e) – Log σ' grafiği.....	77
Ek – 2.6. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) (1+e) – Log σ' grafiği.....	77
Ek – 2.7. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) (1+e) – Log σ' grafiği.....	78
Ek – 2.8. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) (1+e) – Log σ' grafiği.....	78
Ek – 2.9. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) (1+e) – Log σ' grafiği.....	79
Ek – 2.10. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) (1+e) – Log σ' grafiği.....	79
Ek – 2.11. B/Z ($W_L + \% 20$ su) (1+e) – Log σ' grafiği.....	80
Ek – 2.12. B/Z ($W_L + \% 20$ su) (1+e) – Log σ' grafiği.....	80
Ek – 2.13. B/Z ($W_L + \% 20$ su) (1+e) – Log σ' grafiği.....	81
Ek – 2.14. B/Z ($W_L + \% 20$ su) (1+e) – Log σ' grafiği.....	81
Ek – 2.15. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) (1+e) – Log σ' grafiği (60 psi).....	82
Ek – 2.16. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) (1+e) – Log σ' grafiği (45psi).....	82
Ek – 2.17. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) (1+e) – Log σ' grafiği (45psi).....	83

Ek – 3.1. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	84
Ek – 3.2. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	84
Ek – 3.3. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	85
Ek – 3.4. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	85
Ek – 3.5. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	86
Ek – 3.6. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	86
Ek – 3.7. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	87
Ek – 3.8. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	87
Ek – 3.9. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	88
Ek – 3.10. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	88
Ek – 3.11. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	89
Ek – 3.12. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	89
Ek – 3.13. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	90
Ek – 3.14. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	90
Ek – 3.15. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	91
Ek – 3.16. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	91
Ek – 3.17. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	92
Ek – 3.18. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	92
Ek – 3.19. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	93
Ek – 3.20. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	93
Ek – 3.21. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	94
Ek – 3.22. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	94
Ek – 3.23. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	95
Ek – 3.24. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	95
Ek – 3.25. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	96
Ek – 3.26. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	96
Ek – 3.27. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	97
Ek – 3.28. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	97
Ek – 3.29. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	98
Ek – 3.30. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	98

Ek – 3.31. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	99
Ek – 3.32. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	99
Ek – 3.33. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	100
Ek – 3.34. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	100
Ek – 3.35. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	101
Ek – 3.36. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	101
Ek – 3.37. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	102
Ek – 3.38. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	102
Ek – 3.39. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	103
Ek – 3.40. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	103
Ek – 3.41. B/Z ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.....	104
Ek – 3.42. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi (60 psi).....	104
Ek – 3.43. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi (45 psi).....	105
Ek – 3.44. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi (45 psi).....	105
Ek – 3.45. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi (45 psi).....	106
Ek – 3.46. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi (45 psi).....	106
Ek – 3.47. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi (45 psi).....	107

ÇİZELGELER DİZİNİ

4.1. Zeolitin kimyasal analiz sonuçları	27
4.2. Kaolinitin kimyasal analiz sonuçları.....	31
4.3. Kaolinitin indeks özellikleri.....	31
4.4. Na – Bentonitin kimyasal analiz sonuçları.....	34
4.5. Na – Bentonitin fiziksel ve indeks özellikleri.....	34
4.6. Yıkanmış kumun özellikleri.....	35
5.1. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) ($D=63$ mm $P= 80$ psi) verileri.....	39
5.2. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) ($D=63$ mm $P= 80$ psi) verileri.....	39
5.3. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) ($D=63$ mm $P= 80$ psi) verileri.....	39
5.4. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) ($D=63$ mm $P= 80$ psi) verileri.....	40
5.5. B/Z ($W_L + \% 20$ su) ($D=63$ mm $P= 80$ psi) verileri.....	40
5.6. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) ($D=63$ mm $P= 80$ psi) verileri.....	40
5.7. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) ($D=63$ mm $P= 80$ psi) verileri.....	40
5.8. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) ($D=63$ mm $P= 80$ psi) verileri.....	41
5.9. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) ($D=63$ mm $P= 80$ psi) verileri.....	41
5.10. B/Z ($W_L + \% 20$ su) ($D=63$ mm $P= 80$ psi) verileri.....	41
5.11. B/Z ($W_L + \% 10$ su) ($D=63$ mm $P= 80$ psi) verileri.....	41
5.12. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) ($D=63$ mm $P= 60$ psi) verileri.....	42
5.13. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) ($D=63$ mm $P= 45$ psi) verileri.....	42
5.14. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) ($D=63$ mm $P= 45$ psi) verileri.....	42
6.1. İkiyöntemle bulunan ön konsolidasyon değerlerini karşılaştırılması.....	50

1. GİRİŞ

Temeller aracılığıyla zemine aktarılan yüklerin etkisiyle özellikle kil zeminlerde ortaya çıkan uzun süreli oturmaların hesabı Geoteknik mühendisliği bakımından büyük önem taşımaktadır. Zeminlerdeki oturma miktarlarının hesabında konsolidasyon deneylerinden elde edilen parametreler göz önüne alınır ve ön konsolidasyon basıncı değeri bunların başında gelir.

Casagrande (1936), ön konsolidasyon basıncını σ_p' 'nü tek yönlü konsolidasyon deneyi sonucunda elde edilen düşey efektif gerilmeye karşılık boşluk oranı eğrisinin eğimini düzenleyerek hesaplamaktadır. Hesaplama ön konsolidasyon basıncı, $e - \log \sigma_p'$ eğrisinin kırıldığı noktanın uzantısı olarak tariflenmektedir. Geoteknik mühendisliği pratik açıdan bu nokta ile yakından ilgilidir. Çünkü zeminde plastik göçme deformasyonları bu noktada oluşmaktadır. Özellikle çok şişebilen hassas killer bakımından bu noktanın önemi daha büyüktür. Günümüzde de çok fazla kullanılan Casagrande yöntemi, bazı killer için ön konsolidasyon basıncı değerini jeolojik yükleme sırasında karşılaştığı efektif düşey gerilmeden daha büyük vermektedir. Dolayısıyla ön konsolidasyon basıncının pek çok özellikten etkilendiği söylenebilir. Bunlar iki ayrı şekilde sınıflandırılabilirler (Şenol, 1997)

1. Doğada ön konsolidasyon basıncının oluşmasına neden olan etkenler (jeolojik yükün kaldırılması, yeraltı suyu düzensizlikleri, zemin tanelerinin istiflenmesi, çimentolaşma, gecikmiş sıkışma, tektonik hareketler, erozyon ve aşınma).
2. Ön konsolidasyon basıncı değerinin hesaplanmasına etki eden faktörler (zeminin örselenmesi, yükleme kademelerinin süresi, zeminin fiziksel ve kimyasal özellikleri).

σ_p' 'nün değerini hesaplamak için alışılmış deney yönteminde her bir kademede düşey yük artış oranı değerinin iki katı olan ve yüklemenin 24 saat boyunca devam ettiği bir konsolidometre (ödometre) aleti kullanılmaktadır.

Bu ölçme tekniğinde elde edilen noktaların grafiğe işlenmesi sırasında noktalar arası uzaklığın çok fazla olduğu, zemin numunesi üzerindeki, her bir yük kademesinde 24 saat beklenilmesi ve deneyin iki hafta kadar sürmesi zaman bakımından olumsuz etki yaratmaktadır. Tüm bu olumsuzluklar sebebiyle alışılmış yöntemin değişik versiyonları Leonard (1962), Bjerrum (1967), Schmertmann (1955), Janbu (1982), Tavenas (1979), Butterfield (1979) ve Sridharan ve ark. (1991) tarafından çalışılmıştır.

Ön konsolidasyon basıncının belirlenebilmesi konusunda geliştirilmiş olan diğer ölçme teknikleri;

1. Sabit deformasyon oranı ödometre deneyi (Hamilton ve Crawford 1969, Crawford 1965, Smith ve Wahls 1969, Wissa 1971 ve Salfors 1975),
2. Eğim kontrollü ödometre deneyi (Lowe 1969),
3. Anizotropik üç eksenli konsolidasyon deneyi (Tavenas ve Leroueil 1977),
4. Tek aşamada Yüklemeli ödometre deneyi (Leroueil 1980), olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada kil zeminlerin ön konsolidasyon basıncı değerlerinin kum ve zeolitin hangi yönde etkilediği araştırılmıştır. Kil mineralleri literatürde kullanıldığı şekliyle kaolinit, montmorillonit, illit ve klorit olarak isimlendirilmektedir. Kil mineralleri tetrehedral silisyum ve oktahedral alüminyum olarak iki esas ünitelerden oluşmuştur. Kaolinit gurubu çift tabakalı yapıya sahiptir. Çalışmada kullanılan kaolinit ve montmorillonit tipi bir kil olan bentonite likit limit su içerikleri % 10 ve % 20'si kadar su ilavesi yapılarak ön konsolidasyon değerlerine bakılmış ve yine kaolinite % 10 - % 20 kum ilavesi, zeolite ağırlığının % 10' u kadar bentonit ilave edilerek ön konsolidasyon değerleri belirlenmiştir. Numuneler 7 gün ve 15 günlük sürelerle bilinen basınçlarda ön konsolidasyon düzeneğinde konsolide edilmiş ve gerçek ön konsolidasyon basıncı değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla numunelere konsolidasyon deneyi uygulaması yapılmıştır. Elde edilen veriler Casagrande

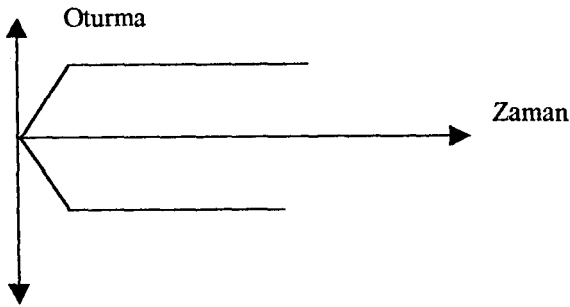
(1944) ve bu yöntemin en son geliştirilmiş benzeri olan Sridharan (1991) yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Benzer şekilde hazırlanan kaolinit ve bentonit numunelerinin tek eksenli basınç deneyi sonuçları da elde edilmiştir. Çalışmada ayrıca gerçek ön konsolidasyon basıncı değerleri ile deformasyon oranı arasındaki ilişkiye ve tek eksenli basınç değerlerinin uyumuna bakılmıştır.

2. ZEMİNLERİN KONSOLİDASYONU

2.1 Konsolidasyon ve Zeminlerin Oturması

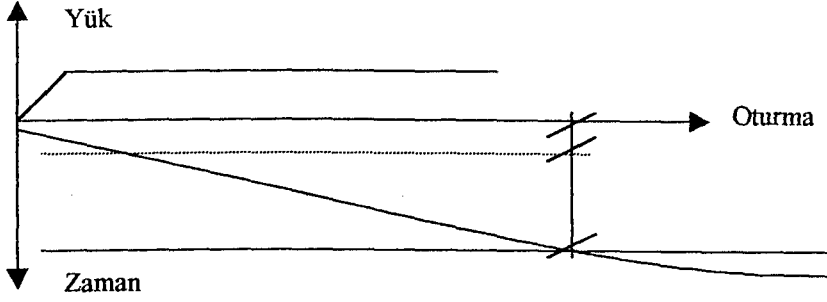
Zemin üzerine uygulanan çeşitli üst yapı ve dolgu yükleri, zeminde çeşitli deformasyonlar meydana getirmektedir. Bu çeşit sabit yükler altında zemin boşluklarındaki suyun drene olması ile zeminde zamana bağlı olarak hacimsel şekil değişiklikleri oluşturmaktadır. Zemindeki oturmaların önemli bir kısmını oluşturan olaya “Konsolidasyon” adı verilmektedir

Zemine uygulanan yüklerin yol açtığı düşey gerilme artışları, zeminde düşey şekil değiştirmeler (oturmalar) meydana getirmektedir. Yüklenen alandan etkilenen bölge içindeki zemin tabakaları sıkışmakta ve zemin yüzeyinde oturmalar gözlenmektedir. Bu oturmaların küçük bir kısmı elastik (geri dönen), büyük bir kısmı ise plastik (kalıcı, geri dönmeyen) oturma olarak gerçekleşmektedir. Kohezyonsuz (kum, çakıl) zeminlerde oturma kısa sürede, yükleme tamamlanır tamamlanmaz gerçekleşmektedir (Şekil 2.1). Kohezyonsuz zeminlerde oturma miktarı, genellikle arazi deneyleri (Standart Penetrasyon Deneyi, Hollanda Koni Deneyi, Presiyometri Deneyi, Plaka Yükleme Deneyi) sonuçlarından belirlenmektedir (Uzuner 1980).



Şekil 2.1 Kohezyonsuz zeminde oturma

Suya doymun kohezyonlu zeminlerde ise oturma, düşük geçirimsizlikten ve boşlukların su ile dolu olmasından dolayı uzun zamanda meydana gelir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Suya doymun kohezyonlu zeminde oturma

Yapı temelleri altında oluşan oturmaların, özellikle farklı temel oturmalarının (rölatif oturmaların) izin verilen oturmalarından büyük olması durumunda yapı hasar görebilir veya hizmet dışı kalabilir (Uzuner 1985). Bu nedenle, yapılar altında meydana gelebilecek oturmaları belirlemek için sağlıklı bir oturma analizi yapılarak, analiz sonuçlarının temel tasarımlarında göz önüne alınması gerekmektedir. İzin verilen oturma miktarları, hasarlı ve hasarsız yapılar üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda belirlenmiştir (Skempton ve Mac Donald 1956; Bjerrum 1963 ve Terzaghi ve Peck, 1967). Skempton ve Mac Donald (1956), kile oturan tekil ve sürekli temeller için 6.5 cm, radye temeller için 6.5-10 cm, kuma oturan tekil ve sürekli temeller için 4 cm, radye temeller için 4.6-5 cm, farklı temel oturmaları için ise tüm temel sistemleri için kilde 4 cm, kumda 2. 5 cm oturmaya izin verilmesini önermişlerdir.

Yapılardan zemine aktarılan düşey yükler altında, yatay düzlemler boyunca oluşan sürtünme ve kohezyon gibi kuvvetler, zeminin yatay doğrultuda şekil değiştirmesini sınırlamakta ve zemin tabakaları daha çok düşey doğrultuda sıkışmaktadır. Bu nedenle oturma hesaplarında bir boyutlu (düşey) çözümlerin yeterli olduğu kabul edilmektedir (Karagöz 1999).

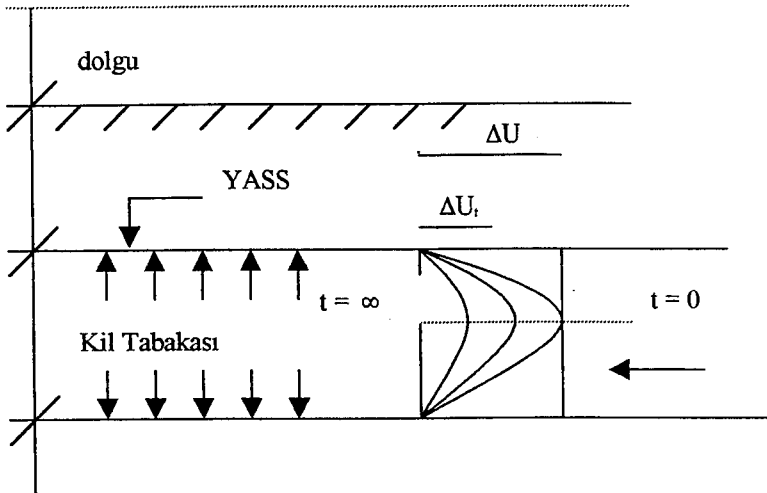
2.2 Konsolidasyon Olayı ve Konsolidasyon Oturması

Herhangi bir yük altındaki zemin tabakasının sıkışması (oturması) teorik olarak aşağıdaki nedenlerden dolayı meydana gelmektedir.

- a) Zemin taneleri arasında bulunan boşluklardaki hava veya suyun dışarı çıkması sonucu tanelerin birbirine yaklaşması ve zeminin toplam hacminin azalması.
- b) Zemin taneleri arasında bulunan boşluklardaki hava ve/veya suyun sıkışması
- c) Zemin tanelerinin sıkışması

Genellikle zemin tanelerinin sert minerallerden oluşması ve suyun sıkışabilirliğinin çok küçük olması nedeniyle, bu iki faktörün zeminin sıkışmasına etkisi ihmal edilebilecek seviyelerde kalmaktadır.

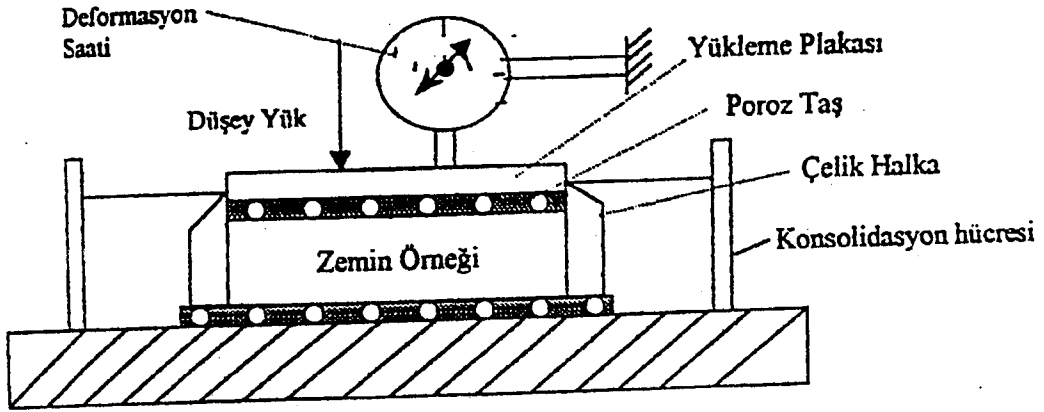
Zemin ortamının çeşitli nedenlerle yüklenmesi sonucu, suya doygun kohezyonlu zemin tabakasında geçirimliliğin düşük olması nedeniyle, zemin içerisinde ek boşluk suyu basınçları meydana gelir. Zeminin yüklenmesi ile oluşan düşey gerilme artışları, başlangıçta ek boşluk suyu basıncı tarafından karşılanır. Zamana bağlı olarak, ek boşluk suyu basıncı düşer. Konsolidasyon olayı, ek boşluk suyu basıncı sıfır oluncaya kadar devam eder (Şekil 2.3). Suyun tabaka dışına çıkması ile tanelerin birbirlerine yaklaşmasına ise “Konsolidasyon Oturması” denilir. Bu oturma, zeminin cinsine, tabaka kalınlığına, tabakanın tek veya çift yönlü geçirimli oluşuna, yer altı suyuna, geçirimlilik katsayısına vb. bağlı olarak uzun bir sürede gerçekleşir.



Şekil 2.3 Konsolidasyon olayında ek boşluk suyu basıncı değişimi

2.3 Konsolidasyon (Ödometre) Deneyi

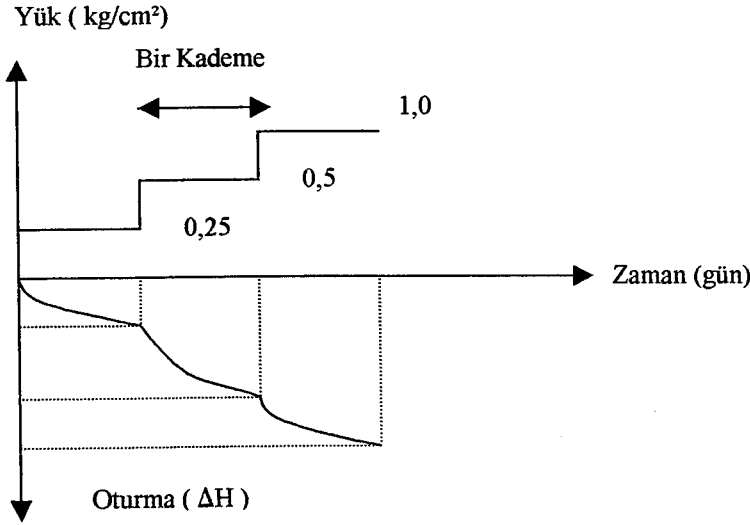
Kohezyonlu zeminlerin konsolidasyon özelliklerini laboratuvarda belirlemek için geliştirilmiş deneylerden birisi ödometre deneyidir. Arazideki kohezyonlu zemin tabakalarının yük altında sıkışması esas olarak düşey doğrultuda tek boyutlu bir problem (bir boyutlu konsolidasyon) olarak kabul edileceği için laboratuvar deney düzeneğinde zeminin yanal deformasyonuna izin verilmeden, uygulanan belirli düşey yük kademeleri altında zemin numunesinin düşey deformasyonları ölçülmektedir. Bu işlem için ödometre deney aleti kullanılmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Ödometre deney aleti

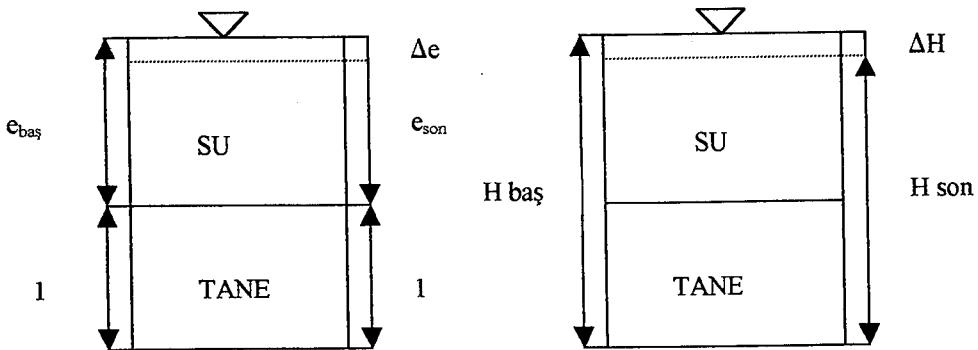
Suya doymuş kohezyonlu bir zemin tabakasının konsolidasyon özelliklerini belirlemek için, tabakadan örselenmemiş zemin örnekleri alınır. Ucu keskin çelik bir halka içindeki zemin örneği konsolidasyon aletine yerleştirilir (Şekil 2. 4). Çelik halkanın çapı 5-10 cm, yüksekliği de birkaç cm.(genellikle 2 cm) olabilir. Çelik halka, zemin örneğinin yanal deformasyonunu önlemektedir. Zemin örneğinin alt ve üst yüzlerine, suyun çıkmasına olanak sağlamak üzere, geçirimli poroz taşları yerleştirilir.

Deneylerde yükleme kademeli olarak yapılır (Şekil 2.5). Uygulanan kademe değerleri 0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8, 16, kg/cm^2 olarak seçilebilir (Uzuner, 1998). Her kademe, kademenin başlangıcından itibaren, belli süreler sonunda (0.25, 1, 2, 4, 6, 9,..... dak.) oturma değerleri, deformasyon saatleri ile gözlenerek kaydedilir. Her kademe, oturmalar sona erene kadar (24 saat vb. gibi) beklenir. Yükleme bittikten sonra, aynı veya farklı kademeler takip edilerek boşaltma işlemi uygulanır. Deneyler tamamlandıktan sonra oturma-yük-zaman grafiği çizilir.



Şekil 2.5 Konsolidasyon deneyinde oturma-yük-zaman grafiği

Her yükleme adımı sonunda örnekteki boşluk oranları hesaplanmalıdır. Bunun için, kademe başlangıcı ve sonundaki örnek yükseklikleri ile katı kısmın yüksekliğinden yararlanılır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Boşluk oranlarının hesabı

Zemin örneğinin tane (katı) yüksekliği, H_k aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$H_k = \frac{W_k}{\gamma_s} \quad (2.1)$$

W_k : Deney sonundaki zemin örneğinin kuru ağırlığı, γ_s : Zemin örneğinin tane birim hacim ağırlığı, A : zemin örneğinin dairesel en kesit alanı.

Bir adım sonunda, boşluk oranı;

$$e_{son} = W_{son} \gamma_s = \frac{W_{su}}{W_k} \quad \gamma_s = \frac{(H_{son} - H_k) A \gamma_{su}}{H_k A \gamma_{su}} \quad \gamma_s = \frac{H_{son} - H_k}{H_k} \quad (2.2)$$

H_{son} : Zemin örneğinin ilgili adım sonundaki yüksekliği olup, $H_{son} = H_{baş} - \Delta H$ ile hesaplanır. $H_{baş}$: İlgili adım başında zemin örneğinin kalınlığı, ΔH : ilgili adımda sıkışma miktarı W_{son} : Deneyin en sonunda zemin örneğinin belirlenen su muhtevasıdır.

Bu yöntemde, boşluk oranları, ilk yükleme kademesinden başlanılarak son kademeye kadar hesaplanır. Hesaplamalar, bir tablo üzerinde kolayca yapılabilir.

Konsolidasyon deneyinin sonunda, zemin örneğinin boşluk oranı, ($S_r = \%100$ kabul edilirse) herhangi iki durum arasında, hacim değişimi ile boşluk oranı değişimi arasında aşağıdaki ilişki yazılabilir;

$$\frac{\Delta e}{1 + e} = \frac{\Delta H}{H} \quad (2.3)$$

Kademe başlangıcı ve sonunda 2.3 no'lu bağıntı;

$$\frac{\Delta e}{1 + e_{baş}} = \frac{\Delta H}{H_{baş}} \quad (2.4)$$

$$\frac{\Delta e}{1 + e_{son}} = \frac{\Delta H}{H_{son}} \quad (2.5)$$

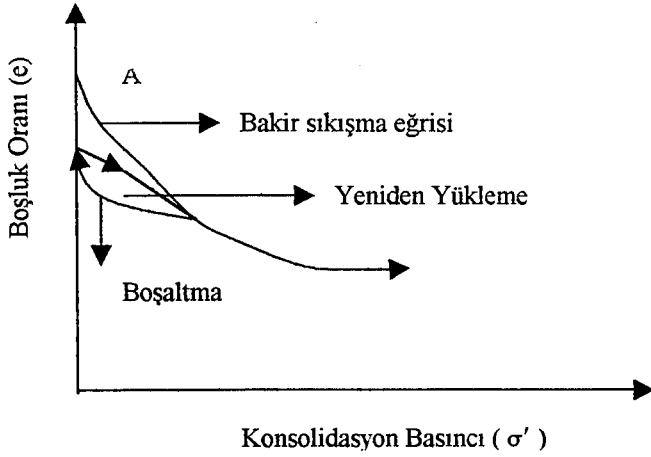
biçimlerinde yazılabilir.

Konsolidasyon deneyinin başlangıcındaki boşluk oranı ile son kademe sonundaki boşluk oranı farkı;

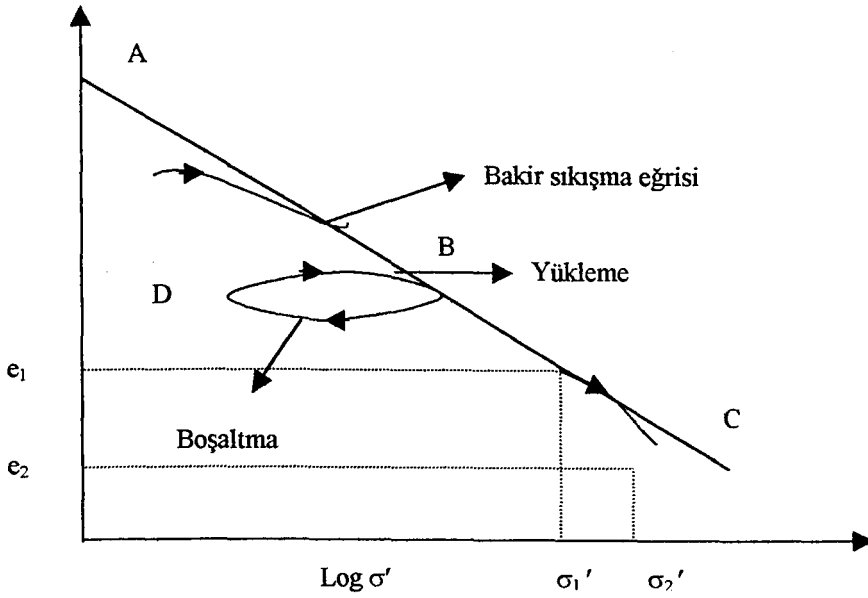
$$\Delta e = \frac{1 + e_{baş}}{H_{baş}} \Delta H \quad (2.6)$$

şeklinde yazılabilir.

Her kademe sonundaki boşluk oranları belirlendikten sonra, boşluk oranı-konsolidasyon basıncı eğrisi (sıkışma eğrisi) çizilir (Şekil 2.7 ve Şekil 2.8).

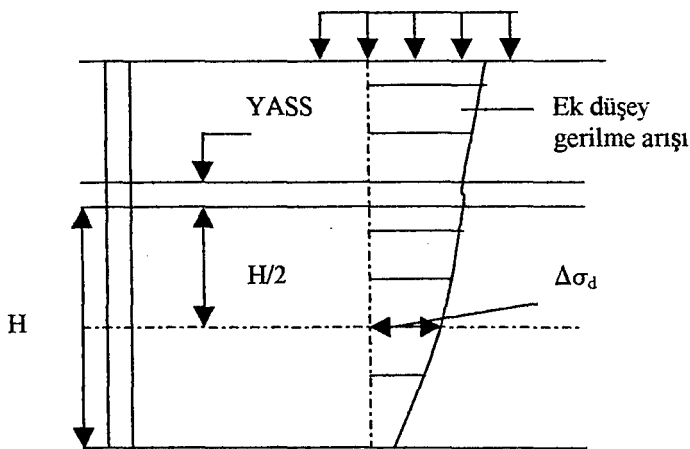


Şekil 2.7 Konsolidasyon deneyleri sonucunda çizilen sıkışma eğrisi



2.4 Konsolidasyon Oturmasının Hesaplanması

Suya doygun kohezyonlu bir tabakasının (Şekil 2.9)' daki gibi yüklenmesi sonucundaki nihai konsolidasyon oturması (ΔH_{kons} , ΔH_{∞}), ödometre deneyleri sonucunda çizilen sıkışma eğrisinden elde edilen hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) veya sıkışma sayısı (C_c) kullanılarak iki şekilde belirlenebilir.



2.4.1. Hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) ile;

Hacimsel sıkışma katsayısı birim hacmindeki azalmanın, birim gerilme artışına oranı olarak tamamlanmaktadır (Şekil 2.10).

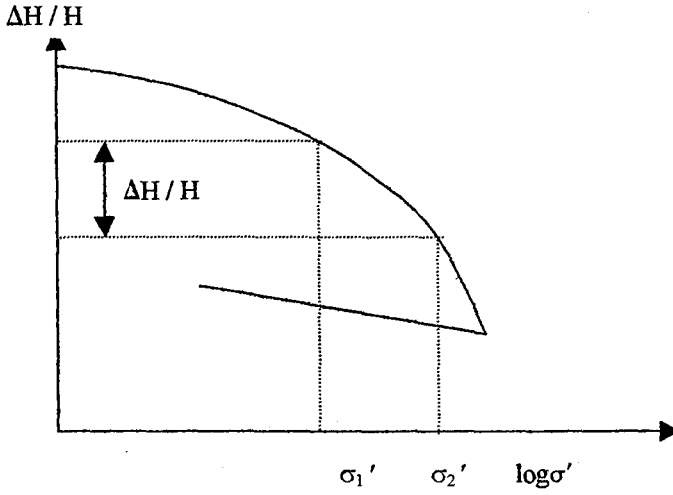
$$m_v = \frac{\Delta H/H}{\Delta \sigma'} = \frac{\Delta H/H}{(\sigma_1' - \sigma_2')} \quad (2.7)$$

Bu bağıntıdan oturma miktarı çekilirse,

$$\Delta H = \Delta H_{son} = m_v H \Delta \sigma' \quad (2.8)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıda; H : Konsolidasyon oturması,

m_v : Hacimsel sıkışma katsayısı, H : Zemin tabakasının kalınlığı, $\Delta \sigma'$: Yüklemeden dolayı, tabaka ortasındaki efektif düşey gerilme artışıdır.



Şekil 2.10 Hacimsel sıkışma katsayısının (m_v) bulunması

2.4.2. Sıkışma indisi (C_e) ile;

Sıkışma indisi; Orijinal sıkışma eğrisinin (e - $\log \sigma'$) eğimi olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.11).

$$C_c = \frac{\Delta e}{\log(\sigma'_2 / \sigma'_1)} \quad (2.9)$$

Bir boyutlu(düşey) konsolidasyonda,

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta e}{1+e} \quad (2.10)$$

eşitliği verilmektedir.

Bağıntı 2.7 ve 2.8 oturmanın hesabı için yeniden düzenlenirse,

$$\Delta H = \frac{H}{1+e} C_c \log(\sigma'_2 / \sigma'_1) \quad (2.11)$$

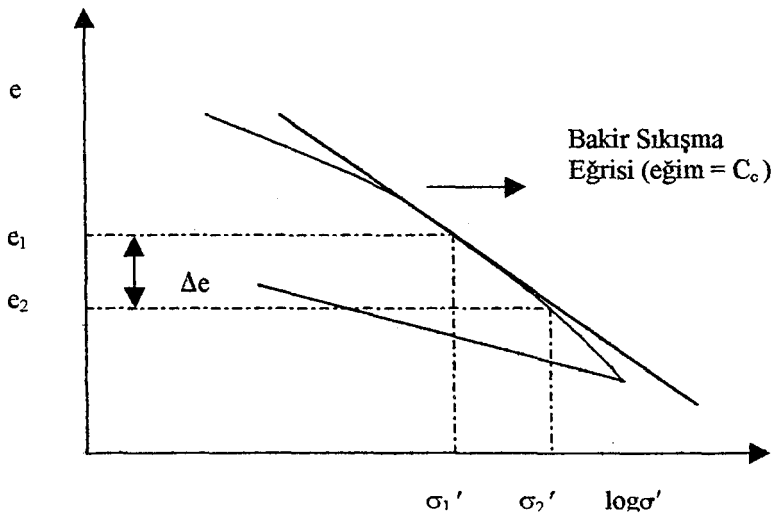
bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıda;

C_c : Sıkışma indisi

e_0 : Tabakanın yüklenmeden önceki durumuna ait boşluk oranı

σ'_1 : Tabaka ortasında, yüklenmeden önceki düşey efektif gerilme

σ'_2 : Tabaka ortasında, yüklenmeden sonraki düşey efektif gerilmedir.



Şekil 2.11 Sıkışma indisinin (C_c) bulunması

2.5 Ön Konsolidasyon Basıncı ve Önemi

Belirli bir derinlikteki zeminin üzerindeki efektif jeolojik yük, (σ_o') bu zeminin geçmişte taşıdığı maksimum jeolojik yükten küçük ise, bu zemin, aşırı konsolide olmuş bir zemindir. Zeminin geçmişte taşıdığı maksimum efektif gerilme de ön konsolidasyon basıncı (σ_p') olarak adlandırılır.

Ön konsolidasyon basıncına etki eden faktörler iki ayrı şekilde ele alınabilir;

1. Doğada ön konsolidasyon basıncının oluşmasına sebep olan etkenler,

- Jeolojik yükün kaldırılması
- Yer altı su seviyesinin düşmesi
- Buzul erimesi
- Zemin tanelerinin istiflenmesi
- Erozyon ve aşınma
- Çimentolaşma
- Tektonik hareketler
- Zemin yükünün kalkması
- Katyon değişimi
- Gecikmiş sıkışma
- Atmosfer olaylarına bağlı olarak meydana gelen geokimyasal olaylar,

2. Belirlenmesi istenen ön konsolidasyon basıncı değerinin hesaplanmasına etki eden faktörler.

- Zeminin örselenmesi; ($e-\log \sigma'$) grafiğinde değişikliğe sebep olur.

i. Arazide numune alınırken numunenin örselenmesi, hava veya su alması

ii. Laboratuvar deneyi esnasında numunenin örselenmesi,

- Özellikle kademeli yüklemeli ödometre deneyinde, yükleme kademelerinin süresi (e-log σ') eğrilerini etkilemektedir
- Zeminin fiziksel ve kimyasal özellikleri de ön konsolidasyon basıncına doğrudan etki etmektedir.

Geçmişte, belirli bir yük altında konsolide olmuş zemin tabakasının ön konsolidasyon basıncı değerinin doğru bir şekilde belirlenmesi özellikle oturma analizleri için önemlidir. Çünkü bu tür tabakaların konsolidasyon davranışları farklı olmaktadır. Bu tabakaların yeniden yüklenmesi durumunda, tabaka ortasındaki gerilme ön konsolidasyon basıncına eşit veya daha küçük ise tabakada elastik oturmalar meydana gelmektedir. Gerilmenin, önkonsolidasyon basıncını aşması ile birincil konsolidasyon oturmaları görülmektedir. Bu nedenlerle; kohezyonlu tabakaların konsolidasyon özellikleri araştırılırken ve oturma miktarları hesaplanırken, tabakada geçmişte bir konsolidasyonunun olup olmadığı, varsa ön konsolidasyon basıncının değerinin belirlenmesi gerekmektedir (Karagöz, 1999).

Birçok değişkene bağlı olarak meydana gelen ön konsolidasyon basıncının hesaplanması için Bölüm 3’de ayrıntılı olarak açıklanacak çeşitli grafik yöntemler geliştirilmiştir. Yöntemlerin hepsinde laboratuvarda yapılan ödometre deney sonuçları kullanılmaktadır. Laboratuvarda, arazideki duruma uygun koşulların hazırlanması her zaman mümkün olamamaktadır. Deneylerin uygun koşullarda yapılmaması, örselenmemiş örneklerin alınış şekilleri, ödometre deneylerinin yapılış şekilleri ve kullanılan yöntem, ön konsolidasyon basıncının belirlenmesini etkilemektedir (Whittle ve Kavvas, 1994).

2.6 Konsolidasyon Durumuna Göre Killerin Sınıflandırılması

Arazide mevcut kil zemin tabakaları, konsolidasyon durumlarına göre üç sınıfa ayrılırlar.

1. Aşırı konsolide olmuş killer:

Bu tür killer, geçmişte üzerlerine etkileyen maksimum jeolojik yükün, bazı faktörlerin etkisiyle azalması nedeni ile, günümüzde geçmiştekinden daha düşük bir jeolojik yüke sahip olan killerdir (Nagara vd, 1994).

Aşırı konsolide killerde herhangi bir derinlikteki ön konsolidasyon basıncına (σ_p') ve şu anda etkileyen efektif gerilmeye (σ_o') bağlı olan aşırı konsolidasyon oranı (OCR) aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Houlsby ve Wroth, 1991).

$$OCR = \frac{\sigma_p'}{\sigma_o'} \quad (2.12)$$

2. Normal konsolide olmuş killer:

Bu tür killer, günümüzde üzerlerinde bulunan jeolojik yükün, bugüne kadar kil tabakası üzerine etki eden maksimum yük olduğu killerdir. Bu tür killer, üzerine şu anda etkiyen yük altında konsolide olmuş killerdir.

3) Konsolidasyonu devam eden killer:

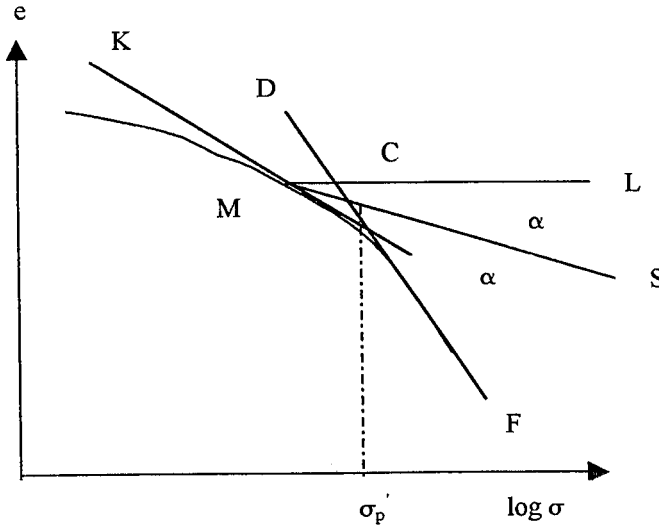
Üzerinde bulunan çeşitli yüklerin etkisi ile konsolidasyonu tamamlanmamış, halen devam eden killerdir.

3. ÖN KONSOLİDASYON BASINCINI BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Ön konsolidasyon basıncını belirlemek amacıyla, günümüze kadar olan süre içinde birçok bilim adamı çeşitli çalışmalarda bulunmuş, konsolidasyon parametreleri ve büyüklüklerine bağlı olarak çok sayıda yöntem geliştirmişlerdir. Bunlardan bir kısmı zaman içerisinde geçerliliğini yitirmiş, diğerleri ise, günümüzde hala tercih edilmektedir. Casagrande, Schmertmann, Janbu, Butterfield, Tavenas, Burmister, Eski Yöntem ve Van Zelst yöntemleri şimdiye kadar geoteknik literatürüne geçmiş, ön konsolidasyon basıncını belirleme yöntemleridir.

3.1. Cassagrande Yöntemi

Cassagrande yöntemi (1936), yarı logaritmik eksen takımında çizilen, boşluk oranı-konsolidasyon basıncı ($e-\log \sigma'$) grafiğinden faydalanılarak, ön konsolidasyon basıncı değerinin bulunması esasına dayanan grafik bir yöntemdir.



Şekil 3.1 Cassagrande yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi

Yapılan konsolidasyon deneyleri sonucunda yükleme kademeleri sonundaki boşluk oranları hesaplanarak sıkışma eğrisi ($e-\log \sigma'$) çizilir (Şekil 3.1). Eğri üzerinde minimum eğrilik yarıçapının bulunduğu M noktası işaretlenir. Bu

noktadan, yatay eksene paralel ML yatay doğrusu ile MK teğeti çizilir. Sıkışma eğrisinin doğrusal olan alt kısmından DF teğeti çizilir. MKL açısından açı ortayı olan MS doğrusu çizilir. MS açıortay doğrusu ile DF teğetinin kesişim noktasının (C) yatay eksenindeki değeri, zeminin geçmişte etkisinde olduğu ön konsolidasyon basıncının (σ_p') logaritmasını verir.

Casagrande yöntemiyle elde edilen sonuçların hassasiyeti numunenin örselenip-örselenmediğine, minimum eğrilik yarıçapının bulunduğu noktanın belirlenmesine, deney şartlarının uygunluğuna ve araştırmacının tecrübesine bağlıdır.

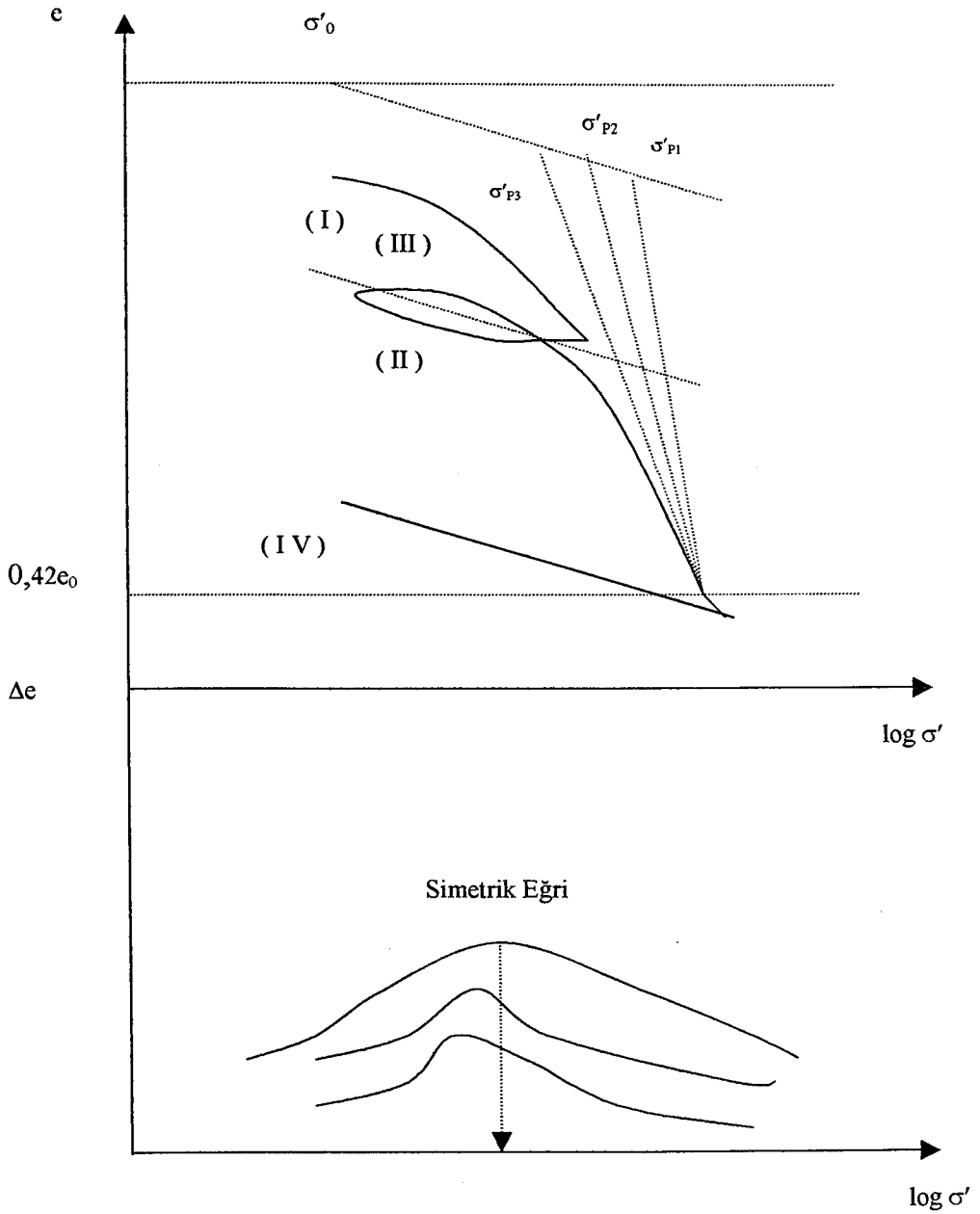
3.2. Schmertmann Yöntemi

Schmertmann yöntemi (1955), boşluk oranı-sıkışma ($e - H$) okumaları ile boşaltma eğrisini esas alan bir yöntemdir. Bu yöntemde arazi ve laboratuvar için sıkışma eğrilerinin farklılıklar gösterdiği, ön konsolidasyon basıncını belirlerken bu durumun dikkate alınması gerektiği belirtilmektedir. Bu amaçla yöntemde, arazi sıkışma eğrisi ile laboratuvar boşaltma eğrisinin birbirlerine paralel olduğu düşünülmektedir. Yöntemde $0,42e_0$ değerinde laboratuvar ve arazi sıkışma eğrilerinin kesiştiği kabul edilmektedir. Bu yöntem ile ön konsolidasyon basıncı altı aşamada belirlenmektedir (Şekil 3.2).

1. Minimum eğrilik yarıçapının bulunduğu nokta geçilene kadar ilk yükleme yapıldıktan sonra jeolojik gerilmeye (efektif gerilmeye) kadar birinci boşaltma (IV) yapılır. Casagrande yöntemine benzer şekilde ($e - \log \sigma'$) eksen takımında sıkışma eğrisi çizilir.
2. Başlangıç boşluk oranında (e_0) yatay eksene paralel çizilerek gerilmenin değeri, bu çizgi üzerinde gösterilir.
3. Boşaltma eğrisinin eğim doğrusu belirlenir ve jeolojik değerinden bu doğruya paralel çizilir.
4. Çizilen paralel doğru üzerinde, konsolidasyon basıncı için tahmini bir nokta seçilir. Bu noktanın seçimi, mühendislik tecrübesine dayanmaktadır.

5) Bu nokta $0.42e_0$ noktasıyla birleştirilerek tahmini arazi sıkışma eğrisi elde edilir.

6) Bu eğri ile laboratuvar eğrisi arasındaki boşluk oranı farkları ($\Delta e - \log \sigma'$) eksen takımında işaretlenerek eğrisi çizilir (Şekil 3.2). Bu işlemlere, değişik ön konsolidasyon basınçları seçilerek simetrik bir eğri elde edilene kadar devam edilir.



Şekil 3.2 Schmertmann yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi

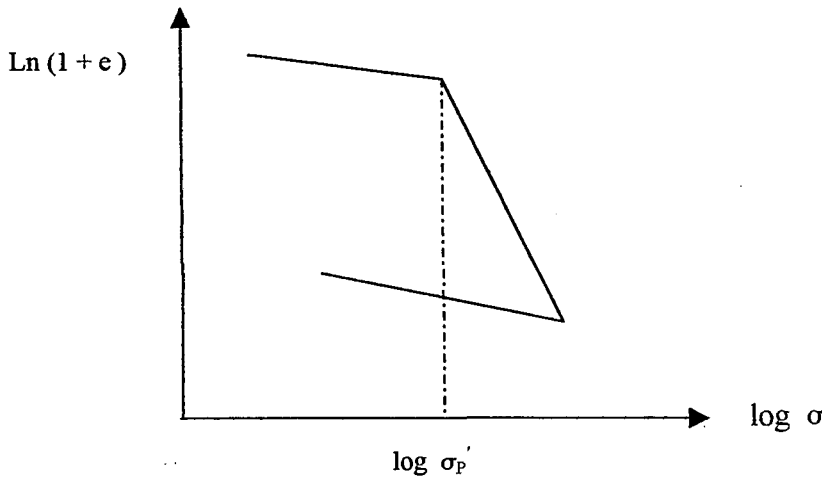
Bu yöntem, deneme-yanılma sistemine ve araştırmacının tecrübesine bağlı olması, çok detaylı ve uzun çalışma gerektirmesi nedeniyle az kullanılan bir yöntemdir.

3.3. Janbu Yöntemi

Janbu yöntemi (1982), gerilme-deformasyon ve gerilme-modül grafiklerinin, logaritmik eksen takımı yerine, normal eksen takımında çizilerek, ön konsolidasyon basıncının bu grafikler üzerinden doğrudan okunması esasına dayanmaktadır. Janbu yönteminde, özellikle gerilmenin normal ölçekli ekseninde gösterilmesinin ön konsolidasyon basıncı değerinin daha net okunmasının avantaj sağlayacağı savunulmaktadır. Sürekli yüklemeli ödometre deneyleri için geliştirilmiş bir yöntem olup, kademeli yüklemeli standart konsolidasyon deneyleri için hassas sonuçlar bulunamamaktadır.

3.4. Butterfield Yöntemi

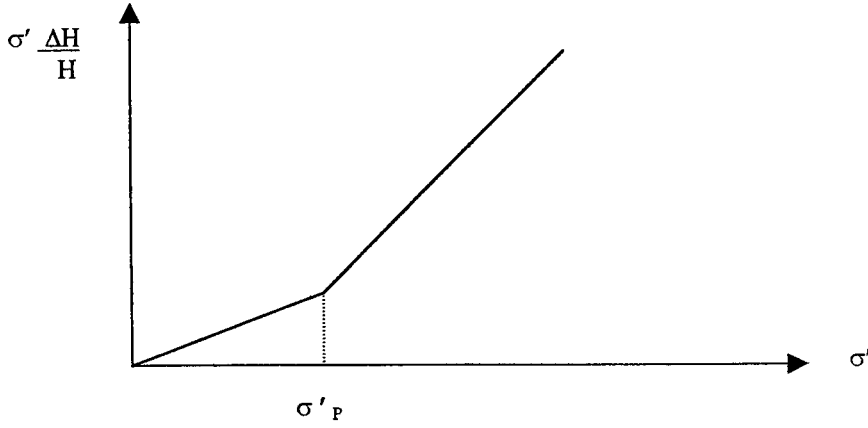
Butterfield yöntemi (1979), ön konsolidasyon basıncının örnekteki hacim değişiminin, gerilme ile değişimini gösteren grafik üzerinden belirlenmesi esasına dayanmaktadır. $(e - \log \sigma)$ grafiği yerine, $(\ln(1+e) - \log \sigma')$ grafiğinin çizilmesi durumunda, iki farklı eğimdeki doğrular oluşacağı belirtilmektedir. Bu iki doğrunun kesim noktasının yatay eksenindeki değeri, ön konsolidasyon basıncı olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3.3 Butterfield yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi

3.5. Tavenas Yöntemi

Tavenas (1978) yöntemi, gerilme-deformasyon enerjisi ilişkisinden ön konsolidasyon basıncının tespit edilmesi esasına dayanmaktadır. Deformasyon enerjisi ödometre deneyi sonucunda çizilen gerilme-deformasyon eğrisinin altında kalan alana eşittir. Şekil 3.4’de gösterildiği gibi, sıkışma eğrisi hareketine doğrusal olarak ve düşük bir eğimde başlamakta, zemine uygulanan gerilmenin arttırılmasıyla eğri doğrusal ve düşük eğimli hareketine devam etmektedir. Arttırılan gerilme belirli bir değere ulaştığında, eğrinin bu doğrusal hareketinin eğimin çok fazla miktarda değişmekte ve gerilme artışına bağlı olarak yüksek eğimde devam etmektedir. Eğrinin eğim değiştirdiği bu noktanın yatay eksenindeki değeri, ön konsolidasyon basıncı olarak alınmaktadır.



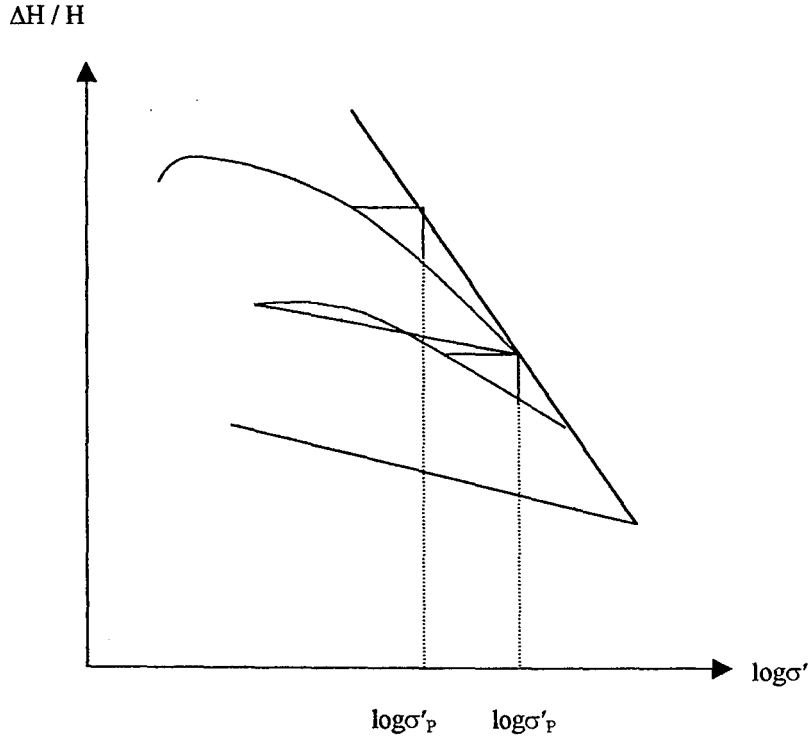
Şekil 3.4. Tavenas yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi

Yöntemin uygulanışının basit olması ve standart yüklemeli kademeli ödometre deneylerinde uygun sonuçlar vermesi, Tavenas Yöntemine avantaj sağlamaktadır.

3.6. Burmister Yöntemi

Burmister yöntemi, yarı logaritmik eksen takımında gerilme-deformasyon ilişkisinin yükleme-boşaltma-tekrar yükleme yapılan ödometre deneylerinden elde edilen verilerden ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi esasına dayanan bir yöntemdir.

Bu yöntemin uygulanışı (Şenol, 1997) tarafından aşağıdaki şekilde yapılmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Burmister yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi

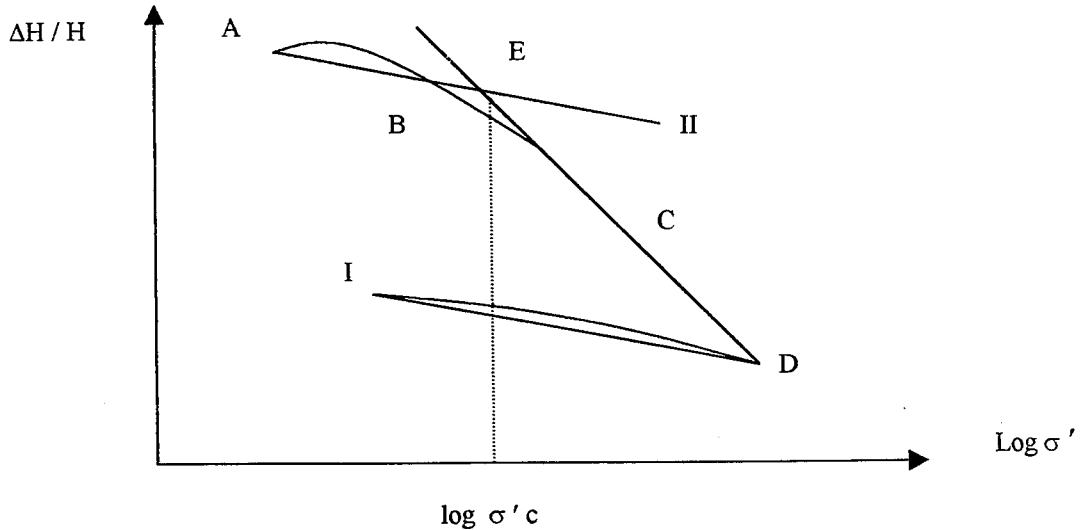
1. Önceden seçilen bir gerilme değerine kadar kademeli olarak birinci yükleme yapılır.
2. Bu gerilmeye ulaşıldıktan sonra, kademeli (en az 3 kademe) olarak boşaltma işlemi uygulanır.
3. İlk gerilmeden daha büyük bir gerilme seçilip kademeli olarak ikinci yükleme yapılır.
4. Deneyler tamamlandıktan sonra $\Delta H / H - \log \sigma'$ grafiği çizilir.
5. Birinci yükleme eğrisinin en son değerinden, ikinci yükleme eğrisine bir dik çizilerek birinci üçgen elde edilir.
6. Tekrar yükleme eğrisinin doğrusal alt kısmından bir teğet çizilerek yukarı doğru uzatılır.

7. Birinci üçgenin düşey birleşenine eşit büyüklükteki bir doğru parçası, birinci yükleme eğrisi ile tekrar yükleme eğrisinin doğrusal kesiminin uzantısını dikey ve tam olarak birleştirdiği noktalara yerleştirilir. Bu doğrunun en üst noktasından bir yatay doğru birinci yükleme eğrisini kesinceye kadar uzatılır ve ikinci üçgen elde edilir. Bu üçgenin, apsis üzerindeki izdüşümü ön konsolidasyon basıncı olarak belirlenir.

Burmister yöntemi ile ön konsolidasyon basıncı çizilen grafiğin küçük bir bölgesinde belirlendiği için, bu yöntem deneylerin yapılış şartlarından ve küçük hatalardan çok çabuk etkilenmektedir. Bu nedenle uygulaması basit olmasına rağmen, çok fazla kullanılmamaktadır.

3.7. Van Zels Yöntemi

Van Zels yöntemi, numune üzerine kademeli olarak artan bir gerilmenin uygulanması ve bu gerilmenin kademeli olarak kaldırılmasıyla elde edilen veriler ile çizilen konsolidasyon eğrilerine uygulanabilen basit bir yöntemdir (Şenol, 1997).



Şekil 3.6 Van Zelst Yöntemi ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi

Burmister yönteminde olduğu gibi $\Delta H / H - \log \sigma'$ grafiği kullanılır. Şekil 3.6'da da gösterildiği gibi, önce boşaltma eğrisine paralel bir doğru (I) çizilir.

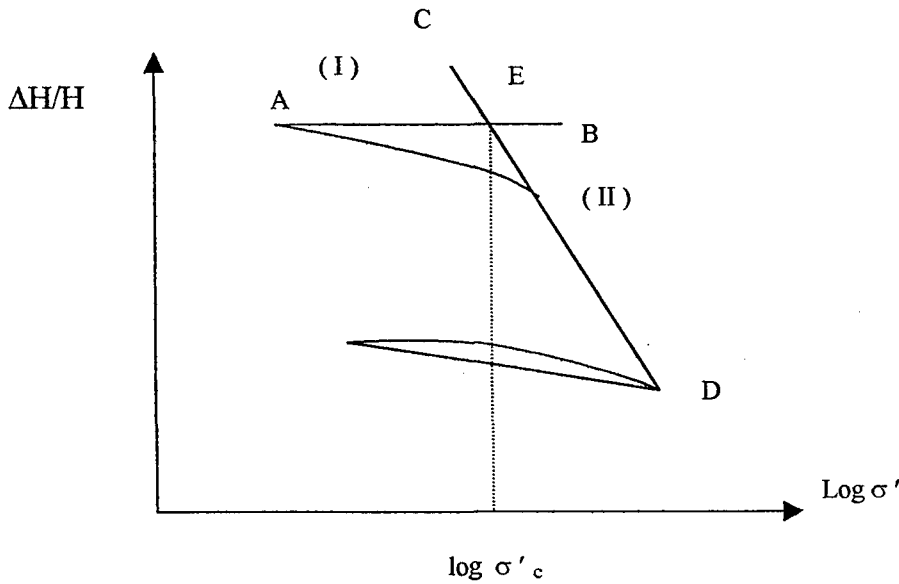
Daha sonra yüklemenin başlangıç noktasından, bu doğruya ikinci bir paralel doğru (II) çizilir. Son olarak da eğrinin doğrusal olan alt kısmından yukarıya doğru bir teğet çizilir. Bu teğetin, II no'lu doğruyu kestiği noktanın apsis üzerindeki izdüşümü ön konsolidasyon basıncı olarak belirlenir.

3.8. Eski Yöntem

Bu yöntem de Casagrande yönteminden yola çıkılarak bulunmuştur. Van Zelst yöntemiyle aynı yarı logaritmik eksen takımını kullanan bu yöntem uygulamada Van Zelst yöntemine çok benzer.

Deney esnasında, numune üzerine kademeli olarak artan bir gerilme uygulanıp aynı gerilme kademeleri takip edilerek boşaltma işlemi uygulanır. Deney sonunda elde edilen verilerle konsolidasyon eğrileri çizilir.

Şekil 3.7'de de gösterildiği gibi, yükleme eğrisinin başlangıç bölümünden sağa doğru yatay bir çizgi (I) çizildikten sonra, yükleme eğrisinin doğrusal olan alt bölümünden yukarı doğru bir teğet çizilir. Bu iki doğrunun kesiştiği noktanın (E), apsis üzerindeki iz düşümü ön konsolidasyon basıncı olarak belirlenir (Şenol,1997).



Şekil 3.7 Eski yöntem ile ön konsolidasyon basıncının belirlenmesi

4. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER

4.1. Zeolitler

4.1.1. Tarihçesi

1756 yılında İsveçli minereolog Friedrich Cronstedt İsveç'in Lappmark bölgesinde Suappari bakır ocaklarında iyi şekilde oluşmuş, değişik türde kristal örneklerini toplar. Bu kristal örneklerini açık bir test tüpünde ısıttığı zaman yapılarında bulunan suyu dışarıya verirken köpürmesinden dolayı, Yunanca, kaynayan taş anlamına gelen zeolit adını vermiştir (Yücel ve Çulfaz, 1984).

1925 yılında, suyu uçurulmuş zeolitlerin küçük organik molekülleri adsorblandıklarını ancak büyük molekülleri içlerine kabul etmediklerini Weigel ve Steinhoff buldular. Zeolitler, molekülleri büyüklüklerine göre ayırma özelliklerinden dolayı 1932'de Mc Bain tarafından "moleküler elek" olarak isimlendirilmiştir.

Zeolitler üzerindeki ilk deneysel çalışma 1857'de A. Domour'un dehidrasyon (su atma) tersinirliğinin incelemesidir. E. Eichorn 1858'de zeolitlerin ilk iyon değişimi özelliklerini incelemiştir. G. Friedel 1896 yılında susuz (dehydrate) zeolitler üzerinde gazların, alkolün ve bazı maddelerin adsorblandığını göstermiştir (Yörükoğulları, 1997).

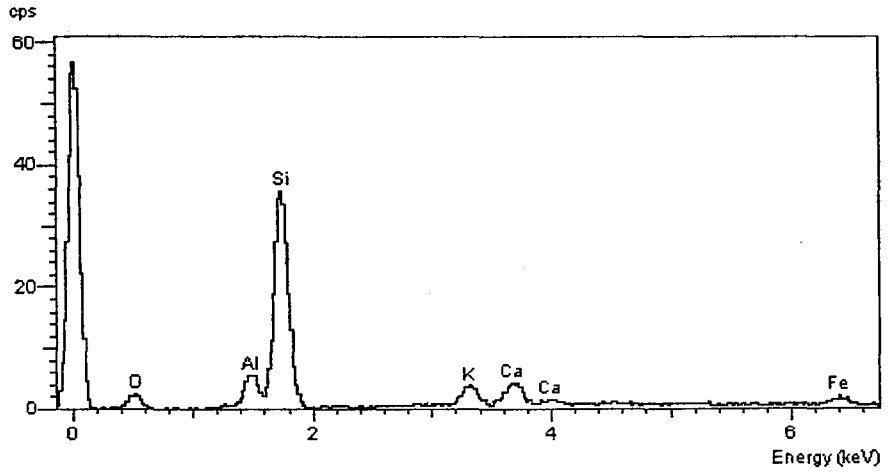
X-ışınları tekniği kullanılarak zeolitlerin yapı analizi L. Pauling ve W.H.Taylor tarafından 1930'da ve çalışma arkadaşlarıyla 1933'de yapmışlardır. Bu çalışmalarda zeolit yapısı aydınlatılmıştır.

Union Carbide firmasındaki yer bilimciler, doğal zeolitler hakkında çıkan yayınları taramışlardır. Bu taramalar sonunda Union Carbide'li yer bilimciler 1958 yılında ticari olarak üretim yapılabilecek ilk doğal zeolit yataklarını buldular (Yörükoğulları, 1997). Yapılan araştırmalar sonucunda ender bulunan bir mineral grubu sanılan doğal zeolitlerin bol miktarda bulundukları görüldü. Bugün ABD, İtalya, Yeni Zelanda, Japonya başta olmak üzere Bulgaristan, Türkiye ve Kanada'da zengin ve saf doğal zeolit yataklarının varlığı

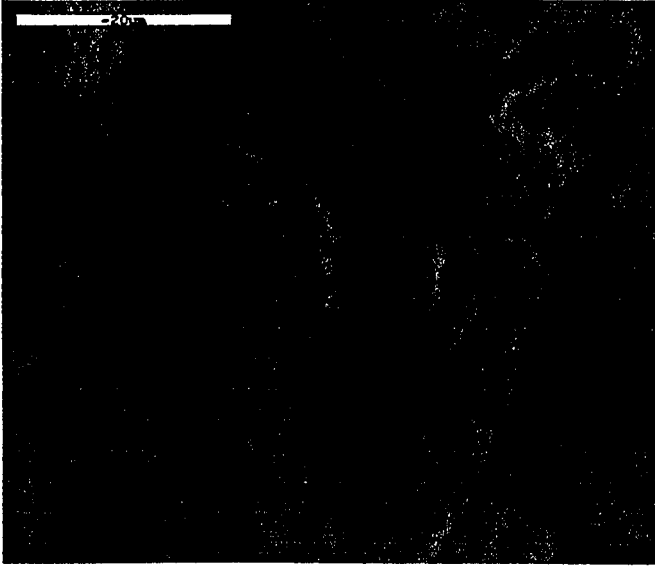
bilinmektedir. Bugün yaklaşık 40 tür doğal zeolit bilinmektedir ve yaklaşık 150 zeolit sentez edilmiştir. Doğal zeolitlerin en yaygın olanları eriyonit, mordenit, şabazit ve klinoptilolittir.

4.1.2. Deneylerde kullanılan zeolitlerin özellikleri

Deneylerde kullanılan zeolitlerin EDX analizi Şekil 4.1' de, (SEM) elektron taramalı fotoğrafı Şekil 4.2'de kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1 de verilmektedir.



Şekil 4.1. Zeolitin EDX analizi



Şekil 4.2 Zeolitin SEM fotoğrafı

Çizelge 4.1. Zeolitin kimyasal analiz sonuçları (Güney ve Koyuncu, 2002)

Kimyasal	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	KK	CO ₂
Özellikleri	71,39	13,30	0,94	2,74	0,71	3,69	0,47	6,25	0,96

4.2. Kil Mineralleri

4.2.1. Tanımlar

Kil, bir kayaç terimi olarak kullanıldığı gibi sedimanter (çökelti veya tortul) kayaçlar, toprak vb. maddelerin mekanik analizinde parçacık boyutu terimi olarak kullanılır. Kil adını alan malzemelerin çok çeşitli oluşundan dolayı bir kayaç terimi olarak kili kesin bir şekilde tanımlamak zordur. Genel anlamda kil terimi, sınırlı miktarda su ile karıştırıldığında plastiklik kazanan ve doğal halde topraksı çok ince taneli bir malzemeyi kapsamaktadır. Plastiklik terimi ile, bir basıncın uygulanmasıyla şekil değiştiren ve basıncın ortadan kalkmasıyla şekil değişikliğinin korunduğu nemli malzeme özelliği anlatılmak istenmektedir. Killerin kimyasal analizleri, temelde silika alümina ve sudan oluştukları, çoğu kez fark edilebilecek miktarda demir, alkali ve toprak alkalileri içerdiklerini de ortaya koymaktadır.

Kil adı verilen bazı malzemelerin yukarıdaki özelliklere sahip olmayışları bir güçlük oluşturmaktadır. Çakıl taşı kili (fligh clay) adı verilen malzeme su ile karıştırıldığında plastik özelliği göstermez. Bununla birlikte diğer killerin özelliklerine sahiptir. Kil terimim genetik bir anlam taşımaz. Kil, hidrotermal etkiyle şekillenen havalandırma ürünü olan veya bir çökelti olarak ortaya çıkan bir malzeme olarak düşünülür.

Parçacık boyutu terimi olarak kil kesri en küçük parçacıkların birleştiği boyut kesridir. Kil boyutu, farklı bilim dallarında farklı şekillerde tanımlanır. Jeolojide Wentworth (Wentworth, 1992) ölçeği izlenmekte ve 4 mikrometreden daha küçük boyutlu malzeme kil boyutu olarak kabul edilmektedir. Toprak araştırmalarında, kil boyutunun üst limiti 2 mikrometredir. Kil minerallerinin parçacık boyutu ile kili çökeltideki kil olmayan minerallerin parçacık boyutu arasında kesin bir evrensel sınır olmamasına karşın birçok analiz göstermiştir ki kil mineralleri için seçim 2 mikrondan küçük boyutta yoğunlaşmaktadır. Kil suya konduğu zaman daha büyük boyutta yoğunlaşmaktadır. Kil suya konulduğu zaman daha büyük boyutlu parçacıkların bu boyuta kolayca parçalanabildikleri gözlenmiştir. Analizler, kil olmayan minerallerin 1 ile 2 mikrondan daha küçük parçacıkları içermediği göstermiştir. O halde 2 mikron ayrımı doğal malzemelerin kil ve kil olmayan mineral bileşenlerinin en iyi ayrımı için optimum boyuttur. Böylece 2 mikronluk kil boyutu üst limitini kabul etmenin temel nedeni ortaya çıkmış olur.

Killer değişken yüzeylerde kil sınıfı malzeme içerirler. Bu nedenle, kil olmayan ve kil bileşenlerinin, değişken bağıl değerleri söz konusudur.

Sınırlı plastiklik özelliği gösteren kesir büyüklükleri belirsiz olan kaba malzemeler mil veya kum adını alırlar. Parçacık boyutu analizleri yapılırsa kil sınıfının ağır bastığı bir malzeme için kil adının kullanılması gerekir (Grim, 1953).

4.2.2. Kil malzemelerinin oluşumu ve sınıflandırılması

Killer, hidratlaşmış alüminosilikatlar olup feldispatlı volkanik kayaların kimyasal ve mekaniksel bozulmaları sonucu oluşmuşlardır. (Feldispat: Doğal olarak potasyum, sodyum, baryum ve kalsiyum alümina silikat grubuna verilen addır). Bazı minerallerde alüminyum yerine kısmen veya tamamen demir ve magnezyum yapıya girer.

Nispeten düşük sıcaklıklarda feldispatları oluşturan silikatların asitli ortamlarda bozulmaları sonucu kaolin türü kil mineralleri oluşur. Volkanik küllerin sağladıkları bazal çökeltelerde, volkanik kayaların bozulması ile bentonit türü kil mineralleri oluşur.

Bazı kil mineralleri sıralanırsa;

Kaolinit: Yüksek tepe anlamına gelir. (Kau-ling) ilk kez Çin'liler bulmuştur. Bu tür kilin şişme özelliği yoktur. Ara tabaka suyu yoktur. Bunu için seramik endüstrisinde kullanılır.

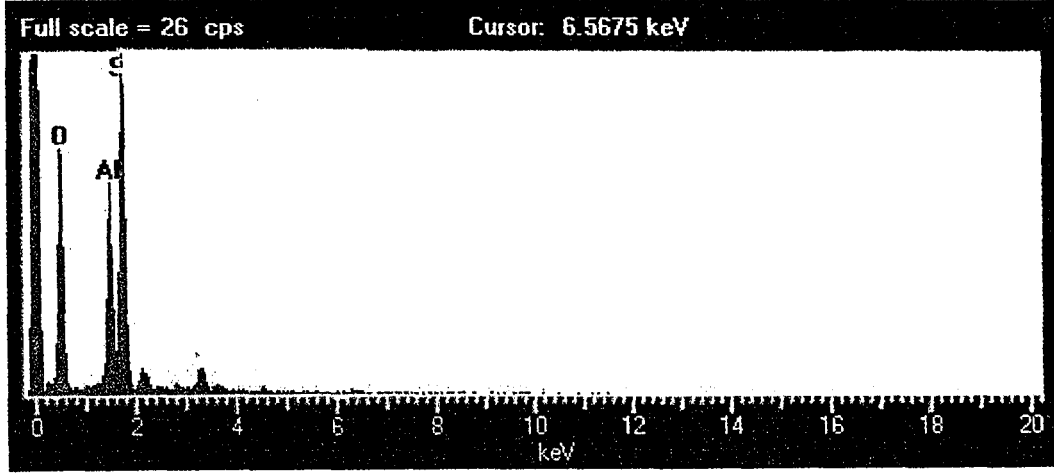
Bentonit: Amerika Birleşik Devletleri'nin Ford-Benton bölgesinde, ilk kez 1888'de Knight tarafından bulunmuştur. Şişme özelliği gösteren killerdir. Bentonit türü killer daha çok filtrasyon işlemlerinde kullanılır. Ağartma işlemlerinde kullanılır. Sıvıların süzülmesi amacıyla kullanılır. Ara tabaka suyu vardır.

Montmorillonit: Fransızlar tarafından bulunmuştur. 1847'de Damour ve Salvétat, Fransa'nın Montmorillon bölgesinde bu türü bulmuşlardır.

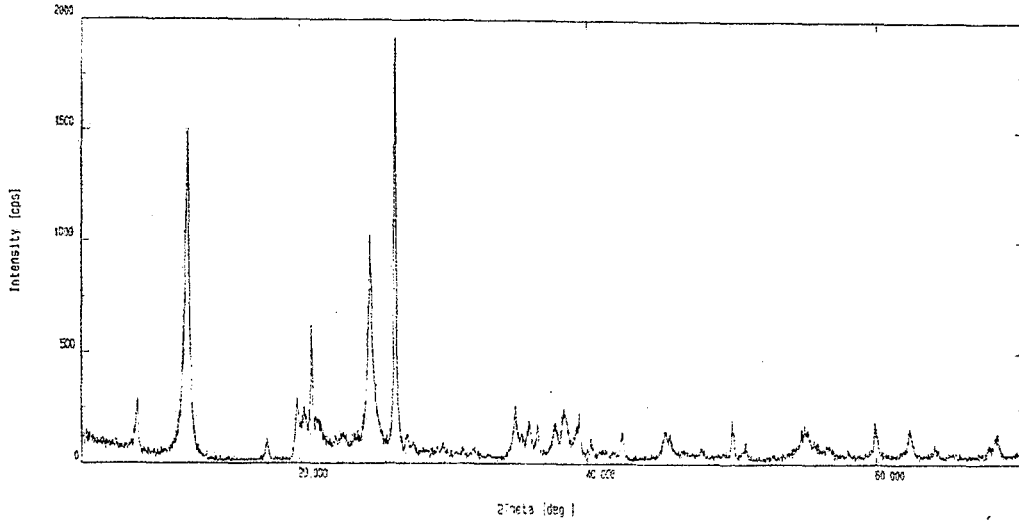
Segmentit: Cronstedt tarafından 1788'de montmorillonitle aynı görünüme sahip segmentit mineralini bulmuştur (İsveç'te). Günümüzde montmorillonit daha yaygın şekilde kullanılan kil türüdür. Bentonit, temel bileşeni montmorillonit olan bir kildir.

4.2.3. Deneylerde kullanılan kaolinitin özellikleri

Bozüyük'te faaliyet gösteren Eczacıbaşı Fabrikası'ndan alınan ESBKA-2 kili bu çalışmada kaolinit olarak adlandırılmıştır. Kaolinitin özellikleri Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5 ile, Çizelge 4.2 ve 4.3'te verilmektedir.



Şekil 4.3. Kaolinitin EDX analizi



Şekil 4.4. Kaolinitin XRD grafiği



Şekil 4.5. Kaolinitin SEM fotoğrafı

Çizelge 4.2. Kaolinitin kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	AZ
Özellikleri	53	30	1,8	0,4	0,5	1,9	0,35	1,2	10,5

Çizelge 4.3. Kaolinit indeks özellikleri

G _s	Çakıl	Kum	Silt	Kil	w _L	w _p	I _p
	%	%	%	%	%	%	%
2,59	0	1	39	60	40	26	14

4.3. Bentonit

Volkanik kül ve tuf gibi camsı volkanik gerecin kimyasal ayrışması ile ve bozuşması ortaya çıkan ve son derece küçük kristaller halindeki kil minerallerinden(başlıca montmorillonit grubu) oluşan ve büyük ölçüde kolloidal silisden ibaret, yumuşak şekillenebilir, gözenekli ve açık renkli bir kayadır.

Bentonit ticari anlamda su ile temasa geçince şişebilen ve en az %85'i montmorillonit mineralinden oluşan ince taneli, asitle aktifleştirilebilen, sondaj

çamurlarını koyulaştıran ve geniş bir yüzey alanı gösteren çeşitli renklerdeki kil yataklarına denir. Beyaz, gri – beyaz, bazen mavimsi, pembe, yeşil tonda olan montmorillonit toprağımsı gevşek veya kompakt kitleler halinde bulunur. Tek kristalin sertliği kesin olarak bilinmemekle birlikte çok yumuşaktır. Alkali jel haline getirilebilir. Çok yüksek bölünme özelliği ve yüksek porozite gösterir. Maksimum partikül boyutu 0.1 mikrondur. Halbuki çok iyi kalitedeki ince “Çin Kili” nin partikül boyutu 1 mikrondur.

Su ile hacmi 10 – 30 kat artan bentonit kolloidal alüminyum hidrosilikattır. %1 – 2 ölçüsünde bentonit su içerisine konularak kuvvetli bir şekilde çalkanırsa süspansiyon halinde kalır.

Bentonit iki tiptir. Biri suya konunca şişer ve jelatin özelliği gösterir. Bu bentonit suyu absorbe eder. Diğer tip ise suya konunca hacminde çok az değişme gösterir ve suyu az absorbe eder.

Şişen bentonitler “sodyum bentonitler” dir. Hacminin 1 – 15 misli hacim artışı gösterirler. Bu tip bentonit su içinde devamlı süspansiyon halinde kalır. Su ve bazı organik sıvı ortamda hacimce şişmesi, yüksek poroziteye sahip olması bu killere çok geniş kullanım olanağı sağlamaktadır.

Şişmeyen bentonitler “kalsiyum bentonitler”dir. Az miktarda su absorbe ederler. Bal mumu görünümündedirler, suda çabuk dağılırlar, kil gibi yapışmazlar. Bu grup bentonitlerde tabakalar arası değişebilen iyonlarda kalsiyum mevcuttur. Fiziksel özellikler genellikle her iki bentonitlerde aynıdır. Asit ile muamele edildiklerinde bazı kullanım alanları değişebilmektedir. Örneğin Ca – bentonit asit ile muamelesinden sonra petrol yağlarında tasviye edici olarak kullanıldığı halde Na – bentonitlerde böyle bir özellik yoktur.

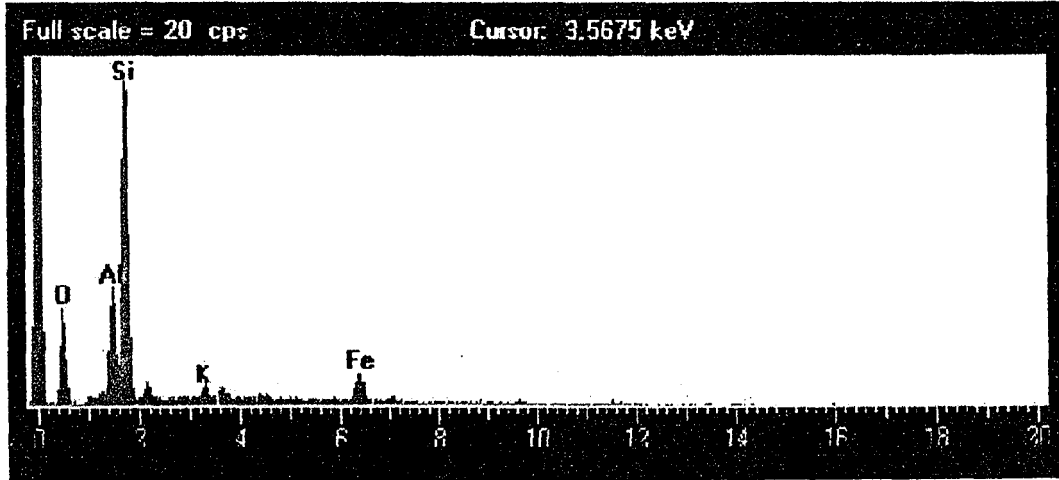
4.3.1. Bentonit çeşitleri

İçerdikleri alkali oranına bağlı olarak üç çeşit bentonit vardır:

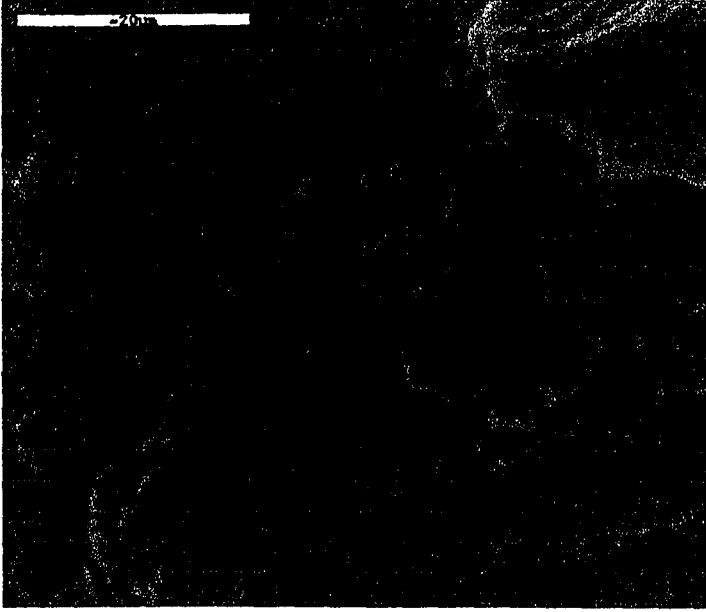
1. Alkali Bentonitler: Bu bentonit kolaylıkla yer değiştiren alkali bazları kapsar ve asit ile muamele edildiğinde daimi olarak bozulmayan bir alkali bir tuz ile orijinal özelliklere sahiptir.
2. Alkali Yarı Bentonitler: Bunlarda kolay yer değiştiren alkali bazını kapsar ve asitle muamele edildiklerinde orijinal özelliklerini kaybederler.
3. Toprak Alkali Bentonitler: Bu bentonitte kolayca yer değiştiren toprak alkali bazını kapsar. Asitle muamele edildiğinde alkali bentonit özelliğini kaybeder. Petrol tasviye bentonitlerinin çoğu bu sınıftandır.

4.3.2. Na – Bentonit

Çalışmada Na-Bentonit kili , B/Z karışımlarının fiziksel ve kimyasal karakteristiklerini iyileştirmek için kullanıldı.Na-Bentonit , metalleri ve organikleri absorbladığından dolayı kohezyonlu zemin olarak seğıildi. Na-Bentonit oldukça plastik ve ucuz bir malzemedir. Na-Bentonit çok ince yassı kolloidal alüminyum silkat olup hacmi su ilavesiyle 10-30 kat arasında artabilmektedir. Na-Bentonitin özellikleri Şekil 4.6, 4.7 ile Çizelge 4.4 ve 4.5'te verilmektedir.



Şekil 4.6. Na – Bentonitin EDX analizi



Şekil 4.7. Na – Bentonitin SEM fotoğrafı

Çizelge 4.4. Na – Bentonitin kimyasal analiz sonuçları (Güney ve Koyuncu, 2002)

Kimyasal Özellikleri	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	KK	CO ₂
	59,49	18,06	4,14	0,72	2,42	0,91	2,50	8,02	1,31

Çizelge 4.5. Na-Bentonitin fiziksel ve indeks özellikleri

PH	9,50
Elektiriksel iletkenlik (miliSimens/cm)	2,69
Katyon Değişim Kapasitesi (meq/100 gr)	90
Tane Özgöl ağırlığı	2,60
Silt (%)	12
Kil (%)	88
Likit Limit (%)	447
Plastik Limit (%)	60
Rötre Limiti (%)	32

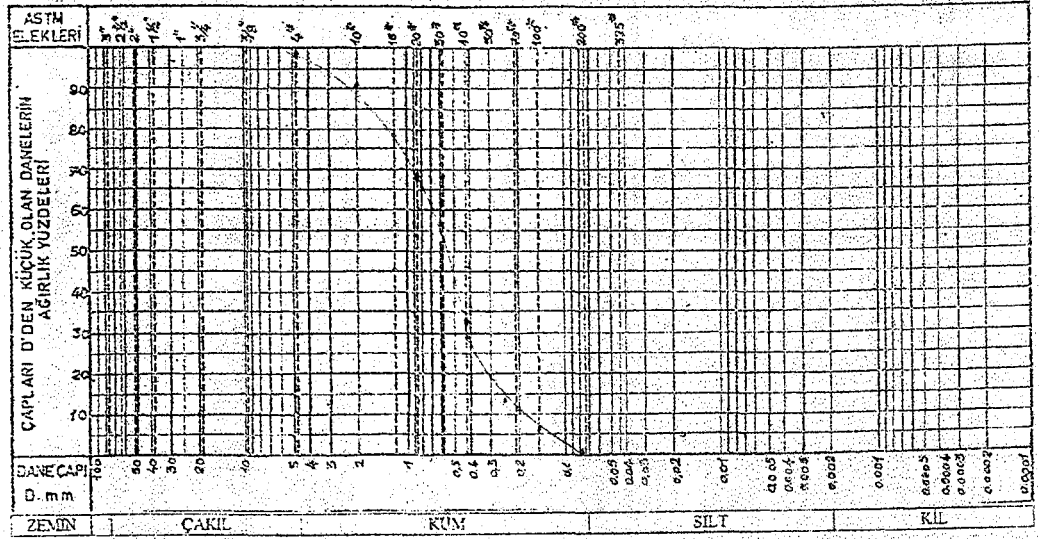
4.4. Kum

Genellikle 0-7 mm arasında kalan agregaya kum adı verilmektedir. Kum doğal veya yapay olabilir. Doğal kum, kum ocaklarından, dere yataklarından veya deniz kıyısından elde edilir. Yapay kum ise taşların konkosörle kırılması ile mekanik olarak üretilir. Doğal olarak elde edilen kumun içersinde kil ve silt bulunacağından kum numuneler deneylerde yıkanarak kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan kum Eskişehir'e 116 km mesafede bulunan Osmaneli kum ve çakıl ocaklarından getirilmiştir. Kumun indeks özellikleri Çizelge 4.6 ve dane çapı dağılımı ise Şekil 4.8 verilmiştir.

Çizelge 4.6. Yıkanmış kumun özellikleri

G_s	Çakıl %	Kum %	D_{10} %	D_{30} %	D_{60} %	C_u	C_c
2,65	1	99	0,7	0,42	0,15	4,66	1,68



Şekil 4.8. Kumun dane çapı dağılımı

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Numunelerin gerçek ön konsolidasyon basıncını belirleyebilmek amacıyla, laboratuvarında farklı özelliklerde hazırlanan deney numuneleri bilinen basınçlarda ön konsolide edilerek standart konsolidasyon ve serbest basınç deneyi uygulamasına tabi tutulmuşlardır.

5.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

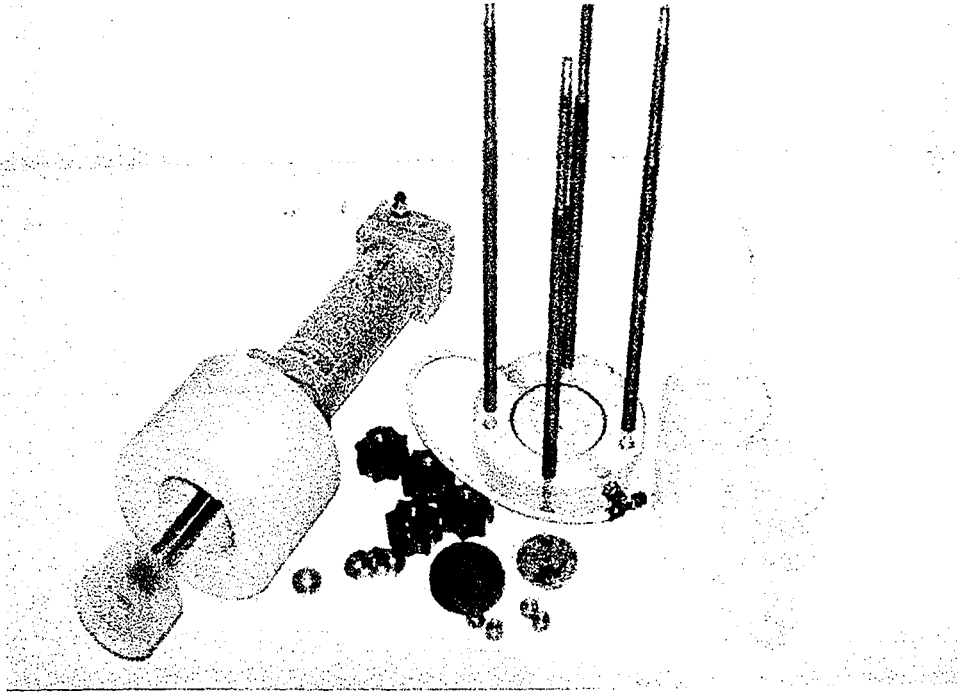
Kaolinit kilinin likit limit su içeriği değerine; % 10'u kadar su ilave edilerek kaolinit ($W_L + \% 10$ su), % 20'sikadar su ilave edilerek kaolinit ($W_L + \% 20$ su), % 10' kadar kum ilave edilerek kaolinit ($W_L + \% 10$ kum), % 20'si kadar kum ilave edilerek kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) ve zeolite ağırlığının % 10'u kadar bentonit katarak elde edilen karışımın likit limit su içeriğine % 20 su ilave edilerek B/Z ($W_L + \% 20$ su) numuneleri hazırlanmıştır.

5.2. Deneylerde Kullanılan Aletler

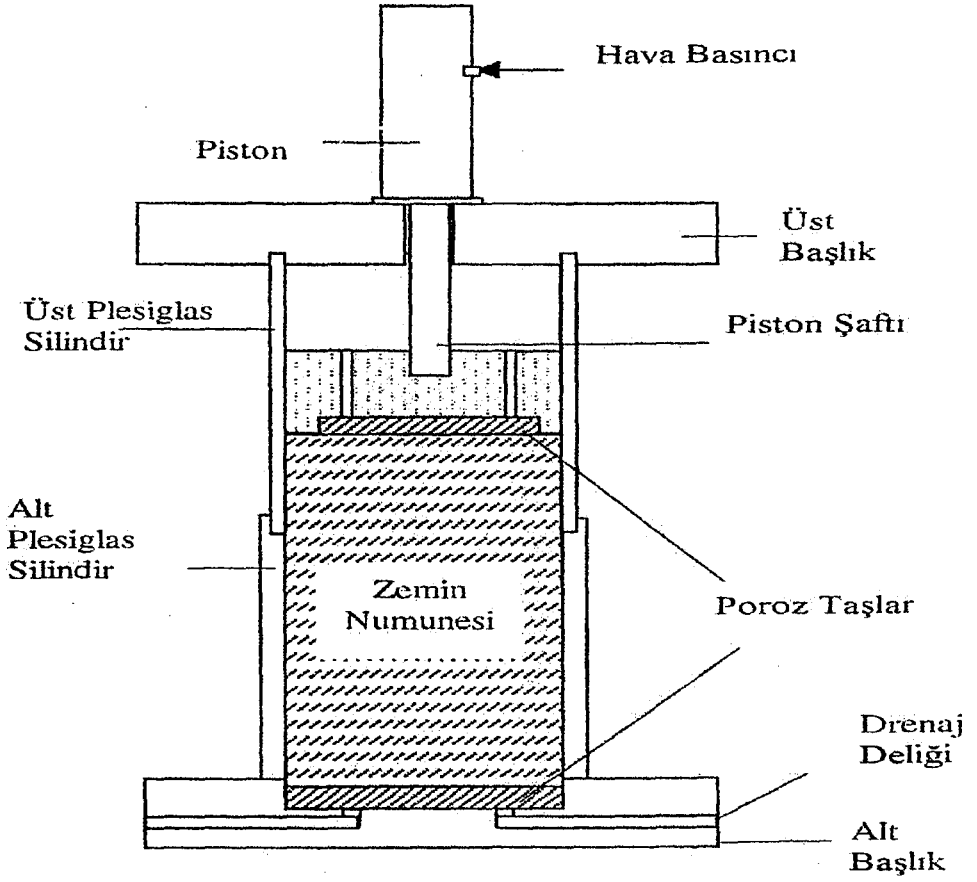
5.2.1. Ön Konsolidasyon Aleti ve Numunelerin Ön Konsolide Edilmesi

Ön konsolidasyon aleti; piston, fleksiglass silindirler, alt ve üst başlıklar ve poroz taşlarından oluşmaktadır. Bu alette piston çapı 6,3 cm ve strok boyu 16 cm olan bir piston kullanılmıştır. Alt ve üst başlıkların yükseklikleri 4 cm ve çapları 12 cm'dir. Alt ve üst başlık, birbirlerine 4 adet çubuk ile bağlanmaktadır. Fleksiglass silindirlerin, iç çapları 7 cm ve yükseklikleri 15 cm'dir. Ön konsolidasyon aletine ait parçalar Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Kaolinit kili, etüvde kurutulduktan sonra tokmak yardımıyla dövülerek 100 nolu elekten geçirilmiştir. 200 nolu elek altı boyuta sahip zeolit – bentonit karışımı da etüvde kurutulduktan sonra, numuneler kuru ağırlıklarına likit limit, likit limit + % 10 su ve likit limit + % 20 su ilave edilerek karıştırılmışlardır.

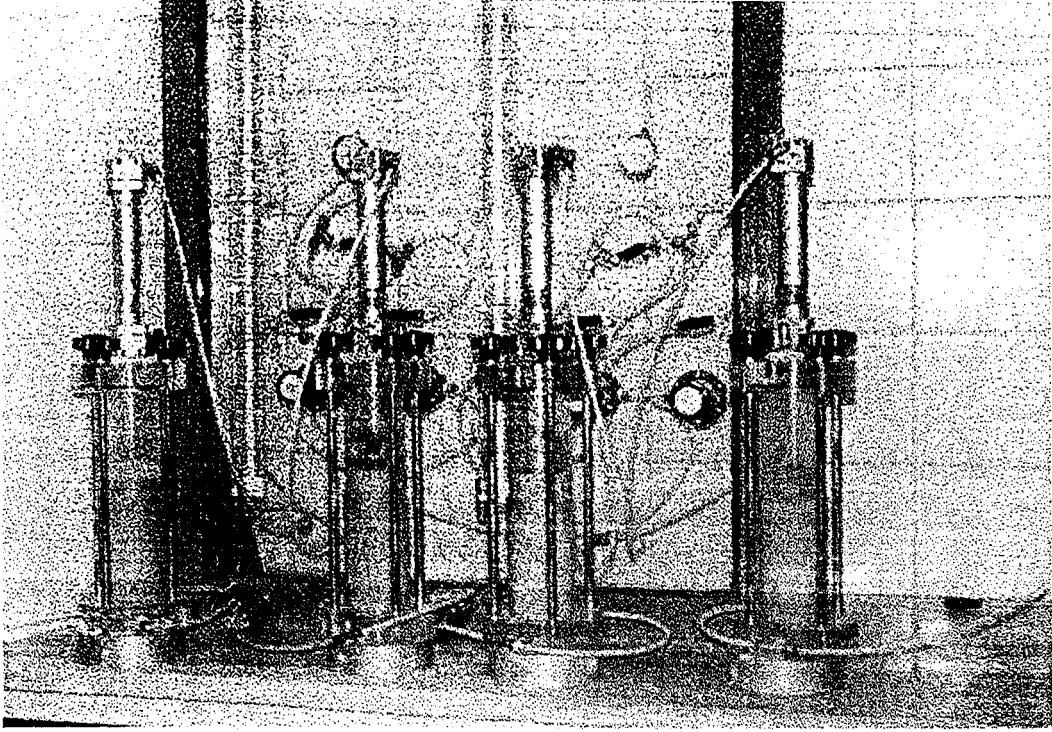


Şekil 5.1. Ön konsolidasyon aleti parçaları



Şekil 5.2. Ön konsolidasyon aleti şematik gösterimi

Çamur (slurry) halinde hazırlanan numuneler Şekil 5.2' de görülen ön konsolidasyon aletine yerleştirilmiş ve üzerlerine 45, 60, 80 psi (63900, 85200, 113600 kN/m²)'lik basınç uygulanmıştır. Sistemin fotoğrafı Şekil 5.3' te verilmiştir. Ön konsolidasyon aleti içerisindeki numunelere 7 ve 15 günlük ön konsolidasyon uygulaması yapılmıştır.



Şekil 5.3. Ön konsolidasyon aletlerinin fotoğrafı

5.2.2 Konsolidasyon Aleti ve Numunelerin Konsolide Edilmesi

Ön konsolide edilen numuneler hidrolik numune çıkartıcı ile fleksiglass silindirlere içlerinden çıkarılarak konsolidasyon halkasına alınmıştır. Konsolidasyon halkaları, konsolidasyon hücrelerine yerleştirilerek deneylere başlanılmıştır. Deneyler TS-1900'de belirtildiği şekilde yapılmıştır. Yükleme kademeleri altı kademe olarak seçilmiş ve 1, 2, 4, 8, 16, 32 kg'larda yükleme yapılmıştır. Yapılan yüklemeler 0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8, 15, 30 dak. ve 1, 2, 4, 8, 16, 24 saat süre sonundaki oturma okumaları deformasyon saatleri yardımı ile kaydedilmiştir.

5.3. Konsolidasyon ve Tek Eksenli Basınç Deneyi Verileri

Hazırlanan numuneler üzerinde yapılan konsolidasyon ve tek eksenli basınç deneyinden aşağıdaki veriler elde edilmiştir. Numunelerin gerilme deformasyon (σ - ϵ) grafiklerinden elde edilen tek eksenli basınç verileri için deformasyon değeri $\epsilon = \% 2,5$ olarak sabit tutulmuş ve bu değere karşılık gelen gerilme, maksimum basınç olarak, konsolidasyon deneyinden elde edilen σ_p' ön konsolidasyon değeri olarak çizelgelerde verilmiştir. Bazı numunelerde ise çeşitli sebeplerle ortaya çıkan bozulmalardan dolayı sonuç alınamamıştır.

Çizelge 5.1. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) (D=63 mm P=80 psi) verileri

Numune	1		2		3		4		5	6
e_0	0,682		0,681		0,697		0,678			
ϵ_v	0,347		0,362		0,373		0,347			
Bekleme Süresi (gün)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)
7	0,94	1,80	0,22	1,90	0,79	1,50	1,00	1,70	1,20	0,62

Çizelge 5.2. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) (D=63 mm P=80 psi) verileri

Numune	1		2		3		4		5	
e_0	0,679		0,677							
ϵ_v	0,969		0,347							
Bekleme Süresi (gün)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)
7	0,90	1,20	0,56	0,80						

Çizelge 5.3. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) (D=63 mm P=80 psi) verileri

Numune	1		2		3		4		5	
e_0	0,607		0,597		0,615					
ϵ_v	0,337		0,363		0,321					
Bekleme Süresi (gün)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)
7	0,78	1,0	0,86	1,0	0,75	1,05	0,25			

Çizelge 5.4. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) ($D=63$ mm $P=80$ psi) verileri

Numune	1		2		3		4		5	
e_0	0,571		0,552		0,534					
ϵ_v	0,306		0,316		0,295					
Bekleme Süresi (gün)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)
7	0,95	1,30	0,74	1,50	0,96	1,25				

Çizelge 5.5. B/Z ($W_L + \% 20$ su) ($D=63$ mm $P=80$ psi) verileri

Numune	1		2		3		4		5	
e_0	1,148		0,834		1,164		1,171		1,277	
ϵ_v	0,419		0,502		0,565		0,508			
Bekleme Süresi (gün)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)
7	1,05	1,70	1,00	1,40	1,05	1,40	1,36	1,60	0,946	1,07

Çizelge 5.6. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) ($D=63$ mm $P=80$ psi) verileri

Numune	1		2		3		4		5	
e_0	0,673		0,681		0,685					
ϵ_v	0,181		0,347							
Bekleme Süresi (gün)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)
15	0,79	0,75	0,63	0,80	0,74	1,40				

Çizelge 5.7. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) ($D=63$ mm $P=80$ psi) verileri

Numune	1		2		3		4		5	
e_0	0,664		0,66		0,663					
ϵ_v	0,44		0,321		0,44					
Bekleme Süresi (gün)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)
15	0,52	1,85	0,75	1,70	0,53	1,30	0,79		0,80	

Çizelge 5.8. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) (D=63 mm P=80 psi) verileri

Numune	1		2		3		4		5	
e_0	0,548		0,642		0,632					
ϵ_v	0,30		0,347		0,321					
Bekleme Süresi (gün)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)
15	0,98	1,70	0,46	1,45	0,93	1,25				

Çizelge 5.9. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) (D=63 mm P=80 psi) verileri

Numune	1		2		3		4		5	
e_0	0,527		0,57		0,571					
ϵ_v	0,29		0,326		0,295					
Bekleme Süresi (gün)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)
15	0,90	1,40	0,70	0,95	0,93	1,40				

Çizelge 5.10. B/Z ($W_L + \% 20$ su) (D=63 mm P=80 psi) verileri

Numune	1		2		3		4		5	6
e_0	1,187		1,142		1,174					
ϵ_v	0,497		0,456		0,482					
Bekleme Süresi (gün)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)
15	1,12	2,0	1,18	1,3	1,30	1,50	1,28		1,14	1,35

Çizelge 5.11. B/Z ($W_L + \% 10$ su) (D=63 mm P=80 psi) verileri

Numune	1		2		3		4		5	
e_0										
ϵ_v										
Bekleme Süresi (gün)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli Max. Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)
15	1,06									

Çizelge 5.12. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) ($D=63$ mm $P=60$ psi) verileri

Numune	1		2		3		4		5	
e_0	0,75		0,76							
ϵ_v	0,28		0,29							
Bekleme Süresi (gün)	Tek Eksenli max Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli max Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli max Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli max Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli max Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)
15	0,91	0,78	0,85	0,90						

Çizelge 5.13. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) ($D=63$ mm $P=45$ psi) verileri

Numune	1		2		3		4		5	
e_0	0,781		0,767		0,784		0,785			
ϵ_v										
Bekleme Süresi (gün)	Tek Eksenli max Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli max Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli max Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli max Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli max Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)
15		0,90	1,152	0,80	0,664	0,7	0,526			

Çizelge 5.14. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) ($D=63$ mm $P=45$ psi) verileri

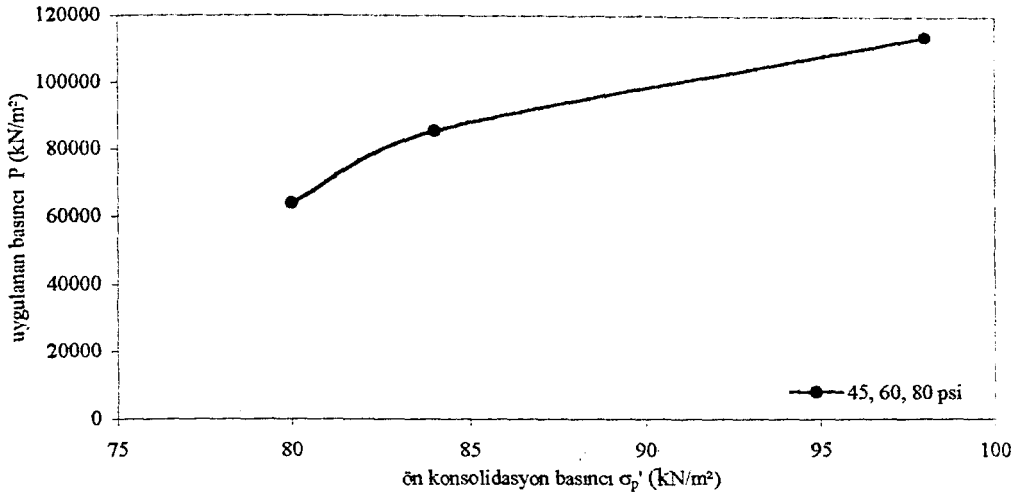
Numune	1		2		3		4		5	
e_0	0,815		0,756							
ϵ_v										
Bekleme Süresi (gün)	Tek Eksenli max Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli max Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli max Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli max Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)	Tek Eksenli max Basınç (kg/cm ²)	Ön Konsoli. (kg/cm ²)
15	0,408	0,80	0,498							

5.4. Deney Verilerinin Değerlendirilmesi

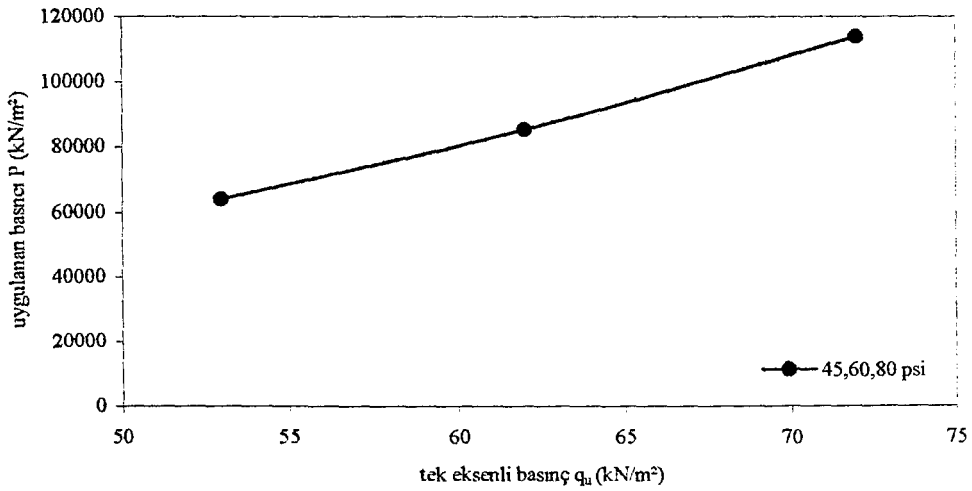
5.4.1. Artan Basınç Uygulamasının Ön Konsolidasyon Basıncına Etkisi

Artan basınç etkisinin araştırılması amacıyla Kaolinit ($W_L + 10$ su) numuneleri üzerine sırasıyla 45, 60, 80 psi'lık hava basıncı uygulaması yapılarak elde edilen numuneler konsolidasyon deneyine tabi tutulmuştur. Ön basınç uygulama süresi 15 gün olarak göz önüne alınmış ve aynı şekilde hazırlanan

tek eksenli basınç deneyleri de yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen verilerden Şekil 5.4 ve Şekil 5.5 de görülen grafikler bulunmuştur. Şekil 5.4’ de görülen grafikte artan basınç etkisi ile gerçek ön konsolidasyon basıncının artış gösterdiği aynı şekilde tek eksenli basınç sonuçlarında da bu artışın oluştuğunu görmek mümkündür.



Şekil 5.4. Uygulanan basınç değerleri ile ön konsolidasyon basıncı ilişkisi

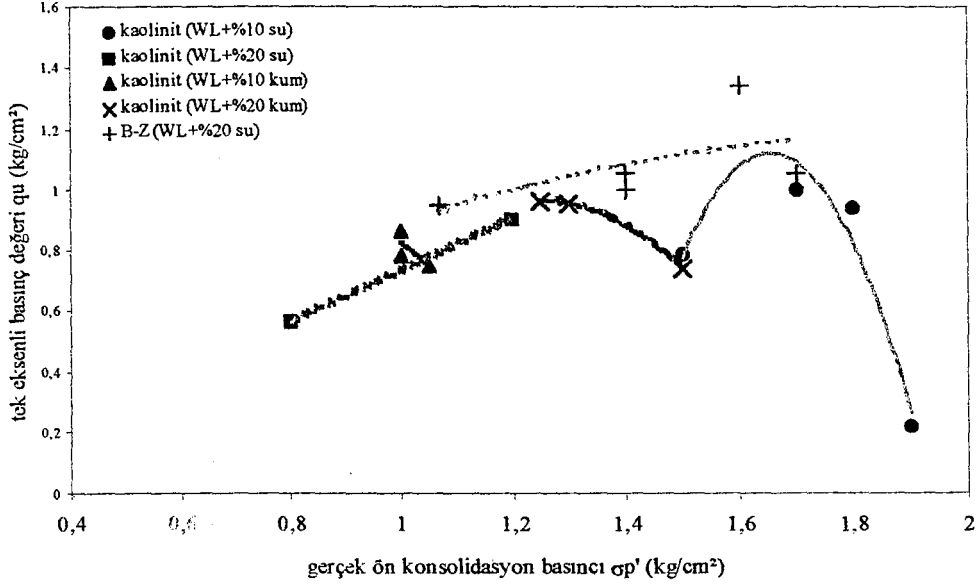


Şekil 5.5. Uygulanan basınç değerleri ile tek eksenli basınç ilişkisi

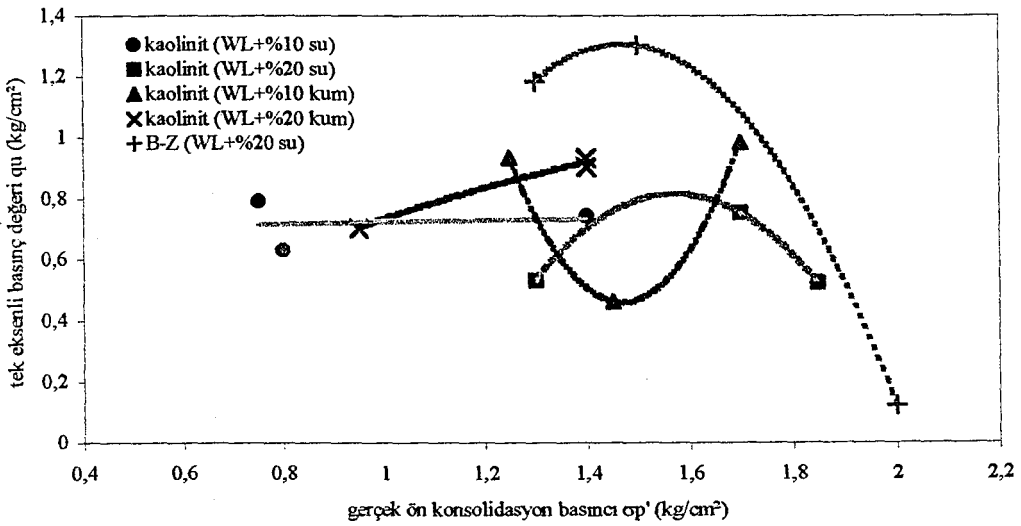
5.4.2. Ön Konsolidasyon Basıncı ve Tek Eksenli Basınç İlişkisi

Bölüm 5.1' de açıklandığı şekilde hazırlanan numuneler üzerine 7 gün ve 15 gün boyunca sabit 80 PSI'lık basınç uygulaması yapılmıştır. Numunelerin konsolidasyon deneyi ve tek eksenli basınç deneylerinden elde edilen verilere göre Şekil 5.6 ve Şekil 5.7 çizilmiştir. Şekil 5.6'daki 7 günlük sonuçlarda kaolinit ($W_L + \% 10$ su) için $\sigma_p' = 1,7 \text{ kg/cm}^2$ 'ye karşı gelen $q_u = 1,202 \text{ kg/cm}^2$ 'lik değerden sonra numuneye uygulanan basıncın fazla etkili olmadığı ve ön konsolidasyon basıncında artış olmasına rağmen tek eksenli basınçta artış olmadığı görülmüştür. Bu duruma iki şekilde açıklık getirmek mümkündür; kaolinit ($W_L + \% 10$ su) numuneleri için optimum sıkıştırma değeri $1,7 \text{ kg/cm}^2$ 'dir veya deneylerin yapıldığı ön konsolidasyon sistemi numuneler üzerine daha fazla basınç uygulayamamaktadır. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) numunelerinde ise az sayıda sonuç bulunmasına rağmen bir artış etkisi görülmektedir. Buradan ön sıkıştırma için gerekli olan uygun su içeriği değerinin yakalanmış olduğu ve uygun bir eğimin elde edildiği görülmektedir. Ön konsolidasyon basıncındaki ani artış etkisi tek eksenli basınç üzerine de yansımıştır. Her iki numune içinde 15 günlük deney sonuçlarına bakıldığında ise 7 günlük deney sonuçlarından çok farklı olmadığı, ön konsolidasyon düzeneğinde uzun süreli basınç uygulamasının bu numuneler için etkili olmadığı görülmektedir. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) numunelerinde ön konsolidasyon basıncı ve tek eksenli basınç değerlerinin çok fazla değişmediği görülmektedir. Bu sonuçlara göre likit limit su içeriğinde hazırlanan kaolinin kum ile birleşme bakımından uygun olmadığı söylenebilir. 15 günlük ve 7 günlük sonuçlara bakıldığında ise zaman artışının etken olmadığı görülmektedir. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) numunelerinde 7 günlük basınç uygulaması sonucunda $\sigma_p' = 1,25 \text{ kg/cm}^2$ 'lik $q_u = 1,35 \text{ kg/cm}^2$ 'lik tek eksenli max basınç değeri elde edilmiştir. σ_p' değerinde küçük artışlar olmasına rağmen tek eksenli basınç değerinde artış görülmemektedir. 15 günlük sonuçlarda düzgün doğrusal davranışa benzer bir artış olmaktadır. Bu karışımda kullanılan kum miktarının uygulanan basınç için doğru bir değer olacağı söylenebilir. Fakat bu sonucun kesinliği açısından $\% 30$ kum ilavesine ait sonuçlara da bakmak gerektiği açıktır.

B/Z ($W_L + \%20$ su) karışımında ise lineer bir artış görülmekte, zaman artışının çok büyük etkisi olmamaktadır. Deneylerde kullanılan bütün karışım numunelerinden en büyük tek eksenli basıncı B/Z ($W_L + \% 20$ su) vermiştir. Burada tüm karışımlar için elde edilen tek eksenli basınç verileri ile ön konsolidasyon ilişkisine karar vermek açısından yapılan deney sayısının artırılmasında yarar olacağı açıktır.



Şekil 5.6.. Numunelerin 7 günlük ön konsolidasyon basınçları ile tek eksenli basınç ilişkisi.



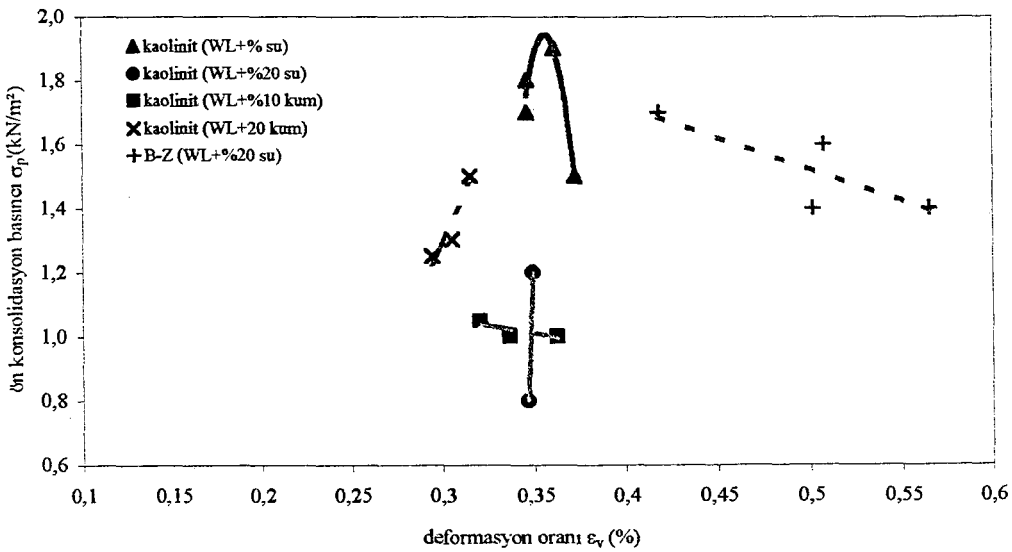
Şekil 5.7. Numunelerin 15 günlük ön konsolidasyon basınçları ile tek eksenli basınç ilişkisi

Benzer şekilde numuneleri ön konsolidasyon düzeneği tutma süresinin ve uygulanan basıncın arttırılmasıyla da daha net sonuç alınacağı görülmektedir.

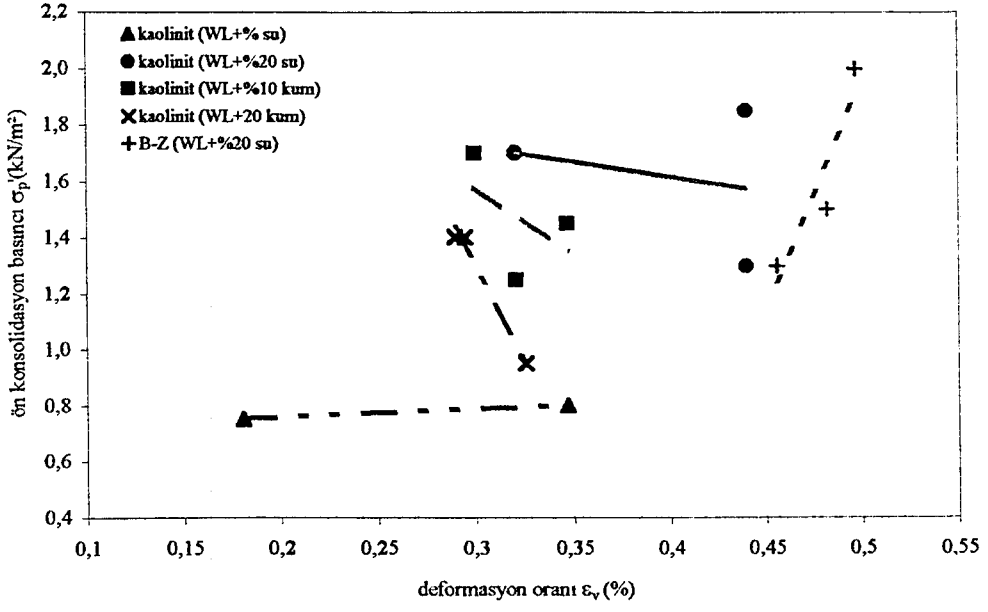
5.4.3 Ön Konsolidasyon Basıncı ve Deformasyon Oranı İlişkisi

Bölüm 5.1’de açıklandığı gibi hazırlanan numuneler üzerine 80 psi’lik basınç uygulaması yapılarak elde edilen numunelerin konsolidasyon deneyleri sonucunda gerçek ön konsolidasyon basınçları (σ_p') ile deformasyon oranları (ϵ_v) arasındaki ilişki Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’ da gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlardan 7 günlük ve 15 günlük ön konsolidasyon uygulamasının deformasyon oranı (ϵ_v) ve gerçek ön konsolidasyon basıncı (σ_p') üzerine etkili olmadığı açıktır. B/Z (WL + %20 su) numunelerinde deformasyon oranı diğer numunelere göre daha büyüktür. Zeolitin yapısının boşluklu olması sebebiyle bentonit tanelerinin boşlukları doldurduğu ve her iki malzemenin de yüksek absorpsiyon ve şişme özeliğine sahip olması yüksek deformasyon oranlarını vermiştir.

Leroueil vd. (1983), arazi ve laboratuvar deneylerinden elde ettikleri ön konsolidasyon basıncı ve deformasyon oranı arasındaki ilişkinin düzgün doğrusal bir artış şeklinde tanımlanabileceğini söylemişlerdir. Yani küçük deformasyon oranlarının küçük ön konsolidasyon basınçlarında, büyük deformasyon oranlarının büyük ön konsolidasyon basınçlarında oluştuğu Şekil 5.8 ve 5.9 da görülmektedir.



Şekil 5.8. Numunelerin 7 günlük ön konsolidasyon basınçları ile deformasyon oranı ilişkisi



Şekil 5.9. Numunelerin 15 günlük ön konsolidasyon basınçları ile deformasyon oranı ilişkisi.

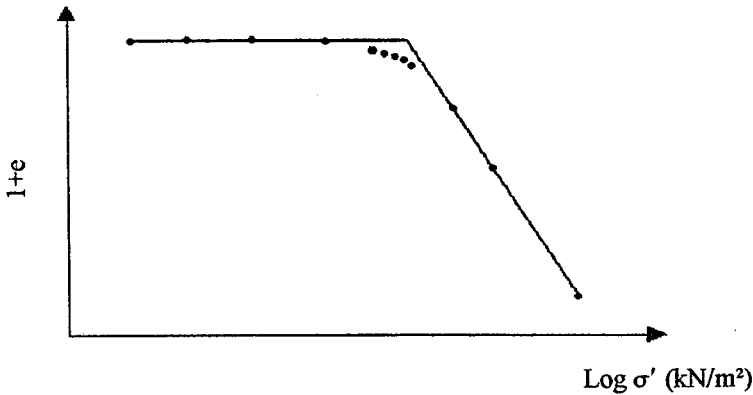
6. ÖN KONSOLİDASYON DEĞERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN

SRIDHARAN YÖNTEMİNİN KULLANIMI

Bir bölgede yük altında oluşması muhtemel oturma miktarlarının hesaplanabilmesi için bilinmesi gereken en önemli parametre ön konsolidasyon değeri (σ_p')'dir. Ön konsolidasyonun belirlenebilmesi için çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan en fazla kullanılan Casagrande yöntemi (1944) ile en son geliştirilmiş Sridharan yöntemi (1991) arasındaki benzerlik çalışmanın bu bölümünde sunulacaktır.

6.1. Sridharan Yöntemi

Sridharan vd. (1991) tarafından geliştirilmiş olan bu yöntemle ön konsolidasyon basıncı değeri hesaplanabilmektedir. Konsolidasyon deneyi sırasında her bir yükleme aşamasında alınan verilere bağlı olarak elde edilen boşluk oranı (e)'nin yerine, düşey eksen ($1+e$)'nin logaritmik değerleri olarak, yatay eksen ise $\log \sigma'$ ile gösterilmektedir. Teoriye göre veriler sonucunda elde edilen eğrinin başlangıç ve bitiş noktaları arasında ve aradaki noktalara uygun olacak şekilde geçirilen iki doğrunun kesim noktası (σ_p'') ön konsolidasyon değerini vermektedir. Yapılan çalışmalara dayanarak Sridharan vd. (1991), elde edilen sonuçların arazideki ön konsolidasyon basınçlarına çok uygun olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 6.1. Log (1+e) – Log σ' grafiği (Sridharan vd. 1991)

6.2. Casagrande Yöntemi ve Sridharan Yönteminin Karşılaştırılması

Casagrande yöntemi (1944) ön konsolidasyon basıncını, boşluk oranı ile gerilme arasındaki bağıntıyı kurarak elde etmektedir. Yöntemin uygulanması sırasında örselenmemiş kil numuneleri ödometre denevine tabi tutulurlar. Elde edilen verilere göre çizilen ($e - \log \sigma'$) diyagramının doğrusal kısmı yöntemin temelini oluşturmaktadır ve vükleme eğrisinden ön konsolidasyon basıncı bulunmaktadır. Eğer zemin aşırı konsolide ise belli bir ön konsolidasyon basıncına sahiptir ve oturma hesaplarında çok önemli bir parametredir. Bu parametrenin elde edildiği grafikte eğriliğin minimum olduğu veri belirlemedeki güçlük tek taraflı logaritmik ölçek kullanımı güvenilirliği azaltmaktadır.

Sridharan vd. yöntemi (1991) ön konsolidasyon basıncını ödometre deneviden elde edilen verilerin $\log(1+e) - \log \sigma'$ grafiğini iki doğru çizgi ile ifade etmektedir. Bu iki doğrunun kesim noktası ön konsolidasyon basıncını vermektedir. Her iki yöntemin beş farklı numuneye uygulanmasıyla bulunan ön konsolidasyon basınçlarının karşılaştırılması Çizelge 6.1' de verilmektedir. Çizelgeye bakıldığında Casagrande yönteminin daha büyük değerler verdiği, Sridharan yöntemin de ise daha küçük ön konsolidasyon basınçlarının bulunduğu görülmektedir. Dolayısıyla Casagrande yöntemi ile oturma hesabı bakımından daha emniyetsiz bir durum söz konusu olmaktadır. Ayrıca Sridharan yöntemi ile (σ_p') ' nün bulunması daha kolay ve daha kesindir. Çizelgede kaolinit ($W_L + \%10$ ' su) numunelerinde artan basınç etkisinde elde edilen ön konsolidasyon basınçlarının Sridharan yönteminde de artış gösterdiği açıkça görülmektedir. Her iki yöntemle bulunan sonuçlar Sridharan vd. (1991) çalışması ile karşılaştırıldığında ise uygun bir davranış sergilemektedir.

Cizelge 6.1. İki yöntemle bulunan ön konsolidasyon değerlerinin karşılaştırılması

Numune	Numune No:	Uygulanan Basınç (PSI)	Ön Konsolidasyon Bekleme süresi (gün)	Hesaplanan Ön Konsolidasyon Basınçları	
				Casagrande Yöntemi σ_p' (kN/m ²)	Sridharan Yöntemi σ_p'' (kN/m ²)
Kaolinit ($W_L + \%10$ su)	1	80	7	180	125
	2	80	7	190	155
	4	80	7	170	120
	3	80	15	140	125
Kaolinit ($W_L + \%20$ su)	1	80	7	120	100
	2	80	7	80	78
Kaolinit ($W_L + \%10$ kum)	2	80	7	100	70
	3	80	15	125	90
Kaolinit ($W_L + \%20$ kum)	1	80	7	130	105
	2	80	7	150	85
B/Z ($W_L + \%20$ su)	3	80	7	140	115
	4	80	7	160	145
	1	80	15	200	148
	3	80	15	150	126
Kaolinit ($W_L + \%10$ su)	1	60	15	110	100
Kaolinit ($W_L + \%10$ su)	1	45	15	90	60
Kaolinit ($W_L + \%20$ su)	1	45	15	80	61

7. SONUÇLAR

Zemin mekaniğinde sıkışabilirlik ve özellikle de zeminlerin ön konsolidasyon basınçlarının belirlenebilmesi için pek çok bilimsel çalışma yapılmıştır. Ön konsolidasyon basıncı, yumuşak kil üzerine oturan dolguların oturma miktarlarının hesabında, yapı yüklerini taşıyacak temel tasarımlarında, özellikle su altındaki zemin seviyelerinde temel atılması durumunda büyük önem taşır. Bu çalışmada kil zeminlerin ön konsolidasyon basıncı üzerinde kum ve zeolit etkisi araştırılırken aynı zamanda tek eksenli basınçlarına da bakılmıştır. Ayrıca Casagrande yöntemi (1944) ve Sidharan vd. yöntemi (1991) ile elde edilen ön konsolidasyon basıncı değerlerinin bir karşılaştırması da çalışmada yer almıştır. Çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. Tek eksenli basınç verilerini karşılaştırmak amacıyla deformasyon oranı $\varepsilon_v = \% 2,5$ olarak sabit seçilmiştir. Böylece izin verilebilir sınırların içersinde kalınmaktadır.
2. Artan basınç etkisinin araştırılması sebebiyle yapılan deneyler sonucunda, likit limit değerine $\% 10$ su ilave edilmesiyle oluşturulan kaolinit numunelerinin ön konsolidasyon basıncı değerlerinin uygulanan basıncın artması ile artış gösterdiği aynı şekilde bu artışın tek eksenli basınç değerlerinde de olduğu görülmektedir.
3. 7 gün ve 15 gün boyunca 80 psi'lık sabit basıncında ön konsolide edilen numunelerin ön konsolidasyon basıncı ve tek eksenli basınç ilişkisinde 7 günlük kaolinit ($W_L + \%10$ su) numunelerinin optimum sıkıştırma değeri $\sigma_p' = 1,70$ kg/cm² deformasyon oranı $\varepsilon_v = \% 2,5$ sabit tutularak elde edilen tek eksenli basınç değeri $q_u = 1,00$ kg/cm² olarak hesaplanmıştır. Verilen rakamlardan daha büyüğüne ulaşamamasının sebeplerinden birisi üst yüzeyinden uygulanan basınç ile numune aşağı doğru hareket ederken yan cidarlarda sürtünme etkisinin olması ve basınç dağılımının üniform olarak etki etmemesidir. Bu deney aletinin bir dezavantajıdır.
4. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) numunelerinde ($W_L + \% 10$ su) numunelerine göre

ön sıkıştırma için gerekli su içeriği bulunmuş ve hesaplamalar açısından uygun eğim elde edilmiştir.

5. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) ve ($W_L + \% 20$ su) numunelerinde 15 günlük deney sonuçları 7 gün süreyle ön konsolide edilen numunelere oranla az da olsa farklılık göstermektedir.

6. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) numunelerinde ($W_L + \% 20$ kum) numunelerine göre ön konsolidasyon basıncı bakımından uygun karışım hazırlanamamış, 7 günlük ve 15 günlük numunelerde olumsuz yönde benzer sonuç alınmıştır.

7. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) numunelerinde 7 günlük basınç uygulaması sonucunda $\sigma_p' = 1,25 \text{ kg/cm}^2$ ve $q_u = 0,96 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur. 15 günlük sonuçlarda bir artış eğilimi görüldüğünden $\% 30$ kum ilave ederek çalışmayı devam ettirmek mümkündür.

8. Bentonit / Zeolit ($W_L + \% 20$ su) numuneleriyle yapılan deneyler sonucunda, karışımlar içinde deformasyon oranı $\epsilon_v = \% 2,5$ olacak şekilde en büyük tek eksenli basınç değerine ulaşılmıştır. 7 ve 15 günlük numunelerde farklı bir durum oluşmamıştır.

9. Tüm karışımlar için tek eksenli basınç ile ön konsolidasyon basıncı ilişkisine karar vermek açısından yapılan deney sayısı, numuneleri ön konsolidasyon düzeneğinde tutma süresi ve uygulanan basınç arttırılarak deneyler yapılabilir.

10. Numunelerin ön konsolidasyon basıncı ile deformasyon oranı matematiksel olarak artış göstermektedir. Elde edilen sonuçlar literatüre uyumludur.

11. Casagrande yöntemi (1944) ve Sridharan vd. yönteminin (1991) beş farklı numuneden elde edilen verilerin değerlendirilmesinde kullanımı sonucunda Casagrande yönteminin oturma hesapları bakımından emniyetsiz olduğu, ön konsolidasyon basıncının daha büyük hesaplandığı görülmüştür. Ayrıca Sridharan vd. yönteminin daha önce geliştirilmiş yöntemlere göre çok daha net , açık ve pratik olduğu yapılan çalışma sırasında anlaşılmıştır. Çalışmanın verileri literatür ile uyum sağlamıştır.

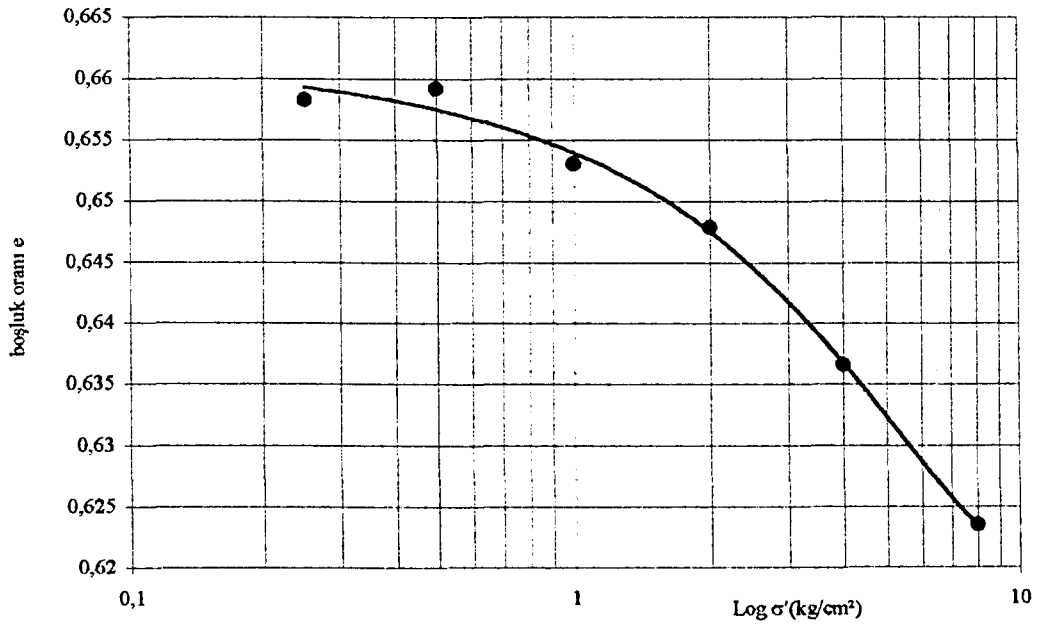
KAYNAKLAR

- BJERRUM, L., *Discussions on Section G*, Eurpoean Conf. on SMFE, Wiesbaden, 2, 135-137, (1963).
- BJERRUM, L., "Engineering Geoology of Normally Consolidated Marine Clays As Related To The Settlements of Buildings" *Geotechnique*, 88-109 (1967).
- BUTTERFIELD, R., "A Natural Compression Law for Soils (An Advance on e-log P)", *Technical Note, Geotecnique*, 24, (4), 469-480, (1979).
- CASAGRANDE, A., *The Determination of the Pre-Consolidation Load and its ractical Significiance*, Proc. 1st Int. Conf. On SM.,Cambridge, 60-64, (1936).
- CASAGARNDE, A. and FARUM, R. E., "Application of Soil Mechanics in Designing Building Foundation" *Transaction ASCE*, 109, (1944).
- CRAWFORD, C. B., "Interpretation of The Consolidation Test", *ASCE Journal of The Soil Mechanics and Foundations Division*, 87-102 (1964).
- GÜNEY, Y. and KOYUNCU, H., *The Behaviour Bentonite-Zeolite Landfill Versus Salt Metal Pollution*, 6th Inter. Symp. On Environmetal Geotech. Carobal Sustainable Development, W,P, Hong (Ed.), Seoul, Korea, 2002).
- GÜNEY, Y., KOYUNCU, H. ve TUNCAN, A., *Değişik Ağır Metal içerikli Atıkların Depolanmasında Zeolit Kullanımı*, 10 ulusal Kil Sempozyumu, Konya, (2001).
- GÜNEY, Y., *Suya Doygun Killerin, Hasarsız Deney Yöntemiyle Karekteristiklerinin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, (1998).
- HAMILTON, J. J. and CRAWFORD, C. B., "Improved Determination of Preconsolidation Pressure of a Sensitive Clay", *American Society of Testing and Materials*, 254-271 (1959).
- HOULSBY, G. T. and WROTH, C. P., *The Variation of Shear Modulus of a Clay With Presure and Overconsolidation Ratio*, *Soils and Foundations*, 31,(3), 138-143, (1991).
- JANBU, N., "The Resistance Concept Aplied to Deformations of soils (With Discussions)" *Meddelelse 3 Bulletin, Geotechnical Division The Norwegian institute of Technology, Trondheim* (1970), 191-195, 1982.
- KARAGÖZ, G., *Aşırı Konsolide Olmuş Killerde Ön Konsolidasyon Basıncının Ödometre Deneyleri İle Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (1999).
- LEONARDS, G.A., "Engineering Properties of Soils. In *Foundation Engineering*", Mc Graw-Hill Book Company New York, Chapt. 2 (1962).
- LEROUEİL, S. vd., "A New Approach for the Determination of the Preconsolidation Pressure", *Canadian Geotechnical Journal*, 446-453. (1980).

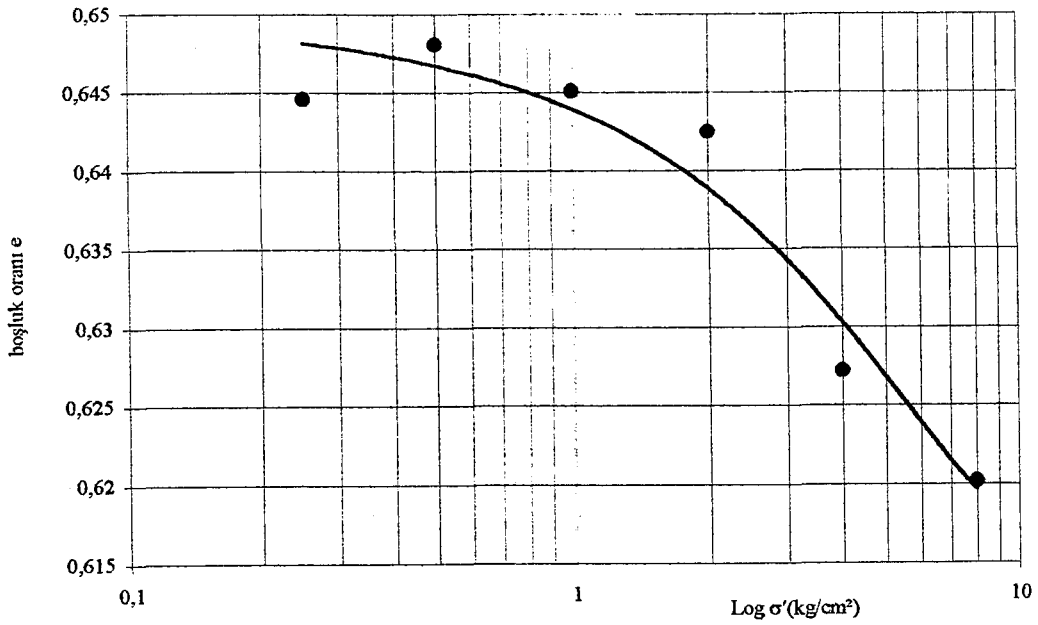
- LOWE, J. vd., “Controlled Gradient Consolidation Test”, ASCE Journal of The Soil Mechanics And Foundations Division, 77-79 (1969).
- NAGARA, T. S., PANDION and RAJU, P. S., *Stress State permeability Relations for Overconsolidated Clays*, Geotechnique 44 ,(2),349-352, (1994).
- SALLFORS, G., “Preconsolidation Pressure of Soft High Plastic Clays”, Ph.D. thesis, Göteborg, Sweden (1975).
- SCHERTMANN, J. H., “Undisturbed Consolidation Behaviour of Clay”, Transaction, ASCE, 120,1201,(1955).
- SKEMPTON, A. W. and MAC DONALD, D. H., *Allowable Settlement of Buildigs*, Institute of Civil Engineers, 5, (3), 727-768, (1956).
- SMITH, R. E. and WAHLS, H. E., “ Consolidation Under Constant Rates of Strain”, ASCE Journal of The Soil Mechanics and Foundations Division, 519-539 (1969).
- SRİDHARAN, A., ABRAHAM, B. and JOSE, B. T., “Improved Technique for Estimation of Preconsolidation Pressure ’’, Geotechnique 41, 263-268, (1991).
- ŞENOL, A., *Zeminlerde Ön Konsolidasyon Basıncının Belirlenmesi*, Doktora Tezi, İT.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, (1997).
- TAVENAS, F. and LEROUEİL, S. “Effects of Stresses and Time on Yielding of Clays”, Ninth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, 319-326 (1977).
- TAVENAS, F., LEROUEİL, S., LA ROCHELLE, P. and ROY, M., “Creep Behaviour of an Undisturbed Lightly overconsolidated Clay” Canadian Geotechnical Journal, 15, (3), (1978).
- TAVENAS, F., DES ROSIERS, J. P., LEROUEIL, S., ROCHELLEP. and ROY, M. “The Use of Strain Energy As a Yield and Creep Criterion for Lightly Overconsolidated Clays”, Geotechnique 29, 3, 285-303, (1979).
- TERZAGHİ, K. and PECK, R. B., *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd ed., Wiley, New York, (1967).
- UZUNER, B. A., *Geleneksel Yöntem Üzerine Zemin (Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi Bülteni)*, cilt 2, No.3, sf. 94-104, (1980).
- UZUNER, B. A., *Yapılarda Oturma*, III. Mühendislik Haftası, 11-23. Isparta, (1985).
- UZUNER, B. A. , *Temel Zemin Mekaniği*, Teknik Yayınevi, Ankara, (1998).
- YÖRÜKOGULLARI, E. ve ORHUN, Ö., *Doğal Zeolitlerde Fiziksel Adsorbsiyon Uygulamaları*, Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, sf. 58, (1997).
- YÜCEL, H., ÇULFAZ, A., *Doğal ve Yapay Zeolitlerin Endüstriyel Kullanım Alanları*, ODTÜ Uygulamalı Araştırmalar Dergisi eki, 3-10, 1-20, (1984).

WHITTLE, A. J., KAVVADAS, M. J., *Formulation of MIT-E3 Constitutive Model for Overconsolidated Clays*, Journal of Geotechnical Eng., **120** (1), 173-199, (1994).

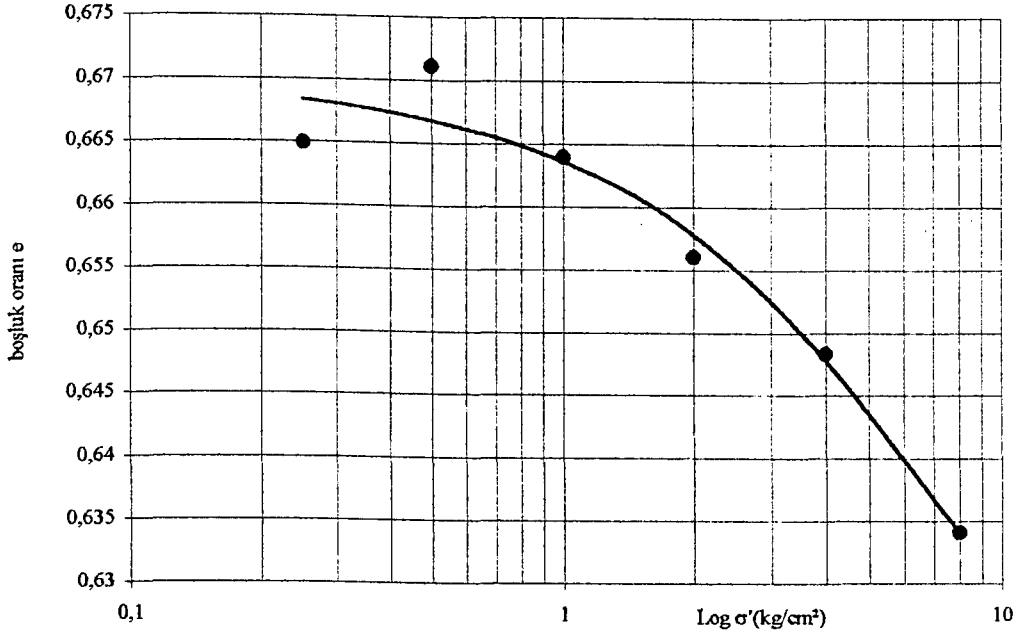
WISSA, E. Z., "*Consolidation at Constant Rate of Strain*", ASCE Journal of The Soil Mechanics and Foundations Division, 1393-1413 (1971).



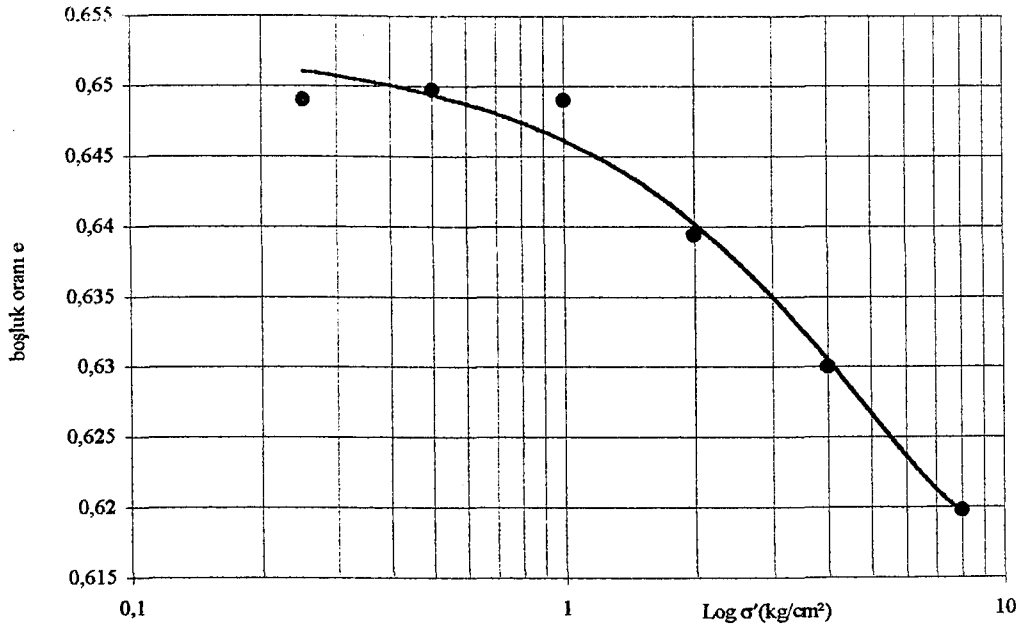
Şekil Ek - 1.1. Kaolinit ($W_L + \% 10 \text{ su}$) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



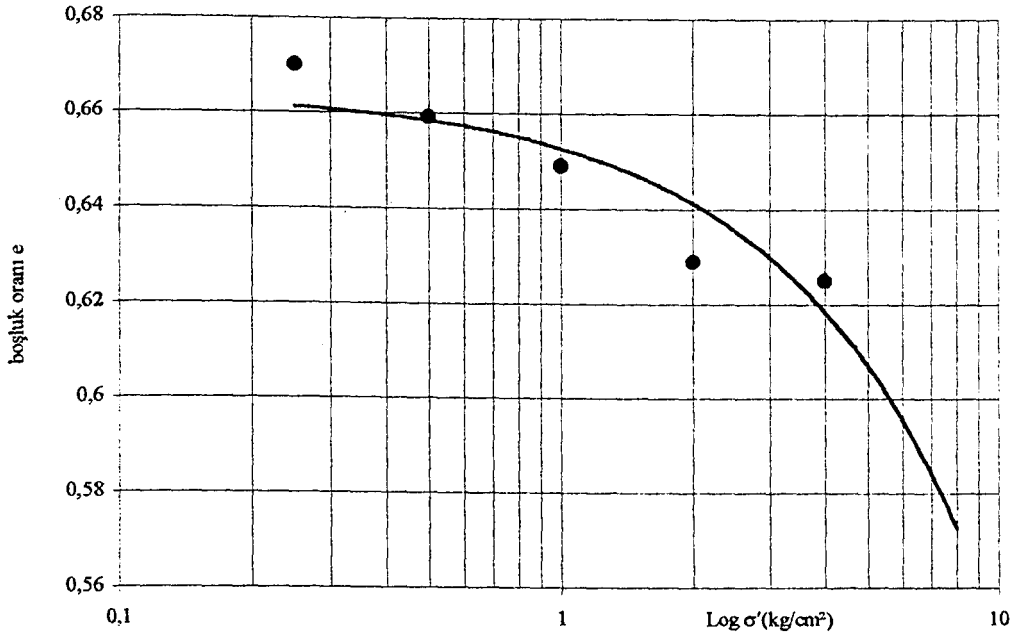
Şekil Ek - 1.2. Kaolinit ($W_L + \% 10 \text{ su}$) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



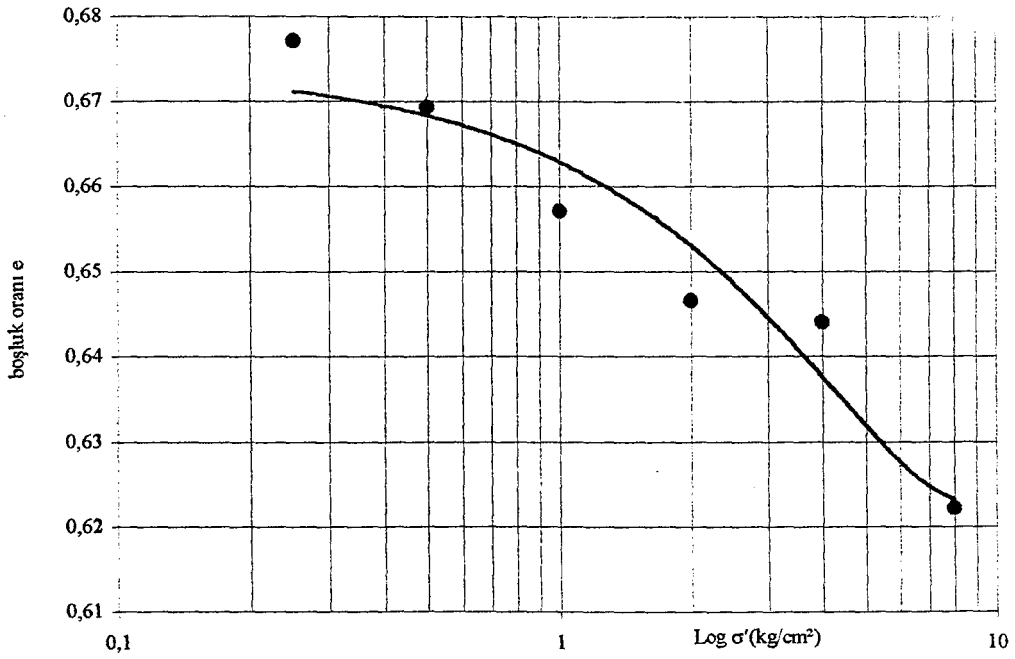
Şekil Ek - 1.3. Kaolinit ($W_L + \% 10 \text{ su}$) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



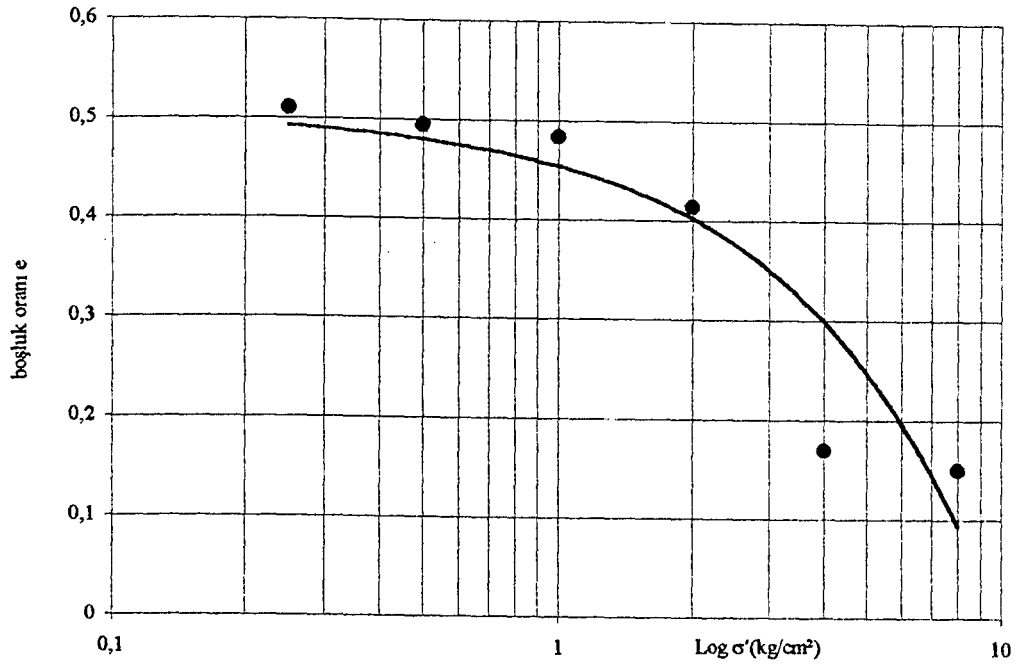
Şekil Ek - 1.4. Kaolinit ($W_L + \% 10 \text{ su}$) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



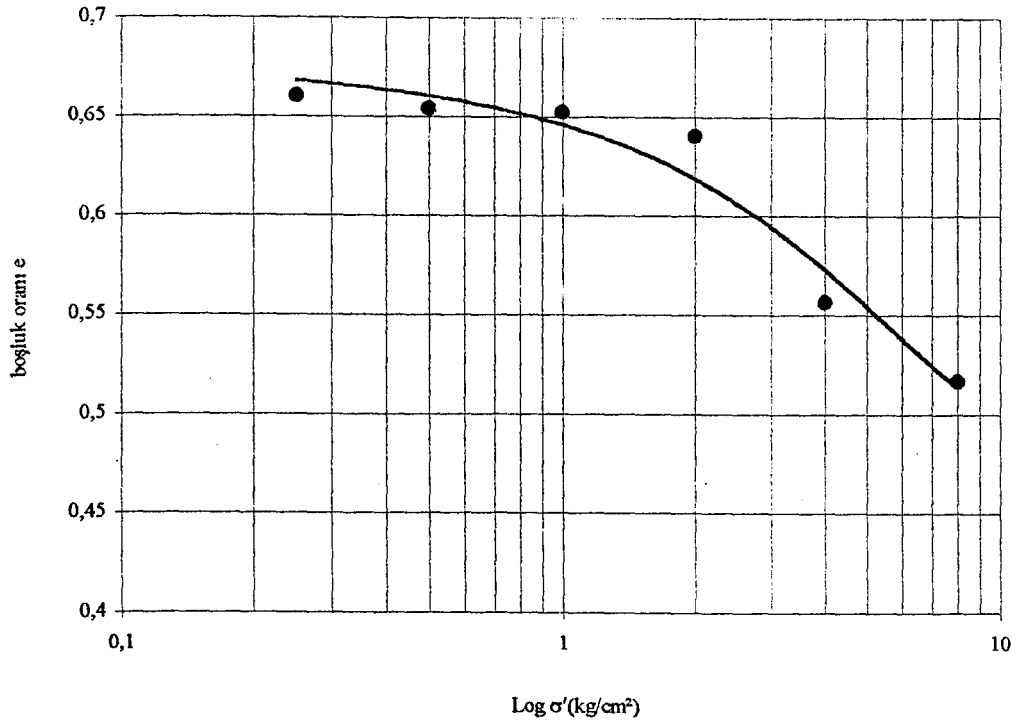
Şekil Ek - 1.5. Kaolinit ($W_L + \% 10 \text{ su}$) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



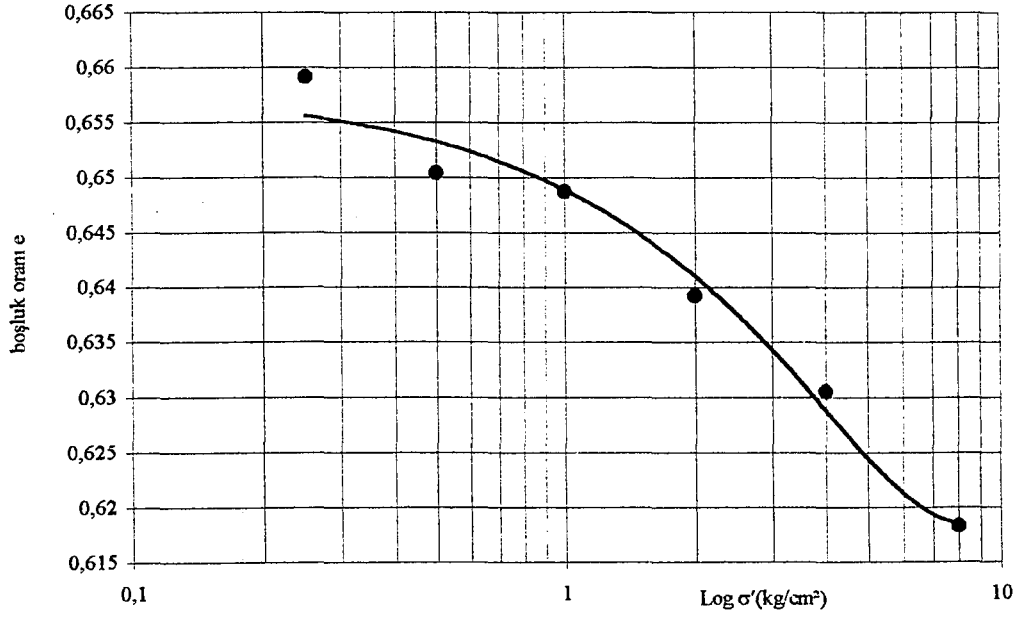
Şekil Ek - 1.6. Kaolinit ($W_L + \% 10 \text{ su}$) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiğ



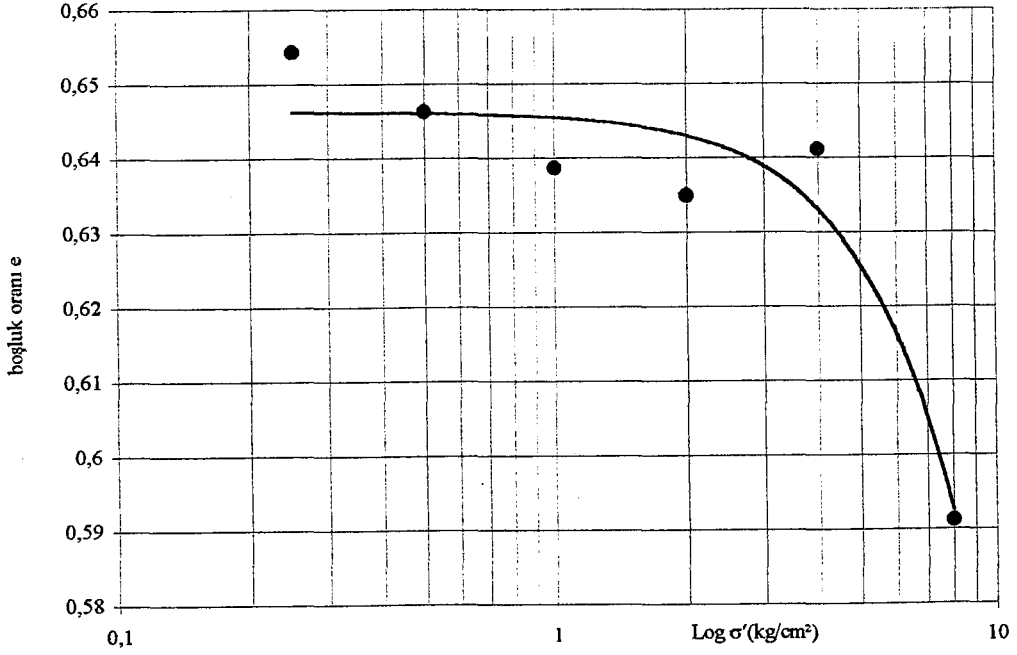
Şekil Ek - 1.7. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



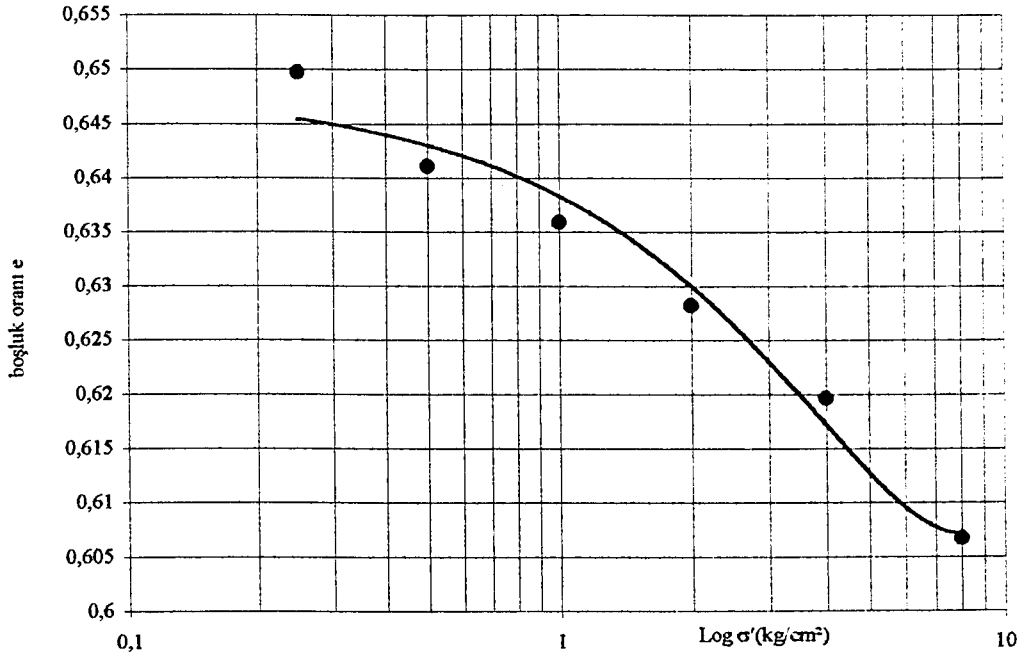
Şekil Ek - 1.8. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



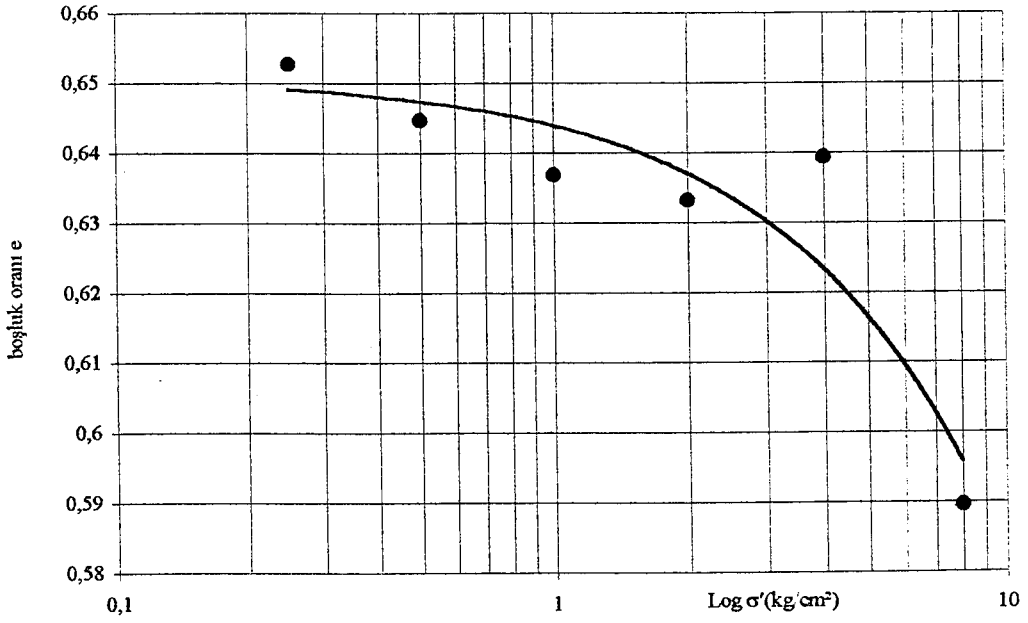
Şekil Ek - 1.9. Kaolinit ($W_L + \% 20 \text{ su}$) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



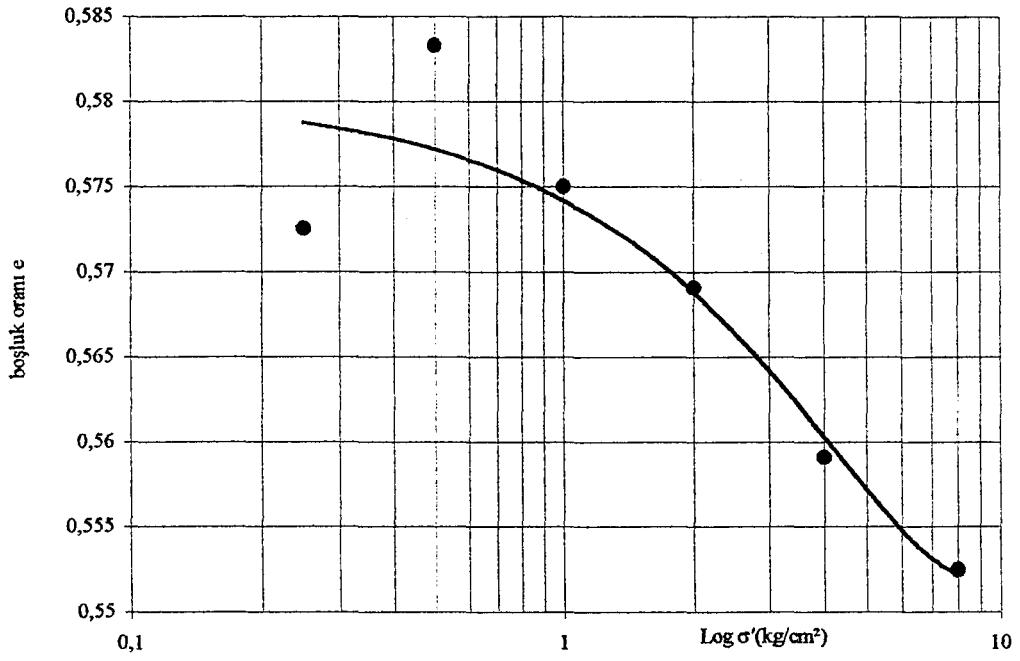
Şekil Ek - 1.10. Kaolinit ($W_L + \% 20 \text{ su}$) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



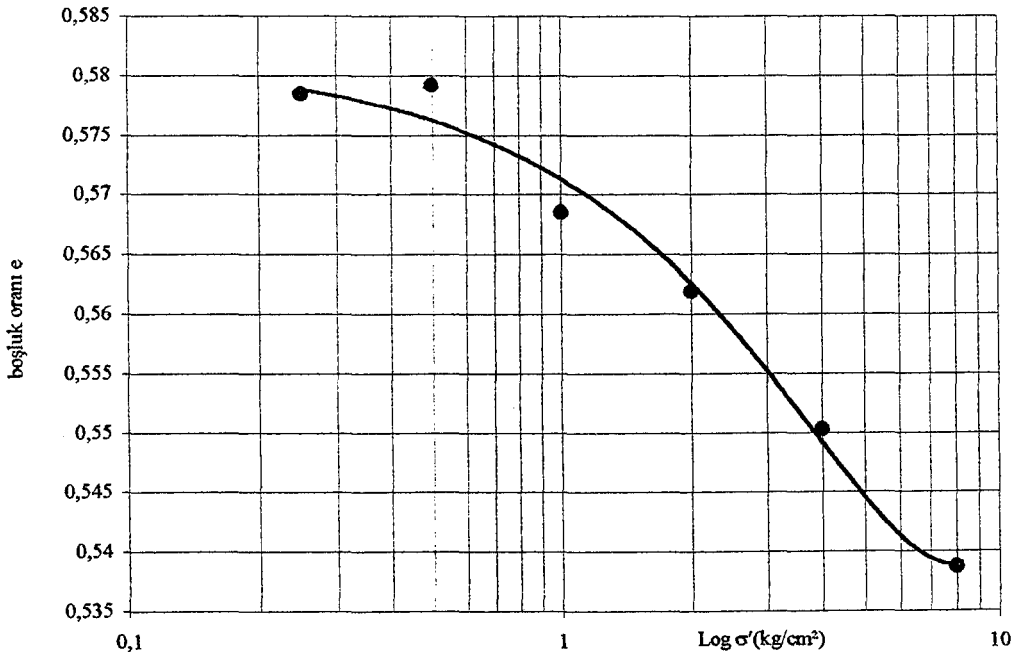
Şekil Ek - 1.11. Kaolinit ($W_L + \% 20 \text{ su}$) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



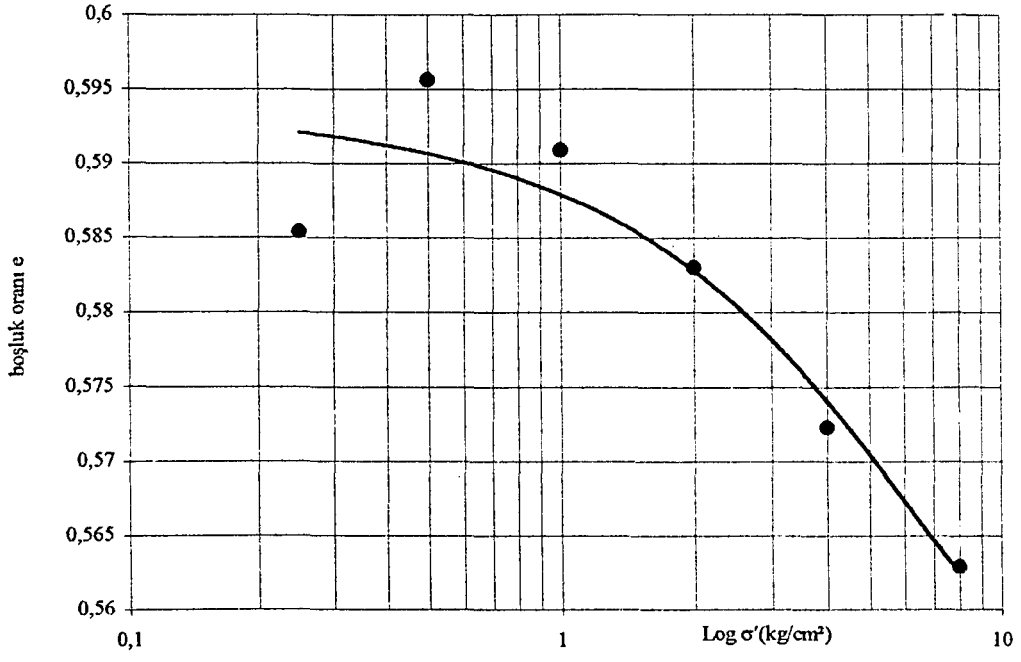
Şekil Ek - 1.12. Kaolinit ($W_L + \% 20 \text{ su}$) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



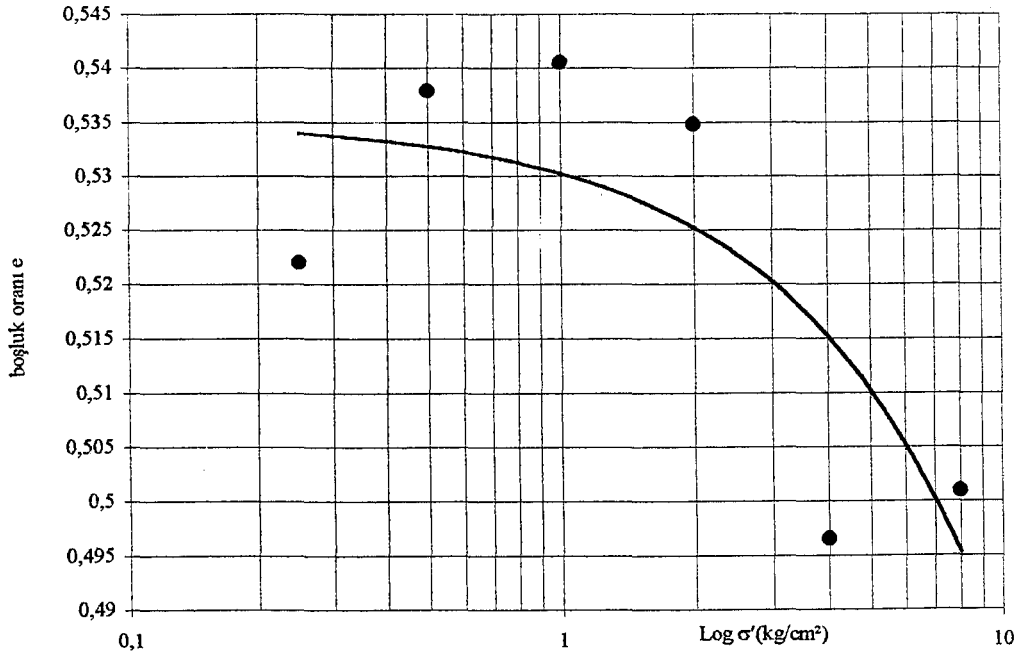
Şekil Ek - 1.13. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



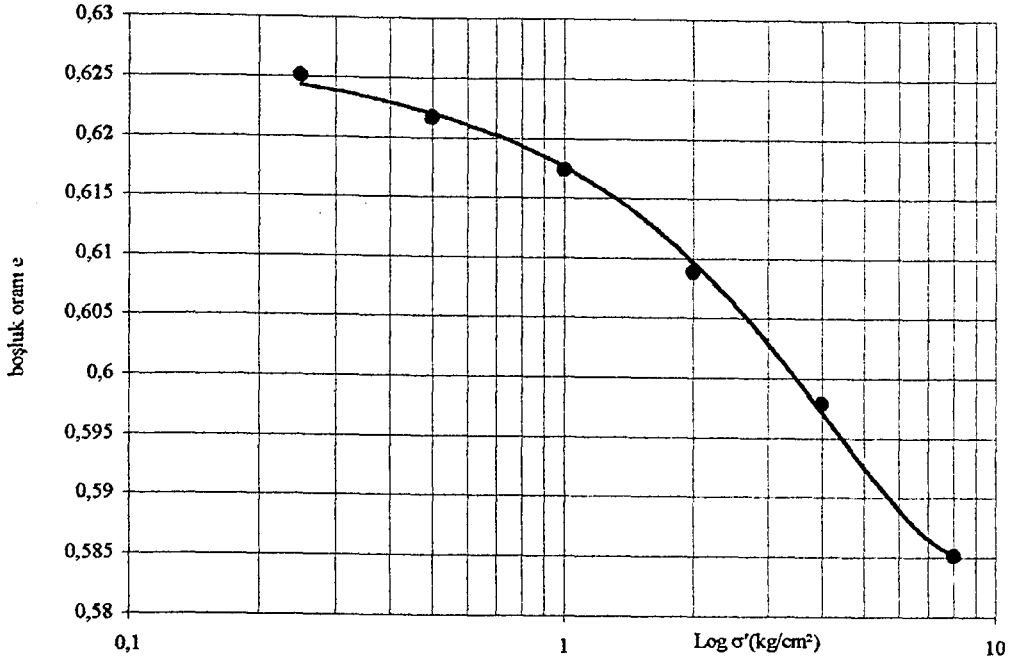
Şekil Ek - 1.14. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



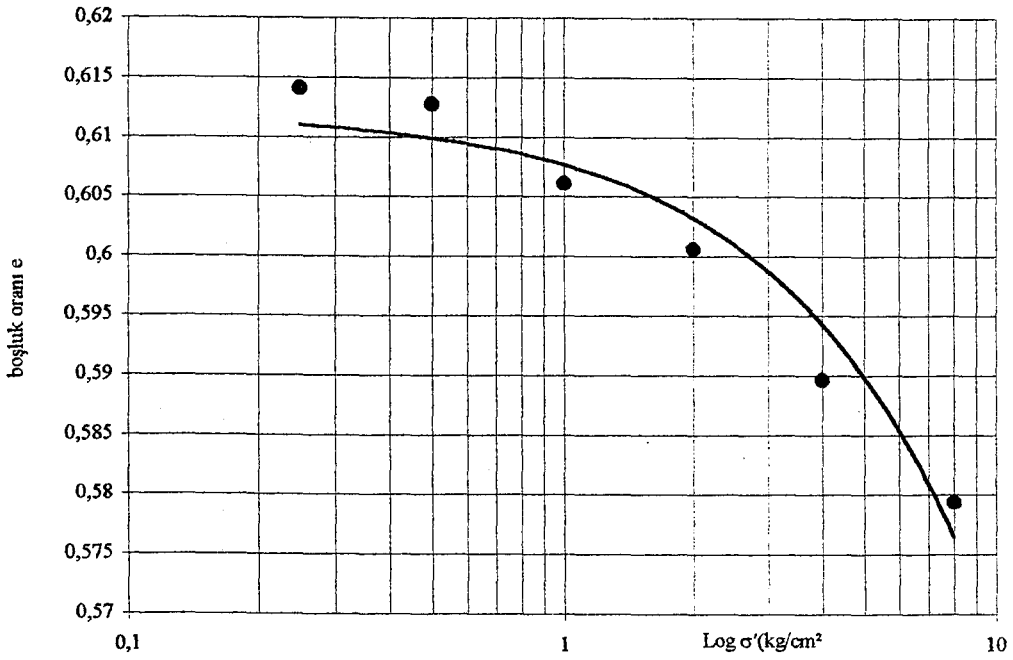
Şekil Ek - 1.15. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



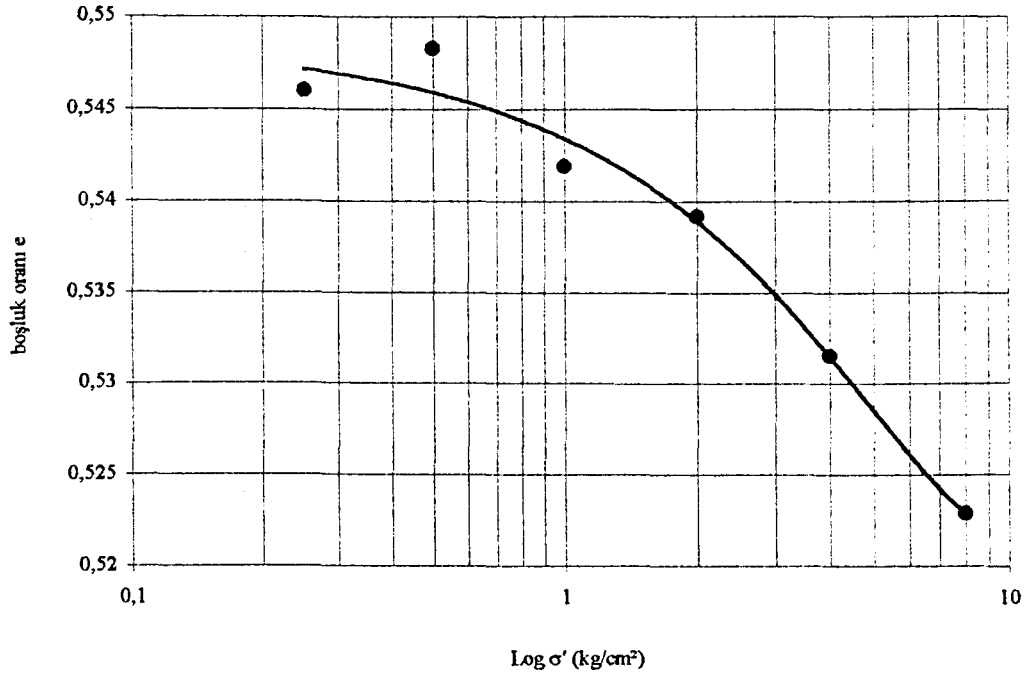
Şekil Ek - 1.16. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



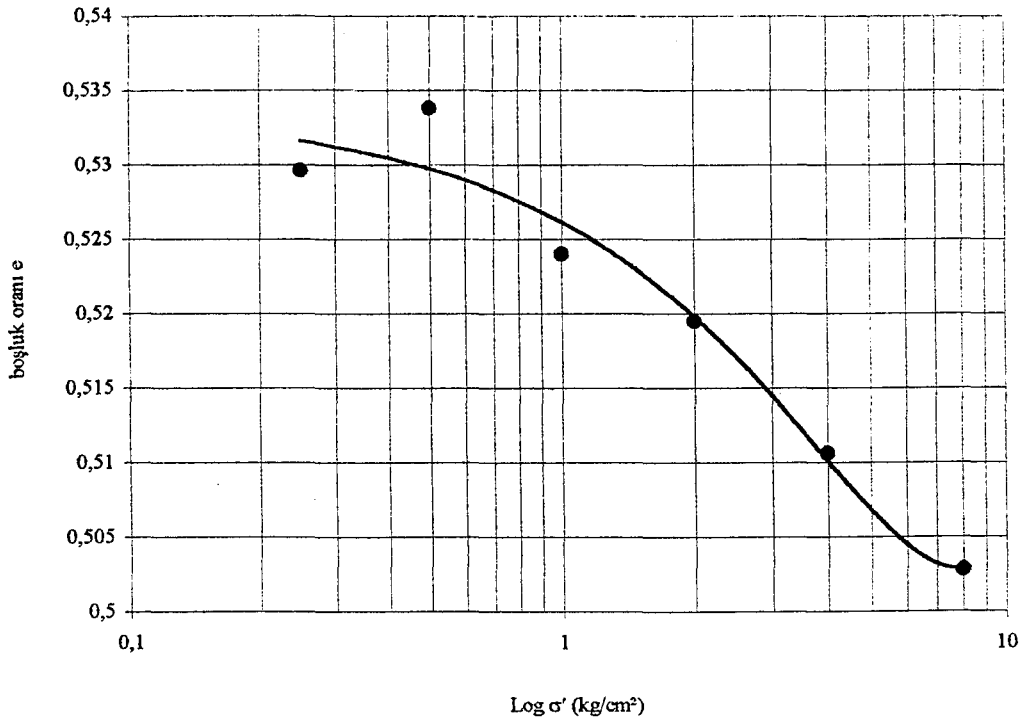
Şekil Ek - 1.17. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



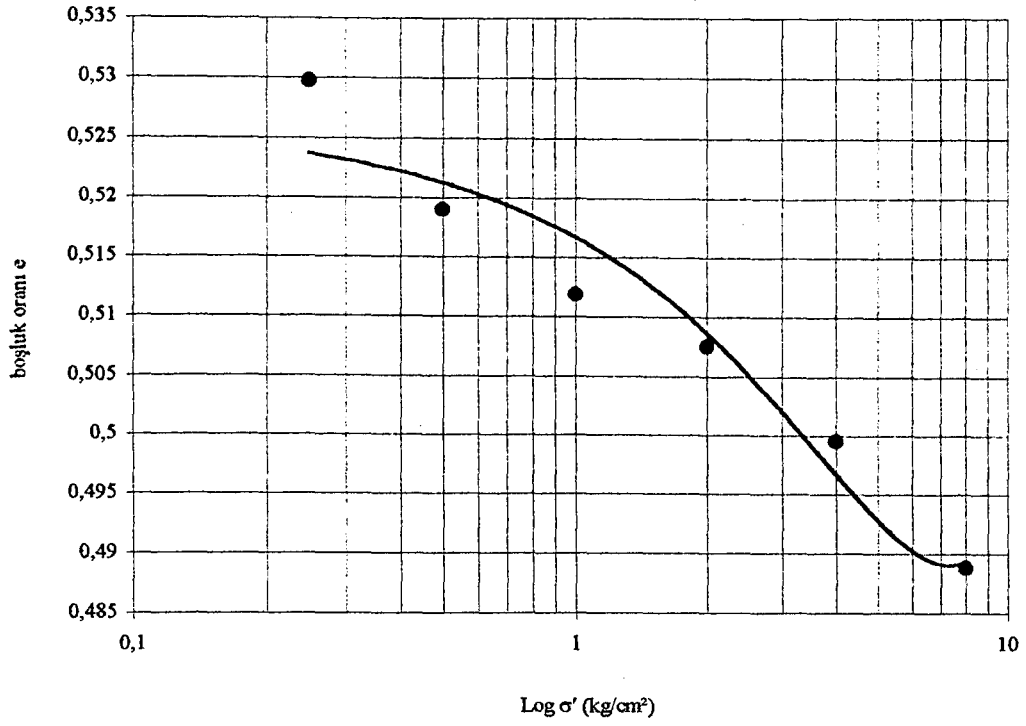
Şekil Ek - 1.18. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



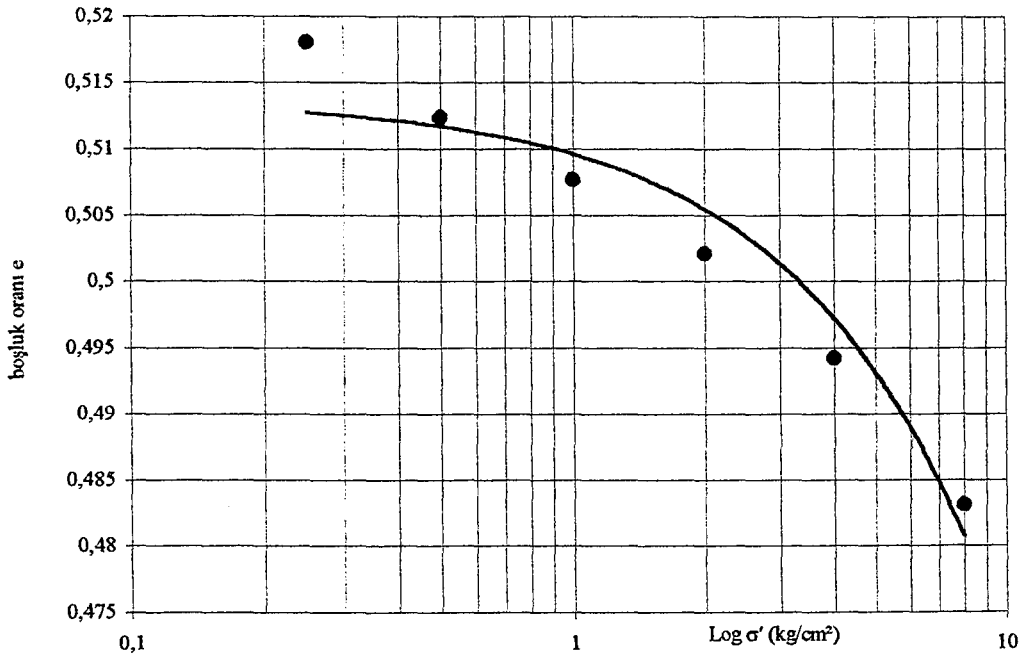
Şekil Ek - 1.19. Kaolinit (W_L + % 20 kum) e - Log σ' grafiği



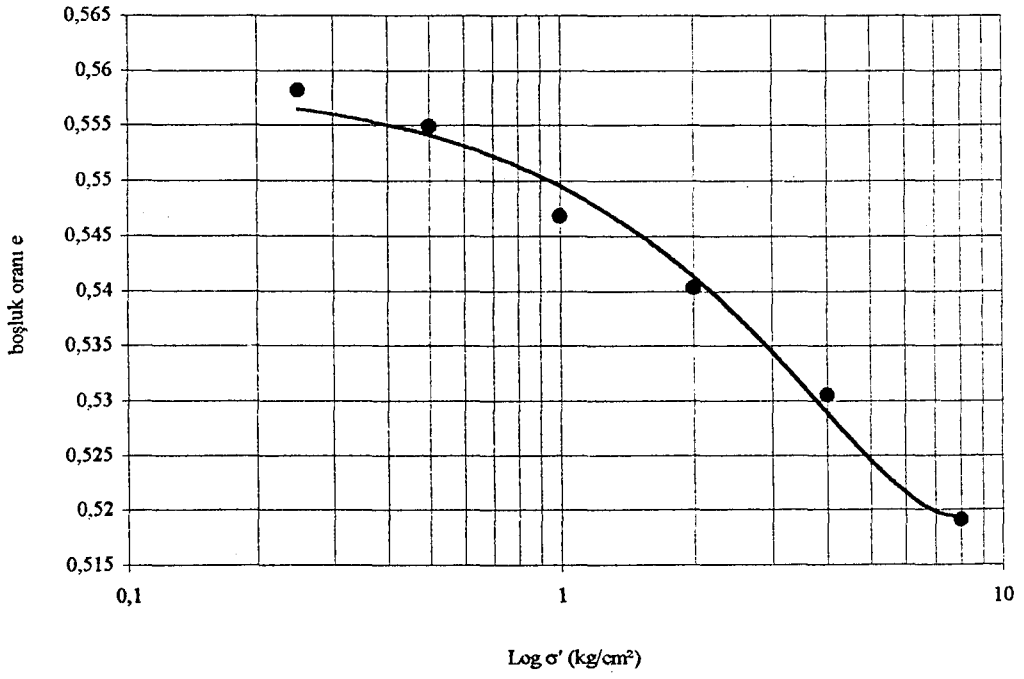
Şekil Ek - 1.20. Kaolinit (W_L + % 20 kum) e - Log σ' grafiği



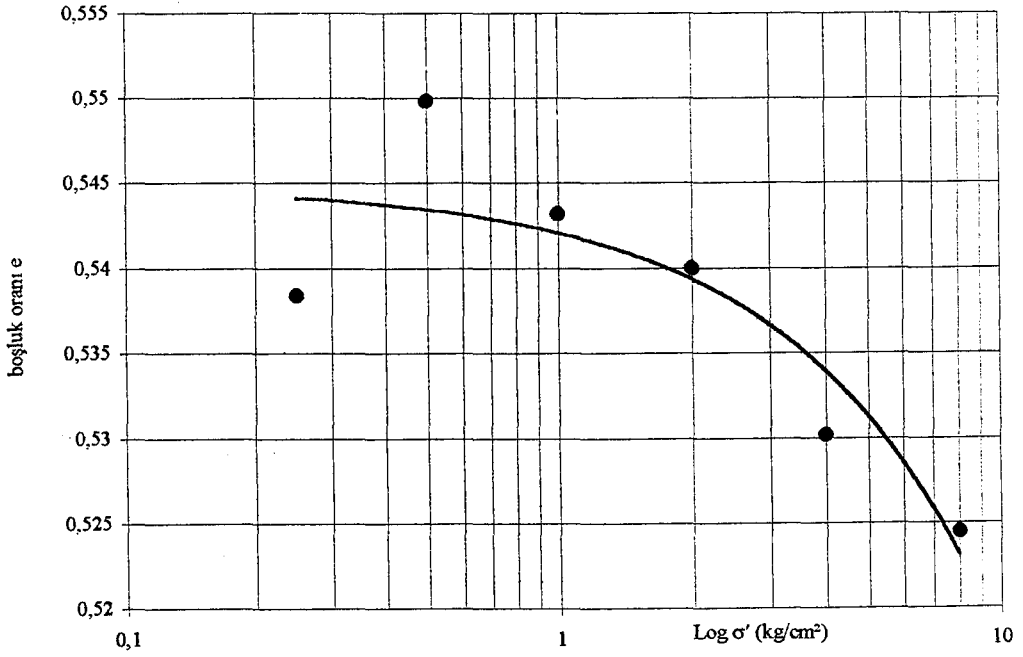
Şekil Ek - 1.21. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



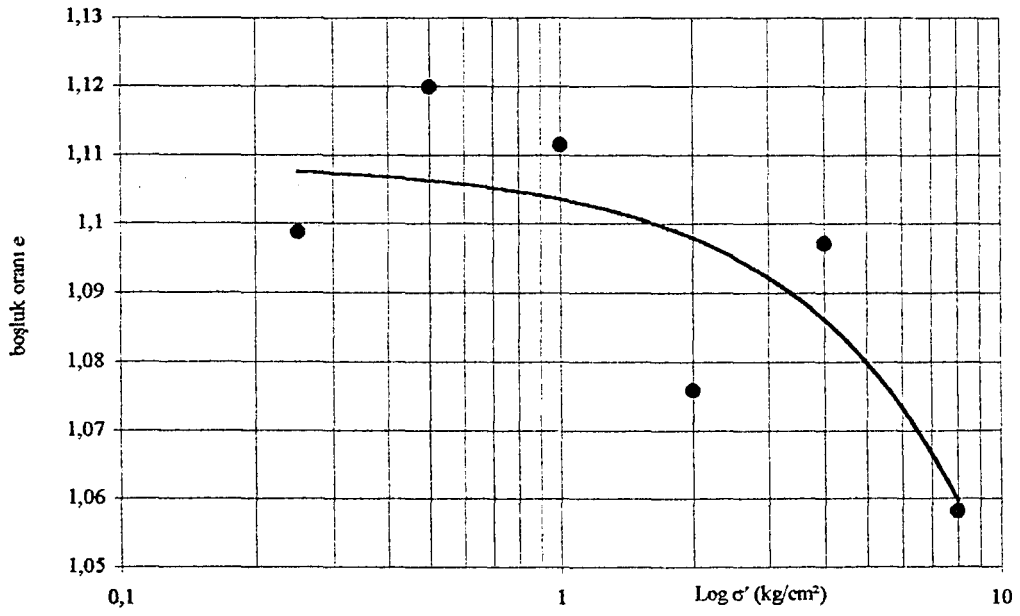
Şekil Ek - 1.22. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



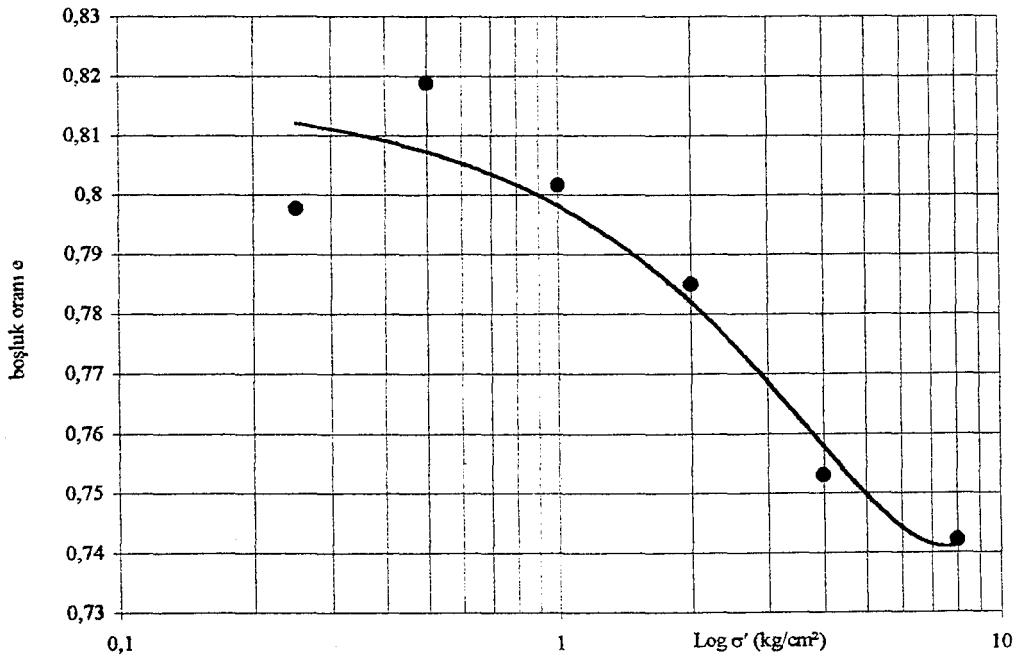
Şekil Ek - 1.23. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) e – Log σ' grafiği



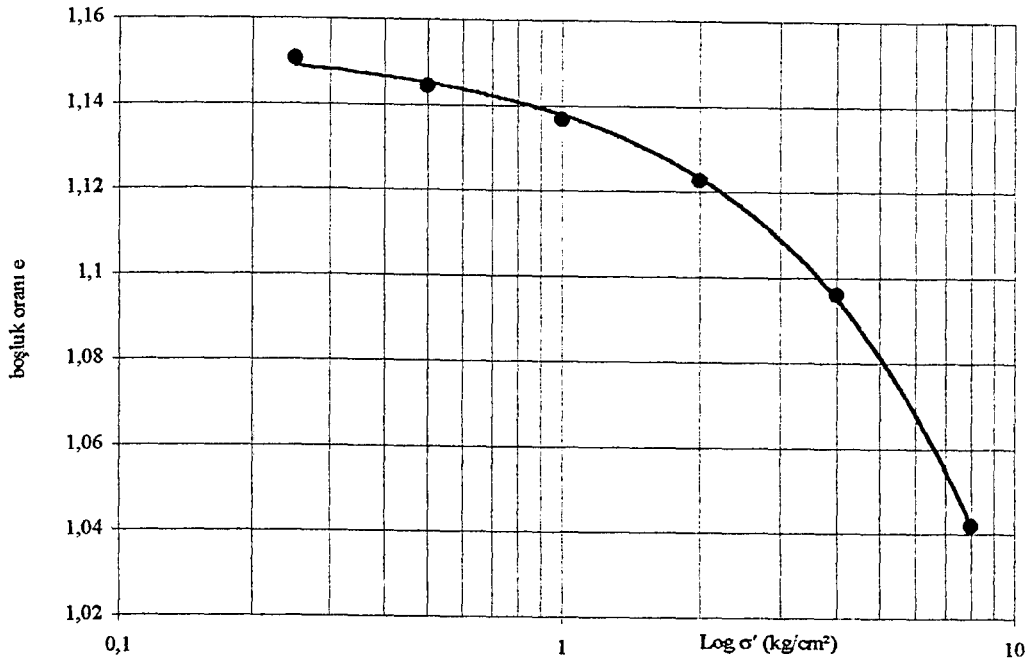
Şekil Ek - 1.24. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) e – Log σ' grafiği



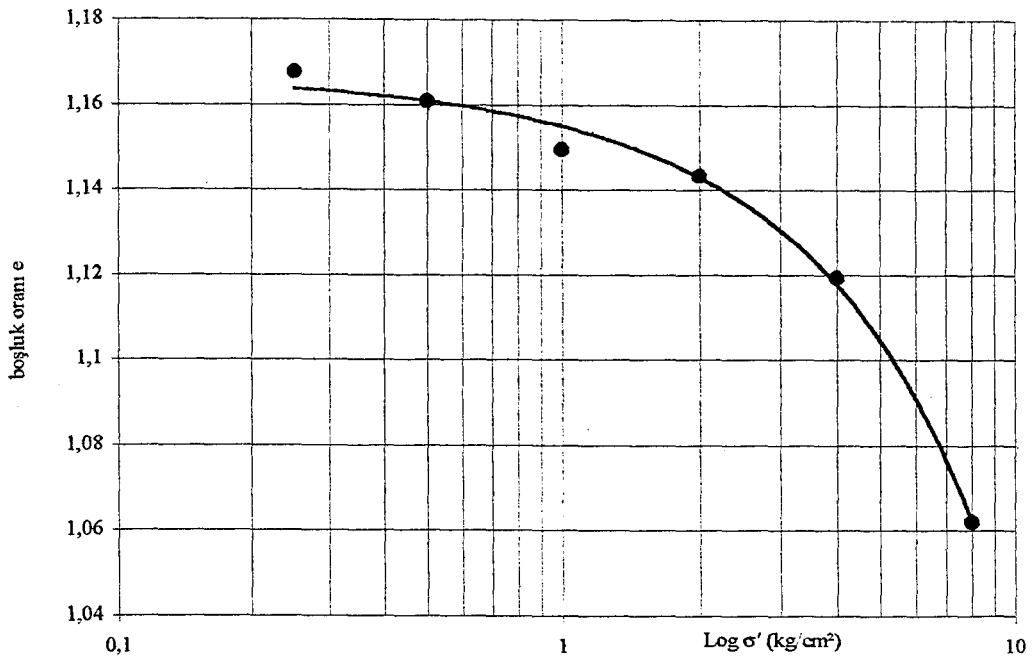
Şekil Ek - 1.25. B/Z (W_L + % 20 su) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



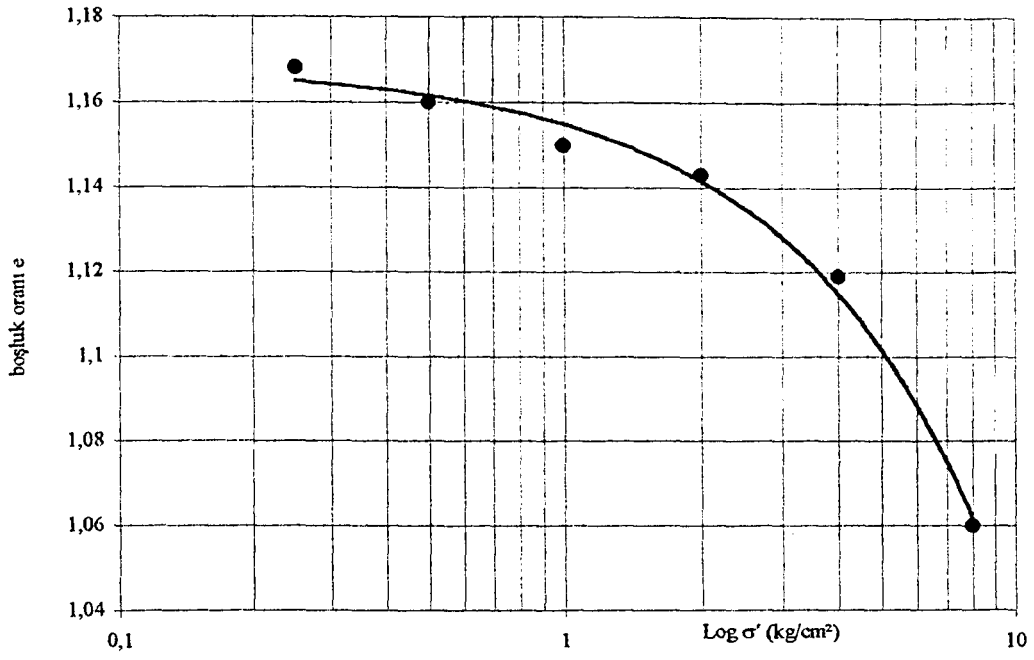
Şekil Ek - 1.26. B/Z (W_L + % 20 su) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



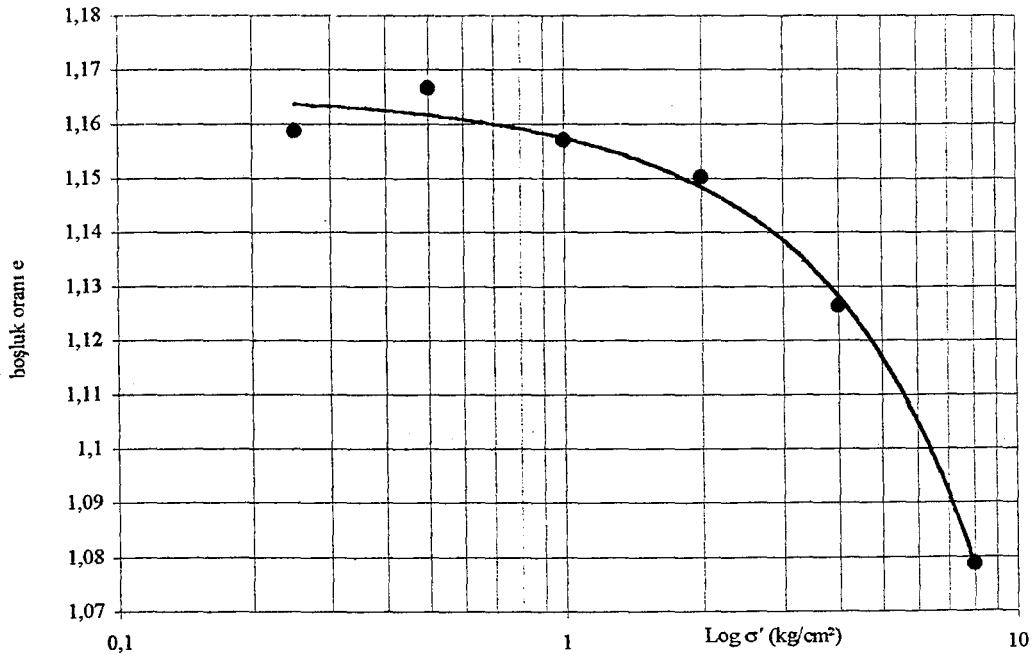
Şekil Ek - 1.27. B/Z (W_L + % 20 su) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



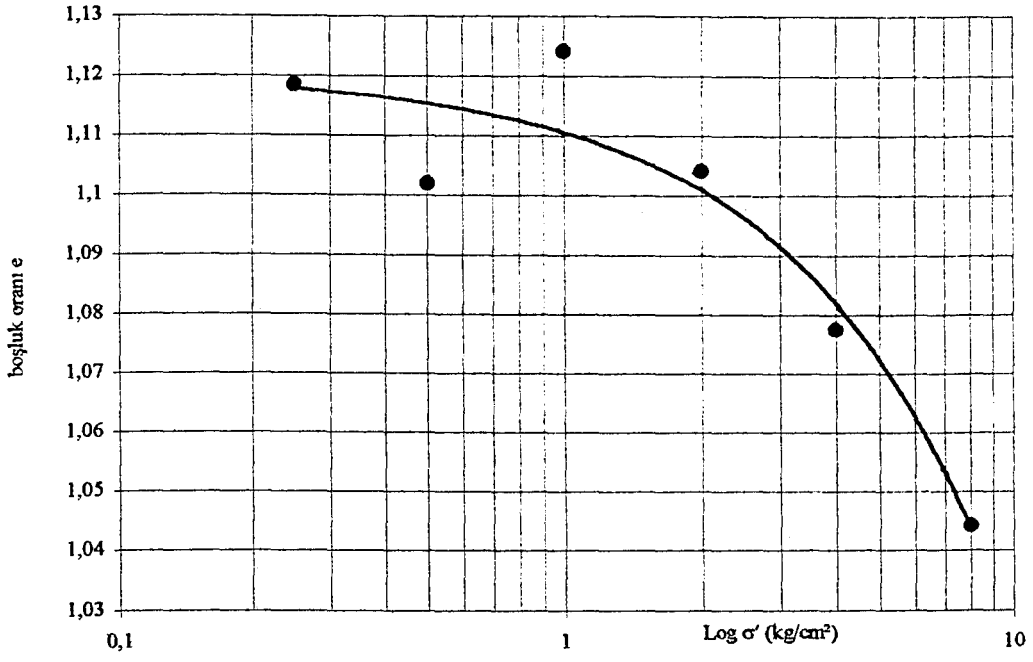
Şekil Ek - 1.28. B/Z (W_L + % 20 su) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



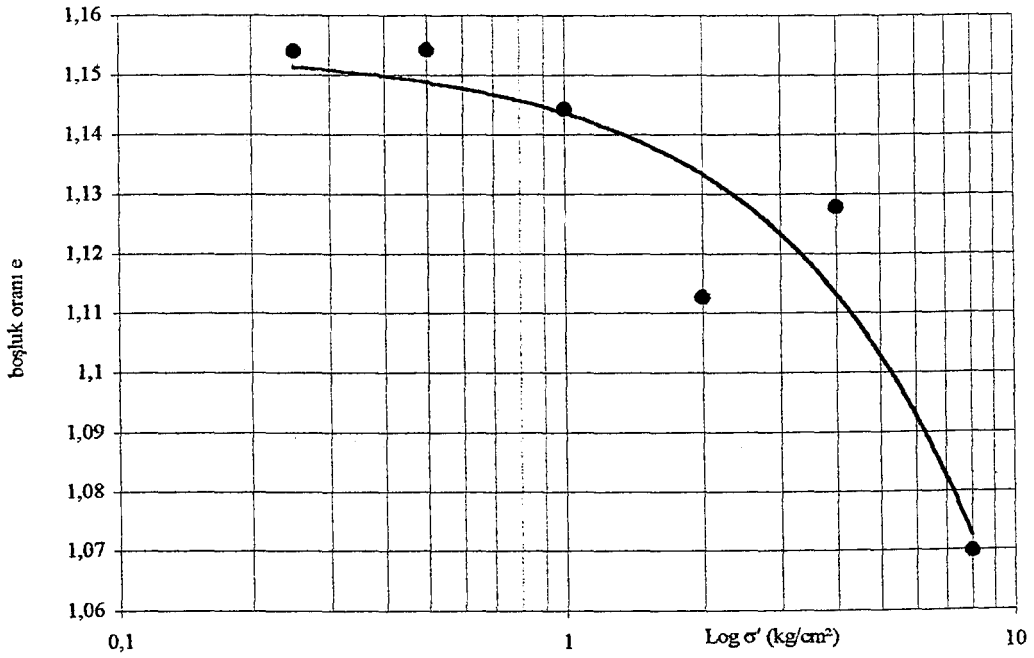
Şekil Ek - 1.29.B/Z ($W_L + \% 20$ su) e – Log σ' grafiği



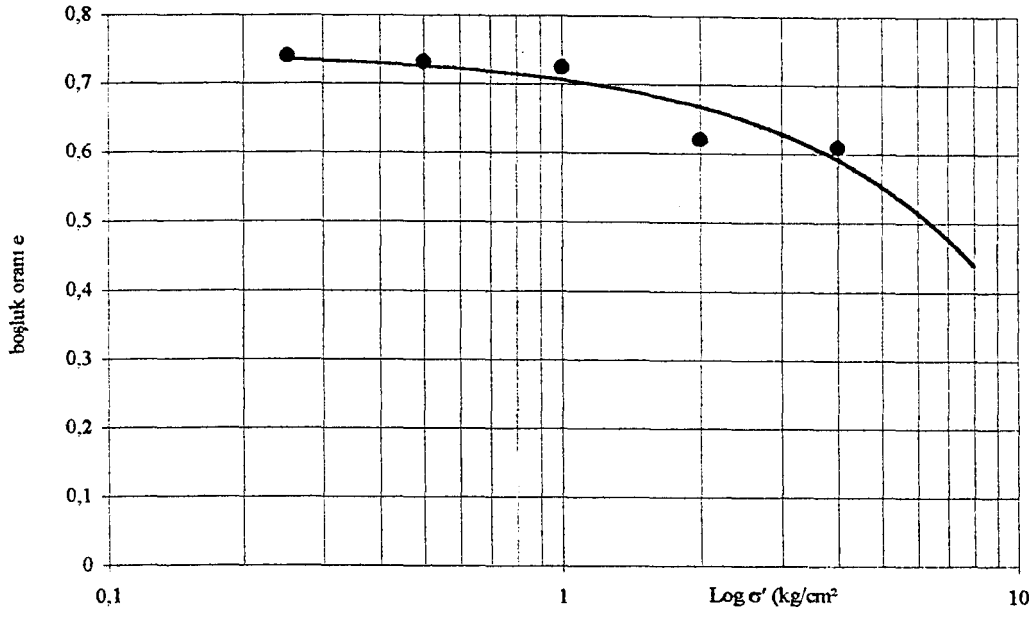
Şekil Ek - 1.30.B/Z ($W_L + \% 20$ su) e – Log σ' grafiği



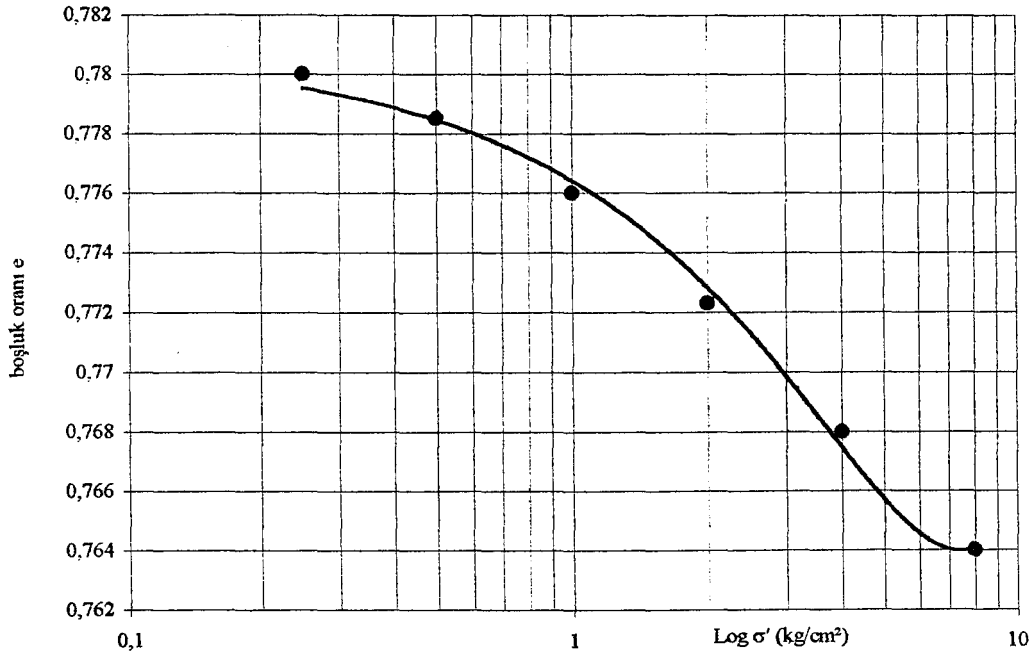
Şekil Ek - 1.31.B/Z (W_L + % 20 su) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



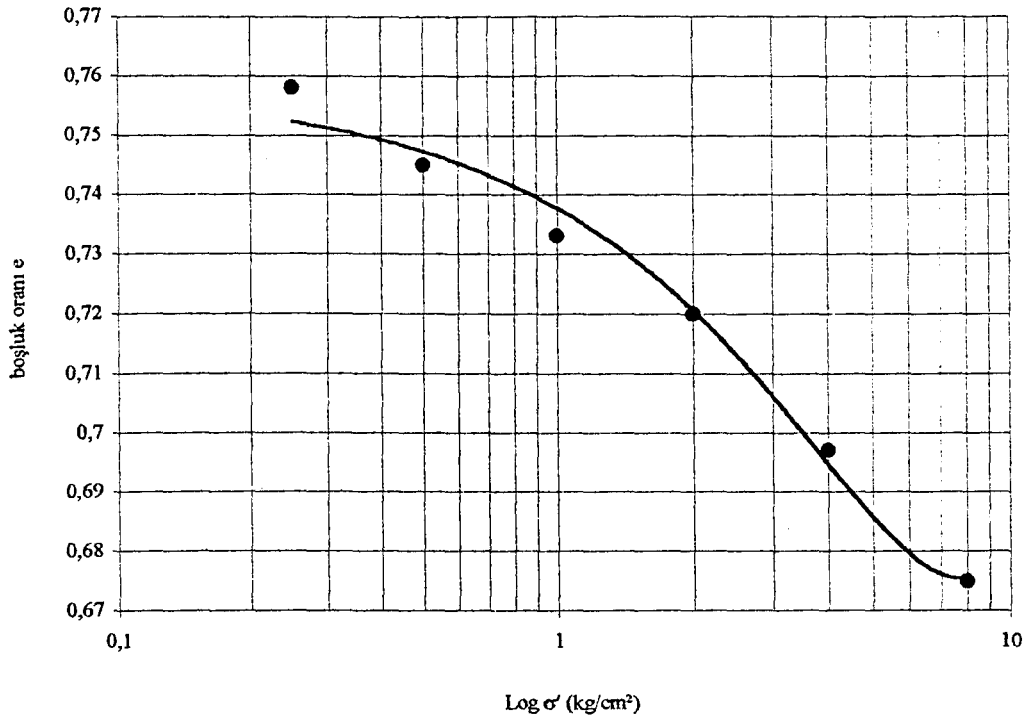
Şekil Ek - 1.32.B/Z (W_L + % 20 su) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği



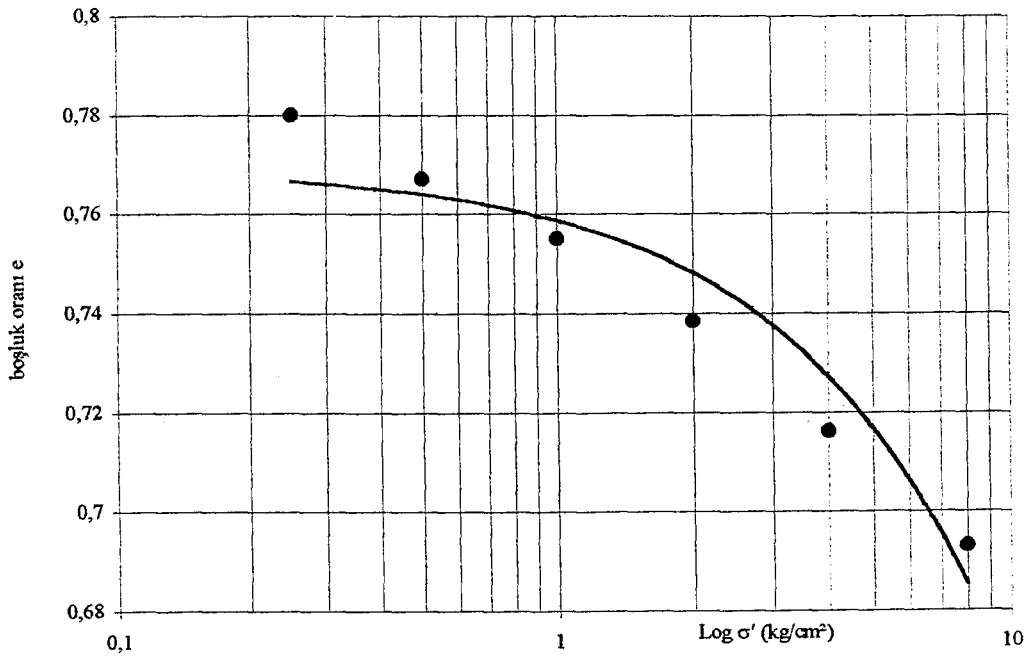
Şekil Ek - 1.33. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği (60PSI)



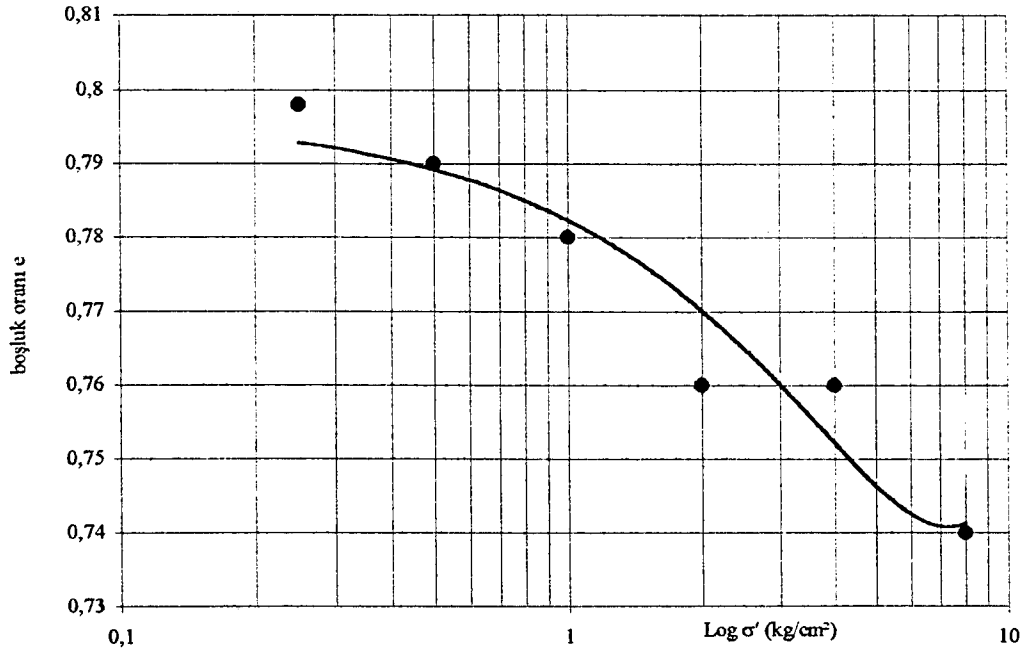
Şekil Ek - 1.34. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği (45PSI)



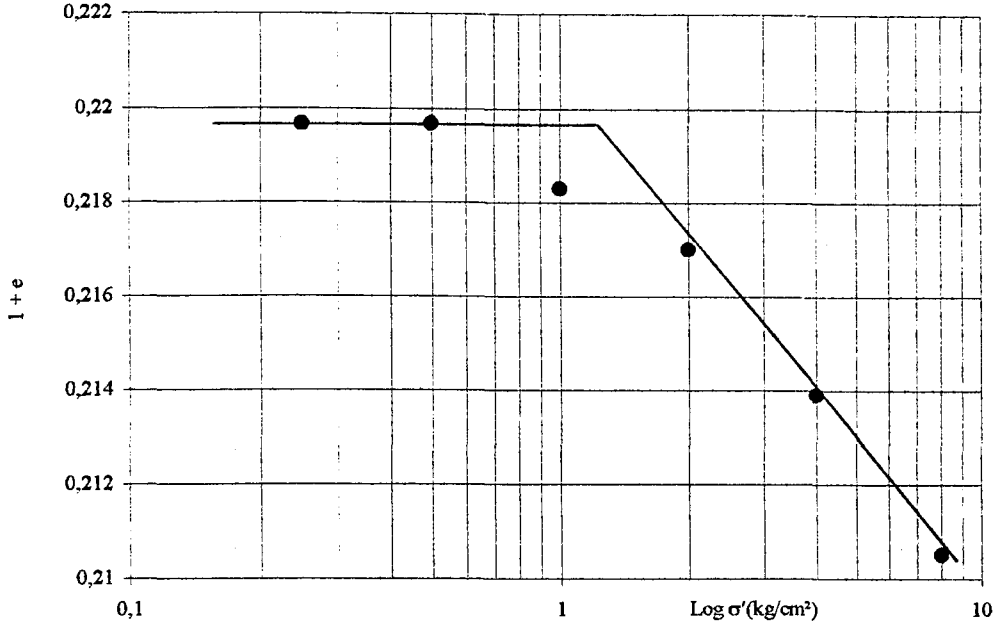
Şekil Ek - 1.35. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği (45PSI)



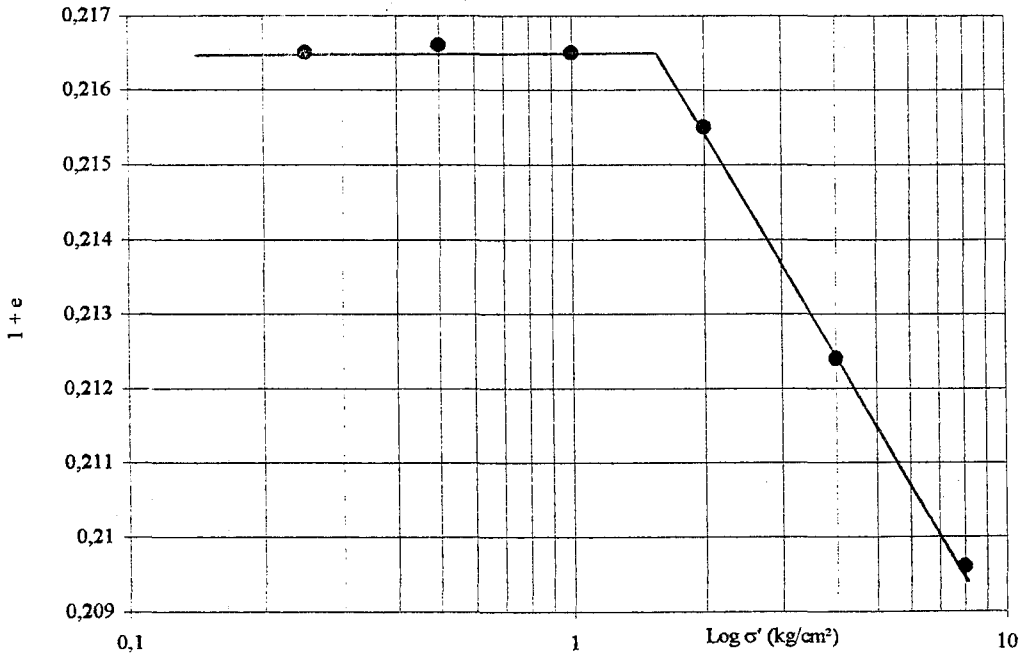
Şekil Ek - 1.36. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği (45PSI)



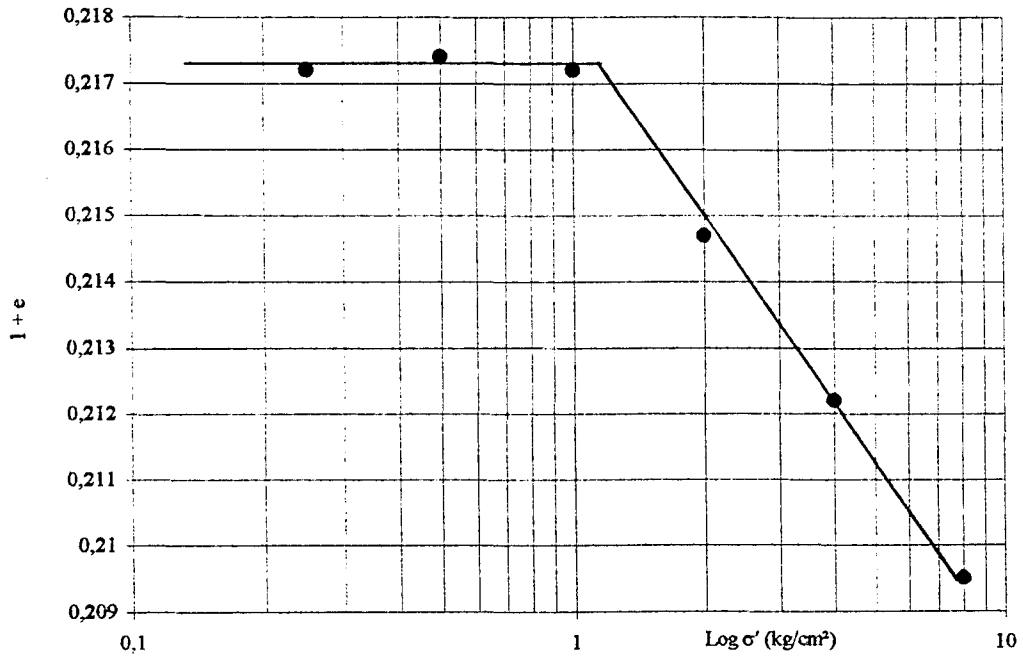
Şekil Ek - 1.37. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $e - \text{Log } \sigma'$ grafiği (45PSI)



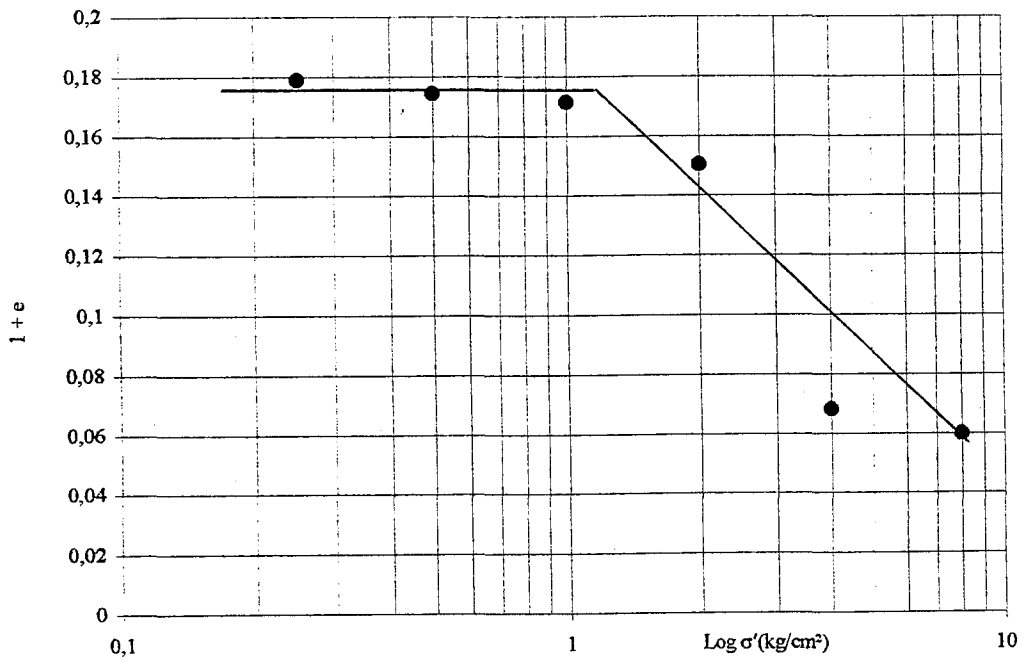
Şekil Ek - 2.1. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) ($1+e$) – Log σ' grafiği



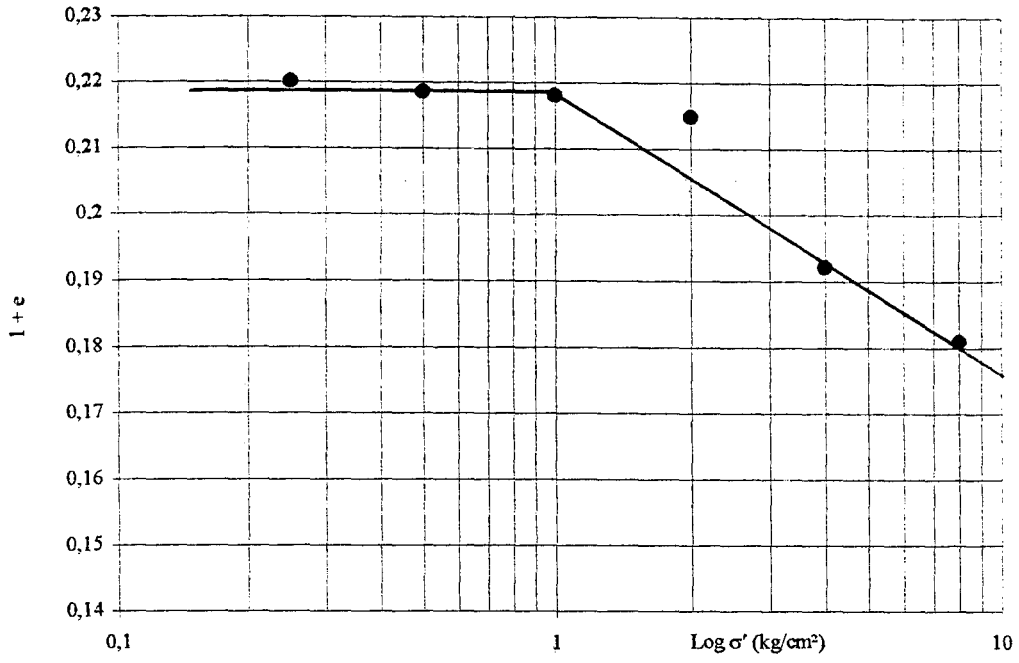
Şekil Ek - 2.2. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) ($1+e$) – Log σ' grafiği



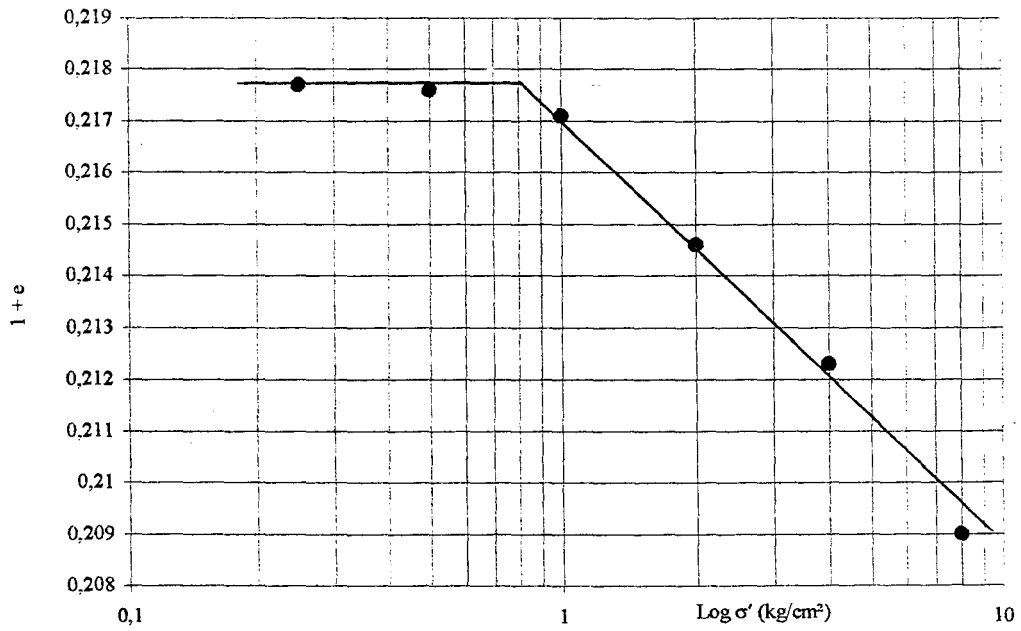
Şekil Ek - 2.3. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) (1+e) – Log σ' grafiği



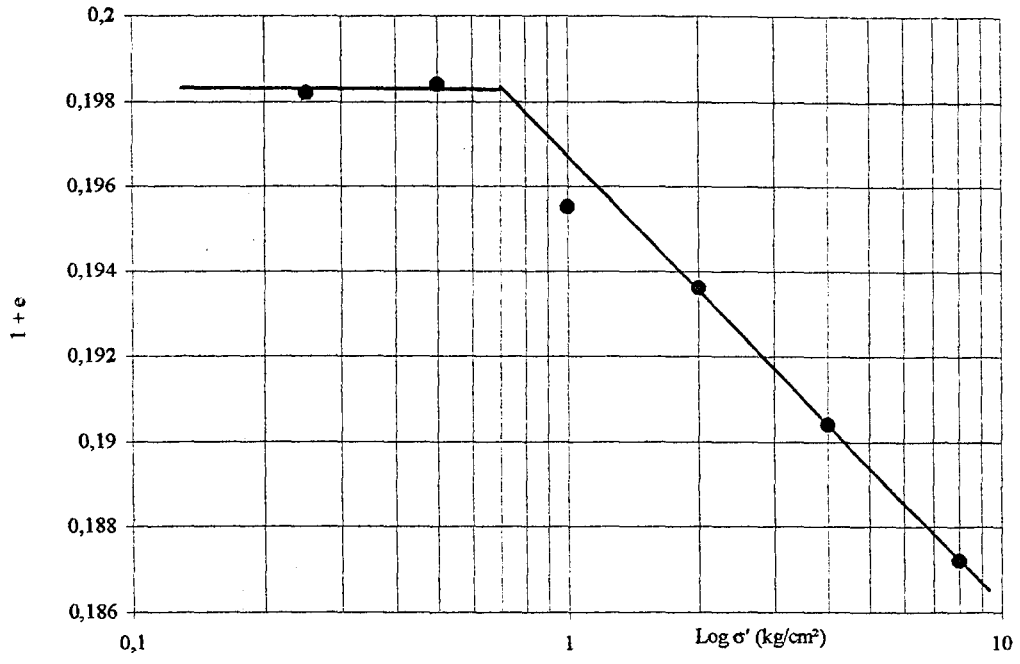
Şekil Ek - 2.4. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) (1+e) – Log σ' grafiği



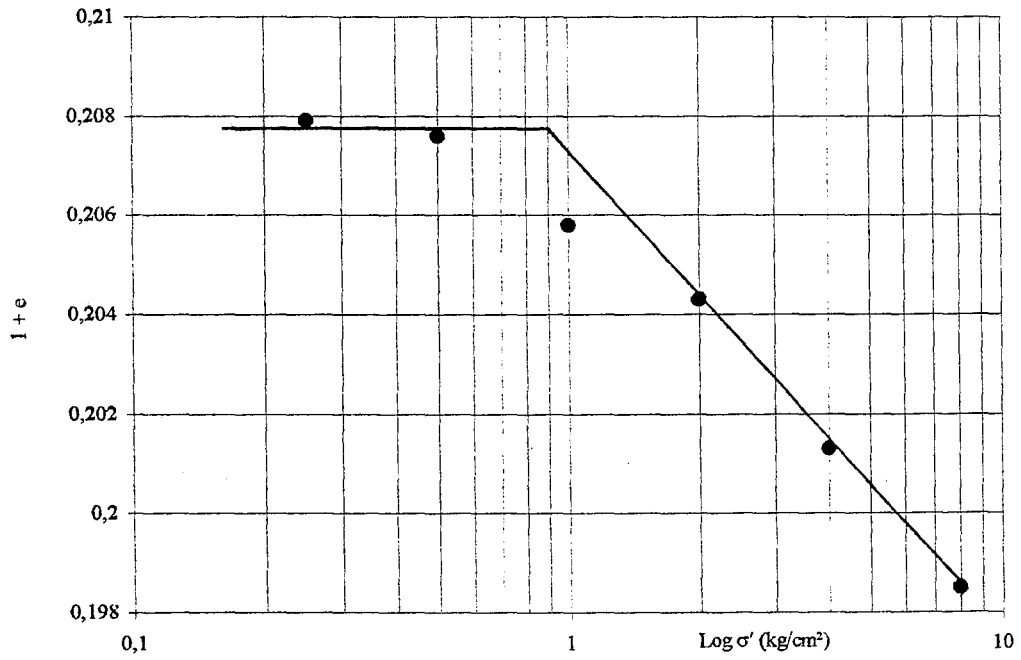
Şekil Ek - 2.5. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $(1+e) - \text{Log } \sigma'$ grafiği



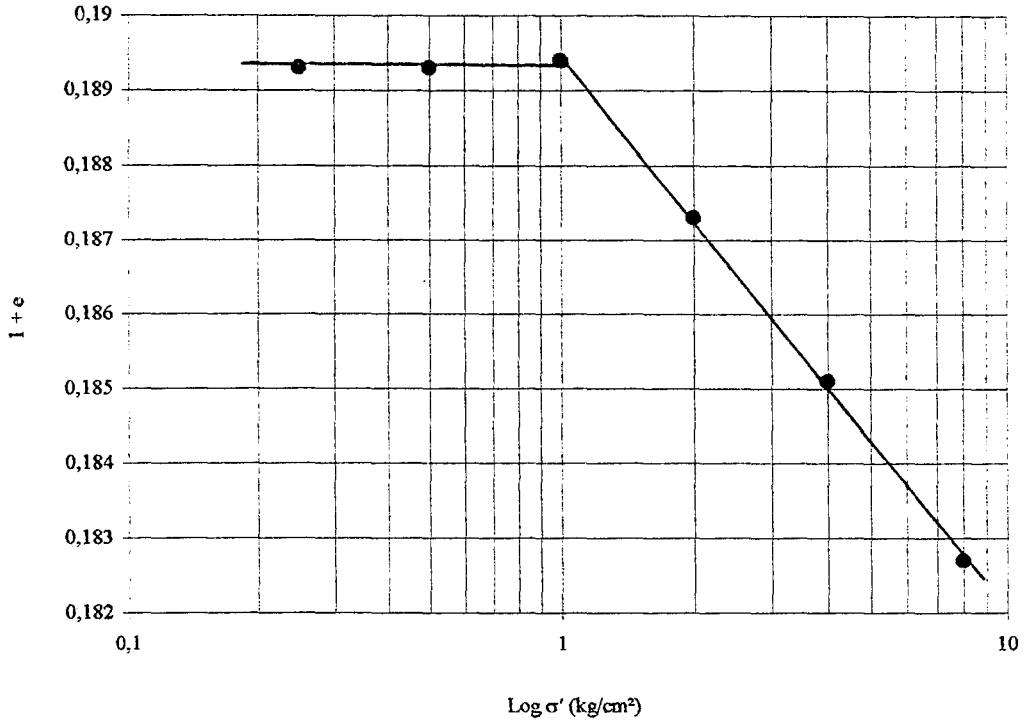
Şekil Ek - 2.6. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $(1+e) - \text{Log } \sigma'$ grafiği



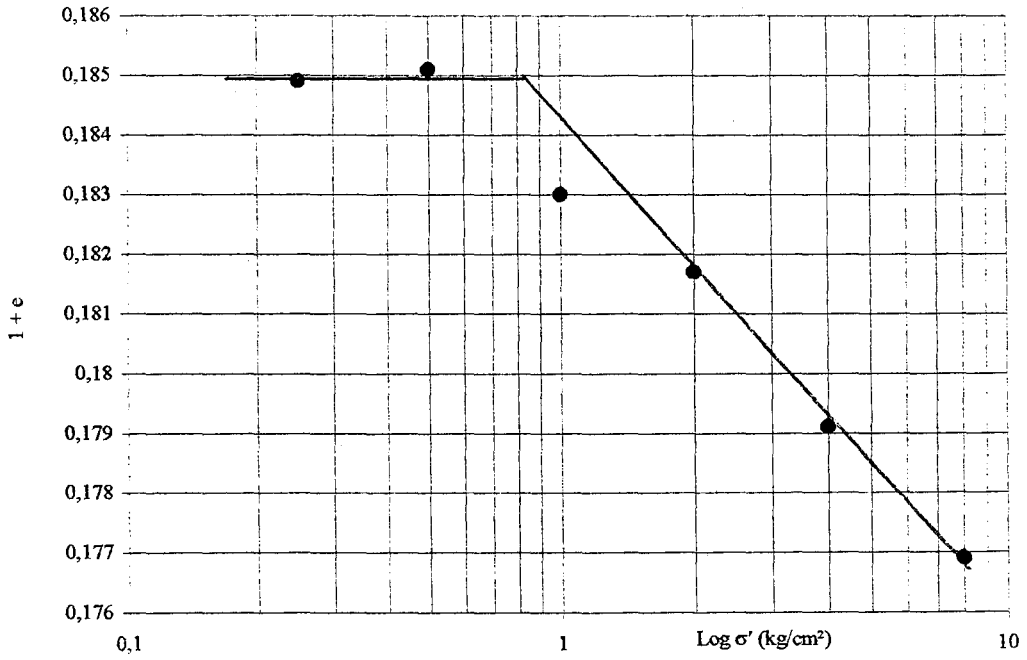
Şekil Ek - 2.7. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) (1+e) – Log σ' grafiği



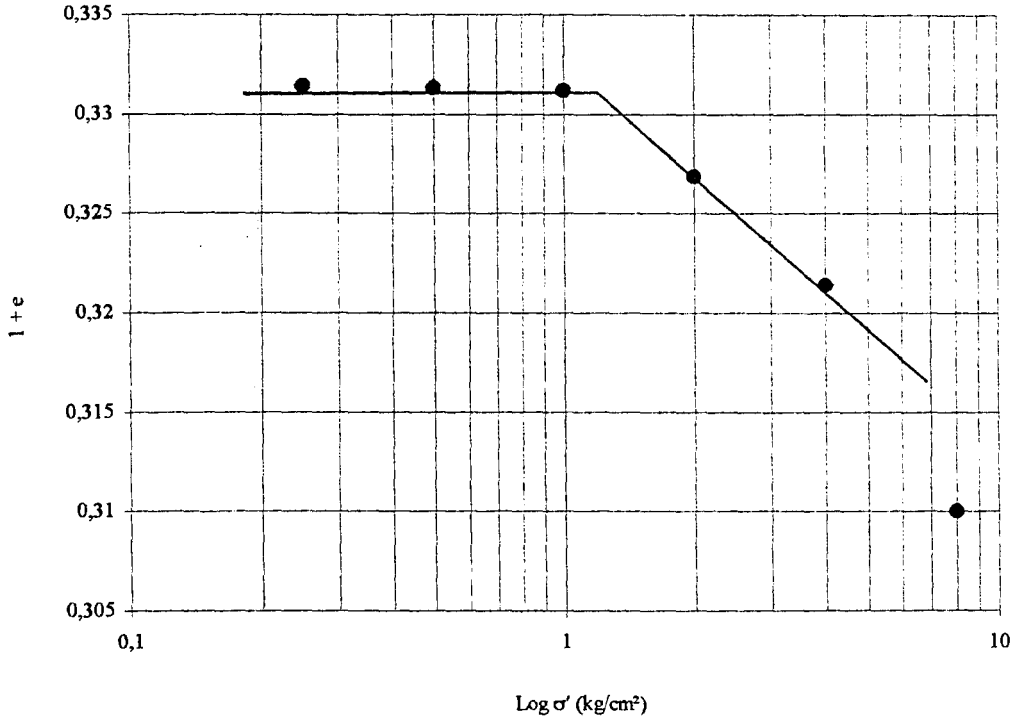
Şekil Ek - 2.8. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) (1+e) – Log σ' grafiği



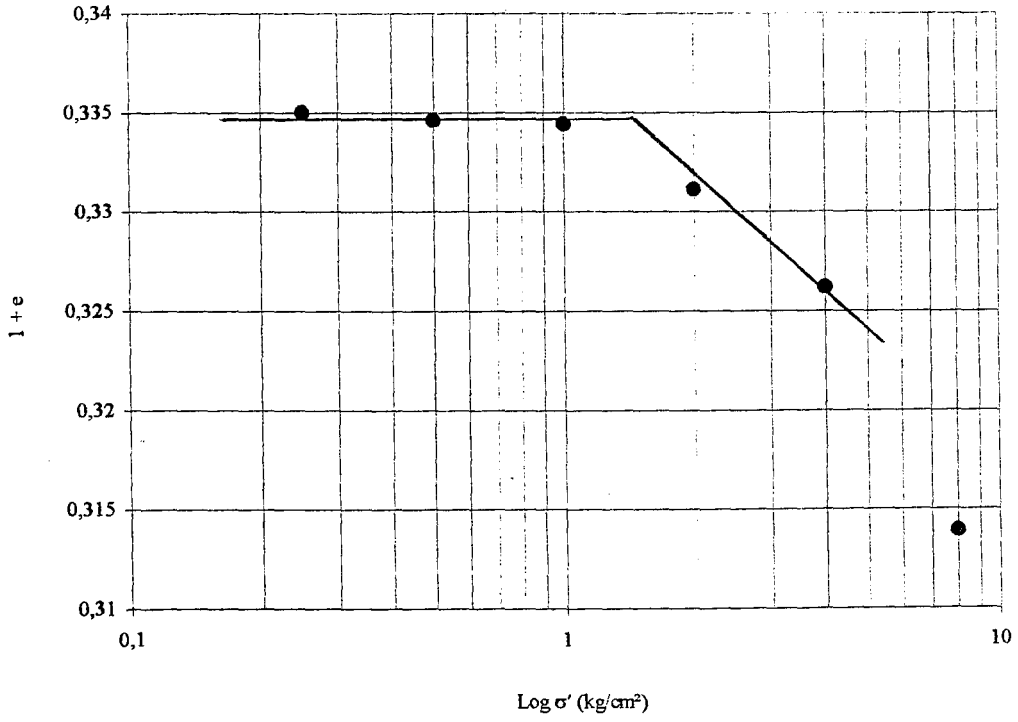
Şekil Ek - 2.9. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) $(1+e) - \text{Log } \sigma'$ grafiği



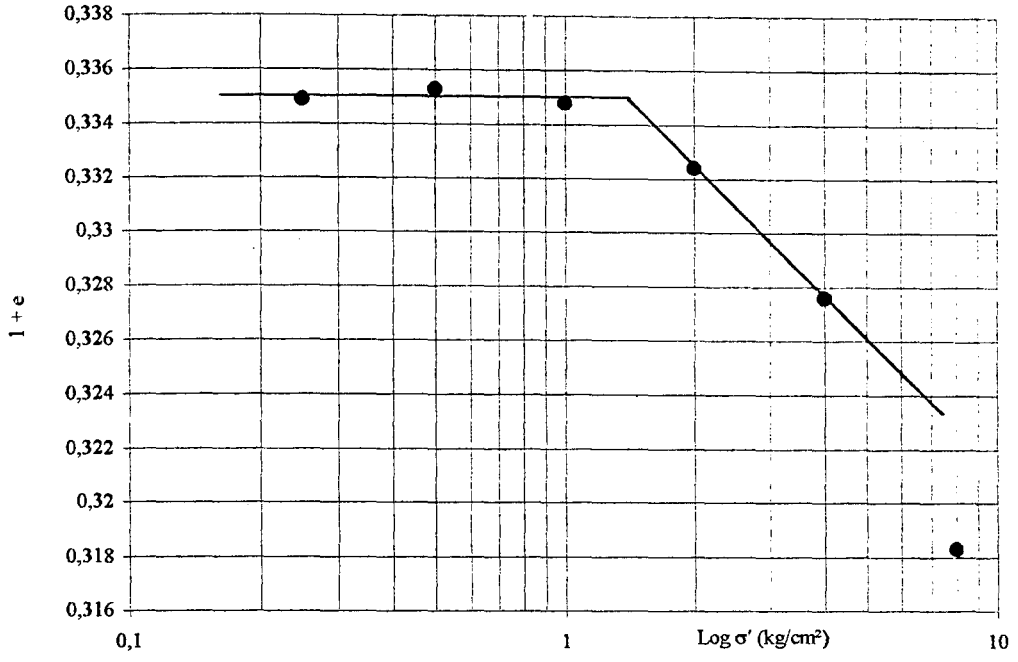
Şekil Ek - 2.10. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) $(1+e) - \text{Log } \sigma'$ grafiği



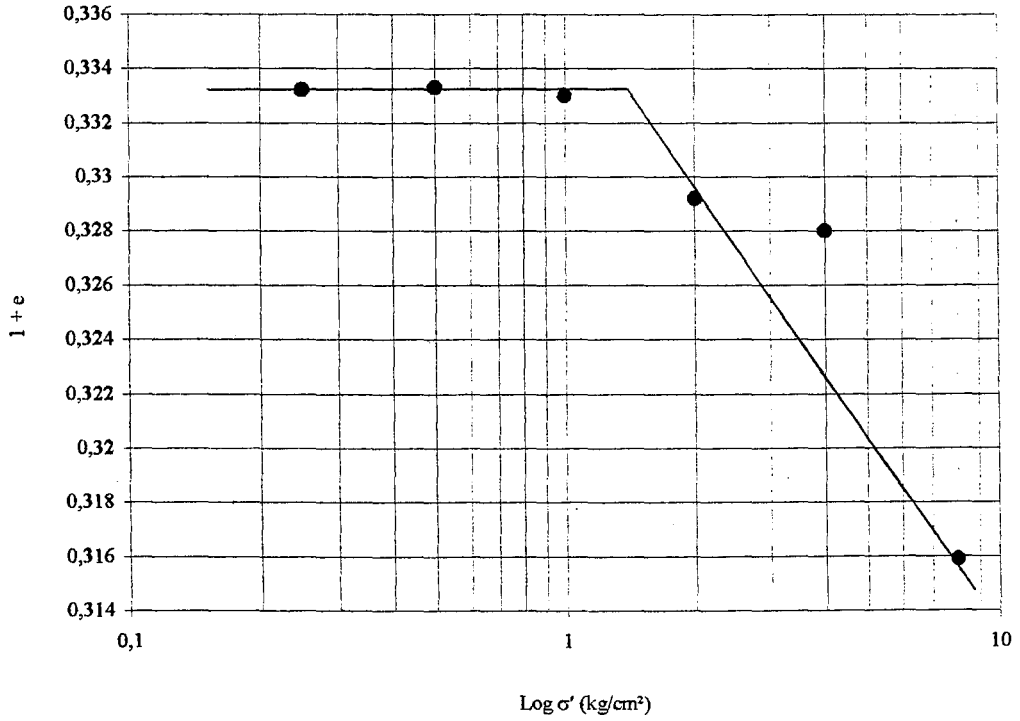
Şekil Ek - 2.11. B/Z ($W_L + \% 20$ su) (1+e) – Log σ' grafiği



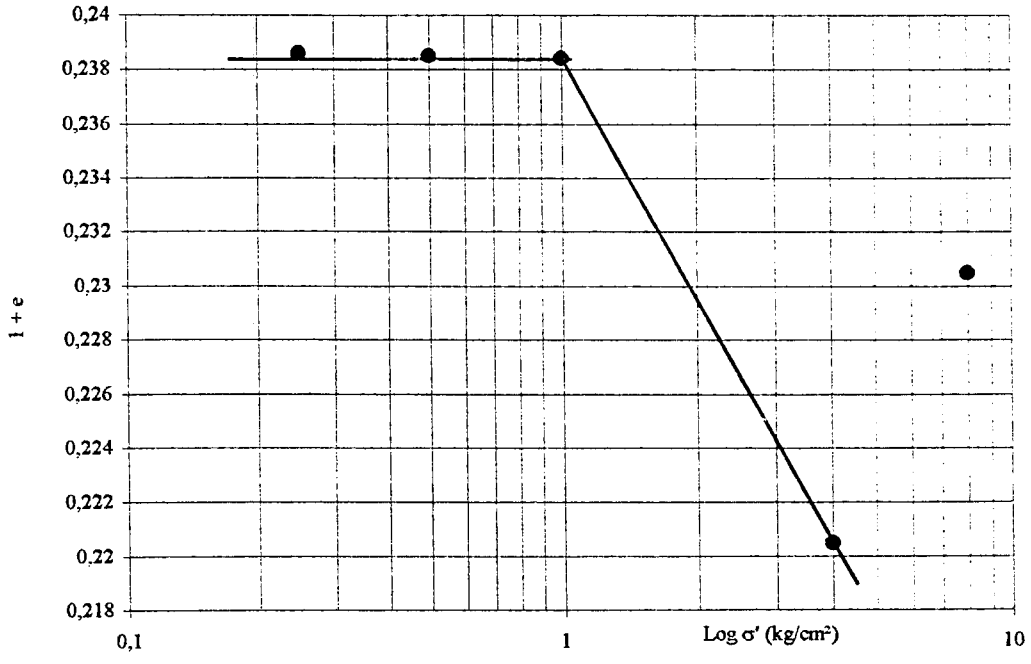
Şekil Ek - 2.12. B/Z ($W_L + \% 20$ su) (1+e) – Log σ' grafiği



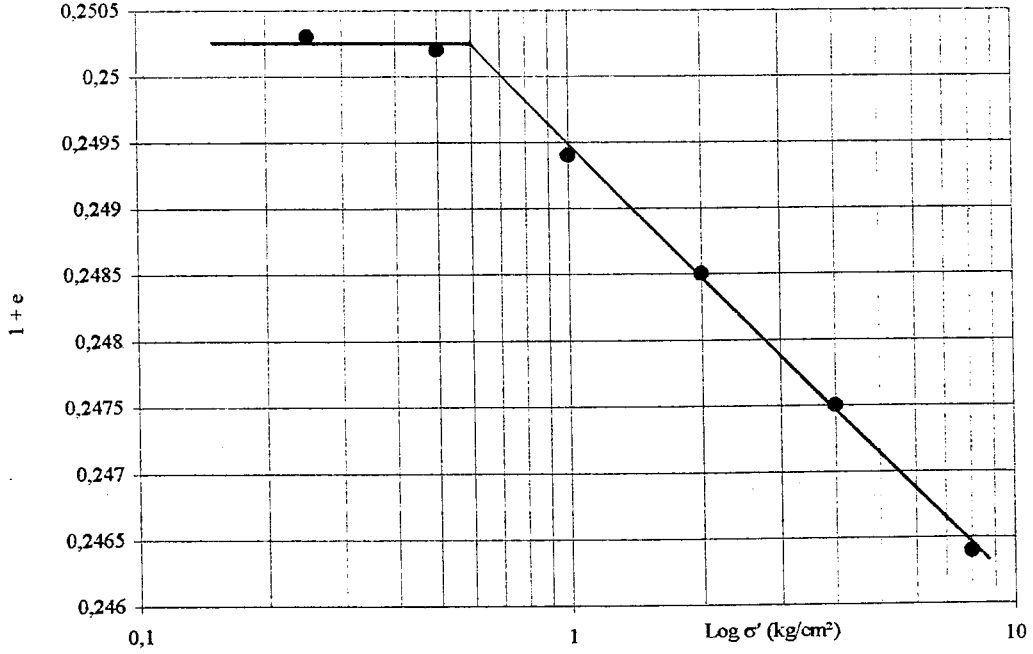
Şekil Ek - 2. 13. B/Z ($W_L + \% 20$ su) (1+e) – Log σ' grafiği



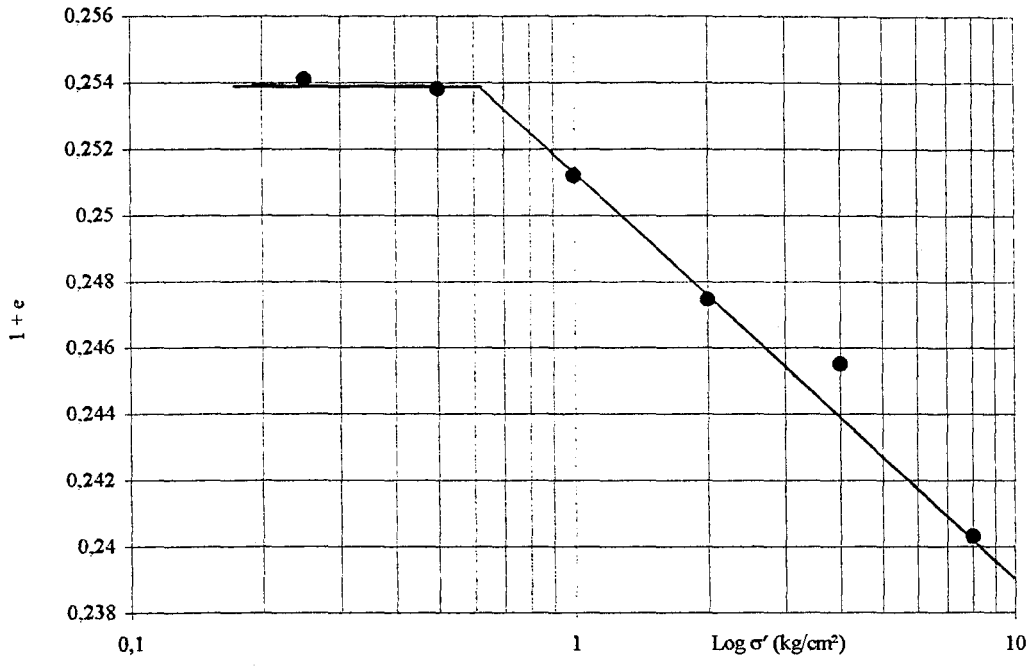
Şekil Ek - 2. 14. B/Z ($W_L + \% 20$ su) (1+e) – Log σ' grafiği



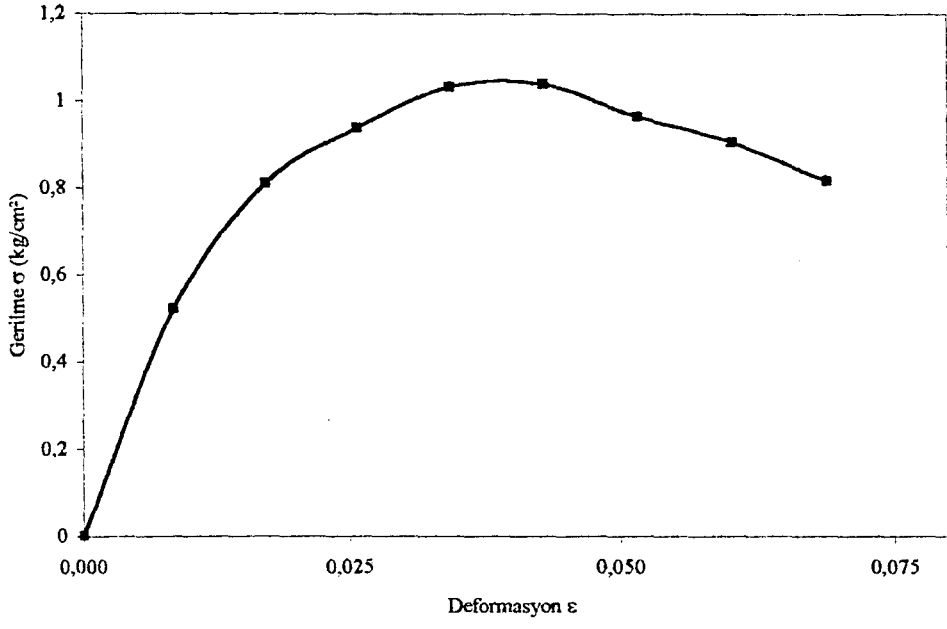
Şekil Ek - 2.15. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) (1+e) – Log σ' grafiği



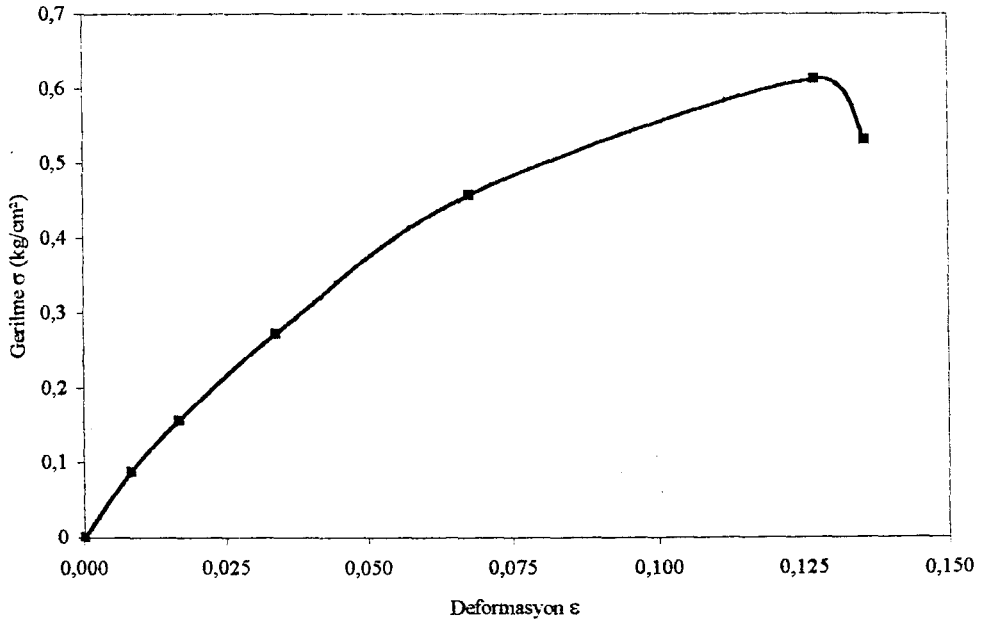
Şekil Ek - 2.16. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) (1+e) – Log σ' grafiği



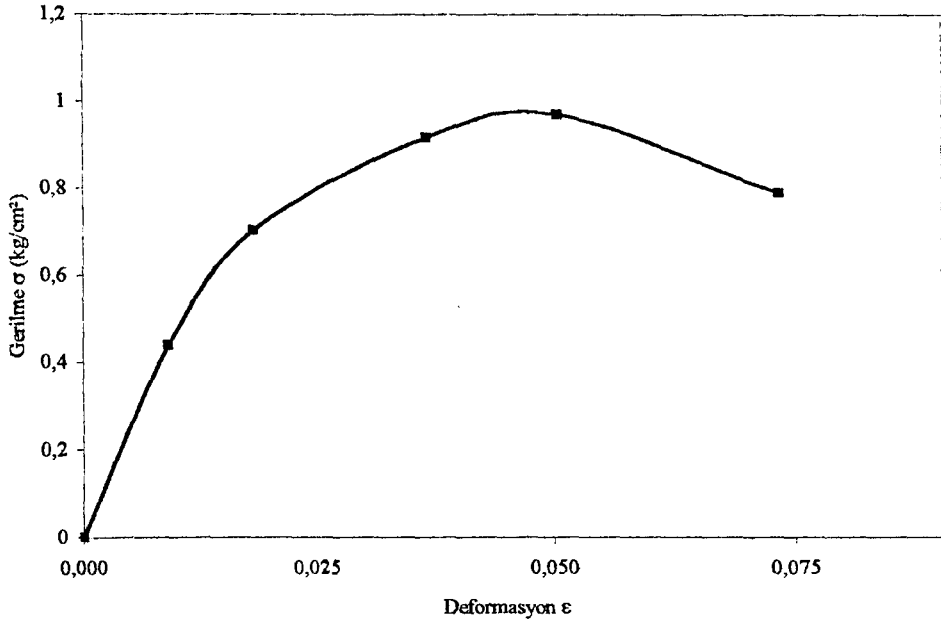
Şekil Ek - 2.17. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $(1+e) - \text{Log } \sigma'$ grafiği



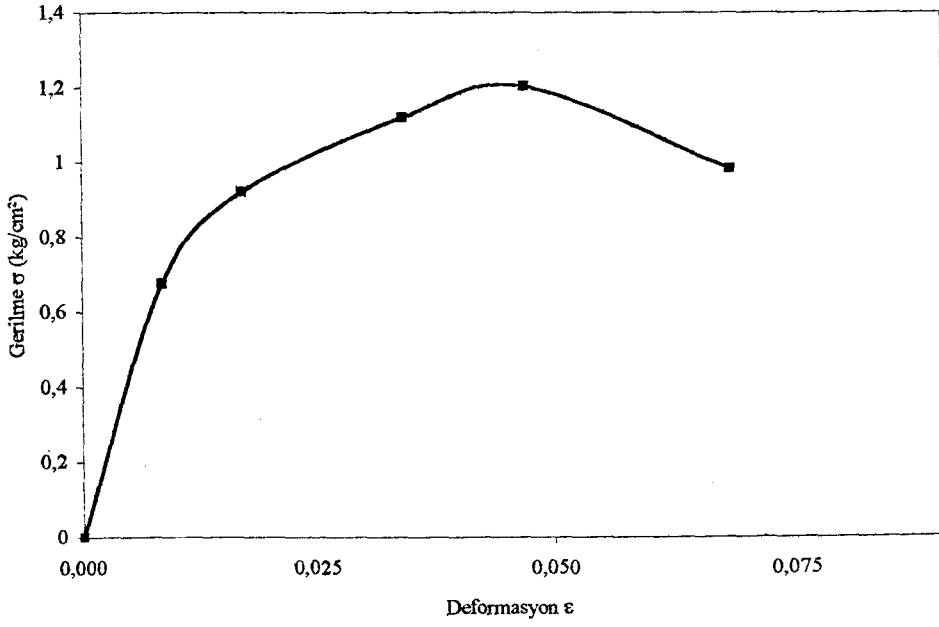
Şekil Ek -3.1. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



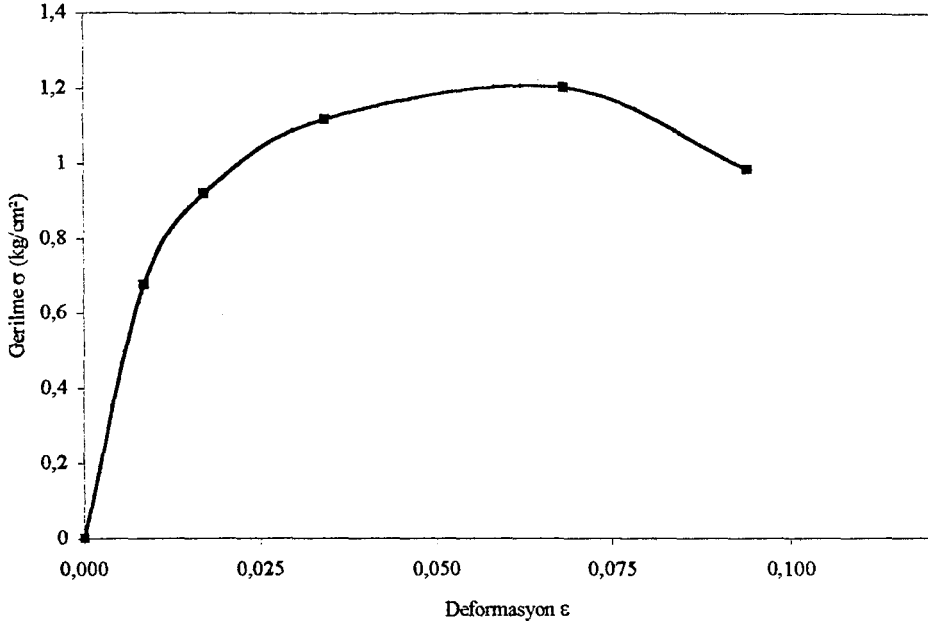
Şekil Ek -3.2. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



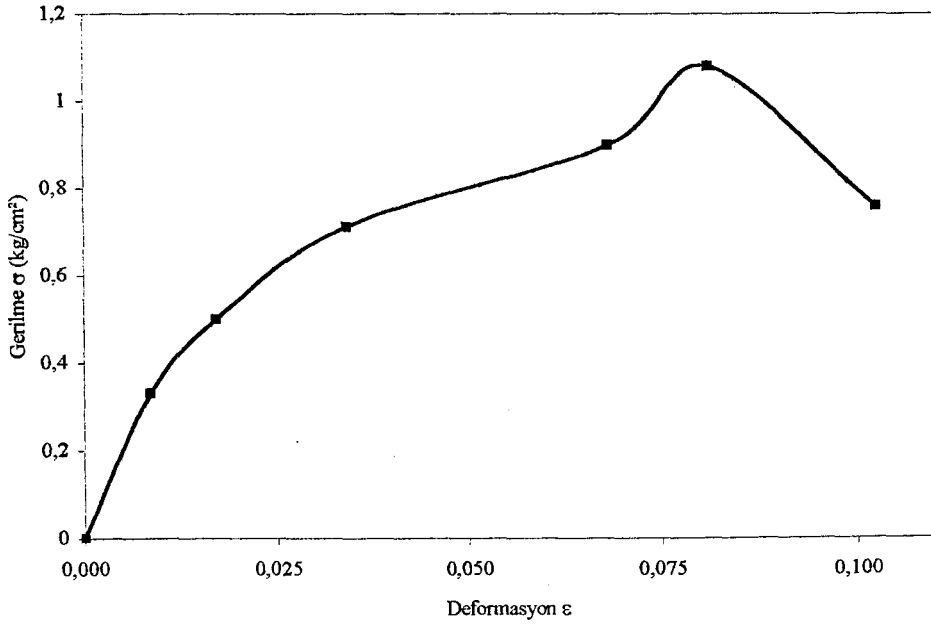
Şekil Ek -3.3. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



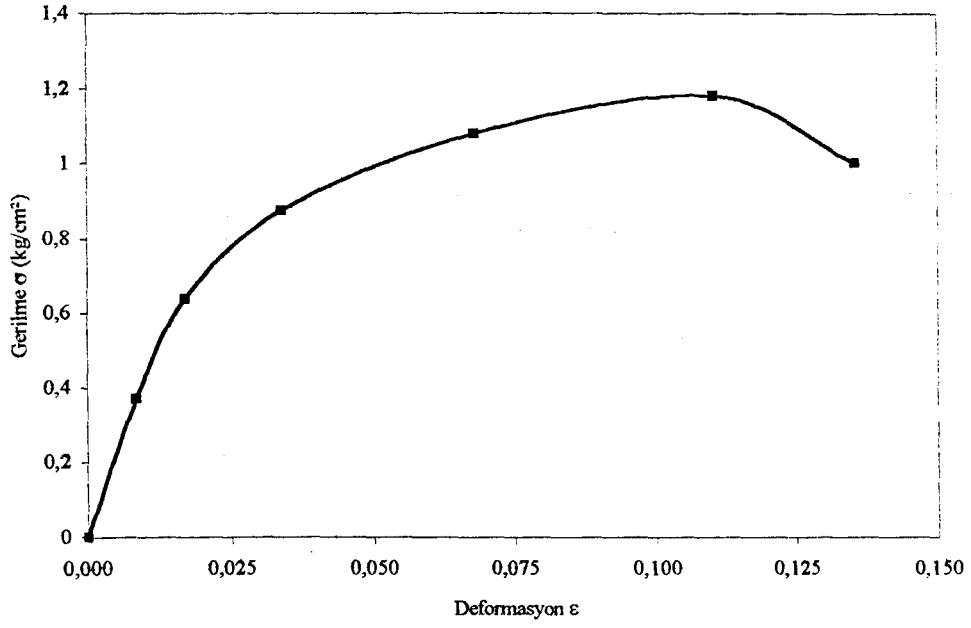
Şekil Ek -3.4. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



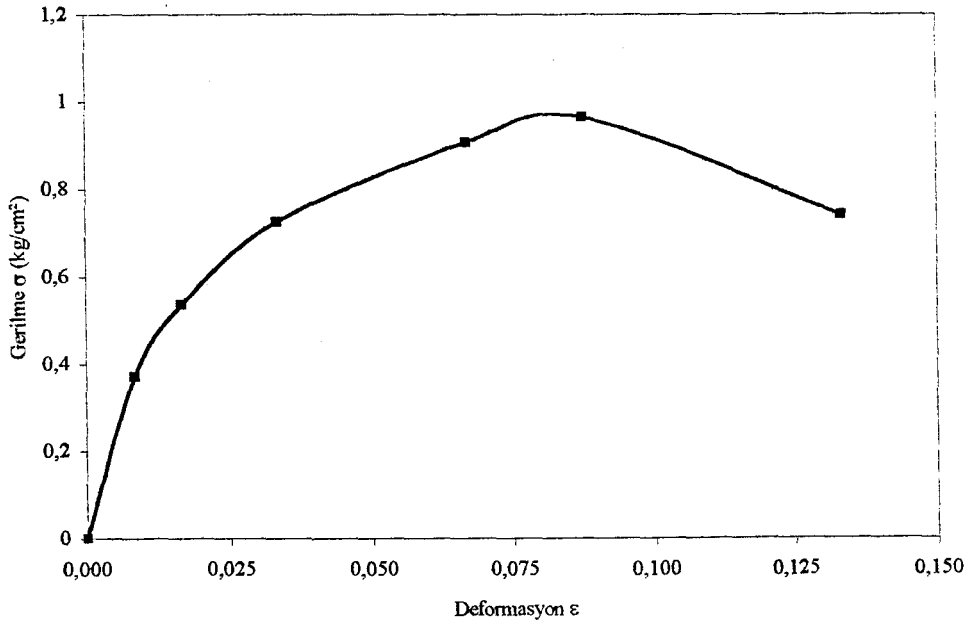
Şekil Ek -3.5. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



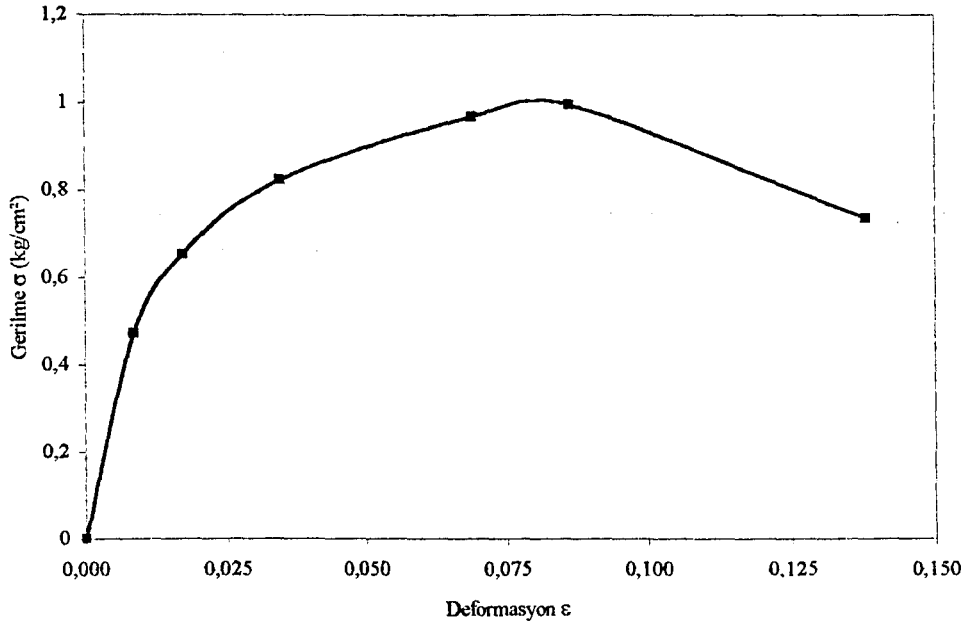
Şekil Ek -3.6. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



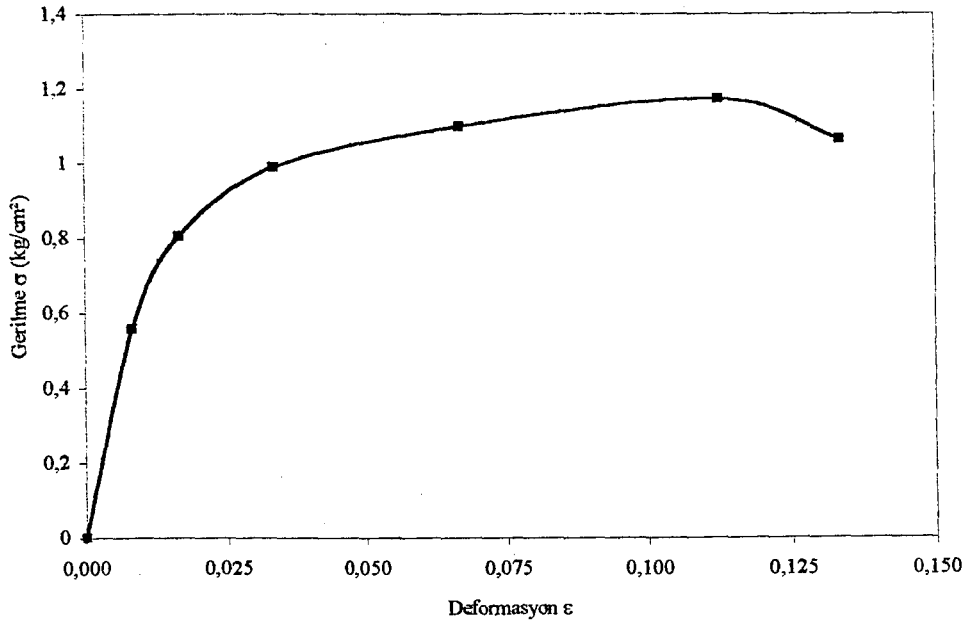
Şekil Ek -3.7. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



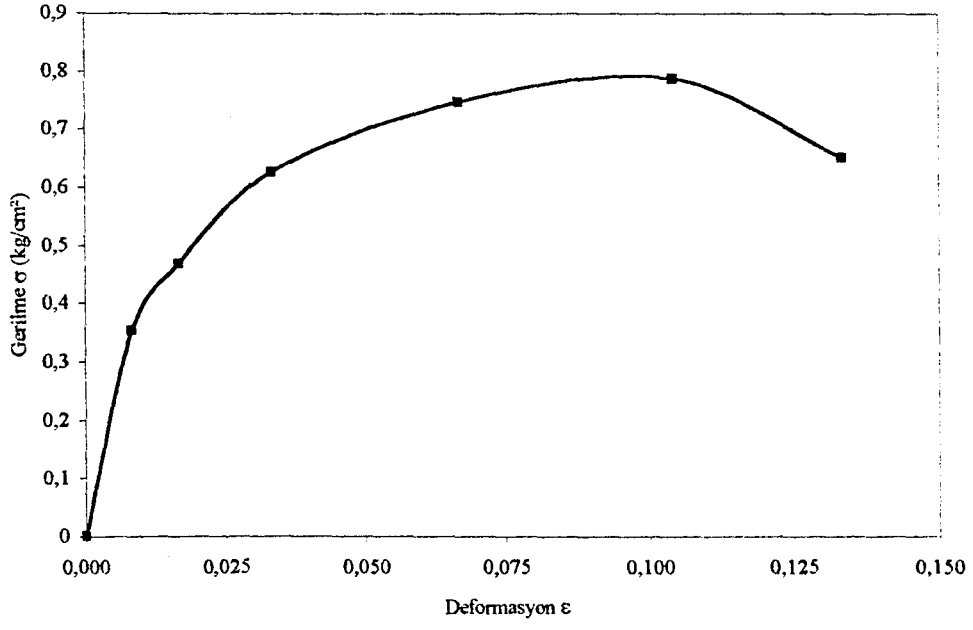
Şekil Ek -3.8. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



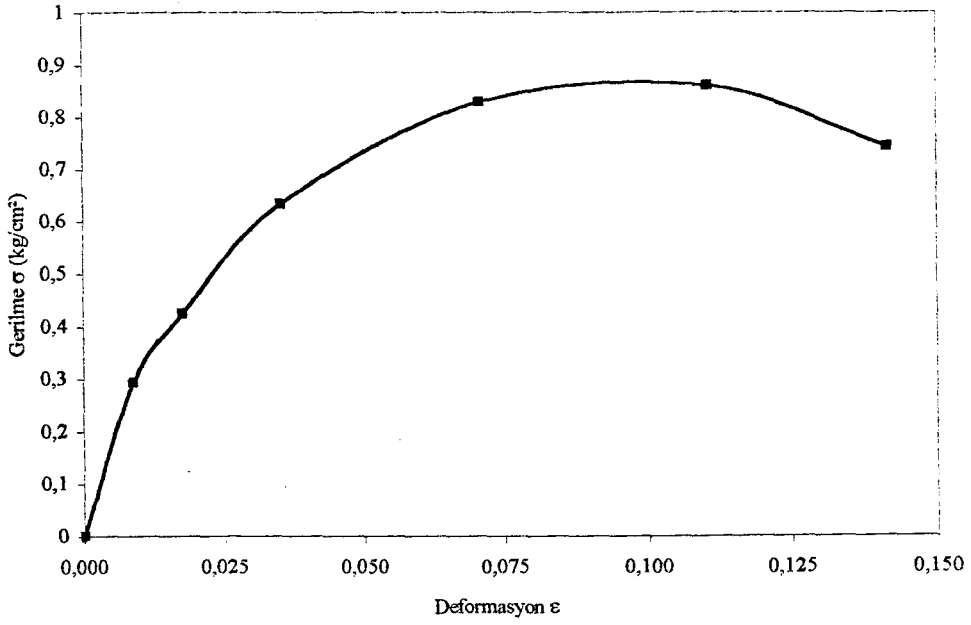
Şekil Ek -3.9. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



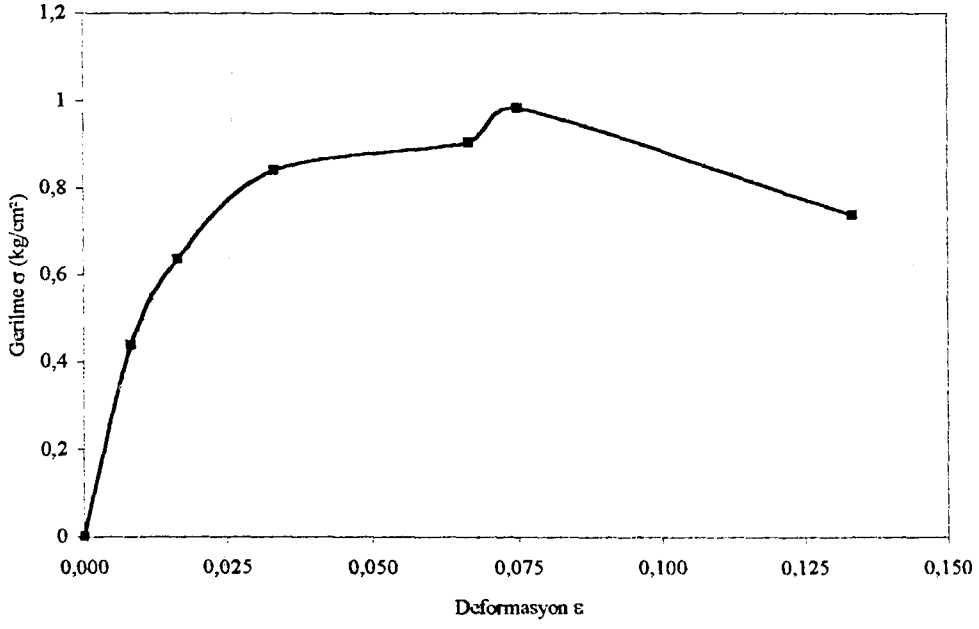
Şekil Ek -3.10. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



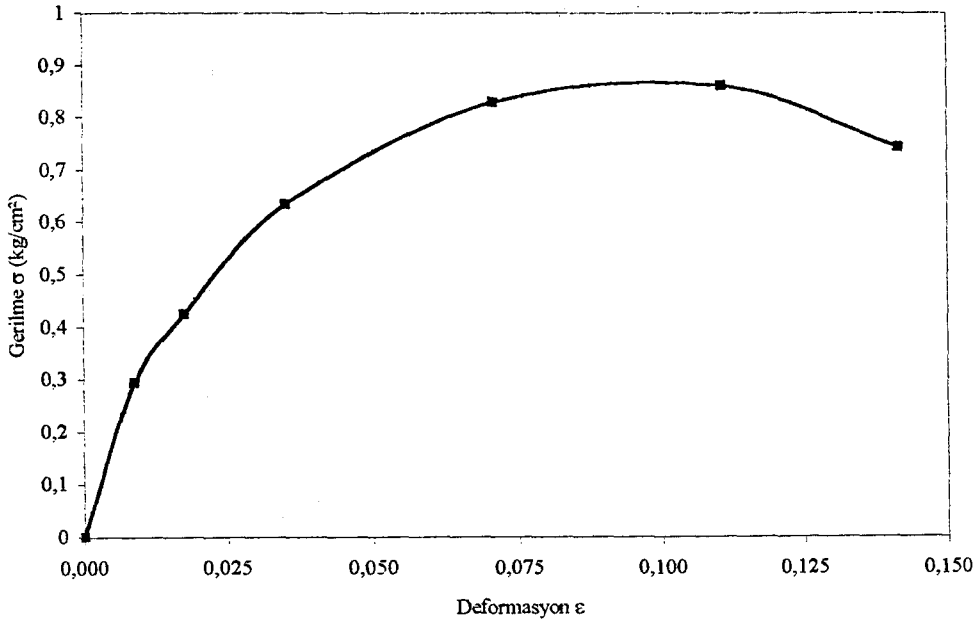
Şekil Ek -3.11. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



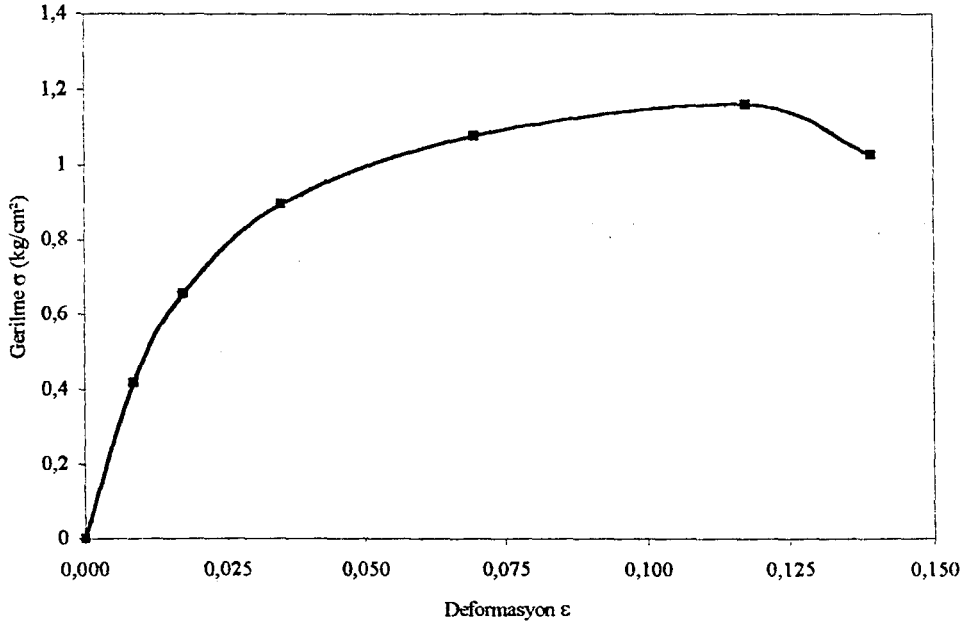
Şekil Ek -3.12. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



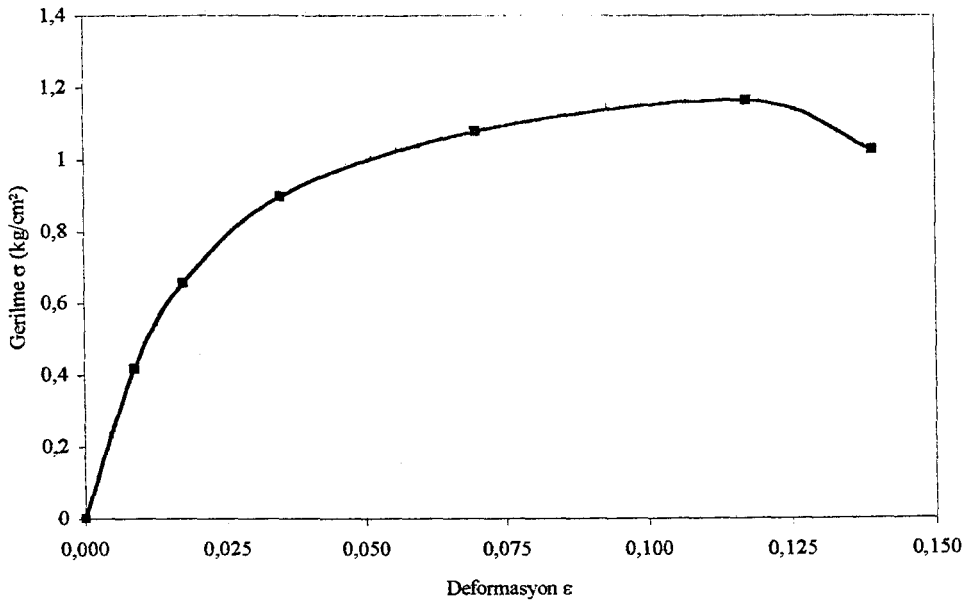
Şekil Ek -3.13. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



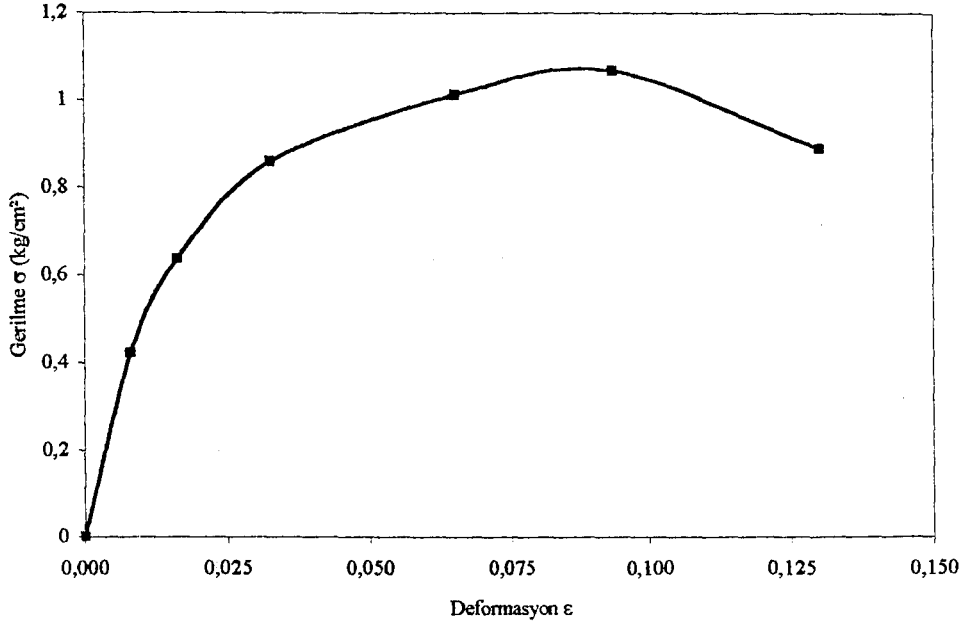
Şekil Ek -3.14. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



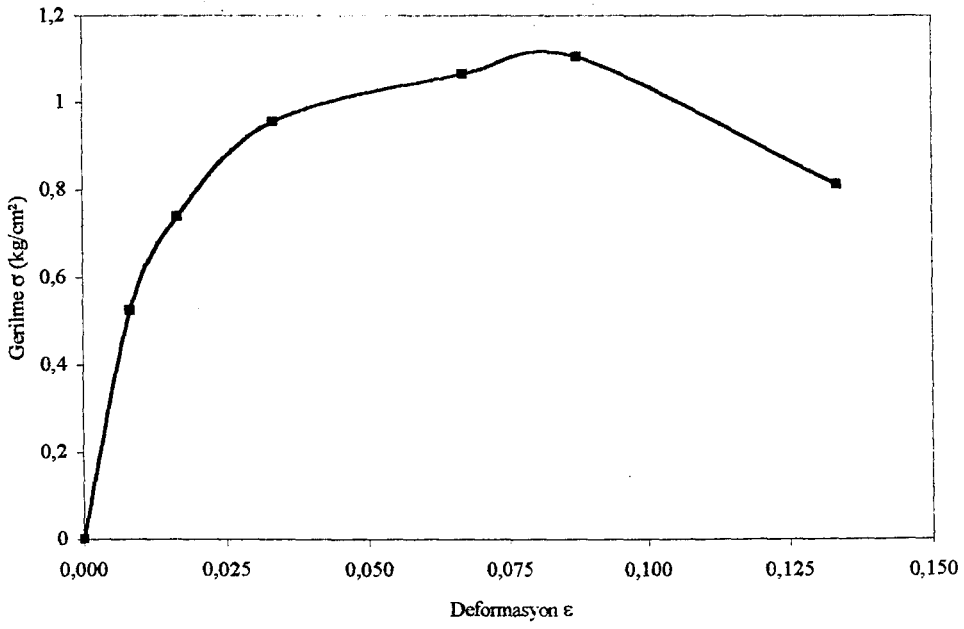
Şekil Ek -3.15. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



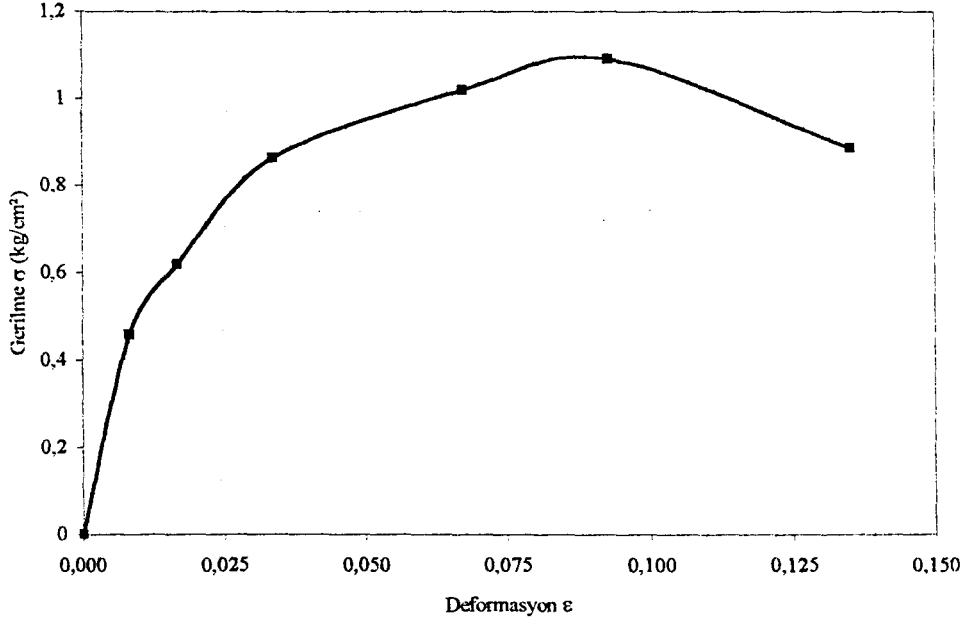
Şekil Ek - 3.16. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



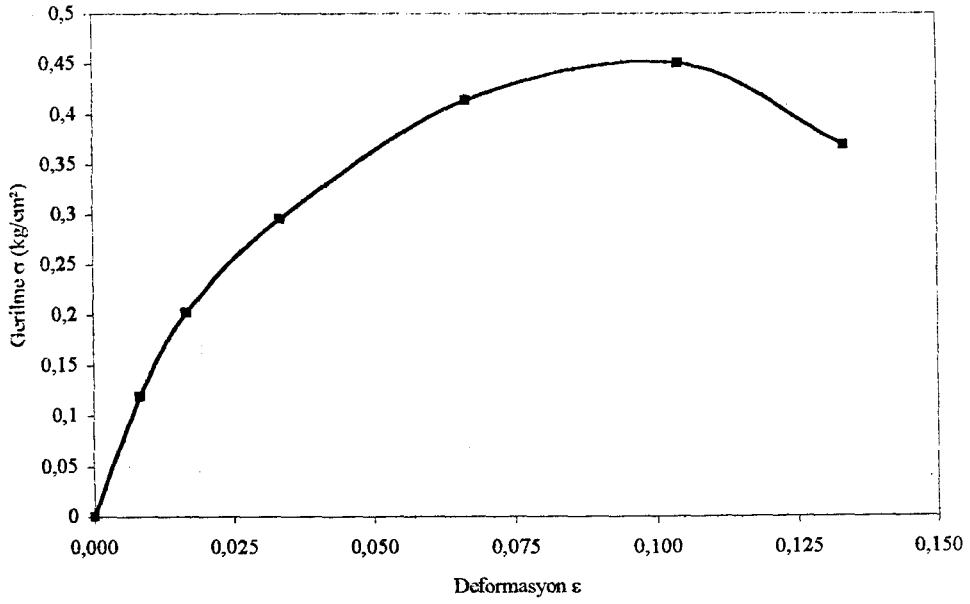
Şekil Ek - 3.17. Kaolinit (W_L + % 10 kum) σ - ϵ grafiği



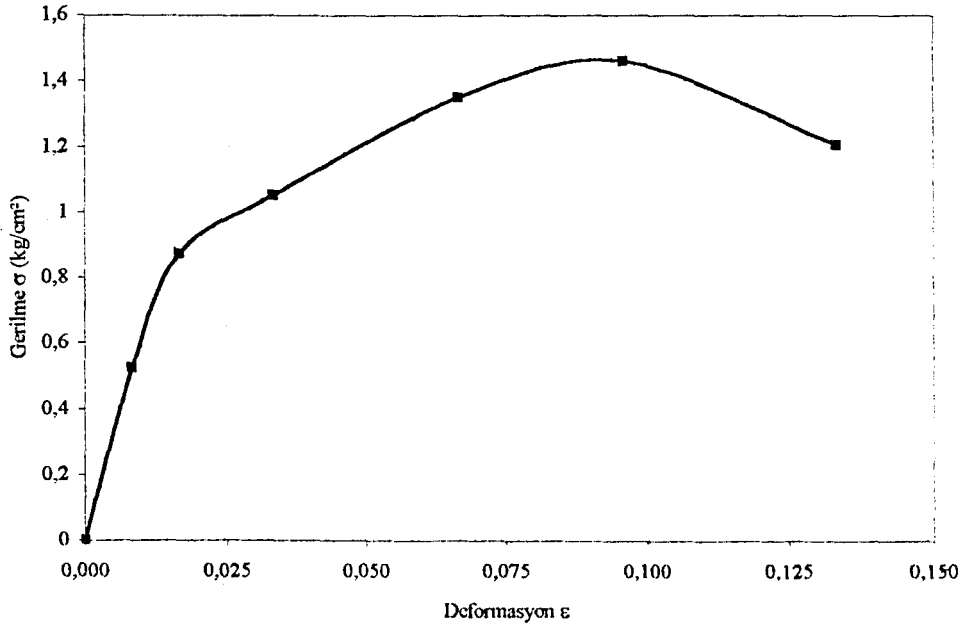
Şekil Ek - 3.18. Kaolinit (W_L + % 10 kum) σ - ϵ grafiği



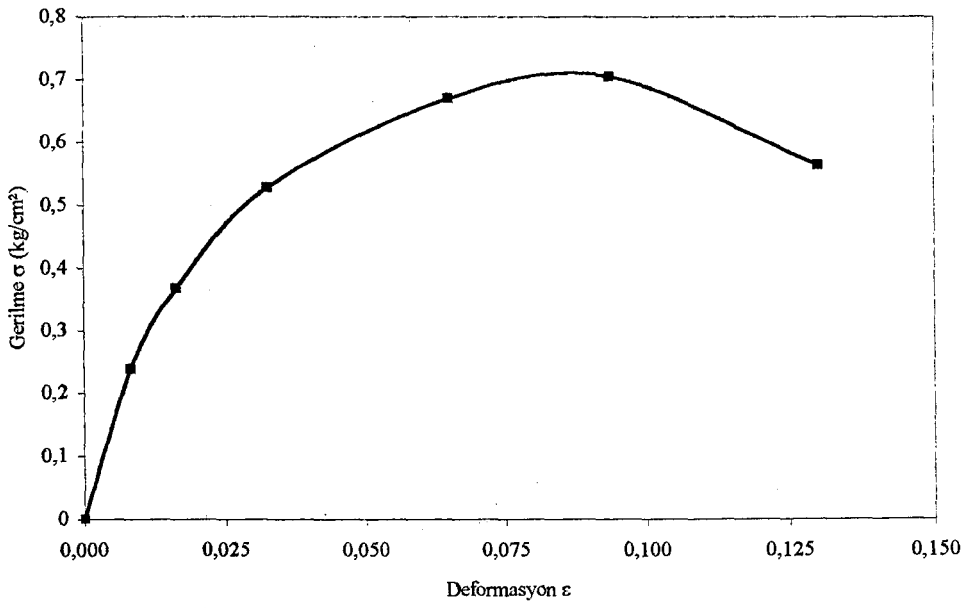
Şekil Ek - 3.19. Kaolinit (W_L + % 10 kum) σ - ϵ grafiği



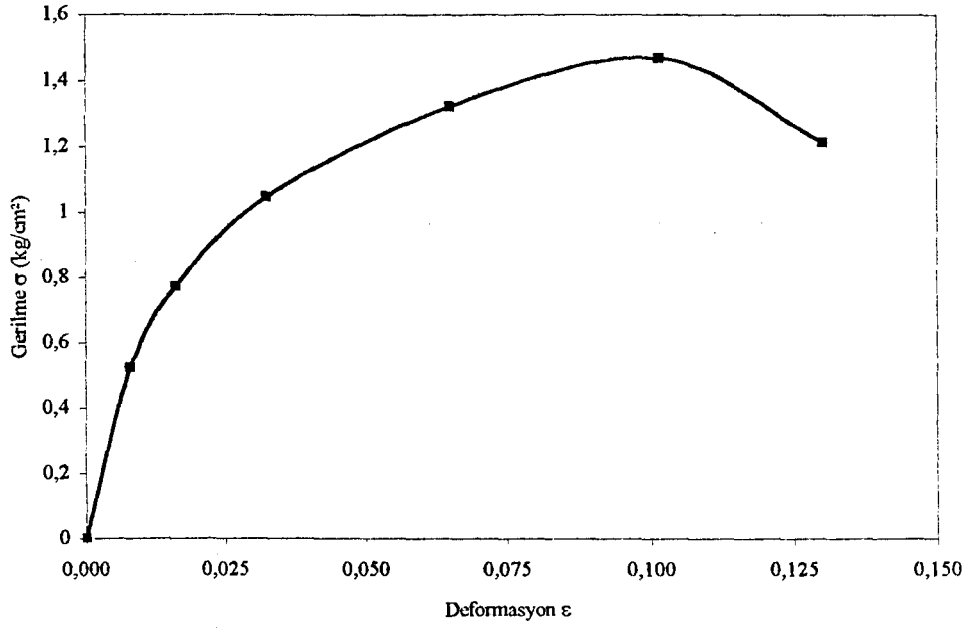
Şekil Ek - 3.20. Kaolinit (W_L + % 10 kum) σ - ϵ grafiği



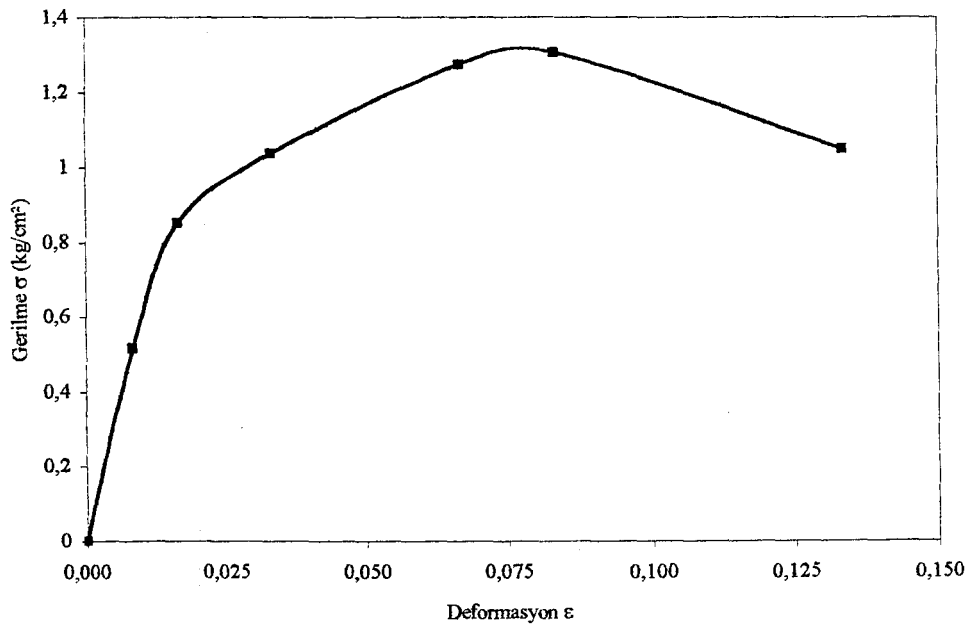
Şekil Ek - 3.21. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) $\sigma - \epsilon$ grafiği



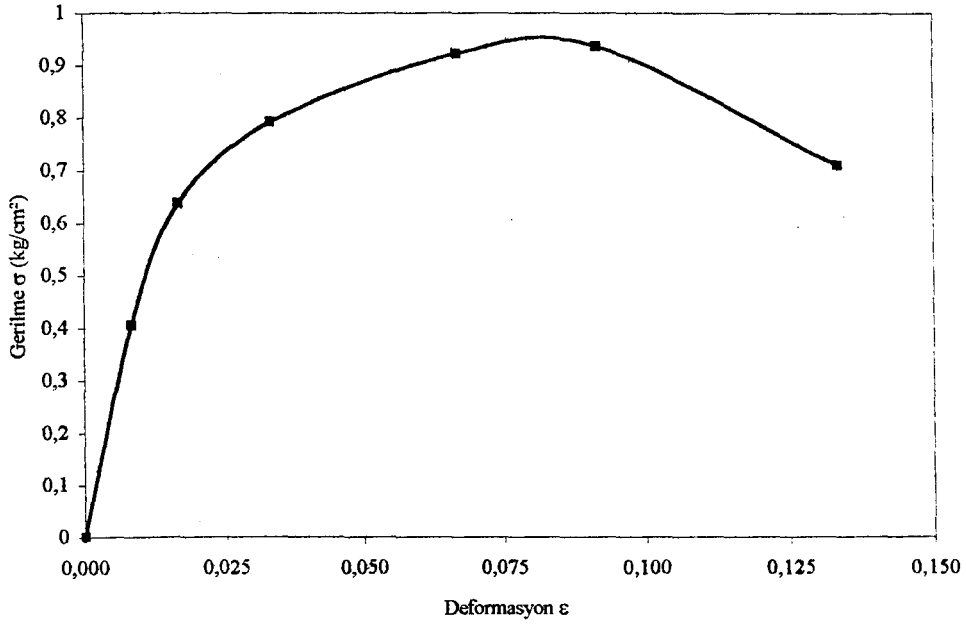
Şekil Ek - 3.22. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) $\sigma - \epsilon$ grafiği



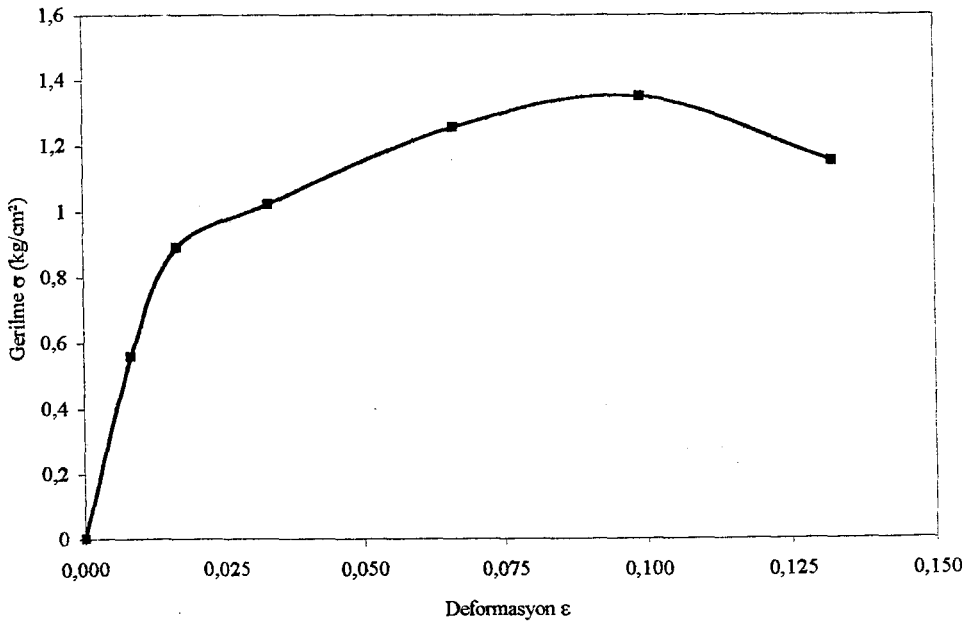
Şekil Ek - 3.23. Kaolinit ($W_L + \% 10$ kum) $\sigma - \epsilon$ grafiği



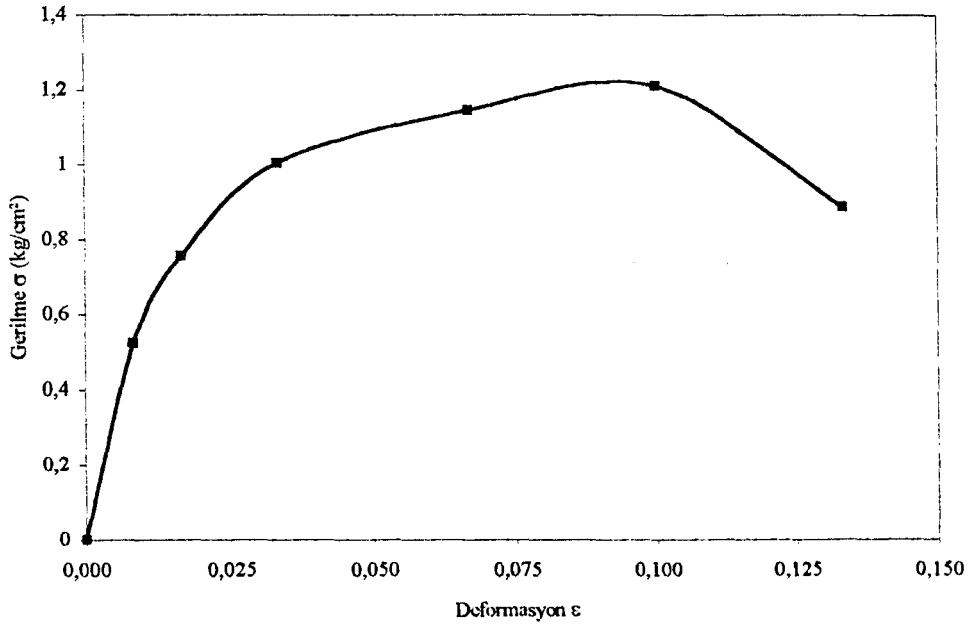
Şekil Ek - 3.24. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) $\sigma - \epsilon$ grafiği



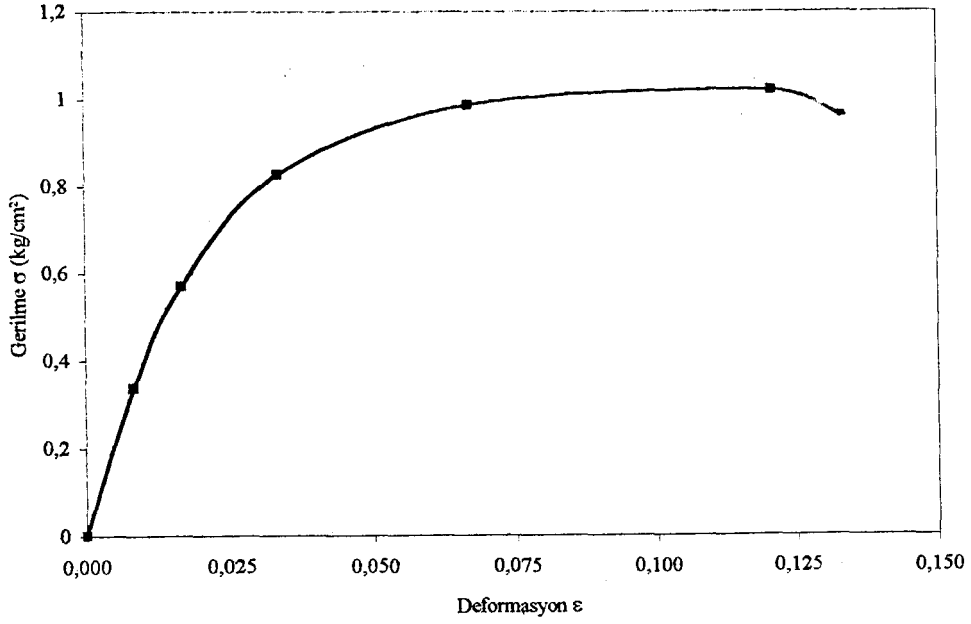
Şekil Ek - 3.25. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) $\sigma - \epsilon$ grafiği



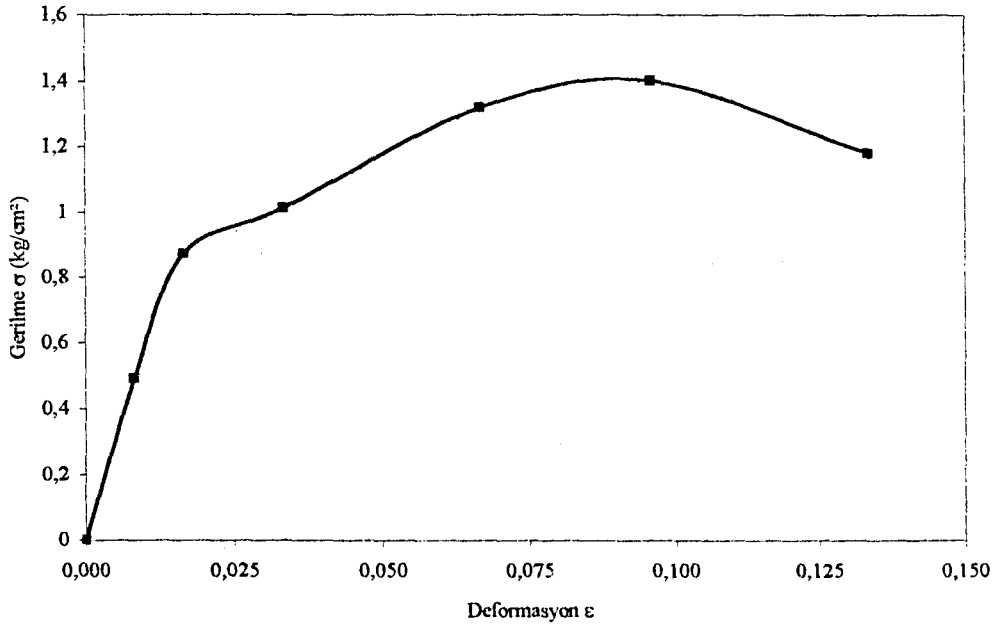
Şekil Ek - 3.26. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) $\sigma - \epsilon$ grafiği



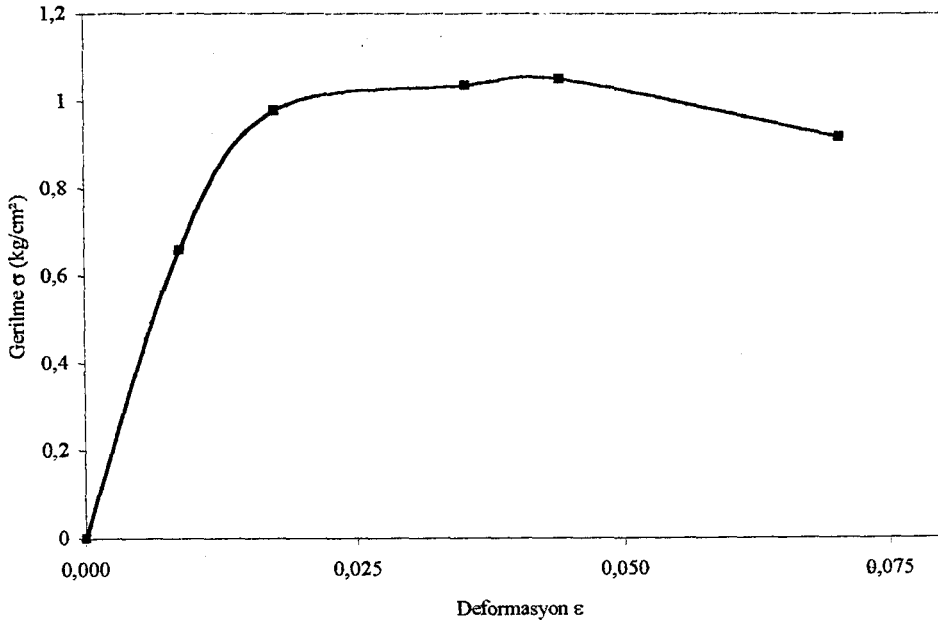
Şekil Ek - 3.27. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) $\sigma - \epsilon$ grafiği



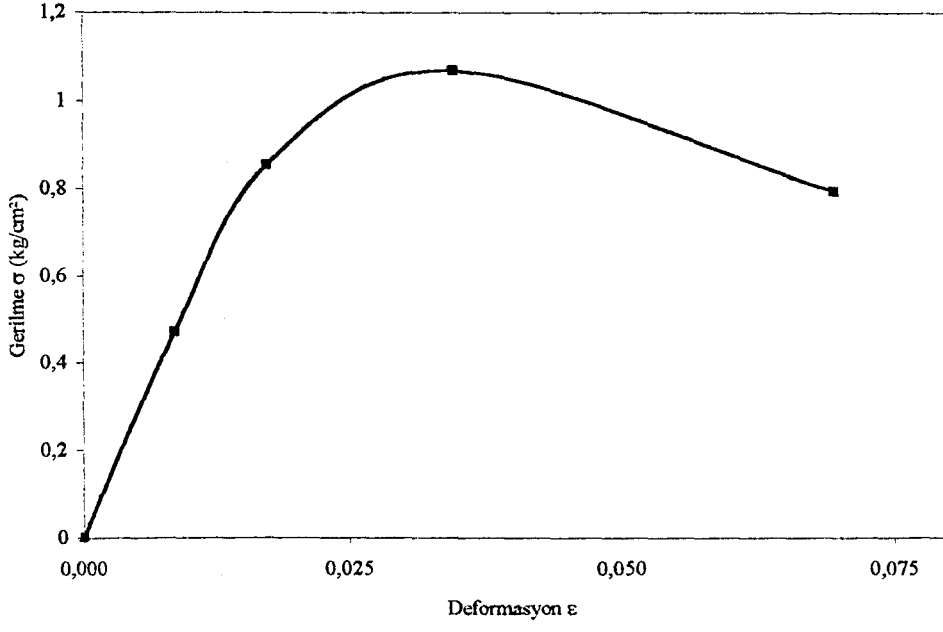
Şekil Ek - 3.28. Kaolinit ($W_L + \% 20$ kum) $\sigma - \epsilon$ grafiği



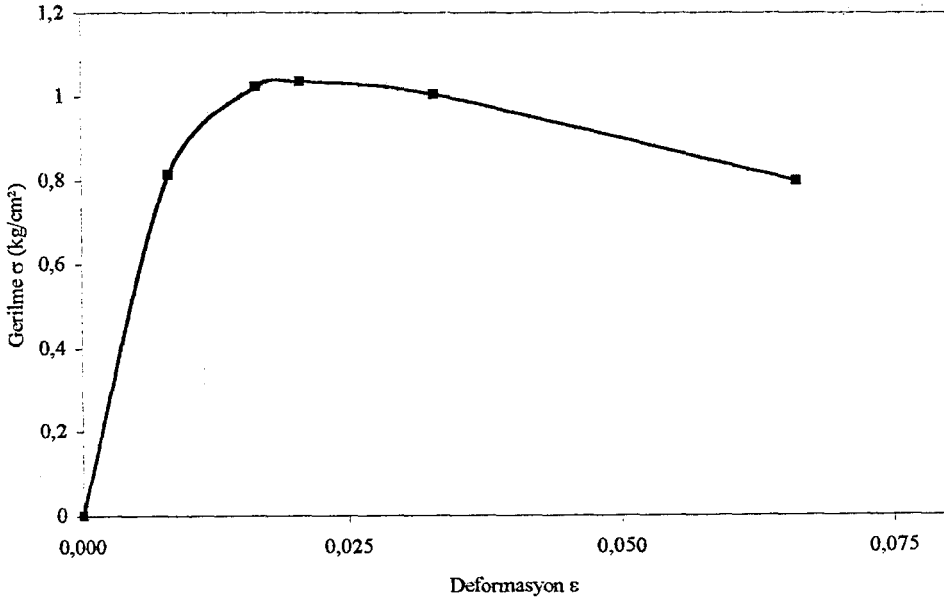
Şkil Ek - 3.29. Kaolinit (W_L + % 20 kum) σ - ϵ grafiği



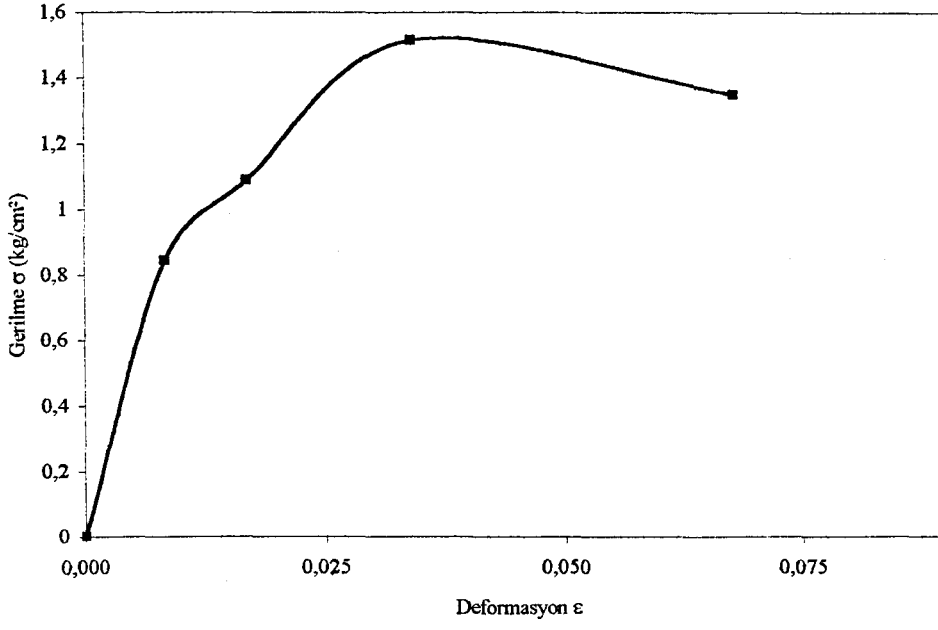
Şkil Ek - 3.30. B/Z (W_L + % 20 su) σ - ϵ grafiği



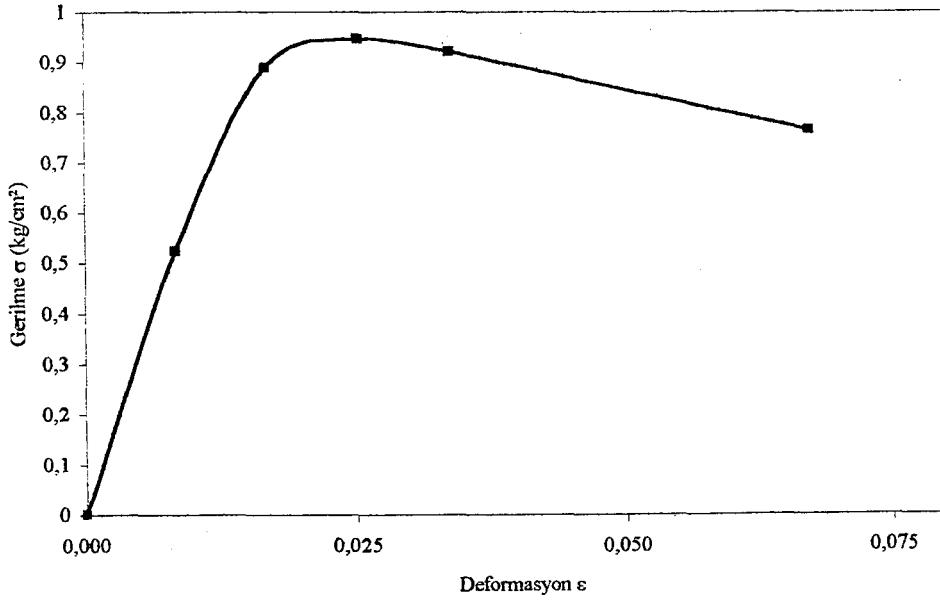
Şekil Ek - 3.31. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



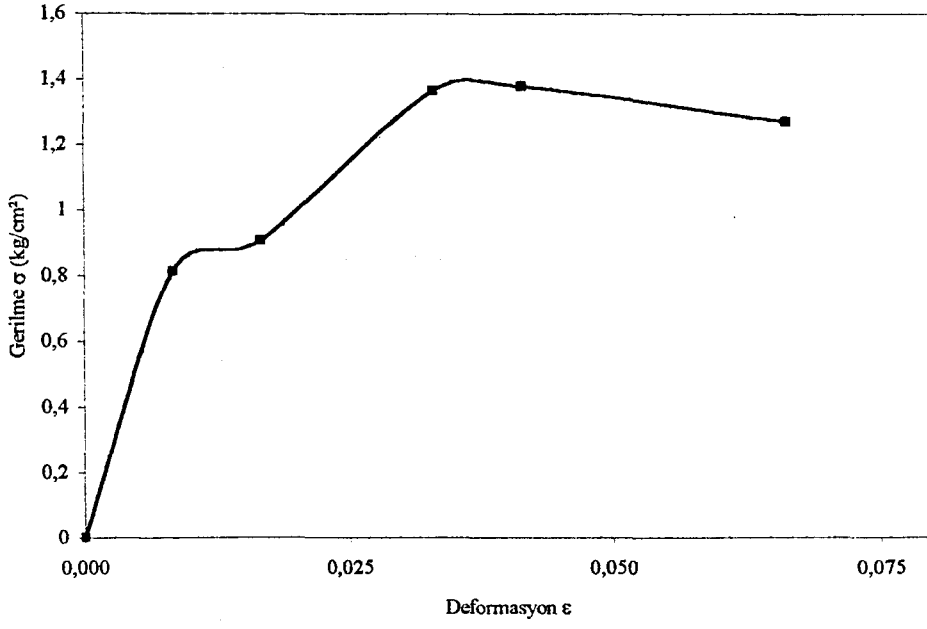
Şekil Ek - 3.32. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



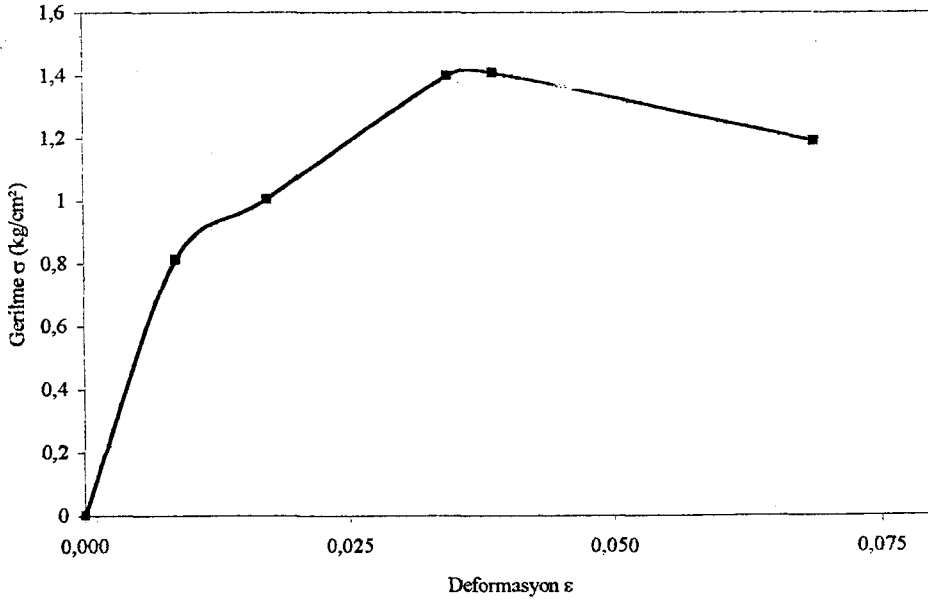
Şekil Ek - 3.33. B/Z (W_L + % 20 su) σ - ϵ grafiği



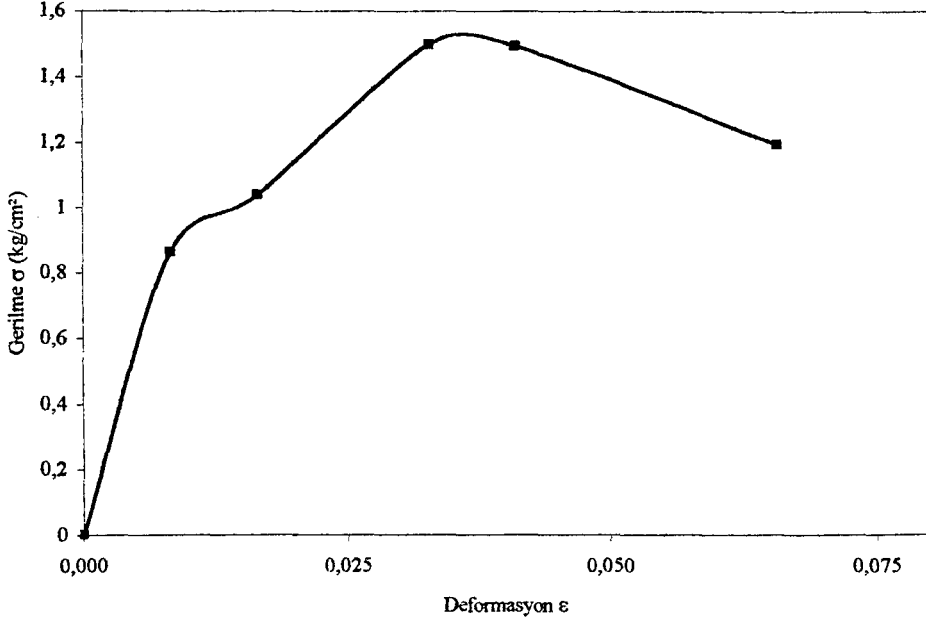
Şekil Ek - 3.34. B/Z (W_L + % 20 su) σ - ϵ grafiği



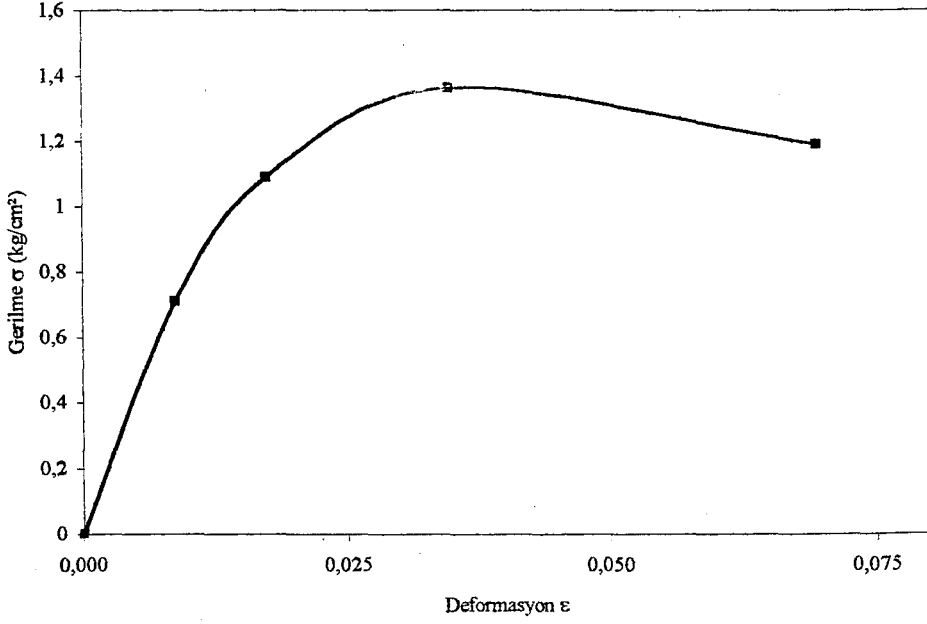
Şekil Ek - 3.35. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



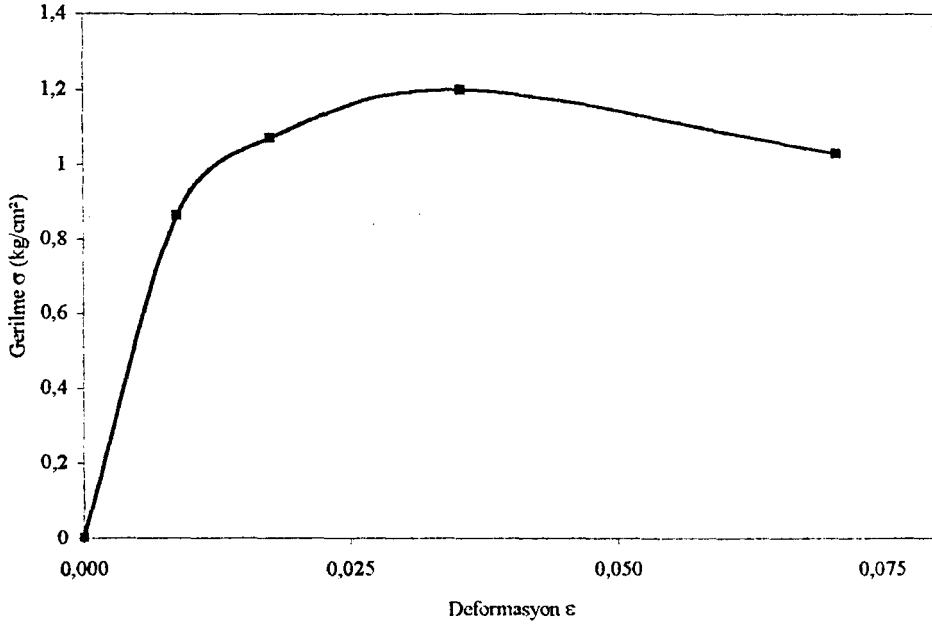
Şekil Ek - 3.36. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



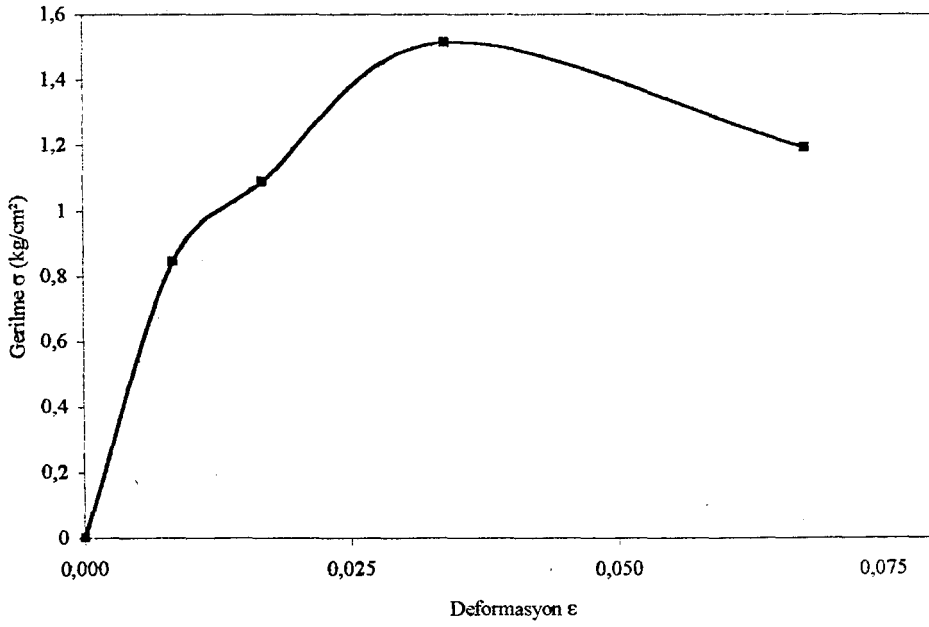
Şekil Ek - 3.37. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



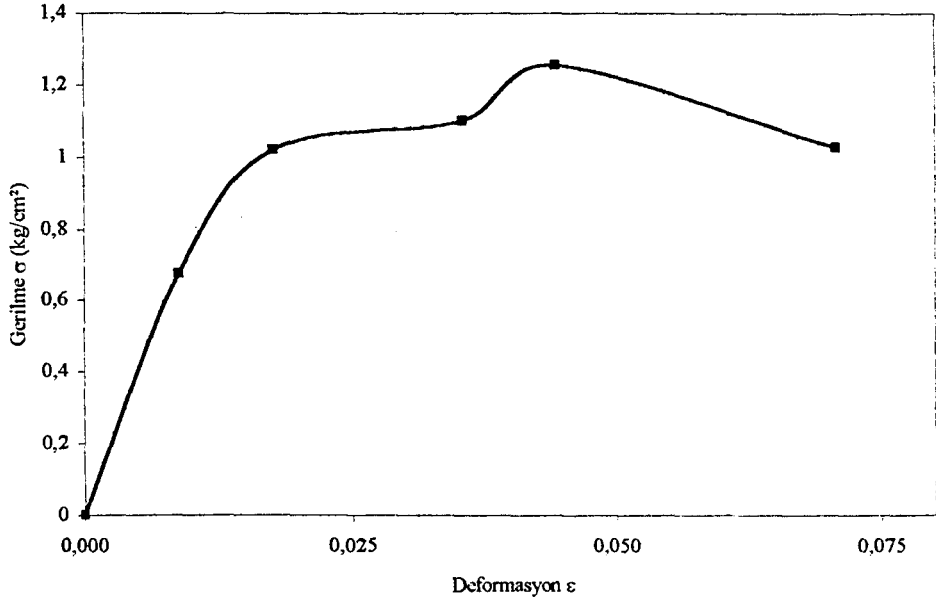
Şekil Ek - 3.38. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



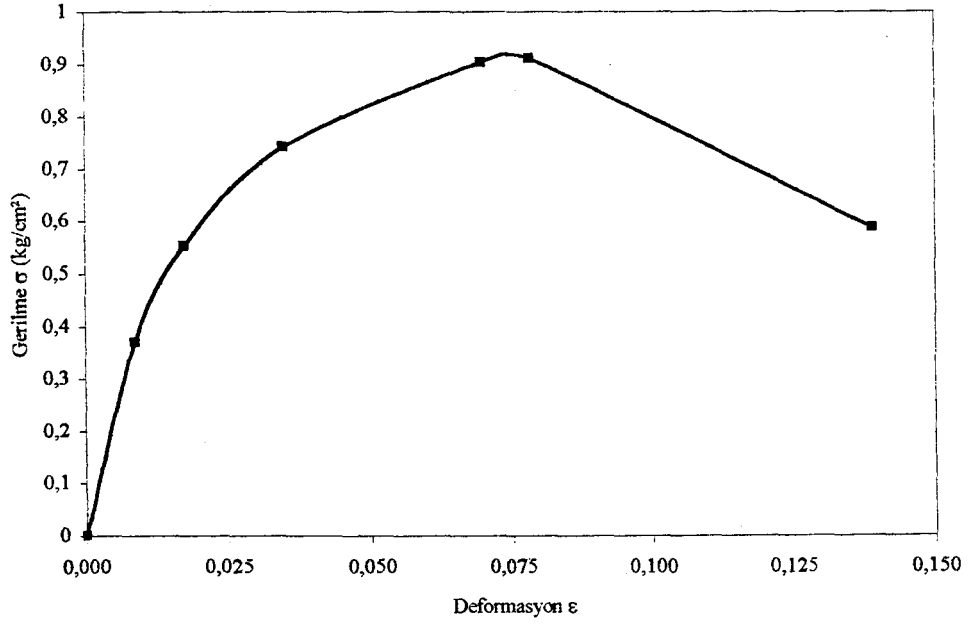
Şekil Ek - 3.39. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



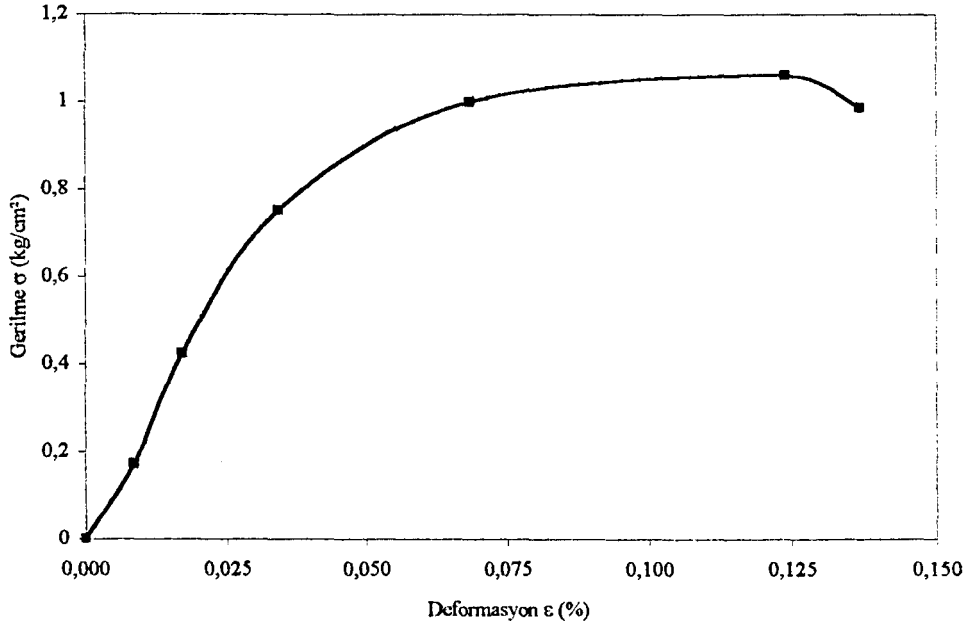
Şekil Ek - 3.40. B/Z ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği



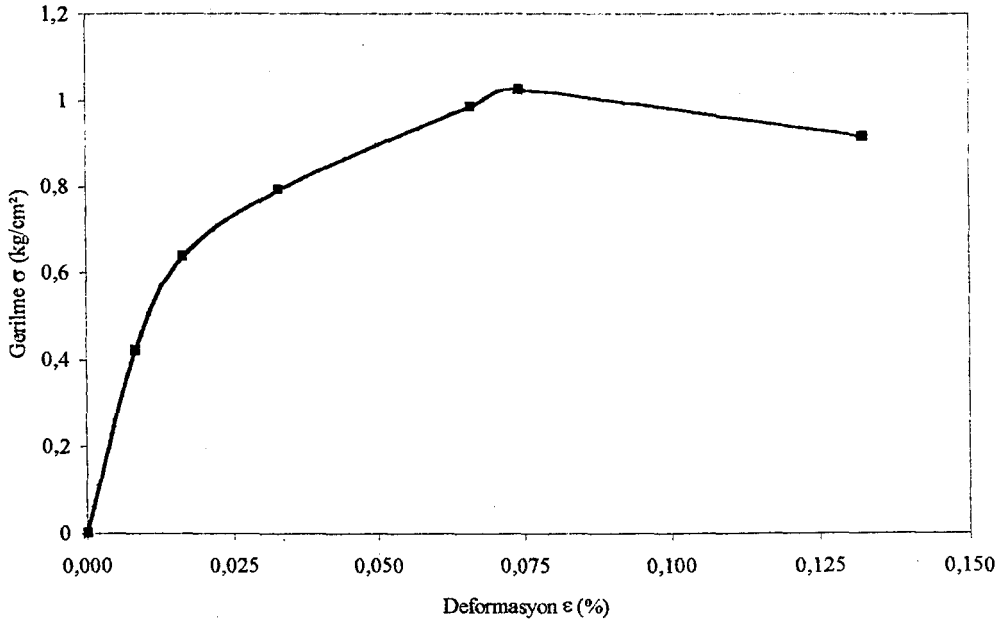
Şekil Ek - 3.41. B/Z (W_L + % 10 su) σ - ϵ grafiği



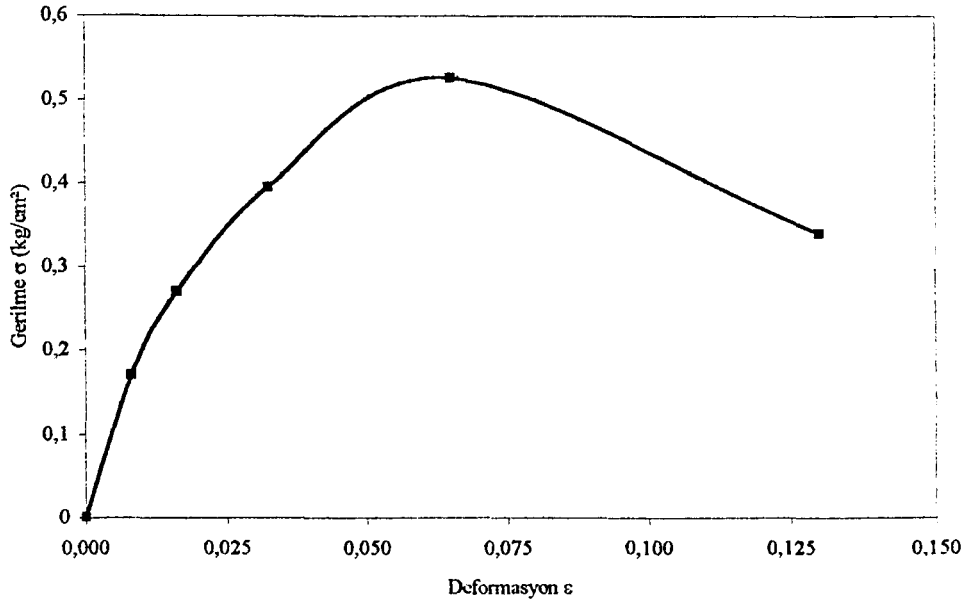
Şekil Ek - 3.42. Kaolinit (W_L + % 10 su) σ - ϵ grafiği (60 Psi)



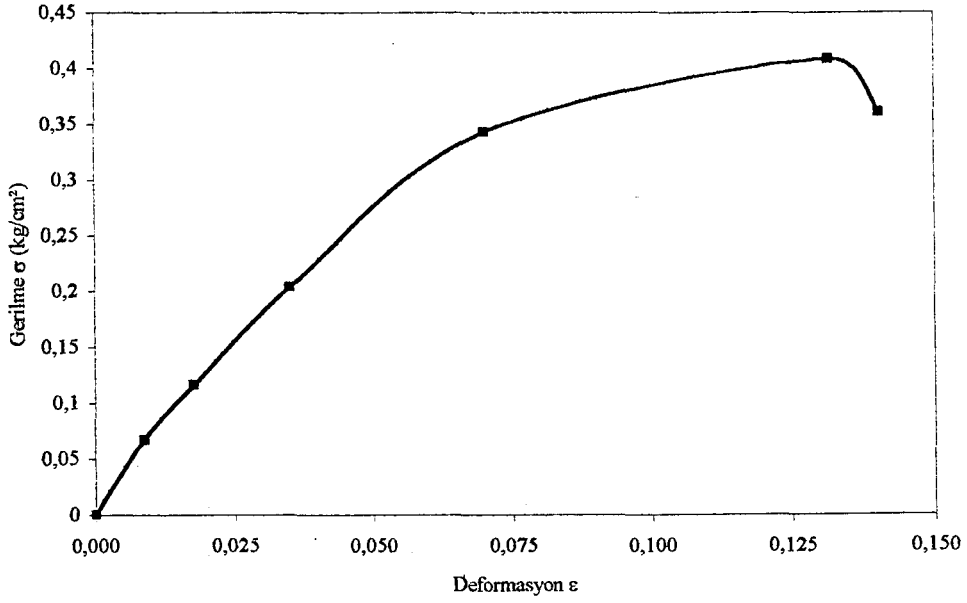
Şekil Ek - 3.43. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği (45 Psi)



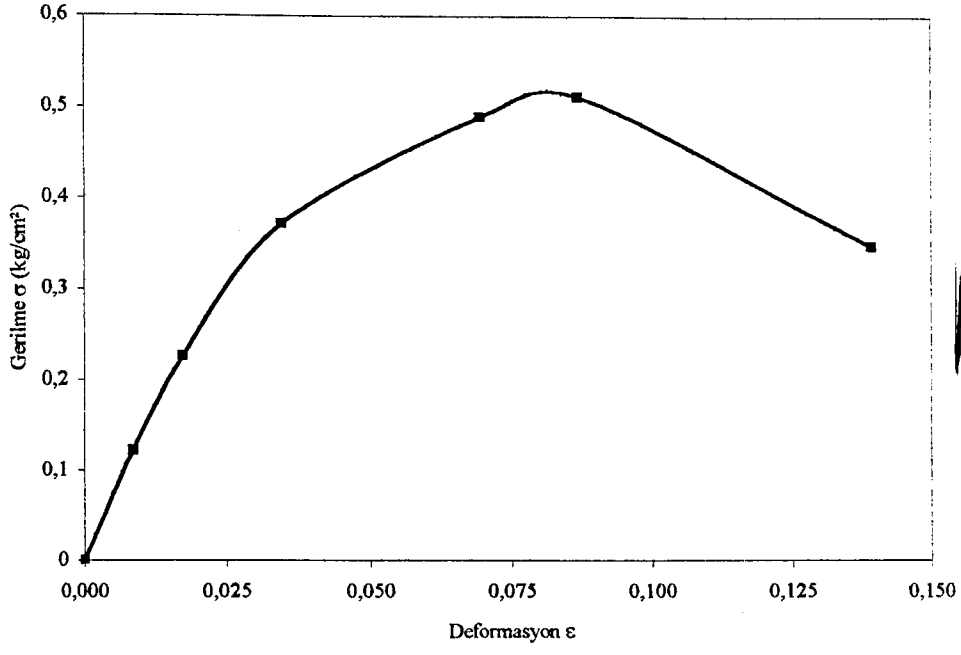
Şekil Ek - 3.44. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği (45 Psi)



Şekil Ek - 3.45. Kaolinit ($W_L + \% 10$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği (45 Psi)



Şekil Ek - 3.46. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği (45 Psi)



Şekil Ek - 3.47. Kaolinit ($W_L + \% 20$ su) $\sigma - \epsilon$ grafiği (45 Psi)