



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**KONYA ŞEKER FABRİKASI ATIK KİREÇ
ÇAMURU (PKF)'NİN GEOTEKNİK
MÜHENDİSLİĞİNDE KULLANIMININ
ARAŞTIRILMASI**

Mustafa ALARYAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa ALARYAN tarafından hazırlanan “Konya Şeker Fabrikası Atık Kireç Çamuru (PKF)’nin Geoteknik Mühendisliğinde Kullanımının Araştırılması” adlı tez çalışması 22 / 06 / 2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Murat Olgun

.....

Danışman

Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

.....

Üye

Doç. Dr. Ali Sinan Soğancı

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Mustafa ALARYAN

Tarih: 30.05.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONYA ŞEKER FABRİKASI ATIK KİREÇ ÇAMURU (PKF)'NİN GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDE KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Mustafa ALARYAN

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

2022,186

Jüri

Prof. Dr. Murat Olgun

Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

Doç. Dr. Ali Sinan Soğancı

Son yıllarda sanayileşmiş ve gelişmekte olan birçok ülkede endüstriyel atıkların zemin iyileştirilmesinde kullanımları büyük önem kazanmaktadır. Bu malzemelerin geleneksel zemin iyileştirme katkılarının yerine geçebilme durumları araştırılmaktadır. Bu amaçla endüstriyel atıkların değerlendirilmesi, atıkların neden olduğu çevre kirliliğinin önlenmesinin yanı sıra endüstriyel atıkların zemin iyileştirilmesinde kullanılması ile ülke ekonomisine katkı sağlanmaktadır. Katkı malzemesi ile zeminin basınç mukavemeti ve dayanıklılığı artmakta, şişme potansiyeli azalmakta ve donma-çözülme döngüsünde zemin stabilitesini korumaktadır.

Şeker pancarından şeker üretimi sonucu büyük miktarda pres filtre atık kireç çamuru (PKF) açığa çıkmakta, çevre için ciddi sorun oluşturmaktadır. Tehlikesiz bir atık olduğu için geri dönüşüm ve taşıma konusunda doğaya kimyasal bir zararı olmayan bu atığın zemin iyileştirme çalışmalarında ve yol alt yapılarının stabilizasyonunda kullanımı ile depolama için büyük ölçekte alana ihtiyaç kalmayacaktır.

Bu çalışmada, Konya II. Organize Sanayi Bölgesindeki düşük ve yüksek plastisiteli iki tür kil zeminin PKF ile stabilizasyonu araştırılmıştır. Yüksek ve düşük plastisiteli killerin iyileştirilmesi amacıyla numunelere farklı oranlarda katkı maddeleri; PKF (%5, %10, %15, %20), karşılaştırma yapmak amacıyla çimento (%5, %10) ve kireç (%5, %10) eklenmiştir. Tüm karışımlara; 0, 7, 15 ve 28 günlük kür süreleri uygulanmıştır. Optimum su içeriğinde hazırlanan numunelerin sırasıyla, kayma mukavemeti, oturma ve permeabilite değerleri araştırılmıştır. Killi zeminlerdeki PKF katkısının etkileri analiz edilmiş ve PKF atığının optimum katkı oranları belirlenmiştir. Yapılan çalışmada, yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminlere belirli oranlarda ilave edilen PKF'nin zeminlerin basınç ve kayma mukavemetini artırıp oturma miktarını azalttığı tespit edilmiştir. PKF, başta killi zeminler olmak üzere çeşitli zeminlerde stabilizasyon (iyileştirme) maddesi olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Atık kireç çamuru (PKF), Düşük ve yüksek plastisiteli kil, Konya II. Organize Sanayi Bölgesi, Pres filtre atığı, Zemin iyileştirmesi

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE USE OF GEOTECHNICAL ENGINEERING OF THE KONYA SUGAR FACTORY PKF WASTE SLUDGE

Mustafa ALARYAN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

2022, 186

Jury

**Prof. Dr. Mustafa YILDIZ
Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI
Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI**

In recent years, the use of industrial wastes in soil improvement has gained great importance in many industrialized and developing countries. The ability of these materials to replace traditional reinforcement additives is being investigated. For this purpose, the use of industrial wastes, prevention of environmental pollution caused by wastes, as well as the use of industrial wastes for soil improvement, contributes to the country's economy. The additive material increases the compressive strength and durability of the soil, decreases the swelling potential and maintains the stability of the soil in the freeze-thaw cycle. As a result of sugar production from sugar beet, a large amount of PKF press filter waste lime sludge is released, creating a serious problem for the environment. Since it is a non-hazardous waste, there will be no need for a large-scale area for storage with the use of this waste, which has no chemical damage to nature in terms of recycling and transportation, in soil improvement works and stabilization of road infrastructures.

In this study, Konya II. Stabilization of two types of clay soils with low and high plasticity in the Organized Industrial Zone with press filter waste lime sludge (PKF) was investigated. Additives in different ratios to the samples in order to improve high and low plasticity clays; PKF (%5, %10, %15, %20), cement (%5, %10) and lime (%5, %10) were added for comparison. To all mixtures; Curing times of 0, 7, 15 and 28 days were applied. The bearing capacity, shear strength, settlement and permeability values of the samples prepared at optimum water content were investigated, respectively. The effects of PKF additive on clayey soils were analyzed and optimum additive ratios of PKF waste were determined. In the study, it was determined that PKF added to high and low plasticity clay soils in certain proportions increases the pressure and shear strength of the soils and reduces settlement. PKF can be used as a stabilization (improvement) agent on various soils, especially clayey soils.

Keywords: Waste lime sludge (PKF), Low and high plasticity clay, Konya II. Organized Industrial Zone, Press filter waste, Soil improvement

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve birikiminden faydalandığım ve akademik anlamda önemli katkılar sağlayan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa YILDIZ'a teşekkür eder ve saygılarımı sunarım.

Laboratuvar çalışmalarında ve deney aşamalarında yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. Alican Şenkaya'ya teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi olarak desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam ve annem Fahrettin ve Zabiya ALARYAN'a, kardeşlerim Şehid ALARYAN, Gazel ALARYAN, Rağad ALARYAN ve Beyan ALARYAN'a ve sevgisini ve duasını esirgemeyen anneannem Rağda VİTTİ'ye sevgilerimi sunar minnettarlığımı bildiririm.

Mustafa ALARYAN
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
EKLER LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xx
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı.....	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Literatür Özeti.....	4
2.1.1. Pres filtre atık kireç çamuru (PKF) ile yapılan zemin iyileştirme çalışmaları	4
2.1.2. Kireç ile yapılan zemin iyileştirme çalışmaları	6
2.1.3. Çimento ile yapılan zemin iyileştirme çalışmaları	9
2.1.4. Cam lifi ile yapılan zemin iyileştirme çalışmaları	11
2.1.5. Diğer endüstriyel atıklar ile yapılan zemin iyileştirme çalışmaları	12
3. MATERYAL	15
3.1. Stabilizasyonun Mekanizması	15
3.2. Kalsiyum Kaynağı	15
3.3. Katyon Değişimi	15
3.4. Flokülasyon ve Aglomerasyon	16
3.5. Çimento Hidratasyonu	17
3.6. Puzzolonik Reaksiyon.....	18
3.7. Portland Çimento	20
3.8. Kireç.....	21
3.9. Pres Filtre Atık Kireç Çamuru (PKF)	22
3.9.1. PKF atığının kimyasal bileşenleri.....	24
4. YÖNTEM	25
4.1. Kullanılan Malzeme ve Ekipman	25
4.1.1. Yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminler	25

4.1.2. PKF atığı.....	26
4.1.3. Çimento.....	27
4.1.4. Kireç.....	27
4.2. Deneyler ve Numune Hazırlanması.....	28
4.2.1. Elek analizi deneyi.....	28
4.2.2. Hidrometre deneyi	28
4.2.3. Pıknometre deneyi	31
4.2.4. Kıvam limit deneyleri	31
4.2.5. Kompaksiyon deneyi	33
4.2.6. PKF atığındaki organik maddelerin belirlenmesi	35
4.2.7. Kil-PKF numunelerinin hazırlanması.....	36
4.2.8. Kil-Çimento numunelerinin hazırlanması	38
4.2.9. Kil-Kireç numunelerinin hazırlanması	40
4.2.10. Serbest basınç deneyi.....	41
4.2.11. Kesme kutusu deneyi.....	43
4.2.12. Konsolidasyon deneyi.....	45
4.2.13. Permeabilite deneyi.....	46
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	47
5.1. Karışım Oranları	47
5.1.1. Kil-PKF karışım oranı	47
5.1.2. Kil-Çimento karışım oranı	47
5.1.3. Kil-Kireç karışım oranı	48
5.2. Serbest basınç deneyi sonuçları	48
5.3. Kesme kutusu deneyi sonuçları	54
5.4. Konsolidasyon deneyi sonuçları	59
5.5. Permeabilite deneyi sonuçları.....	59
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
6.1 Sonuçlar	61
6.2 Öneriler	63
KAYNAKLAR	64
EKLER	69
ÖZGEÇMİŞ	166

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Katyon değişimi	16
Şekil 3.2. Flokülasyon ve aglomerasyon	17
Şekil 3.3. Çimento hidratasyonu.....	18
Şekil 3.4. Puzzolonik reaksiyon	19
Şekil 3.5. Zemin-çimento arasındaki reaksiyon mekanizması	21
Şekil 3.6. Şeker pancarın tarla toprağından ayrıştırılma işlemi.....	22
Şekil 3.7. Kireç taşı ve kok karışımından kireç sütü ve CO ₂ elde edilmesi.....	23
Şekil 3.8. Atık kireç çamuru (PKF) oluşum aşamaları.....	23
Şekil 4.1. Öğütülmemiş halde laboratuvara getirilen yüksek (A) ve düşük (B) plastisiteli kil.....	25
Şekil 4.2. Laboratuvar da kurutularak öğütülen yüksek (A) ve düşük (B) plastisiteli kil.....	25
Şekil 4.3. Konya Şeker Fabrikası'ndan alınan preslenmiş atık kireç çamuru (PKF)	26
Şekil 4.4. Laboratuvar da öğütülen ve kurutulan preslenmiş atık kireç çamuru (PKF) ...	26
Şekil 4.5. Deneyde kullanılan CEM I 42,5 R Portland çimentosu	27
Şekil 4.6. Deneyde kullanılan sönmüş kireç.....	27
Şekil 4.7. Hidrometre deneyi.....	28
Şekil 4.8. Yüksek plastisiteli zeminin elek analizi ve hidrometre deneyinin sonuçları ..	29
Şekil 4.9. Düşük plastisiteli zeminin elek analizi ve hidrometre deneyinin sonuçları	30
Şekil 4.10. PKF hidrometre deneyinin sonuçları.....	30
Şekil 4.11. Piknometre deneyi vakumlama işlemi	31
Şekil 4.12. Casagrande likit limit deneyi.....	32
Şekil 4.13. Killi zeminler için koni penetrasyon deneyi.....	32
Şekil 4.14. PKF için koni penetrasyon deneyi.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 4.15. PKF için koni penetrasyon deneyi sonucu	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 4.16. Kompaksiyon deneyi.....	34
Şekil 4.17. Kompaksiyon deneyi sonuçları	34
Şekil 4.18. Yüksek sıcaklıkta çalışan etüv	35
Şekil 4.19. 105 °C'de (A) ve 400 °C'de (B) kurutulan PKF	35
Şekil 4.20. Yüksek plastisiteli kilin PKF ile karışımı.....	36
Şekil 4.21. Düşük plastisiteli kilin PKF ile karışımı	36
Şekil 4.22. Yüksek (CH)-PKF ve düşük (CL)-PKF plastisiteli killerin optimum su muhtevası karışımı	37
Şekil 4.23. Modifiye edilmiş, minyatür Harvard kompaksiyon aleti	37
Şekil 4.24. Kesme kutusu deneyi için numunelerin hazırlanışı.....	38
Şekil 4.25. Zemin-çimento karışımı	39
Şekil 4.26. Zemin-çimento optimum su muhtevası ile karışımı.....	39
Şekil 4.27. Zemin-kireç karışımı	40
Şekil 4.28. Zemin-kireç optimum su muhtevası ile karışımı.....	40
Şekil 4.29. Modifiye edilmiş minyatür Harvard kompaksiyon aleti.....	41
Şekil 4.30. Serbest basınç deneyi	42
Şekil 4.31. Kesme kutusu deneyinin aşamaları	44
Şekil 4.32. Konsolidasyon deneyinin aşamaları	45
Şekil 4.33. Permeabilite deneyi	46
Şekil 5.1. Serbest basınç deney sonrası kırılan numuneler.....	53
Şekil 5.2. CH-PKF numunelerinin permeabilite sonuçları.....	60
Şekil 5.3. CL-PKF numunelerinin permeabilite sonuçları	60

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1. PKF filtre atığının kimyasal bileşimi	24
Çizelge 4. 1. ASTM D6913 standartlarına göre elek ve açıklık değerleri.....	28
Çizelge 4.2. Yüksek plastisiteli kil zeminin elek analizi ve hidrometre deneyinin sonuçları.....	29
Çizelge 4. 3. Düşük Plastisiteli Zeminin elek analizi ve hidrometre deneyinin sonuçları	29
Çizelge 5.1. Yüksek plastisiteli kil zemindeki PKF karışım oranlarına göre optimum su muhtevası.....	47
Çizelge 5.2. Düşük plastisiteli kil zemindeki PKF karışım oranlarına göre optimum su muhtevası	47
Çizelge 5.3. Yüksek plastisiteli kil zemindeki çimento karışım oranlarına göre optimum su muhtevası	47
Çizelge 5.4. Düşük plastisiteli kil zemindeki çimento karışım oranlarına göre optimum su muhtevası	47
Çizelge 5.5. Yüksek plastisiteli kil zemindeki kireç karışım oranlarına göre optimum su muhtevası.....	48
Çizelge 5.6. Düşük plastisiteli kil zemindeki kireç karışım oranlarına göre optimum su muhtevası	48
Çizelge 5.7. Katkısız ve PKF karışımlı yüksek plastisiteli kil zeminde serbest basınç deney sonuçları	48
Çizelge 5.8. Katkısız ve PKF karışımlı düşük plastisiteli kil zeminde serbest basınç deney sonuçları	49
Çizelge 5.9. Katkısız ve çimento karışımlı yüksek plastisiteli kil zeminde serbest basınç deney sonuçları	50
Çizelge 5.10. Katkısız ve çimento karışımlı düşük plastisiteli kil zeminde serbest basınç deney sonuçları	50
Çizelge 5.11. Katkısız ve kireç karışımlı yüksek plastisiteli kil zeminde serbest basınç deney sonuçları	51
Çizelge 5.12. Katkısız ve kireç karışımlı düşük plastisiteli kil zeminde serbest basınç deney sonuçları	51
Çizelge 5.13. Çeşitli katkı durumları için yüksek plastisiteli kil için serbest basınç deney sonuçları.....	52
Çizelge 5.14. Çeşitli katkı durumları için düşük plastisiteli kil için serbest basınç deney sonuçları.....	52
Çizelge 5.15. PKF karışımlı yüksek plastisiteli kil zeminde kesme kutusu deneyi sonuçları.....	54
Çizelge 5.16. PKF karışımlı düşük plastisiteli kil zeminde kesme kutusu deneyi sonuçları.....	54
Çizelge 5.17. Çimento karışımlı yüksek plastisiteli kil zeminde kesme kutusu deneyi sonuçları.....	55
Çizelge 5.18. Çimento karışımlı düşük plastisiteli kil zeminde kesme kutusu deneyi sonuçları.....	55
Çizelge 5.19. Kireç karışımlı yüksek plastisiteli kil zeminlere kesme kutusu deneyi sonuçları.....	56
Çizelge 5.20. Kireç karışımlı düşük plastisiteli kil zeminlere kesme kutusu deneyi sonuçları.....	57

Çizelge 5.21. Çeşitli %5 katkı durumları için yüksek plastisiteli kil için kesme kutusu deneyi sonuçları	58
Çizelge 5.22. Çeşitli %10 katkı durumları için yüksek plastisiteli kil için kesme kutusu deneyi sonuçları	58
Çizelge 5.23. Çeşitli %5 katkı durumları için düşük plastisiteli kil için kesme kutusu deneyi sonuçları	58
Çizelge 5.24. Çeşitli %10 katkı durumları için düşük plastisiteli kil için kesme kutusu deneyi sonuçları	58
Çizelge 5.25. PKF karışımlı yüksek plastisiteli kil zeminde konsolidasyon deneyi sonuçları.....	59
Çizelge 5.26. PKF karışımlı düşük plastisiteli kil zeminlerde konsolidasyon deneyi sonuçları.....	59



EKLER LİSTESİ

Ek Şekil 1.1. Yüksek plastisiteli kil-PKF karışımının serbest basınç deneyi sonuçları.	69
Ek Şekil 1.2. Yüksek plastisiteli kil-PKF karışımının 0. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	70
Ek Şekil 1.3. Yüksek plastisiteli kil-PKF karışımının 7. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	70
Ek Şekil 1.4. Yüksek plastisiteli kil-PKF karışımının 15. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	71
Ek Şekil 1.5. Yüksek plastisiteli kil-PKF karışımının 28. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	71
Ek Şekil 1.6. Yüksek plastisiteli kil-%5 katkılı PKF karışımının serbest basınç deneyi sonuçları.....	72
Ek Şekil 1.7. Yüksek plastisiteli kil-%10 katkılı PKF karışımının serbest basınç deneyi sonuçları.....	72
Ek Şekil 1.8. Yüksek plastisiteli kil-%15 katkılı PKF karışımının serbest basınç deneyi sonuçları.....	73
Ek Şekil 1.9. Yüksek plastisiteli kil-%20 katkılı PKF karışımının serbest basınç deneyi sonuçları.....	73
Ek Şekil 1.10. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının serbest basınç deneyi sonuçları	74
Ek Şekil 1.11. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının 0. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	75
Ek Şekil 1.12. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının 7. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	75
Ek Şekil 1.13. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının 15. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	76
Ek Şekil 1.14. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının 28. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	76
Ek Şekil 1.15. Düşük plastisiteli kil-%5 katkılı PKF karışımının serbest basınç deneyi sonuçları.....	77
Ek Şekil 1.16. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının %10 gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	77
Ek Şekil 1.17. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının %15 gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	78
Ek Şekil 1.18. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının %20 gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	78
Ek Şekil 1.19. Yüksek plastisiteli kil-çimento karışımının serbest basınç deneyi sonuçları.....	79
Ek Şekil 1.20. Yüksek plastisiteli kil-çimento karışımının 0. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	80
Ek Şekil 1.21. Yüksek plastisiteli kil-çimento karışımının 7. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	80
Ek Şekil 1.22. Yüksek plastisiteli kil-çimento karışımının 15. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	81
Ek Şekil 1.23. Yüksek plastisiteli kil-çimento karışımının 28. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	81
Ek Şekil 1.24. Yüksek plastisiteli kil-%5 çimento karışımının serbest basınç deneyi sonuçları.....	82

Ek Şekil 1.25. Yüksek plastisiteli kil-%10 çimento karışımının serbest basınç deneyi sonuçları.....	82
Ek Şekil 1.26. Düşük plastisiteli kil-çimento karışımının serbest basınç deneyi sonuçları	83
Ek Şekil 1.27. Düşük plastisiteli kil-çimento karışımının 0. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	84
Ek Şekil 1.28. Düşük plastisiteli kil-çimento karışımının 7. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	84
Ek Şekil 1.29. Düşük plastisiteli kil-çimento karışımının 15. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	85
Ek Şekil 1.30. Düşük plastisiteli kil-çimento karışımının 28. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	85
Ek Şekil 1.31. Düşük plastisiteli kil-%5 çimento karışımının serbest basınç deneyi sonuçları.....	86
Ek Şekil 1.32. Düşük plastisiteli kil-%10 çimento karışımının serbest basınç deneyi sonuçları.....	86
Ek Şekil 1.33. Yüksek plastisiteli kil-kireç karışımının serbest basınç deneyi sonuçları	87
Ek Şekil 1.34. Yüksek plastisiteli kil-kirç karışımının 0. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	88
Ek Şekil 1.35. Yüksek plastisiteli kil-kireç karışımının 7. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	88
Ek Şekil 1.36. Yüksek plastisiteli kil-kireç karışımının 15. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	89
Ek Şekil 1.37. Yüksek plastisiteli kil-kireç karışımının 28. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	89
Ek Şekil 1.38. Yüksek plastisiteli kil-%5 çimento karışımının serbest basınç deneyi sonuçları.....	90
Ek Şekil 1.39. Yüksek plastisiteli kil-%10 çimento karışımının serbest basınç deneyi sonuçları.....	90
Ek Şekil 1.40. Düşük plastisiteli kil-kireç karışımının serbest basınç deneyi sonuçları	91
Ek Şekil 1.41. Düşük plastisiteli kil-kireç karışımının 0. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	92
Ek Şekil 1.42. Düşük plastisiteli kil-kireç karışımının 7. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	92
Ek Şekil 1.43. Düşük plastisiteli kil-kireç karışımının 15. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	93
Ek Şekil 1.44. Düşük plastisiteli kil-kireç karışımının 28. gün serbest basınç deneyi sonuçları.....	93
Ek Şekil 1.45. Düşük plastisiteli kil-%5 kireç karışımının serbest basınç deneyi sonuçları.....	94
Ek Şekil 1.46. Düşük plastisiteli kil-%10 kireç karışımının serbest basınç deneyi sonuçları.....	94
Ek Şekil 2.1. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (saf kil)..	95
Ek Şekil 2.2. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (saf kil)	95
Ek Şekil 2.3. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 PKF 0.gün).....	96
Ek Şekil 2.4. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 PKF 0.gün).....	96

Ek Şekil 2.5. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 PKF 7.gün).....	97
Ek Şekil 2.6. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 PKF 7.gün).....	97
Ek Şekil 2.7. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 PKF 15.gün).....	98
Ek Şekil 2.8. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 PKF 15.gün).....	98
Ek Şekil 2.9. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 PKF 28.gün).....	99
Ek Şekil 2.10. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 PKF 28.gün).....	99
Ek Şekil 2.11. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 PKF 0.gün).....	100
Ek Şekil 2.12. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 PKF 0.gün).....	101
Ek Şekil 2.13. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 PKF 7.gün).....	101
Ek Şekil 2.14. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH%10 PKF 7.gün).....	102
Ek Şekil 2.15. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 PKF 15.gün).....	102
Ek Şekil 2.16. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 PKF 15.gün).....	102
Ek Şekil 2.17. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 PKF 28.gün).....	103
Ek Şekil 2.18. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 PKF 28.gün).....	103
Ek Şekil 2.19. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %15 PKF 0.gün).....	104
Ek Şekil 2.20. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %15 PKF 0.gün).....	104
Ek Şekil 2.21. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %15 PKF 7.gün).....	105
Ek Şekil 2.22. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %15 PKF 7.gün).....	105
Ek Şekil 2.23. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %15 PKF 15.gün).....	106
Ek Şekil 2.24. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %15 PKF 15.gün).....	106
Ek Şekil 2.25. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %15 PKF 28.gün).....	107
Ek Şekil 2.26. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %15 PKF 28.gün).....	107
Ek Şekil 2.27. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %20 PKF 0.gün).....	108
Ek Şekil 2.28. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %20 PKF 0.gün).....	108
Ek Şekil 2.29. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %20 PKF 7.gün).....	109

Ek Şekil 2.30. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %20 PKF 7.gün).....	109
Ek Şekil 2.31. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %20 PKF 15.gün)	110
Ek Şekil 2.32. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %20 PKF 15.gün).....	110
Ek Şekil 2.33. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %20 PKF 28.gün)	111
Ek Şekil 2.34. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %20 PKF 28.gün).....	111
Ek Şekil 2.35. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (saf kil)	112
Ek Şekil 2.36. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (saf kil)	112
Ek Şekil 2.37. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL%5 PKF 0.gün).....	113
Ek Şekil 2.38. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL%5 PKF 0.gün)	113
Ek Şekil 2.39. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL%5 PKF 7.gün).....	114
Ek Şekil 2.40. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 PKF 7.gün)	114
Ek Şekil 2.41. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 PKF 15.gün).....	115
Ek Şekil 2.42. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 PKF 15.gün)	115
Ek Şekil 2. 43. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 PKF 28.gün).....	116
Ek Şekil 2.44. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 PKF 28.gün)	116
Ek Şekil 2.45. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 PKF 0.gün)	117
Ek Şekil 2. 46. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 PKF 0.gün)	117
Ek Şekil 2.47. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 PKF 7.gün)	118
Ek Şekil 2. 48. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 PKF 7.gün)	118
Ek Şekil 2.49. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 PKF 15.gün)	119
Ek Şekil 2.50. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 PKF 15.gün)	119
Ek Şekil 2. 51. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 PKF 28.gün)	120
Ek Şekil 2.52. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 PKF 28.gün)	120
Ek Şekil 2.53. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %15 PKF 0.gün)	121
Ek Şekil 2.54. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %15 PKF 0.gün)	121

Ek Şekil 2.55. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %15 PKF 7.gün)	122
Ek Şekil 2.56. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %15 PKF 7.gün)	122
Ek Şekil 2.57. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %15 PKF 15.gün)	123
Ek Şekil 2.58. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %15 PKF 15.gün)	123
Ek Şekil 2.59. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %15 PKF 28.gün)	124
Ek Şekil 2.60. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %15 PKF 28.gün)	124
Ek Şekil 2.61. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %20 PKF 0.gün)	125
Ek Şekil 2.62. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %20 PKF 0.gün)	125
Ek Şekil 2.63. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %20 PKF 7.gün)	126
Ek Şekil 2.64. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %20 PKF 7.gün)	126
Ek Şekil 2.65. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %20 PKF 15.gün)	127
Ek Şekil 2.66. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %20 PKF 15.gün)	127
Ek Şekil 2.67. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %20 PKF 28.gün)	128
Ek Şekil 2.68. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %20 PKF 28.gün)	128
Ek Şekil 2.69. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 Çimento 0.gün)	129
Ek Şekil 2.70. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 Çimento 0.gün)	129
Ek Şekil 2.71. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 Çimento 7.gün)	130
Ek Şekil 2.72. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 Çimento 7.gün)	130
Ek Şekil 2.73. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 Çimento 15.gün)	131
Ek Şekil 2.74. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 Çimento 15.gün)	131
Ek Şekil 2. 75. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 Çimento 28.gün)	132
Ek Şekil 2.76. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 Çimento 28.gün)	132
Ek Şekil 2.77. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 Çimento 0.gün)	133
Ek Şekil 2.78. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 Çimento 0.gün)	133
Ek Şekil 2.79. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 Çimento 7.gün)	134

Ek Şekil 2.80. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 Çimento 7.gün)	134
Ek Şekil 2. 81. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 Çimento 15.gün)	135
Ek Şekil 2.82. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 Çimento 15.gün)	135
Ek Şekil 2.83. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 Çimento 28.gün)	136
Ek Şekil 2.84. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 Çimento 28.gün)	136
Ek Şekil 2.85. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 Çimento 0.gün)	137
Ek Şekil 2.86. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 Çimento 0.gün)	137
Ek Şekil 2.87. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 Çimento 7.gün)	138
Ek Şekil 2.88. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 Çimento 7.gün)	138
Ek Şekil 2.89. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 Çimento 15.gün)	139
Ek Şekil 2.90. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 Çimento 15.gün)	139
Ek Şekil 2.91. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 Çimento 28.gün)	140
Ek Şekil 2.92. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 Çimento 28.gün)	140
Ek Şekil 2.93. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 Çimento 0.gün)	141
Ek Şekil 2.94. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 Çimento 0.gün)	141
Ek Şekil 2. 95. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 Çimento 7.gün)	142
Ek Şekil 2.96. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 Çimento 7.gün)	142
Ek Şekil 2.97. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 Çimento 15.gün)	143
Ek Şekil 2.98. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 Çimento 15.gün)	143
Ek Şekil 2.99. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 Çimento 28.gün)	144
Ek Şekil 2.100. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 Çimento 28.gün)	144
Ek Şekil 2.101. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 Kireç 0.gün)	145
Ek Şekil 2.102. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 Kireç 0.gün)	145
Ek Şekil 2.103. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 Kireç 7.gün)	146
Ek Şekil 2.104. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 Kireç 7.gün)	146

Ek Şekil 2. 105. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 Kireç 15.gün).....	147
Ek Şekil 2.106. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 Kireç 15.gün)	147
Ek Şekil 2.107. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 Kireç 28.gün).....	148
Ek Şekil 2.108. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 Kireç 28.gün)	148
Ek Şekil 2.109. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 Kireç 0.gün).....	149
Ek Şekil 2.110. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 Kireç 0.gün)	149
Ek Şekil 2.111. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 Kireç 7.gün).....	150
Ek Şekil 2.112. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 Kireç 7.gün)	150
Ek Şekil 2.113. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 Kireç 15.gün).....	151
Ek Şekil 2.114. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 Kireç 15.gün)	151
Ek Şekil 2.115. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 Kireç 28.gün).....	152
Ek Şekil 2.116. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 Kireç 28.gün)	152
Ek Şekil 2.117. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 Kireç 0.gün).....	153
Ek Şekil 2.118. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 Kireç 0.gün).....	153
Ek Şekil 2.119. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 Kireç 7.gün).....	154
Ek Şekil 2.120. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 Kireç 7.gün).....	154
Ek Şekil 2.121. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 Kireç 15.gün).....	155
Ek Şekil 2.122. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 Kireç 15.gün).....	155
Ek Şekil 2.123. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 Kireç 28.gün).....	156
Ek Şekil 2.124. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 Kireç 28.gün).....	156
Ek Şekil 2.125. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 Kireç 0.gün).....	157
Ek Şekil 2.126. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 Kireç 0.gün).....	157
Ek Şekil 2.127. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 Kireç 7.gün).....	158
Ek Şekil 2.128. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 Kireç 7.gün).....	158
Ek Şekil 2.129. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 Kireç 15.gün).....	159

Ek Şekil 2.130. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 Kireç 15.gün).....	159
Ek Şekil 2.131. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 Kireç 28.gün).....	160
Ek Şekil 2.132. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 Kireç 28.gün).....	160
Ek Şekil 3.1. CH-Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği.....	161
Ek Şekil 3.2. CH-%5 PKF Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği	161
Ek Şekil 3.3. CH-%10 PKF Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği	162
Ek Şekil 3.4. CH-%15 PKF Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği	162
Ek Şekil 3.5. CH-%20 PKF Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği	163
Ek Şekil 3.6. CL-Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği.....	163
Ek Şekil 3.7. CL-%5 PKF Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği	164
Ek Şekil 3.8. CL-%10 PKF Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği	164
Ek Şekil 3.9. CL-%15 PKF Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği	165
Ek Şekil 3.10. CL-%20 PKF Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği	165

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	:	Yüzde
c (kPa)	:	Kohezyon
τ (kN/m ²)	:	Kesme dayanımı
ρ_s (Kg/m ³)	:	Tane yoğunluğu
ρ_n (Kg/m ³)	:	Doğal zemin yoğunluğu
σ (kN/m ²)	:	Gerilme
e	:	Boşluk oranı
σ (kN/m ²)	:	Serbest basınç mukavemeti
ϕ (derece)	:	İçsel sürtünme açısı

Kısaltmalar

PKF	:	Pres filtre atık kireç çamuru
m	:	Metre
CL	:	Düşük plastisiteli kil
CH	:	Yüksek plastisiteli kil
MPa	:	Megapaskal
KGM	:	Karayolları Genel Müdürlüğü
CBR	:	Kaliforniya taşıma oranı
hP	:	Hidrojen gücü
°C	:	Santigrat
PI	:	Plastisite indeksi
SAR	:	Sodyum adsorpsiyon oranı
ESP	:	Değişebilir sodyum yüzdesi
MP	:	Modifiye proktor
UCS	:	Serbest basınç dayanımı
Mg/m ³	:	Metreküp başına miligram konsantrasyonu
SW	:	İyi derecelendirilmiş çakıllı kum
RHA	:	Pirinç kabuğu külü
FA	:	Uçucu kül
GGBS	:	Öğütülmüş yüksek fırın cürufu
MD	:	Mermer tozu
g	:	Gram
Na ⁺	:	Sodyum
K ⁺	:	Potasyum
Ca ²⁺	:	Kalsiyum
Mg ²⁺	:	Magnezyum
Al ³⁺	:	Alüminyum
KDK	:	Kasyon değişim kapasitesi
C ₃ S	:	Trikalsiyum silikat
C ₂ S	:	Dikalsiyum silikat
H	:	Hidrojen
Ca(OH) ₂	:	Kalsiyum hidroksit

Al₂O₃	:	Alüminyum oksit
C₃A	:	Trikalsiyum alüminat
C₄AF	:	Tetrakalsiyum alüminoferrit
SiO₂	:	Silikon dioksit
Fe₂O₃	:	Refsan demir oksit
DS	:	Dekanter çamuru
CO₂	:	Karbondioksit
MgO	:	Magnezyum oksit
P₂O₅	:	Fosfor pentoksit
SO₃	:	Sülfür trioksit
K₂O	:	Potasyum oksit
CaO	:	Kalsiyum oksit
TiO₂	:	Titanyum dioksit
Cr₂O₃	:	Kromium (III) oksida
BaO	:	Baryum oksit
LOI	:	Sınırlayıcı oksijen indeksi
ASTM	:	Amerikan test ve malzeme kurumu
mm	:	Milimetre
ml	:	Mililitre
sn	:	Saniye
LL	:	Likit limiti
PL	:	Plastisite limiti
W_{opt}	:	Optimum su muhtevası
ρ_{kmax}	:	Hacimce kuru yoğunluk
M_{yaş}	:	Kütlece yaş ağırlık
V_{tüm}	:	Tüm hacim
mm/dk	:	Milimetre/dakika
N	:	Newton

1. GİRİŞ

Dünyada nüfus artışına paralel olarak tüketim artmakta ve bu tüketime bağlı olarak da doğal kaynaklar azalmaktadır. Bunun bir sonucu olarak, giderek daha sınırlı bir doğal kaynak arzı nedeniyle geri dönüşüm ve sürdürülebilir inşaat teknolojileri önemli bir konu haline gelmiştir. Son yıllarda sanayileşmiş ve gelişmekte olan birçok ülkede endüstriyel atıkların zemin iyileştirilmesi alanındaki uygulamaları büyük ilgi görmektedir. Bu malzemelerin zemin iyileştirilmesinde kullanımı teknik, ekonomik ve ekolojik kriterlere dayanmaktadır. Geleneksel zemin iyileştirme malzemelerinin yeterli olmaması ve çevrenin korunabilmesi için bu malzemelerin olası kullanımalarının araştırılmasını zorunlu kılmaktadır. Özellikle zemin iyileştirme alanında, yol yapımında, atık depolama alanlarının yapımında ve beton imalatında büyük miktarlarda hammaddeye ihtiyaç duyulması, geri dönüşüm ve sürdürülebilir malzeme kullanımını önemli kılmaktadır. Bu amaçla endüstriyel atıkların değerlendirilmesi, atıkların neden olduğu çevre kirliliğinin önlenmesinin yanı sıra endüstriyel atıkların zemin iyileştirilmesinde kullanılması ile ülke ekonomisine katkı sağlanmaktadır (Ural ve ark., 2014).

“Zemin iyileştirme” terimi, zeminin özelliklerini ve zeminde istenmeyen mühendislik davranışlarını iyileştirmek ve zeminde fiziksel ve kimyasal değişiklikler yaparak belirli ve istenilen özelliklere sahip zemin elde etmek için kullanılan tekniklerin tümünü kapsar. Sanayi üretimi sonrası ortaya çıkan endüstriyel atıklar, zemin özelliklerini iyileştirmek için katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Katkı malzemesi ile zeminin basınç mukavemeti ve dayanıklılığı artmakta, şişme potansiyeli azalmakta ve donma-çözülme döngüsünde zemin stabilitesini korumaktadır. Zemin iyileştirme uygulamalarında katkı maddesi olarak; uçucu kül, mermer tozu, silis dumanı, bor atıkları gibi endüstriyel atıklar kullanılmaktadır (Zorluer, 2020).

Farklı endüstriyel atık malzemeleri, geoteknik alanında zemin iyileştirmesinde kullanıldığı gibi bu atıkların bertarafının sağlanması açısından da önem taşımaktadır. Yapılan çalışmalarda atık malzemesi olarak; asfalt atığı, çimento tozu, cüruf, uçucu kül gibi atık malzemeler zeminlerin iyileştirilmesinde katkı malzemesi olarak kullanıldığında zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilebileceği ortaya konmuştur (Vural, 2019).

Geoteknik mühendisleri tarafından, atık malzemelerin zemin iyileştirme çalışmalarında kullanılabilirliği yaygın şekilde araştırılmakta, bu malzemelerin geleneksel güçlendirme katkılarının yerine geçebilme durumları incelenmektedir. Bu bağlamda, birçok atık malzemenin tek başına ya da var olan malzemelere ilave edilerek

kullanımı ve geri dönüşümü araştırılmaktadır. Böylece, hem bu atık malzemelerin ekosisteme zararları azaltılmış, hem de pahalı kimyasal katkı malzemelerinin karışımlardaki oranları düşürülmüş olacağı için ekonomik olarak katkı sağlayacaktır.

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Günümüzde insan nüfusunun hızla artması ve mevcut kaynakların tükenmeye başlamasıyla birlikte meydana gelen atıkların azaltılması, mevcut atıkların potansiyel bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi, kullanılmış hammaddelerin yeniden kullanılması gibi atık yönetimi konuları giderek önem kazanmaya başlamıştır (Akbulut ve Güner, 2006).

Doğal kaynakların daha az tüketilmesi, çevre kirliliğinin daha aza indirgenmesi ve enerji maliyetlerinin azaltılması amacıyla zemin stabilizasyonunda bir kısım endüstriyel atıkların kullanımı önemli olmaktadır. Atıklar çevre sorununun yanı sıra birçok durumda depolanma zorunluluğundan dolayı ilave maliyet getirmektedir. Bu nedenle, birçok atık içeriğine bakılmaksızın ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır.

Dünya’da şeker pancarından yılda 144.221.000 ton şeker üretimi yapılmaktadır. Bu miktarın yaklaşık %1’ine tekabül eden 1.848.000 tonu Türkiye’de üretilmektedir. Türkiye’de üretilen şekerin ise %12,8’i (237.000 ton) Konya Şeker Fabrikası’nda üretilmektedir. Konya Şeker Merkez ve Çumra Fabrikalarında yaklaşık 200.000 ton/yıl atık kireç çamuru (PKF) oluşmaktadır (Anonim, 2004; Tunçez, 2007).

Depolama sorunu oluşturan büyük ölçekteki kireç çamuru (PKF) atığının yeniden kullanımı için eşdeğer ölçekte bir alana ihtiyaç duyulmaktadır. Tehlikesiz bir atık olduğu için geri dönüşüm ve taşıma konusunda doğaya kimyasal bir zararı olmayan bu atığın zemin iyileştirme çalışmalarında ve yol alt yapılarının stabilizasyonunda kullanımı ile depolama için büyük ölçekte alana ihtiyaç kalmayacaktır. Oldukça maliyetli olan zemin iyileştirme yöntemlerinde bu atığın kullanılması hem maliyetin azaltılması hem de atık malzemenin yeniden değerlendirilmesi noktasında olanak sağlayacaktır. Ayrıca kireç çamuru (PKF) atığının geçirdiği süreçten kaynaklı yapı bozulmaları ve rahatsız edici koku oluşturmamasından kaynaklı çevresel problemler en aza indirgenmiş olacaktır.

Bu çalışmada, Konya Şeker Fabrikası atık kireç çamuru (PKF)’nin Geoteknik mühendisliğinde kullanım alanları araştırılmıştır.

Atık malzemenin yapısal özellikleri belirlenerek geoteknik mühendisliğinde kullanımına yönelik bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada;

- Atık kireç çamuru (PKF)'nın granülometrik yapısı ve kimyasal özellikleri belirlenmiş,
- Konya II. Organize Sanayi Bölgesindeki düşük ve yüksek plastisiteli iki tür kil zeminin atık kireç çamuru (PKF) ile stabilizasyonu araştırılmış,
- Bu amaçla zemin numunelerinin optimum su muhtevası araştırılmış, farklı oranlardaki PKF, kireç ve çimento katkılı düşük ve yüksek plastisiteli kil numunelerin, optimum su muhtevasında serbest basınç ve kesme kutusu deneyleri ile kayma mukavemeti parametrelerini belirlenerek bunlar karşılaştırılmıştır.
- Konya II. Organize Sanayi Bölgesindeki düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlerin atık kireç çamuru (PKF) ile stabilizasyonu ve zemin iyileştirme için PKF katkısının optimum oranları belirlenmiştir.
- Konya II. Organize Sanayi Bölgesindeki düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminler çimento, kireç ve atık kireç çamuru (PKF) ile belirli oranlarda kullanılarak stabilize edilmiş, mukavemet olarak karşılaştırılmaları yapılmış ve dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Yukarıdaki çalışmalar için;

- Optimum stabilizasyon malzeme içeriği belirlenmiş,
- Stabilize edilmiş zeminin mühendislik özellikleri üzerinde atık kireç çamuru (PKF)'nın etkisi araştırılmış,
- İndeks özellikleri, kompaksiyon karakteristikleri, mukavemet parametreleri, konsolidasyon ve permeabilite değerleri belirlenmiştir.

Çalışma alanı olarak Konya II. Organize Sanayi Bölgesi seçilmiştir. II. Organize Sanayi bölgesi ve çevresi göl ortası çökellerinden oluşmakta olup, geniş bir alana yayılan yumuşak kil zeminlerden meydana gelmektedir. Bölge zemini konsolide olmamış, yumuşak ve çok sıkışabilir yapıdadır. Bölge alanı morfolojik olarak düz bir topografyaya sahiptir ve 120–130 m derinliğe kadar killi-silt ve siltli kil çökellerden oluşmaktadır. Zemin profilinde karşılaşılan kil birimleri genelde düşük plastisiteli silt-kil (ML-CL-CH) sınıfında yer almaktadır. Konya sanayisinin önemli bir kısmı bu bölgede bulunmaktadır. Bu çalışma ile Konya II. Organize Sanayi Bölgesindeki kil zeminlerin atık kireç çamuru (PKF) ile stabilizasyonu araştırılmış olup atık bir malzemenin stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Özeti

2.1.1. Pres filtre atık kireç çamuru (PKF) ile yapılan zemin iyileştirme çalışmaları

Dünyada şeker üretiminin %70'i şeker kamışından kalan %30'u ise şeker pancarından üretilmektedir (Wikipedia, 2022). Türkiye'de şeker kamışı yetişmediği için şeker pancarından şeker üretimi yapılmaktadır. Şeker pancarından şeker üretimi sonucu büyük miktarda PKF pres filtre atık kireç çamuru açığa çıkmakta, çevre için ciddi sorun oluşturmaktadır. Literatürde bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Shoira (2006) yaptığı tez çalışmasında, "Özbekistan'daki Şeker Endüstrisindeki Atık Kirecin Uygulama Alanlarını" araştırmıştır. Atık kirecin etkileri tanımlanmış ve atığın bölgedeki çevresel ve ekonomik problemlere olan etkisi tartışılmıştır. Atığın, kuru ve küçük taneli yapısından dolayı rüzgârın etkisiyle çevreye kolayca yayılabildiği, yakın alanlarda birikerek biyolojik çeşitliliğin yanı sıra insan sağlığı üzerine de etkisinin olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, atık kirecin zemin iyileştirici olarak, gübre olarak, sera toprağı karışımında katkı maddesi olarak, atık suyun arıtımında sorbent madde olarak, çimento ve gazbeton üretiminde mikro dolgu maddesi olarak ve hayvan besiciliğinde mineral katkısı olarak kullanılması araştırılmıştır. Bu metotların avantaj ve dezavantajları incelenmiştir.

Al-Kiki ve ark. (2011) endüstriyel atık/kireç kullanımının (şeker fabrikası yan ürünü) Musul şehrinden seçilen killi zeminlerin; basınç dayanımı, geçirgenlik, zemin-su karakteristik eğrisi ve dayanıklılık gibi mühendislik özelliklerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, zemin-su karakteristik eğrisi, artan kireç ve endüstriyel atık içeriği ile zeminin su tutma kabiliyetinin arttığını göstermiştir. Testler, zeminin kuru ağırlığına göre farklı % kireç (2, 4 ve 6) ve % endüstriyel atık/kireç (2, 4, 6 ve 8) şeklinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, zeminin plastisitesinde, şişme basıncında ve şişme potansiyelinde bir azalma olduğunu göstermiştir. Zemin, optimum kireçte, atık kireç içeriği sırasıyla % (4, 6) oranında plastik olmayan hale gelerek kürlenme süresinin ve stabilizatör içeriğinin artmasıyla serbest basınç dayanımı (UCS) artmış ve optimum stabilizatör içeriğinde maksimum değere ulaştığı ifade edilmiştir. Endüstriyel atık kireci ile stabilize edilen zeminin serbest basınç dayanımının farklı kürlenme sürelerinde kireç ile stabilize edilenden daha fazla tespit edildiği vurgulanmıştır. Dayanıklılık testleri (ıslanma-kuruma durumu için), kireçle işlenmiş zeminin atık kireçle işlenmiş olandan daha dayanıklı

olduğunu göstermiştir. İşlem görmüş zeminin geçirimsizliği doğal zemine göre daha fazla bulunmuştur. Ayrıca atık kireç uygulanan zeminlerin geçirimsizliğinin, farklı kür sürelerinde kireç uygulanan zemine göre daha fazla olduğu ve atık kireç ile işlenmiş zemin için sırasıyla % (4, 2) ile maksimum değerlere ulaşıldığı belirtilmiştir. Sonuç olarak, zemin-su karakteristik eğrisi, artan kireç ve endüstriyel atık içeriği ile zeminin su tutma kabiliyetinin arttığını göstermiştir.

Turna (2010) yaptığı çalışmada, şeker fabrikaları için mevcut en uygun arıtma yöntemini araştırmıştır. En uygun arıtma yönteminin total biyolojik sistemi olduğunu ve su kullanımının azaltılmasında en etkili ve ekonomik yöntemin atık su tesisindeki deşarj edilen suların pancar yüzdürme suyu olarak tercih edilmesi ve ozonlanması ve aktif karbon sistemine sahip herhangi bir sistemle arıtılmasının tercih edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Katı atıkların ise pres filtre zemininin çimento üretiminde kullanılmasının ekonomik yönden getirisi olabileceği ifade edilmiştir.

Li ve ark. (2014) kireç bazlı hammadde olarak şeker filtre çamurunun (PKF) Portland çimentosunun üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ham karışımın yanabilirliği, klinkerin taramalı elektron mikroskobu karakteristiği ve faz bileşeni, çimentonun basınç dayanımı, priz süresi ve hidratasyon karakteristiği incelenmiştir. Sonuçlar, şeker filtre çamurunun ham karışımın yanabilirliğini iyileştirebildiğini ve sıvı faz miktarını artırdığını göstermiştir. %20'den az şeker filtre çamuru, trikalsiyum silikat oluşumunu teşvik etmeye ve klinkerdeki trikalsiyum silikat içeriğini yükseltmeye yardımcı olduğu belirlenmiş ve %20'den fazla şeker filtre çamurunun yeni faz oluşumuna neden olacağı ifade edilmiştir. Ayrıca uygun şeker filtre çamuru miktarının basınç dayanımını artırabileceği, priz süresini kısaltabileceği ve başlangıç ve hızlanma periyodunda çimento hidratasyonunu destekleyebileceği bulunmuştur.

Topçu ve Sofuoğlu (2017) Şeker fabrikasının tehlikesiz bir atığı olan PKF pres filtre atık toprağını, harç karışımında belirli oranlarda kullanılarak harç özelliklerinin basınç dayanımına etkisi araştırmıştır. Çalışmada; laboratuvarlarda üretilen referans harç ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ve basınç dayanım değerleri atık malzeme içeren harç numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Atığın çimento ağırlığı, %5, %10, %15, %20 kum, su karışımında kullanılan PKF atığı ve harç karışımından CEM I 42.5, CEM II 32.5 tipi çimento kullanılarak harç elde edilmiş ve prizmatik kalıplara dökülerek 4 adet 4x16 cm ve 2 adet 4 adet 4x8 cm numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin üzerinde 7 ve 28 günlük basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Harç numunelerinde PKF atığı kullanılan çimentonun ağırlıkça %5'i 7 günlük ortalama basınç dayanımı CEM I 42.5 için 29.25

MPa olarak belirlenmiştir. Araştırma süresince elde edilen mukavemet değerleri çerçevesinde, harçların uygun standartlara sahip olduğu bildirilmiştir.

Assadi Langroudi ve ark. (2019) şeker üretiminin bir yan ürünü olan çökeltilmiş kalsiyum karbonatı, gevşek siltli killi balçıkların iyileştirilmesi için bir stabilizatör olarak önermişlerdir. Çökeltilmiş kalsiyum karbonatı ilavesi, silikat zincirlerinin ve C-S-H jel bileşiminin değişmesine yol açmıştır. İlave edilen stabilizör, zemin plastisitesinde artışa ve kafes içi gözenek hacimlerinde azalmaya sebebiyet verdiği için iklim farklılıklarına göre uyarlanabileceği ifade edilmiştir. Ayrıca, stabilize edilmiş zeminlerin kesme dayanımında artış görülmüştür.

Ławińska ve ark. (2020) ham pancar suyunun saflaştırılması sürecinde şeker üretimi sırasında oluşan bir yan ürün olan karbonasyon kireç çamurunun atık yönetimi ve bertaraf teknolojisinin geliştirmesini amaçlamıştır. Atıkların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş ve mineral-organik gübrelerin üretiminde temel hammadde olarak karbonatlı kireç çamurunun kullanılması önerilmiştir.

2.1.2. Kireç ile yapılan zemin iyileştirme çalışmaları

Pousette ve ark. (1999) turba zeminlerin donma/çözülme davranışını incelemiştir. Yapılan çalışmada, sekiz defa donma/çözünmeye maruz bırakılan kireç ile stabilize turba örneklerinin donma/çözünmeye maruz kalmayanlara göre mukavemetin %30 oranında azaldığı bildirilmiştir.

Soğancı (2004) kireç ilaveli yüksek ve düşük plastisiteli killerin, donma ve çözölmeye karşı mukavemet ve permeabilite değerlerini incelemiştir. Çalışmada, kireç ilave edilen her iki kilin yapısının floküle hale geldiği ve permeabilite değerinde 1000 kat artış tespit edilmiştir. Mukavemet parametrelerinin her iki kil için farklı olduğu görülmüştür. Aynı kür süresince (28 gün) Yüksek plastisiteli kilin serbest basınç mukavemeti yaklaşık 15 kat artarken, düşük plastisiteli kilin serbest basınç mukavemeti ise sadece 3 kat artmıştır. Donma-çözölme uygulanması ile her iki kil tipinin serbest basınç mukavemetinde %10-15 arasında azalma tespit edilmiş ve kesme kutusu deneyleri de serbest basınç deneyleri ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.

KGM (2004) Ankara Bala ayrımı-Kulu ayrımı Bölünmüş Yolu'nda Karayolları Genel Müdürlüğü ve Kireç Sanayicileri Derneği Tarafından Protokol gereği Kireç Stabilizasyonunun yapıldığı çalışmada; kireç stabilizasyonunun gerçek bir yol üzerindeki zaman ve trafik içindeki davranışı incelenmiştir. Çalışma sonucunda; numunelerin

optimum kireç miktarı %5 olarak tespit edilmiştir. Kireç ilavesi sonucunda malzemenin CBR değerinde büyük artışlar gözlemlenmiş ve 56 gün sonunda %5 kireç ilave edile malzemenin doğal malzemeye oranla kuru CBR değerlerinde 8 kat, yaş CBR değerlerinde ise 34 kata varan artışlar meydana geldiği tespit edilmiştir. Malzemeye ilave edilen kirecin, arazi CBR değerlerinin doğal durumdakine kıyasla belirgin artış meydana geldiği görülmüştür. Doğal malzeme için arazi CBR değeri 11 bulunmuştur. Tek tabaka kireçle sıkıştırılan kısımda bu değer 56'ya, çift tabaka kireçle sıkıştırılan kısımda ise 48'e yükselmiştir. 28 gün sonunda kireçli kısımda temel tabakasının arazi CBR değeri 117 olarak bulunmuştur.

Al-Obaydi ve ark. (2010) atık kirecin özelliklerini geliştirmek ve atık kireç-çimento karışımındaki birleşik katkı maddeleri incelemek ve atık kireç veya çimento ile işlem görmüş katkı maddeleri ile karşılaştırmayı amaçlamıştır. %23 jips içerikli %8'e kadar atık kireç ve %4+8, %6+8 ve %8+8 oranlarında atık kireç-çimento karışımının katkı maddeleri ile işlenmiştir. Bu karışımlar %16'ya kadar çimento ile stabilize edilmiş zemin ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, basınç ve çekme dayanımlarının iyileştirilmesinde atık kireç ve çimento karışım katkı maddelerinin etkinliğini göstermiştir. Çimento veya kombine katkı maddeleri ile muamele edilen numuneler daha dayanıklı yetenek kazanırken, atık kireç ile muamele edilen numuneler tek başına dayanıklılık koşullarında (ıslanma ve kurutma döngüleri) istenen mukavemetleri sağlayamamıştır. Atık kireç-çimento karışımı katkı maddesi (%4+8 ve %6+8), mukavemet açısından yaklaşık olarak %16'lık çimentoya eşdeğer olduğu görülmüş, sonuçta, atık kireç kullanarak stabilizasyon için gerekli olan çimento miktarını yaklaşık %50 azaltmıştır.

Al-Kiki ve ark. (2011) kireçle stabilize edilmiş killi zeminin durabilite özellikleri ve basınç dayanımını ele almışlardır. Testler, optimum kireç yüzdesi (%4) ile stabilize edilmiş ve ıslak-kuru, kuru-ıslak ve donma-çözülme dayanıklılık testlerinin yanı sıra uzun süreli ıslatma ve kuruma testlerinden oluşan döngülere tabi tutulan numuneler için basınç dayanımından oluşmaktadır. Sonuçlar, kirecin killi zeminin serbest basınç dayanımını iyileştirmedeki etkinliğinin, uzun süreli dayanıklılık periyotlarında olumsuz etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Başlangıçta kurutmaya tabi tutulan numunelerin hacim değişimi, ıslatma ile yapılanlara göre daha fazla olmuştur. Öte yandan, donma-çözülme çevrimleri, serbest basınç dayanımı değerlerinde azalmaya neden olmakta ve indirgeme oranı, ıslanma ve kuruma durumlarına göre daha fazla olmaktadır. Ancak, ıslatma testleri sırasında, erken ıslatma periyotlarında, kireç ile stabilize edilmiş numunelerin sürekli olarak mukavemet kazandığı, bunun ötesinde, artan ıslatma periyodu ile mukavemetin

azaldığı tespit edilmiştir. Son olarak %4 ve %6 kireçli stabilize numuneler ıslanma ve kuruma döngülerine karşı daha dayanıklı hale geleceği ifade edilmiştir.

Ghobadi ve ark. (2014) İran'ın Hamedan şehrinde bulunan kireçle işlem görmüş killi zeminler üzerinde mineralojik araştırmaların sonuçlarını ve pH değişimlerinin kayma mukavemeti parametreleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada, ilk olarak farklı oranlarda kireç ilave edilmiş ve kür sürelerinden sonra laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar, bu zeminlerin yaklaşık %7 kireç ilavesiyle tatmin edici bir şekilde stabilize edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, kireç uygulanmış zeminin geoteknik özellikleri ile kireç yüzdesi ve kür süresi arasındaki ilişkinin araştırılması, önerilen ilişkiler için yüksek regresyon katsayılarını göstermiştir. Farklı pH (3, 5, 7 ve 9) değerlerine sahip sıvıları ile karıştırılmış kireçli, işlenmiş ve işlenmemiş killi zeminler üzerinde çeşitli laboratuvar testleri yapılmıştır. Kayma mukavemeti testlerinin sonuçları, gözenek sıvısı yüksek pH'a (pH = 9) veya düşük pH'a (pH = 3) sahip olduğunda işlem görmemiş killer için drenajsız kesme mukavemeti parametrelerinin önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Kireç uygulanmış zeminler için maksimum kohezyon ve sürtünme açısı değerlerinin pH = 9'da elde edilebileceği belirtilmiştir.

Pousette ve ark. (1999) su muhtevası %200 dolaylarında değişiklik gösterdiği çoğu turbalıkta donma/çözülme sayısının mukavemet artışını olumsuz yönde etkilediğini ifade etmişlerdir. Araştırmalarında, kireç ile stabilize edilmiş turba örnekleri Sekiz defa donma/çözölmeye maruz bırakılan (- 10 °C / +20 °C) kireçle stabilize turbalıkların normal ortamdaki turbalıklara göre mukavemetlerinin %30 oranında azaldığını tespit etmişlerdir.

Geçkil ve ark. (2019) killi zemine kireç ilavesinin dayanım üzerindeki etkisini araştırmıştır. Kireç, killi zemine ağırlıkça farklı oranlarda eklenmiştir. Hazırlanan karışımlarda kilin ağırlığının %2,5, %5, %7,5, %10, %15 ve %20'si oranında kireç eklenerek farklı oranlarda hazırlanan numuneler homojen karıştırılarak sıkıştırılmış ve serbest basınç ve Kaliforniya taşıma oranı testleri yapılmıştır. Deneyler sonuçları, karışımdaki kireç içeriğinin artışıyla plastisite indeksi ve maksimum kuru yoğunluğun azaldığı, optimum su içeriğinin ise arttığını göstermiştir. Kür süreleri (7 ve 28 gün) sonucunda serbest basınç dayanımı değeri, en yüksek %5 ile kireçten elde edilmiştir. Ayrıca kürlenmiş numunelerin Kaliforniya taşıma gücü oranı değerleri 7 ve 28 günlük kürlerin sırasıyla katkısız killi zemine göre 1.37 ve 2,08 kat daha yüksek bulunmuştur.

2.1.3. Çimento ile yapılan zemin iyileştirme çalışmaları

Çiniçioğlu (1993) kireç ve çimento ilavesinin yapıldığı ince daneli zeminin özelliklerindeki değişimi araştırmıştır. Öncelikle ince daneli zeminin fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edilmiş ve ardından çeşitli oranlarda kireç ve çimento ilavesi yapılarak oluşan karışımın özellikleri incelenmiştir. Deneyde elde edilen sonuçlar şu şekildedir; kireç ve çimento katkısı sonucunda ince daneli zeminin likit ve plastik limiti artmış ve plastisitesi azalmıştır. Her iki katkı maddesinin; mukavemeti artırma, deformasyonu azaltma ve rijitleştirme yönünde etki ettiği gözlemlenmiştir. Katkı maddelerinin oranındaki artış ile kohezyon ve kayma mukavemeti açısı değerlerinin maksimum noktaya kadar doğru orantılı olarak arttığı sonrasında ise azaldığı tespit edilmiştir.

Tan ve ark. (2002) Singapur'daki, derin çimento karıştırma yöntemi ile yumuşak kil zeminlerin iyileştirilmesini araştırmıştır. Derin karıştırmanın killi zeminlerde kullanımını teşvik etmek amacıyla çimento karışımı ile Singapur deniz kıyılarının dayanım gelişimi üzerinde kil, su ve çimentonun karışımlarının etkilerini araştırmıştır. Deney sonuçları, çimento ilave edilen kilde zamanla dayanım ve rijitlikte sürekli bir artış olduğu görülmüştür. Bu artışın zeminin hareketini azaltmaya yardımcı olacağı ve ayrıca istinat duvarının daha fazla yük taşıyacağı sonucuna varılmıştır.

Kılıç (2008) farklı oranlarda çimento ilavesi yapılan killi zeminler üzerinde veyn, serbest basınç ve üç eksenli basınç deneyleri ile çimento stabilizasyonunun zeminler üzerindeki etkisini araştırmıştır. West Ashling, Hamble ve Emsworth bölgelerinden alınan kil numunlerine farklı oranlarda çimento ilave edilmiş ve çimento stabilizasyonunun kil mukavemetine etkisi incelenmiştir. Kilin mukavemetindeki değişimi saptamak amacıyla için %6, %10 ve %15 çimento katkılı numunelerde veyn ve üç eksenli basınç deneyleri, %20 ve %25 çimento katkılı numunelerde ise 7. 14. ve 28. günlerde serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Farklı oranlarda çimento ilavesinin yapıldığı West Ashling, Emsworth ve Hamble kıyılarında elde edilen numunelerde çimentonun kil mukavemetini artırdığı tespit edilmiştir.

Al-Aghbari ve ark. (2009) çöl kumlarını stabilize etmek amacıyla stabilize edici maddeler olarak Portland çimentosu ve çimento baypas tozunu (veya çimento fırın tozunu) çöl kumunun kuru ağırlığına göre %2, %4, %8, %10 ve %12 miktarlarında ilave etmiştir. Stabilize edilmiş malzemenin mühendislik özelliklerini ölçmek için sıkıştırma,

serbest basınç ve kesme kutusu testleri gibi laboratuvar testleri yapılmıştır. Sonuçlar, maksimum kuru yoğunlukta, basınç dayanımında ve kesme dayanımı parametrelerinde (c ve ϕ) önemli gelişmeler gösterdiği ve çöl kumlarının sıkıştırılabilirlik ve kesme mukavemeti özelliklerini geliştirmek için çimento ve çimento baypas tozu kullanılabileceği gösterilmiştir.

Saadeldin ve Siddiqua (2013) kil-çimento karışımının hava, çimento, kil ve suyun kütle-hacim ilişkilerinin başlangıç koşullarını tanımlamak amacıyla bir faz diyagramı oluşturmuştur. Bu faz diyagramı daha sonra çimento içeriği ve su/çimento oranının bir fonksiyonu olarak kil-çimento karışımının toplam kuru yoğunluğunu, boşluk oranını ve özgül ağırlığını belirlemek için kullanılmıştır. Çalışmada, kil-çimento karışımlarının geoteknik özellikleri için genelleştirilmiş eğilimler geliştirmek amaçlanmıştır. Bu eğilimler, yumuşak kil numuneleri üzerinde çimento ile karıştırılmadan önce ve sonra ve farklı kür sürelerinde gerçekleştirilen serbest basınç dayanımı ve kıvam testlerine dayalı olarak değerlendirilmiştir. %15 çimento ilavesiyle plastisite indeksinde (PI) %16'lık bir azalma ve kayma mukavemetinde 200 kPa'dan fazla bir artış tespit edilmiştir. Kil-çimento karışımının PI'sindeki azalmanın, çimento ile karıştırıldıktan sonra kilin mukavemetindeki gelişmeyi temsil etmek için etkili bir araç olduğu tespit edilmiştir.

Turkoz ve Vural (2013) yaptıkları çalışmada, killi zeminlerin dağılabilirlik ve şişme potansiyeli özelliklerine çimento ve doğal zeolit katkı maddelerinin etkisini araştırmıştır. Sabit bir yüzdede çimento (%3) ile farklı yüzdelerdeki doğal zeolit (%1, %3, %6, %10, %15 ve %20) dört farklı killi zemin numunesi ile karıştırılmıştır. Öncelikle zemin örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş daha sonra ise belirli sıkıştırma özelliklerini elde etmek için numuneyi sıkıştırarak, katkı maddesi içeren ve içermeyen numuneler üzerinde farklı kürleme sürelerinde şişme yüzdesi, şişme basıncı ve serbest basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Kürleme süresine bağlı olarak önemli mukavemet değeri artışları, dispersif ve şişme özelliği gösteren farklı plastisite özelliklerine sahip killi zemin örneklerinin sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) ve değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerlerine bağlı olarak çimento ve zeolit katkı karışımı ile özelliklerinin iyileştiği gözlemlenmiştir. Çalışmada, çimento ve zeolit katkılı bir karışımın dört farklı plastisite özelliğine sahip killi zemin numunelerinin SAR ve ESP değerlerine bağlı olarak dağılma ve şişme özelliklerini iyileştirdiği ve aynı zamanda dayanım değerlerinde de önemli artışlar gözlemlendiği ifade edilmiştir.

Garzón ve ark. (2015) çalışmalarında Fillit killerini kullanmışlardır. Kullanılan kil mineralleri (klorit, illit ve karışık katmanlı illit simektit), kuvars ve feldispat

içermektedir. Bu laboratuvar çalışmasında, Fillit kil ve çimentodan (ağırlıkça %5, 7 ve 9 oranında) oluşan yeni kompozitler hazırlanmış ve modifiye Proctor (MP) sıkıştırması için Atterberg limitlerini, kuru yoğunluğunu ve optimum su içeriğini, suda bekletme sonrası şişme potansiyelini belirlemek için serbest basınç dayanımı (UCS) ve geçirgenlik katsayısını belirlemeye yönelik deneyler yapmışlardır. İncelenen karışımlardan, plastisite indeksi %10,5, maksimum kuru yoğunluğu $2,17 \text{ Mg/m}^3$ ve MP sıkıştırma için optimum su içeriği %8 olan, belirli yapı malzemesi uygulamaları için ağırlıkça %5 çimentolu kompozit en uygun görülmüştür. Elde edilen yeni kompozitlerin bina inşaatı, çatılar ve esnek kaldırım uygulamaları için potansiyel malzeme olarak önerilmiştir.

Khalid ve ark. (2018) çimento içeriği %7'den düşük olan yumuşak killerin sürdürülebilir kullanımını analiz etmiştir. Ayrıca araştırma, mekanik davranıştaki farkı belirlemek için düşük çimentolu yumuşak kil ile yüksek oranda çimentolu killer arasında karşılaştırmaya odaklanmıştır. Bu nedenle Şanghay yumuşak kilinde, %0 ila 6 arasında çimento içeriğinde deneyler yapılmıştır. Sonuçlar, düşük çimento içeriğinin mikro yapı özellikleri, basınç dayanımı ve gerilme-şekil değiştirme davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Fakat, kür süresinin bu tür özellikler üzerindeki etkisi sınırlı olduğu belirtilmiştir. Düşük çimento ile muamele edilmiş yumuşak kilin mekanik davranışı, basınç dayanımı ile kırılma anında akma gerilimi ve kil-su/çimento oranı arasındaki ilişkiler açısından yüksek oranda çimentolu killere benzediği, ancak deformasyon modülüne karşı basınç dayanımı açısından farklı olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak, arazi ıslah projelerinin dolgu malzemeleri için gereken minimum çimento içeriğinin seçilmesine yardımcı olabileceği ifade edilmiştir.

2.1.4. Cam lifi ile yapılan zemin iyileştirme çalışmaları

Olgun (2013) polipropilen lif kalıntılarının çimento ve uçucu kül ile kimyasal olarak stabilize edilmiş killi bir zeminin geoteknik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Tüm stabilize zeminler için sırasıyla %8 ve %30 oranında çimento ve uçucu kül ilave edilmiş ve takviyeli stabilize zemin numuneleri, dört farklı lif içeriği yüzdesinde (%0,25, %0,50, %0,75, %1,0) ve üç farklı lif uzunluğunda (6 mm, 12 mm, 20 mm) hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, stabilize edilmiş zemine lif ilavesi sonrasında basınç ve özellikle çekme dayanımı değerlerinin büyük oranda arttığı tespit edilmiştir. En yüksek mukavemet değerleri, 12 mm uzunluğundaki lifler için %0,5-0,75 oranındaki katkı maddesinde elde edilmiştir. Artan lif içeriği ve daha uzun lif uzunluğu ile büzülme

sınırı ve çatlak azaltma değerlerinin arttığı, hacim değişikliklerinin azaldığı belirlenmiştir.

Aysu (2020) yüksek plastisiteli killi zeminlere cam lifi katkısının, zeminin mukavemet, permeabilite ve konsolidasyon özelliklerine etkisini araştırmıştır. Uzunluğu 12 mm olan cam lifi, killi zeminler içerisinde belirli oranlarda (0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.25 ve 1.50) ilave edilmiştir. Zemin mukavemetinde artış %0,75 oranındaki cam lifi katkısında en yüksek olduğu ve daha sonraki karışım oranlarında azalmaya başladığı tespit edilmiştir. Katkılı zemindeki mukavemet artışının, katkısız zemine oranla %25 daha fazla olduğu görülmüştür. Optimum su muhtevasında doymun hale getirilen numunelerin serbest basınç deneylerinin sonucunda; doymunluğun farklı oranlardaki cam lifi katkılı zeminin mukavemetinde yaklaşık %25-%35 oranlarında azalmaya sebep olduğu görülmüştür. Optimum su muhtevasında ve doymun durumda, katkısız zemine kıyasla cam lifi katkısı, zeminin kayma mukavemetini %25 oranında artırdığı belirlenmiştir.

2.1.5. Diğer endüstriyel atıklar ile yapılan zemin iyileştirme çalışmaları

Acar ve Yıldız (1997) Seydişehir alüminyum fabrikasındaki üretim sonrası atıkların yol alt yapısı inşaatında değerlendirilmesini araştırmıştır. Çalışmada, zemin maddesi olarak iyi derecelendirilmiş çakıllı kuma (SW) çeşitli oranlarda endüstriyel atık karıştırılıp California taşıma oranı (CBR) ve geçirgenlik deneyleri yapılmış ve katkı maddelerinin zeminin geoteknik özelliklerine katkıları incelenmiştir. Deney sonuçları; katkı maddelerinin ilavesi ile doğal malzemenin (çakıllı kum) CBR miktarını artırdığı tespit edilmiştir. CBR değerindeki artışın %20 oranındaki katkı madde ilavesine kadar artarak devam ettiği fakat daha yüksek oranlara doğru gidildikçe artışın azaldığı belirlenmiştir. Karışımın atterberg limitinde; karışımdaki atık madde miktarının artışına paralel olarak likit limit ve plastik limit değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. Permeabilite deneyi sonucunda ise ince madde miktarının artışına bağlı olarak doğal zeminin permeabilite katsayısına göre permeabilite katsayı değerinin düştüğü tespit edilmiştir.

Rama Subbarao ve ark. (2011) pirinç kabuğu külü (RHA) ve uçucu kül (FA) gibi puzolanik değere sahip endüstriyel atıkları kullanarak zeminin geoteknik özelliklerindeki iyileştirmeyi araştırmıştır. Zeminin kuru ağırlığına göre zemin, %2, %4 ve %6 oranındaki RHA ile değiştirilmiş ve geoteknik açıdan çalışmada kullanılan zemin için %4 RHA ile

değiştirilmiş zeminin optimum değerde olduğu görülmüştür. Sonuç olarak; çalışmadaki %4 oranındaki RHA-ve %4 oranındaki FA karışımını daha fazla değiştirmek için kireç gibi uygun maliyetli bir hızlandırıcı kullanılabileceği ve optimum kireç içeriğinin %4 olarak bulunduğu ifade edilmiştir.

Kumar Sharma ve Sivapullaiah (2012) atık malzeme olarak öğütülmüş yüksek fırın cürufunu (GGBS) kireç veya çimentoya alternatif olarak kullanımının zeminin çeşitli mühendislik özelliklerini iyileştirmedeki etkisini araştırmıştır. Deneyde, Proktor deneyinde optimum nem içeriğine ve (karışımdan karışıma değişen) kuru yoğunluğuna göre sıkıştırılan numuneler, 7, 14 ve 28 günlük bir süre boyunca kürlenerek serbest basınç dayanımları belirlenmiştir. Mukavemet gelişiminin kullanılan GGBS miktarına bağlı olduğu ve kür süresinin etkisinin daha az belirgin olduğu saptanmıştır. Ayrıca başlangıç tanjant modülü değerlerinin genellikle GGBS içeriğindeki artışla arttığı gösterilmiştir.

Ural ve ark. (2014) atık mermer tozunun, killi zeminlerdeki zemin iyileştirmesinde ve beton üretiminde ince agrega olarak kullanımını araştırmıştır. Özellikle mermer tozu (MD) katkılı killi zeminleri fiziksel, mekanik ve fizikokimyasal özelliklerini belirlediği çalışmada, test sonuçları, killi zeminin davranışında bir miktar iyileşme olduğunu göstermiştir. Ayrıca mermer tozunun beton üretiminde ince agrega yerine dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği ve bu gözeneklerin mermer tozu ile doldurulmasından dolayı betonun gözenekliliğini azaltacağı görülmüştür.

Sol-Sánchez ve ark. (2016) hem killi hem de marnlı zeminlerde yenilikçi endüstriyel atıkların farklı dozajlarının kullanılmasının etkinliğini araştırmışlardır. Katkı maddesi olarak dolomitik kireç (artık taş ocağı çamurlarından), uçucu kül, çelik cürufu (elektrik ark ocağından) ve kontrol maddesi olarak geleneksel kireç kullanmışlardır. Bu katkı maddelerinin etkinliği, 0, 7, 14 ve 28. günlerde pH, karbonat içeriği ve parçacık boyutunun değişimi ölçülerek değerlendirilmiştir. Deney sonuçları; kalıntı dolomitik kirecin zemin stabilizasyonunda ticari kireç kadar etkili olabileceğini gösterirken çalışmada kullanılan külünün en az etkili katkı maddesi olduğu tespit edilmiştir.

Mohanty ve ark. (2017) Odisha'nın Balasore bölgesinden toplanan ve farklı oranlarda uçucu kül ve yanmamış kömür ile stabilize edilmiş zeminin serbest basınç dayanımı ve California taşıma oranı (CBR) gibi mühendislik özelliklerinin değerlendirildiği çalışmada; hem uçucu kül hem de yanmamış kömürün CBR'yi arttırdığı ve likit limit, plastik limit, plastisite indeksi, şişme indeksi ve UCS gibi birçok indeks özelliğini azalttığı, böylece zeminin mukavemet parametrelerini arttırdığı tespit edilmiştir.

Zorluer ve Gucek (2020) zemin iyileştirmesi için mermer ve granit tozu, bor atığı ve uçucu kül gibi endüstriyel atıkların farklı oranlarda karıştırılan taneli zemin numuneleri üzerindeki kullanılabilirliğini araştırmıştır. Her karışımda iki atık malzeme birlikte kullanılmış ve spesifik olarak, uçucu kül, puzolanik özelliklerinden dolayı ilave atık malzeme olarak mermer ve granit tozu, bor atığı ve uçucu kül kullanılmıştır. Donma-zlme, serbest basınc mukavemeti ve California taşıma oranı (CBR) deneylerinin gerçekleştirildiği çalışmanın sonucunda, bir numunenin mukavemetinin katkı oranına, kürlenme süresine ve donma-zlme döngülerinin sayısına bağlı olduğunu görülmüştür. Genel olarak, serbest basınc dayanımının ve California taşıma oranının, katkı malzemeleri ve kürlenme süreleri ile arttığı gözlemlenmiştir. Donma ve zlme sonrasında serbest basınc dayanımı (granit tozu hariç) azalırken, artan katkı maddeleri ve artan donma-zlme döngüleri nedeniyle ağırlık kaybının arttığı tespit edilmiştir

3. MATERYAL

3.1. Stabilizasyonun Mekanizması

Yüksek kalsiyum içeriğine sahip kireç sulandırılarak herhangi bir zeminle reaksiyona girdiğinde ortaya çıkan etkiler oldukça karmaşıktır. Katkı maddesi olarak kalsiyum içerikli maddelerin killi zeminleri iyileştirme süreci; katyon değişimi, flokülasyon ve aglomerasyon, çimento hidratasyonu ve puzzolonik reaksiyonu olmak üzere dört farklı reaksiyonu içermektedir.

3.2. Kalsiyum Kaynağı

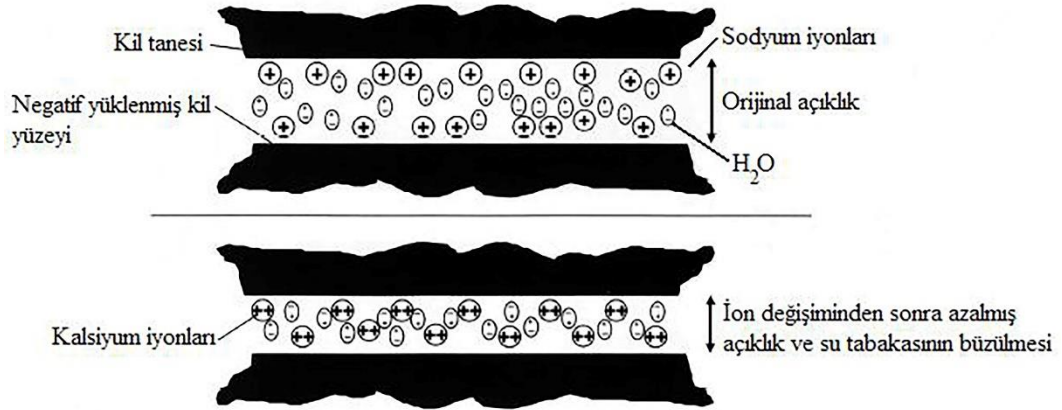
Killi zeminlerin stabilizasyonundaki ilk aşamada en önemli faktör, stabilizatörün yeterli miktarda kalsiyum sağlama yeteneğidir. Hem portland çimentosu hem de kireç bu gerekli bileşeni sağlayabilir ve her ikisi de uygun şekilde kullanıldığında killi zeminleri etkili bir şekilde stabilize edebilir. Ayrıca, kireç ve portland çimentosu doğal olarak farklı malzemelerdir ve her biri tarafından sağlanan kalsiyumun, zemin stabilizatör sistemine etkisi biraz farklıdır.

3.3. Katyon Değişimi

Stabilizasyon sürecindeki ilk aşamadır. Katyon değişimi, stabilizasyonu başlatan çok hızlı bir süreçtir. Zeminlerin plastisitesi, şişen kil miktarı ile belirlenir ve kil içerisindeki montmorillonite plastisite değerinin yükselmesinde etkilidir. Montmorillonite, silika tetrahedral ve alumina oktahedral tabakalarının iyonik ve kovalent bağları sonucunda oluşur. Zeminlerde katyon değişimi tersinir bir kimyasal reaksiyondur. Zemin minerallerinin yüzeyinde ve bazı mineral türlerinin kristal çerçevesi içinde tutulan katyonlar ile bazı organik bileşiklerin bir parçası olan katyonlar, tuz çözeltileri ve asitlerin katyonları ile tersine çevrilebilir şekilde değiştirilebilir. Katyon değişim kapasitesi (genellikle 100 g zemin için milieşdeğer) bir zeminin değişebilir katyonlarının toplamı olarak tanımlanır (Chapman, 1965). Sodyum (Na^+) ve potasyum (K^+) gibi tek değerli katyonlar, su molekülleri ile çift tabakayı oluşturur. Tek değerli katyonlar ise kalsiyum gibi çok daha yüksek değerlikli katyonlarla kolayca yer değiştirme potansiyeline sahiptirler. Çoğu katyonun sodyum ile yer değiştirme sırası;

$\text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Ca}^{2+} < \text{Mg}^{2+} < \text{Al}^{3+}$ şeklindedir. Kalsiyum kaynaklı zemin iyileştiricileri yeterli miktardaki kalsiyum iyonu varlığında tek değerlikli katyonlarla yer değiştirirler. İyon değişim sürecinde iki veya üç değerlikli daha yüksek yük yoğunluğuna sahip iyonların varlığı çift katlı tabakanın kalınlığının azalmasına neden olacaktır. Katyon değişimi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Bir zeminin katyon değişim kapasitesi (KDK), zemin yüzeyleri üzerindeki negatif yüklü bölgelerin miktarının bir ölçüsüdür. Kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}) ve potasyum (K^+) gibi pozitif yüklü iyonları (katyonları) elektrostatik kuvvetlerle tutabilir. Elektrostatik olarak tutulan katyonlar, zemin çözeltisindeki katyonlarla kolayca değiştirilebilirler, bu nedenle, daha yüksek KDK’li bir zemin, düşük KDK’li bir zemine göre yeterli miktarda Ca^{2+} , Mg^{2+} ve K^+ ’yı korumak için daha büyük bir kapasiteye sahiptir. Daha yüksek KDK’ye sahip bir zemin daha verimli olmayabilir çünkü bir zeminin KDK’si hidrojen (H^+) ve alüminyum (Al^{3+}) gibi asit katyonları tarafından da işgal edilebilir. Bununla birlikte, diğer zemin verimliliği önlemleri ile birleştirildiğinde, KDK, zemin kalitesi ve üretkenliğinin iyi bir göstergesidir (Ross ve Ketterings, 1995).



Şekil 3.1. Katyon değişimi (Prusinski ve Bhattacharja, 1999)

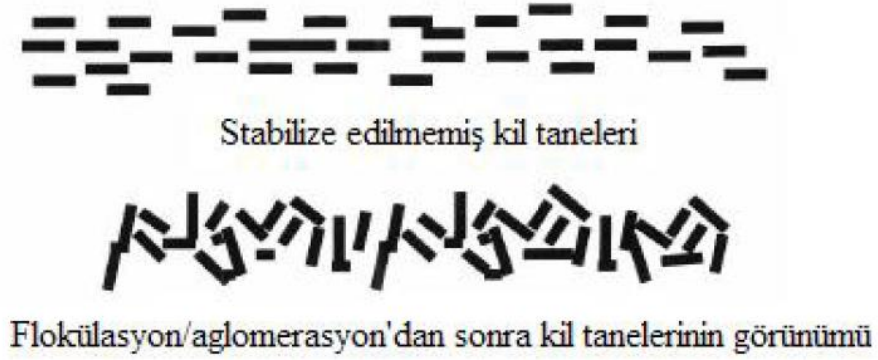
3.4. Flokülasyon ve Aglomerasyon

Flokülasyon ve aglomerasyon, kil dokusunu plastik, ince taneli bir malzemeden taneli bir zemine değiştirir. Flokülasyon, kil parçacıklarının yapılarını düz, paralel bir yapıdan daha rastgele bir uçtan-yüze yönelime değiştirme sürecidir. Flokülasyon, yüksek elektrolit içeriğine, yüksek pH'a ve katyon değişimi yoluyla çift tabaka kalınlığındaki azalmaya bağlanmıştır.

Aglomerasyonun, kil-parçacık ara yüzeylerinde çimentolu malzemenin birikmesi nedeniyle floküle olmuş kil parçacıklarının kenar-yüzey ara yüzeylerinde zayıf bağlar oluşturmaya başlamasıyla meydana geldiği tahmin edilmektedir. Flokülasyon ve

aglomerasyon süreci Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Aglomerasyon, ince bölünmüş kil parçacıklarından daha büyük agregaların oluşumunu başlatır ve killi toprağın dokusunu daha da iyileştirir.

Kasyon değişimi nedeniyle çift tabakanın küçülen boyutu ve ayrıca flokülasyon ve aglomerasyon nedeniyle kil parçacıklarının artan içsel sürtünmesi, zemin plastisitesinde bir azalma, kesme mukavemetinde bir artış ve dokuda bir iyileşme ile sonuçlanır. Kasyon değişiminde olduğu gibi, flokülasyon ve aglomerasyonda nispeten hızlı gerçekleşir ve en önemli en belirgin değişiklikler, karıştırmadan sonraki birkaç saat içinde meydana gelir.



Şekil 3.2. Flokülasyon ve aglomerasyon (Prusinski ve Bhattacharja, 1999)

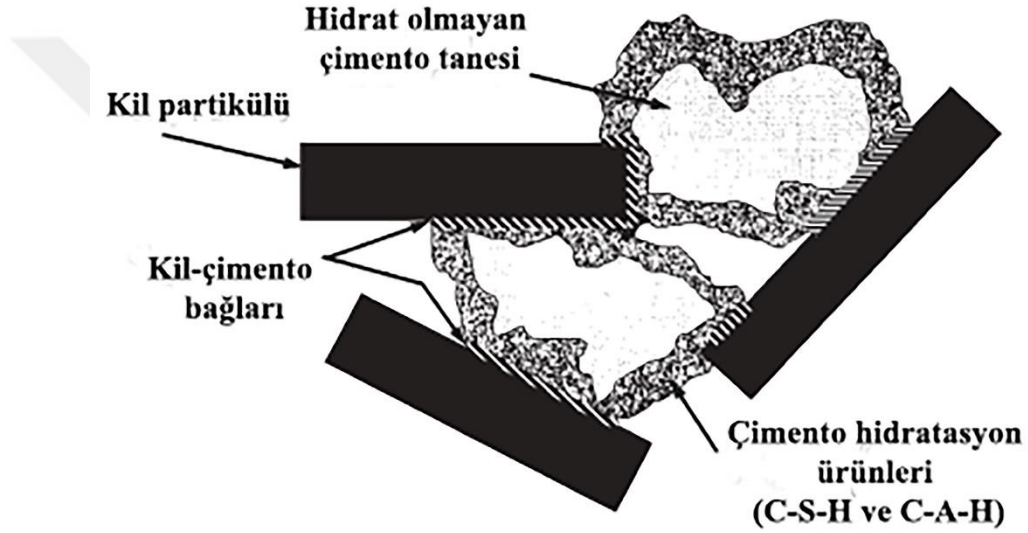
3.5. Çimento Hidratasyonu

Çimento hidratasyonu, çimentoya özgü ancak kireç olmayan bir işlemdir (Şekil 3.3). Çimento hidratasyonu, Denklem 3.1 ve 3.2'de belirtildiği gibi çimentolu malzeme üretir.



C-S-H'ye ek olarak, portland çimentosu hidratlandığında ayrıca kalsiyum-alüminyum-hidrat (C-A-H) ve $Ca(OH)_2$ oluşturur. C-S-H ve C-A-H bir ağ oluşturur ve çimento ile modifiye edilmiş kilde yapı ve mukavemet sağlayan “tutkal” görevi görür. Hidratlar, sementasyon yoluyla floküle olmuş kil partiküllerini stabilize etmeye yardımcı olur. En hızlı mukavemet artışları 1 gün ile 1 ay arasında meydana gelir; Devam eden hidratasyon ve çimentolu malzeme oluşumu nedeniyle daha küçük mukavemet kazanımları yıllarca oluşmaya devam eder. Karıştırmadan sonraki ilk ay içinde bir

çimentolu malzeme ağının oluşması, çimento-zemin sisteminin mukavemetinde önemli bir artışa katkıda bulunur. Çimento, hidratlı çimento ve kil parçacıkları arasında güçlü bağlar geliştirerek ürünleri yüksek mukavemetli bir kütle haline getirir. Aynı zamanda, ince taneli parçacıklardan daha büyük agregalar oluşturarak stabilize edilmiş killi zeminin derecelenmesini de iyileştirir. Ayrıca, bazı çalışmalar, zemin mevsimsel ıslanma ve kuruma döngülerine maruz kaldığında veya yeraltı suyu stabilize edilmiş zeminden geçtiğinde, çimentolu bağların oluşumunun kalsiyum hidroksitin geçirgenlik potansiyelini azalttığını göstermektedir.



Şekil 3.3.Çimento hidratasyonu (Prusinski ve Bhattacharja, 1999)

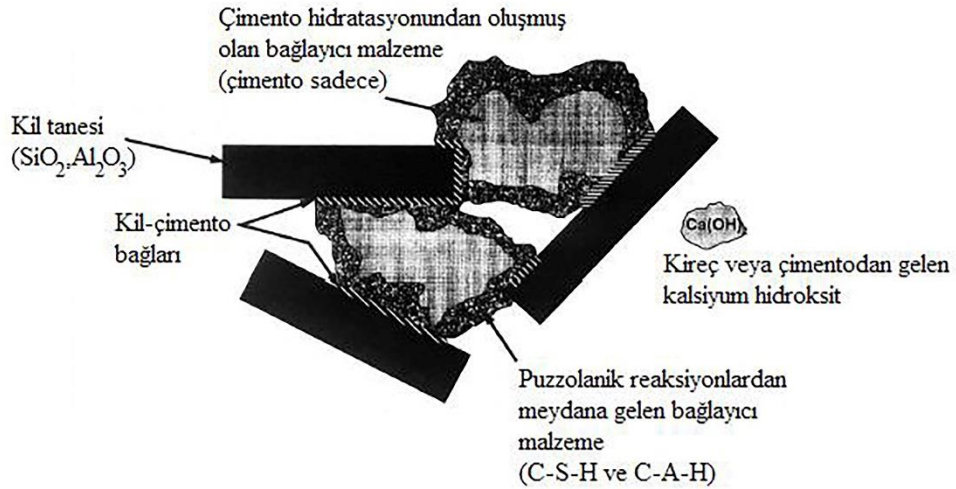
3.6. Puzzolonik Reaksiyon

Puzzolanik reaksiyon, zemin stabilizasyonunun ikincil bir sürecidir ve hem kireçli hem de çimentolu zemin sistemlerine uygulanabilir (Şekil 3.4). Kalsiyum stabilize bir sistemin yüksek pH ortamı, kil partiküllerinde bulunan silika ve alüminanın çözünürlüğünü ve reaktivitesini artırır (3.5). Kalsiyum iyonlarının kil kafesinden çözülen silika ve alümina ile birleşerek ilave çimentolu malzeme (C-S-H ve C-A-H) oluşturduğu varsayılır.

Temel puzolanik reaksiyonlar şunlardır;



Puzolanik reaksiyonlar aylar ve yıllar boyunca yavaş yavaş gerçekleşir ve modifiye edilmiş bir zemini daha da güçlendirebilir, ayrıca plastisiteyi azaltabilir ve gradasyonu iyileştirebilir. Puzolanik bağlanmanın sistemin mukavemetini ve dayanıklılığını iyileştirmede önemli bir faktör haline gelmesi için stabilizatörün yüksek pH ortamını uzun süre koruyabilmesi gerekir. Puzolanik reaksiyon (veya yukarıda tarif edildiği gibi hidrasyon) yoluyla yeterli çimentolu bileşik ağları oluşturulmadan, stabilize edilmiş sistem, sistemden kalsiyumun zararlı bir şekilde sızmasına karşı hassas olabilir. Yıkama, pH'ın düşmesine, puzolanik hareketin bozulmasına ve zeminin orijinal stabil olmayan durumuna geri dönmesine neden olur.



Şekil 3.4. Puzolonik reaksiyon (Prusinski ve Bhattacharja, 1999)

3.7. Portland Çimento

Portland çimentosu, klinker ve alçıtaşının iç içe geçmesinden kaynaklanan ince öğütülmüş bir malzemedir. Klinker, dört ana oksit fazından oluşan bir malzemedir: trikalsiyum silikat (C_3S), dikalsiyum silikat (C_2S), trikalsiyum alüminat (C_3A) ve tetrakalsiyum alüminoferrit (C_4AF) (çimento kimyası notasyonunda, $C = Ca$, $S = SiO_2$, $A = Al_2O_3$ ve $F = Fe_2O_3$). Zemin stabilizasyonu açısından en önemli olan iki kalsiyum silikat fazıdır. Hidrasyon üzerine, bu iki faz hem katyon değişimi, flokülasyon ve aglomerasyon için mevcut kalsiyum sağlayan kalsiyum hidroksit hem de zemin matrisinde mukavemet ve yapı sağlayan kalsiyum silikat hidrat ($C-S-H$) üretir:

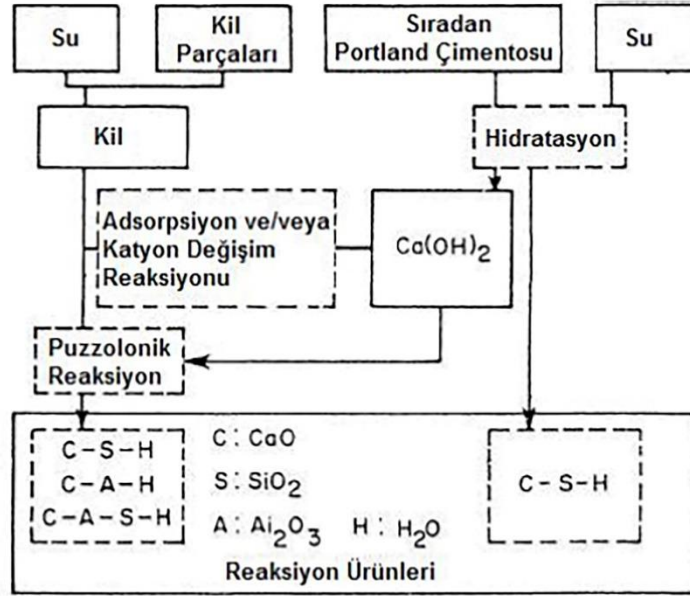


Burada; $H = H_2O$ ve $C-S-H = C_3S_2H$ ifade etmektedir.

Zemin-çimento, yüksek oranda sıkıştırılmış zemin/agrega, çimento ve su karışımıdır. Zemin-çimento stabilizasyonu, birbirleriyle kenetlenen ve yüksek bir basınç dayanımı veren kristaller halinde büyüyen çimento parçacıklarının hidrasyonundan kaynaklanan zemin parçacıklarının bağlanmasıdır. Zemin partikülleri ile çimento arasında iyi bir temas sağlamak ve dolayısıyla verimli zemin-çimento stabilizasyonu sağlamak için çimento ve zemin partiküllerinin belirli boyutta ve oranda karıştırılması gereklidir. Zemin-çimento karışımı, çimento hidratlaştıkça ve mukavemet geliştikçe sert ve dayanıklı bir malzeme haline gelir. Çimento, zemin tanecikleri arasındaki boşluğu doldur ve sonucunda zeminin boşluk oranı azalır. Sonrasında zemine su eklendiği zaman çimento-su reaksiyonu gerçekleşir ve çimento sertleşir (Şekil 3.5). Böylece zeminin birim ağırlığı artar ve çimento sertleşmesi nedeniyle kesme mukavemeti ve taşıma kapasitesi de artar (Afrin, 2017).

Çimento, killi zeminlerin likit limitini düşürmeye ve plastisite indeksini ve işlenebilirliğini artırmaya yardımcı olur. Çimento reaksiyonu zeminin minerallerine bağlı değildir ve önemli olan herhangi bir zeminde bulunabilecek su ile reaksiyona girmesidir (EuroSoilStab, 2002). Çimentonun bu özelliği onu çok çeşitli zeminleri stabilize etmede kullanılmasının sebebini açıklamaktadır. Piyasada çok sayıda çimento türü mevcuttur. Bunlar; Portland çimentosu, yüksek fırın çimentosu, sülfata dayanıklı çimento ve yüksek

alümina çimentosudur. Çimento ile stabilize edilmiş zeminler; azaltılmış kohezyon (plastiklik), azaltılmış hacim genleşmesi veya sıkıştırılabilirlik ve artan mukavemet gibi gelişmiş özelliklere sahiptir.



Şekil 3.5. Zemin-çimento arasındaki reaksiyon mekanizması (Rajasekaran, 2005)

3.8. Kireç

Zemin stabilizasyonu açısından oldukça ekonomiktir. Kireç stabilizasyonu; zemin özelliklerini iyileştirmek amacıyla kirecin zemine ilave edilmesidir. Zemine ilave edilen kireç türleri; hidratlı yüksek kalsiyumlu kireç, monohidratlı dolomit kireç, kalsit sönmemiş kireç ve dolomit kireçtir. Çoğu zemin stabilizatöründe kullanılan kireç miktarı %5 ila %10 aralığında değişmektedir. Kireç modifikasyonu, pozolanik reaksiyonun getirdiği çimentolama etkisinden ziyade katyon değişim kapasitesinin getirdiği mukavemet artışını tanımlar (Afrin, 2017). Kirecin zemine karıştırılması üç farklı şekilde gerçekleştirilebilir. Bir yöntem; kireç ile zeminin karıştırılarak belirli oranda su eklenerek sıkıştırılmasıdır. Başka bir yöntemde ise zemin, kireç ve suyun istenilen oranda karıştırılması ve karışımın sahada sıkıştırılması yöntemidir. Diğer bir yöntemde, kireç-su karışımı basınç ile zemine enjekte edilir. Bu yöntem sayesinde zemin karışımı 4-5 m derinliğe kadar iletilebilmekte ve sonrasında karışım çeşitli yöntemlerle sıkıştırılmaktadır (Aysu, 2020).

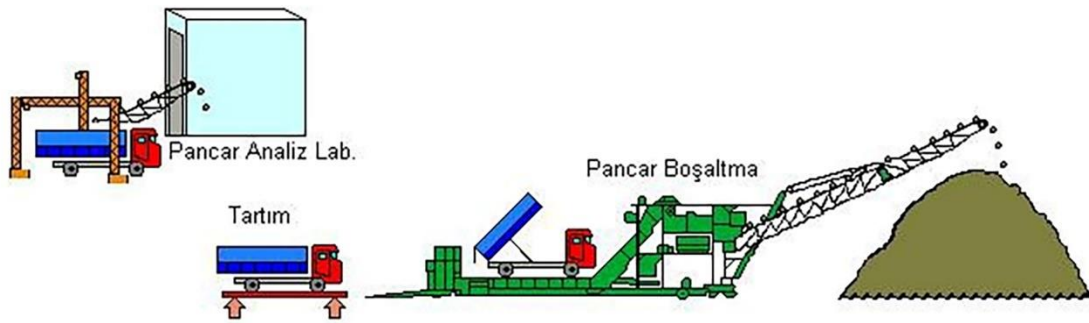
Kireç stabilizasyon teknolojisi çoğunlukla geoteknik ve çevresel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulamalardan bazıları, kireç bazlı dolgular, otoyol kaplaması, şev stabilizasyonu ve kireç yığını veya kireç stabilize zemin kolonlarının kullanımı gibi temel iyileştirmeyi içerir (Dash ve Hussain, 2012).

3.9. Pres Filtre Atık Kireç Çamuru (PKF)

Türkiye'de şeker pancarı tarımı, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri dışında tüm ülkeye yayılmıştır. Türkşeker 2020 yılı verilerine göre; Türkiye’de 3.363.000 dekarlık alanda ekilen pancardan elde edilen üretim 23 milyon 25 bin ton’dur. 2020 yılındaki verim ise 6846 ton/dekar’dır (Anonim, 2020). 2019 yılı verilerine göre Türkiye’deki şeker pancarı üretiminin %31,2’si Konya’da gerçekleştirilmektedir (Şentürk, 2020).

Birçok sektörel alanda olduğu gibi şeker sektöründe de hammaddelerin işlenmesi esnasında atık ürünler oluşmaktadır. Atık ürünlerin değerlendirilmesi ve çevre kirliliğinin ortadan kaldırılması oldukça önemlidir. Pres filtre atık toprağı (PKF) ve dekanter çamuru (DS) şeker fabrikalarının atık ürünleri arasındadır (Namlı ve ark., 2020). DS, meyve suyu üretiminde yoğunluk farkından dolayı üstteki sıvıdan ayrılan dibe çöken katı çamurumsu yapıdır. PKF, karbonatlama işlemi sonrasında süzme yoluyla meyve suyundan ayrılan atıktır. Konya Şeker Merkez ve Çumra Fabrikalarında yaklaşık 200.000 ton/yıl atık kireç çamuru (PKF) oluşmaktadır.

Şeker endüstrisinde; fabrikaya gelen şeker öncelikle tarla toprağından ayrıştırılarak yıkanır, kıyılır, haşlanır ve difüzyonla şekeri alınır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6.Şeker pancarının tarla toprağından ayrıştırılma işlemi (Türkşeker, 2021)

3.9.1. PKF atığının kimyasal bileşenleri

PKF filtre atığının kimyasal bileşimi Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. PKF filtre atığının kimyasal bileşimi (Topçu ve Sofuoğlu, 2017)

Bileşen Kütlesi (%)	
MgO	2.0242
Al ₂ O ₃	1.2064
SiO ₂	3.748
P ₂ O ₅	0.1948
SO ₃	0.2142
K ₂ O	0.091
CaO	56.3714
TiO ₂	0.0783
Cr ₂ O ₃	0.0392
Fe ₂ O ₃	1.0255
BaO	0.2331
Sınırlayıcı Oksijen İndeksi (LOI)	34.774

4. YÖNTEM

4.1. Kullanılan Malzeme ve Ekipman

4.1.1. Yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminler

Yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminler, Konya'nın merkez ilçesi Selçuklu'daki 2. Organize Sanayi Bölgesi'nden temin edilmiştir. Araziden alınan kil zeminler, Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Bilim Dalı'ndaki laboratuvara getirilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Öğütülmemiş halde laboratuvara getirilen yüksek (A) ve düşük (B) plastisiteli kil

Kil zeminler, öğütebilmek amacıyla 100 °C'deki etüvde 48 saat bekletilerek kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrasında öğütme makinesinde kil zeminler öğütülmüş (Şekil 4.2) ve kil zeminleri sınıflandırmak için elek analizi, hidrometre ve kıvam limit deneyleri yapılmıştır.



Şekil 4.2. Laboratuvarda kurutularak öğütülen yüksek (A) ve düşük (B) plastisiteli kil

4.1.2. PKF atığı

Konya Şeker Fabrikası'ndan preslenmiş atık kireç çamuru (PKF) alınarak Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Bilim Dalı'ndaki laboratuvara getirilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Konya Şeker Fabrikası'ndan alınan preslenmiş atık kireç çamuru (PKF)

PKF atık kireç çamuru, diğer killi zeminlerle karıştırılarak zemin stabilizasyon maddesi olarak kullanılabilmesi için yukarıda bahsedilen etüvde kurutma (105 °C'de 48 saat) ve öğütme aşamalarından geçirilmiştir. (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Laboratuvarda öğütülen ve kurutulan preslenmiş atık kireç çamuru (PKF)

4.1.3. Çimento

Çalışmada, zemin stabilizasyon maddesi olarak CEM I 42,5 R Portland Çimento kullanılmıştır. (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Deneysel çalışmada kullanılan CEM I 42,5 R Portland çimentosu

4.1.4. Kireç

Çalışmada, zemin stabilizasyon maddesi olarak sönmüş kireç Ca(OH)_2 kullanılmıştır. (Şekil 4.6).



Şekil 4 6. Deneysel çalışmada kullanılan sönmüş kireç

4.2. Deneyler ve Numune Hazırlanması

4.2.1. Elek analizi deneyi

Konya 2. Organize Sanayi Bölgesi'nden laboratuvar ortamına getirilen kil zeminlerin granülometrisini belirlemek amacıyla yıkamalı elek analizi deneyi (ASTM D6913 standardına göre) yapılmıştır.. Kil zeminler, en fazla elek açıklığına sahip 4 no'lu elekten en az elek açıklığına sahip 200 no'lu eleğe kadar farklı eleklerden geçirilmiştir. (Çizelge 4.1).

Çizelge 4. 1. ASTM D6913 standartlarına göre elek ve açıklık değerleri

ASTM D6913	
Elek No	Elek Açıklığı (mm)
4	4.75
10	2.00
20	0.85
40	0.425
60	0.250
100	0.150
140	0.106
200	0.075

4.2.2. Hidrometre deneyi

Gözle görülemeyecek kadar küçük olan zeminler (tane çapı 0.075 mm veya daha küçük) için ıslak analiz (hidrometre) deneyi ASTM D7928 standardına göre yapılmıştır. Elekten geçen kuru zeminden 50 gr numune alınarak zeminlerin birbirine yapışması önlemek için içerisinde 5 gr sodyum hekza meta fosfat eklenerek 1000 ml'lik süspansiyon hazırlanmıştır. (Şekil 4.7).



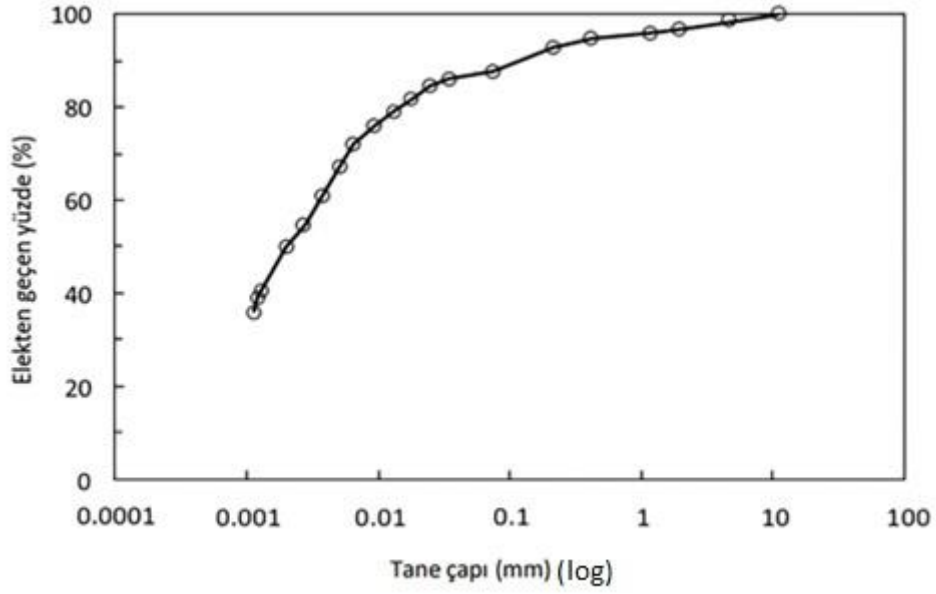
Şekil 4 7. Hidrometre deneyi

Ortam şartlarının değiştiği durumlarda deney ortamının optimize edilmesi için hidrometreler belirli sıcaklıkta kalibre edildi.

Ysek plastisiteli kil zeminin elek analizi ve hidrometre deneyinin sonuçları izelge 4.2 ve şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Ysek plastisiteli kil zeminin elek analizi ve hidrometre deneyinin sonuçları

G (akıl)	%1.60
S (Kum)	%10.80
M (Silt)	%37.70
C (Kil)	%49.90

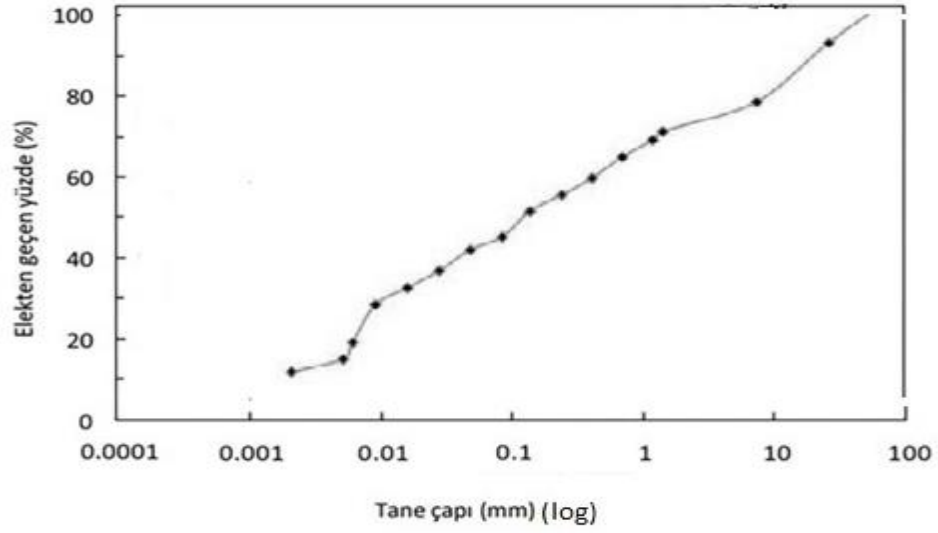


şekil 4.8. Ysek plastisiteli zeminin elek analizi ve hidrometre deneyinin sonuçları

Düşük plastisiteli kil zeminin elek analizi ve hidrometre deneyinin sonuçları izelge 4.3 ve şekil 4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4. 3. Düşük Plastisiteli Zeminin elek analizi ve hidrometre deneyinin sonuçları

G (akıl)	%10
S (Kum)	%25
M (Silt)	%37
C (Kil)	%28

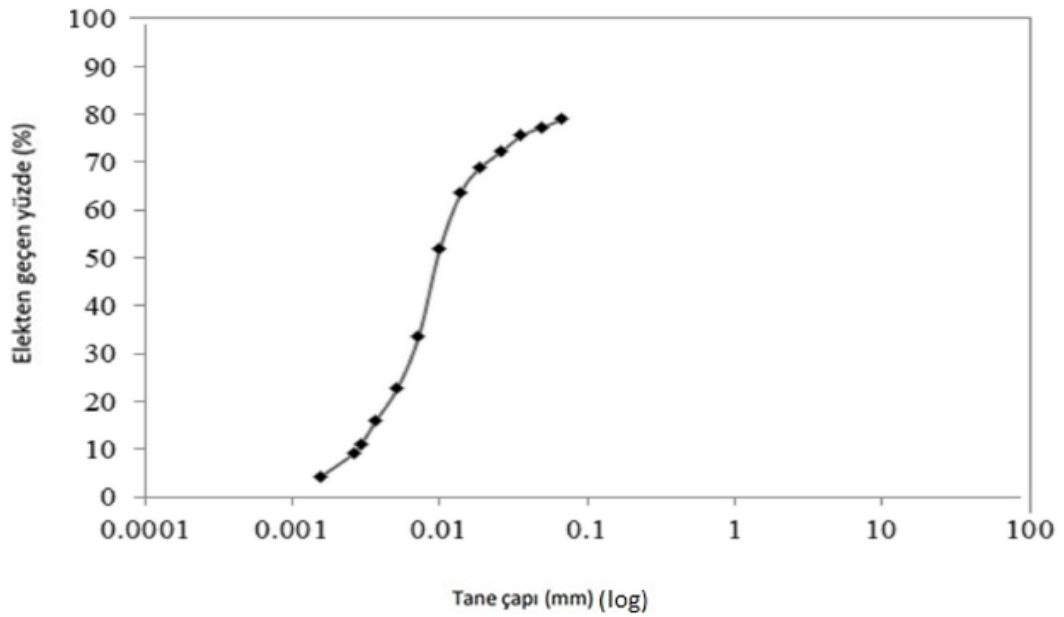


Şekil 4.9.Düşük plastisiteli kil zeminin elek analizi ve hidrometre deneyinin sonuçları

Pres filtre atık kireç çamuru (PKF)'nın hidrometre deneyinin sonuçları Çizelge 4.3 ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. PKF için hidrometre deneyi sonuçları

4.75-0.075 mm	-
0.075-0.002 mm	%94
<0.002 mm	%6



Şekil 4.10. PKF hidrometre deneyinin sonuçları

4.2.3. Piknometre deneyi

Piknometre deneyi ile yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminlerin ve PKF atığının tane yoğunluğu (ρ_s) belirlendi. Pikometre deneyinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Piknometre deneyi sonuçları

	$M_1 = \text{şişe (g)}$	$M_2 = \text{şişe + kuru zemin (g)}$	$M_3 = \text{şişe + kuru zemin + su (g)}$	$M_4 = \text{şişe + su (g)}$	$\rho_s \text{ (g/cm}^3\text{)}$
Yüksek Plastisiteli Zemin (CH)	38.31	53	148.66	139.49	2.66
Düşük Plastisiteli Zemin (CL)	38.31	52,9	148.56	139.46	2.64
PKF atığı	91.51	105,01	358.76	35083	2.42



Şekil 4.11. Piknometre deneyi vakumlama işlemi

4.2.4. Kıvam limit deneyleri

Limitler, laboratuvarında ölçülen belirli kıvam derecelerini üretmek için gereken su içeriği ile tanımlanır. Atterberg limitleri olarak da adlandırılan kıvam limitleri, karışımdaki su içeriğinden etkilenen yapay zemin ve su karışımlarının işlenebilirliği veya sertliğinin indeksleridir. Likit limit testi, zemin mekaniğinde en yaygın kullanılan testlerden biridir ve elde edilen değer, zemin mukavemeti gibi çeşitli zemin özellikleriyle ilişkilendirilir. Atterberg limitleri, zemindeki su içeriğinin azalmasına bağlı olarak likit limit, plastik limit ve rötre limiti olarak sınıflandırılmaktadır.

Likit limit: Herhangi bir zeminin kendi ağırlığı altında akabilmesi için gerekli olan su içeriğidir. Likit limit deneyi, ASTM D 4318-98 standardına göre Casagrande ve Koni penetrasyon yöntemiyle yapılmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Casagrande likit limit deneyi

Koni penetrasyon deneyi, zeminin geoteknik mühendislik özelliklerini belirlemede kullanılan bir yöntemdir (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14). Deneydeki amaç; belirli bir ağırlığa sahip konik ucun 5 sn süreyle kap içindeki zemine batma miktarının ölçülmesi ve farklı su içeriğine sahip zeminlerin su içeriği ile batma miktarı arasındaki ilişkiden likit limiti belirlemektir.



Şekil 4.13. Killi zeminler için koni penetrasyon deneyi

Plastik limit: Zeminin davranışının plastikten yarı-katı duruma değiştiği su içeriğini tanımlar. Plastik limit deneyindeki amaç; plastik kıvamda bulunan zeminin en düşük su içeriğinin tespit edilmesidir. Deney, ASTM D 4318-98 standardına uygun olarak yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan yüksek plastisiteli kilin (Çizelge 4.6) kıvam limit deneyi sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Yüksek plastisiteli kilin kıvam limit deneyi sonuçları

Likit limiti (LL)	%52
Plastik limiti (PL)	%22.70
Plastisite indisi (PI)	%29.30
Zemin sınıfı	CH

Çalışmada kullanılan düşük plastisiteli kilin (Çizelge 4.7) kıvam limit deneyi sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Düşük plastisiteli kilin kıvam limit deneyi sonuçları

Likit limiti (LL)	%32.90
Plastik limiti (PL)	%21.50
Plastisite indisi (PI)	%11.40
Zemin sınıfı	CL

Çalışmada kullanılan press filtre atık çamuru(PKF) non-plastik yapıda olduğundan dolayı kıvam limitleri deneyleri yapılamamıştır

4.2.5. Kompaksiyon deneyi

Kompaksiyon, su ve tane hacmi sabit zeminlerin tabakalar halinde serilmesi sonucunda mekanik araçlarla sıkıştırılması işlemidir. Statik sıkıştırma işlemlerinde zemin, kademeli olarak uygulanan statik bir kuvvetle sıkıştırılır. Uygulamada, gevşek zemin bir kap içinde hapsedilir ve sıkıştırma, bir pistonun kademeli hareketi ile sağlanır. Herhangi bir zeminin taşıma gücünü artırmak; hareketli, dinamik ya da sabit yüklerin meydana getirdiği oturma etkilerini azaltmak; zeminin geçirgenliğinin azalıp su almasını engellemek amacıyla kompaksiyon deneyleri yapılır. Kompaksiyon deneyi, farklı su muhtevasına sahip zeminlerde yapılır ve deney sonucunda zeminlerin optimum su muhtevası ve maksimum kuru yoğunluğu tespit edilir.

Zeminin kompaksiyon davranışı ASTM D698-12e2 standardına göre yapılan standart kompaksiyon deneyi ile belirlenmiştir (Şekil 4.16). Buna göre zeminin optimum

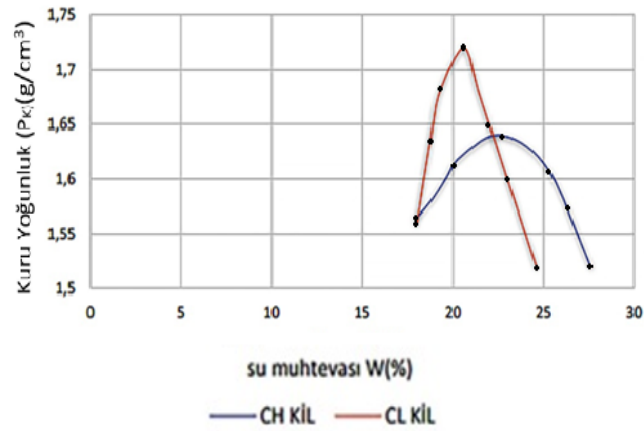
su muhtevası (W_{opt}) ve maksimum kuru yoğunluğu (ρ_{kmax}) bulunmaktadır. Kompaksiyon deney sonuçları Çizelge 4.8 ve Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Kompaksiyon deneyi

Çizelge 4.8. Kompaksiyon deneyi sonuçları

No	Zemin Sınıfı	Optimum Su Muhtevası (W_{opt})	Kuru Yoğunluğu (ρ_{kmax})
1	CH	%22.60	1.64 g/cm ³
2	CL	%20.60	1.72 g/cm ³



Şekil 4.15. Kompaksiyon deneyi sonuçları

4.2.6. PKF atığındaki organik maddelerin belirlenmesi

PKF içeriğindeki organik maddelerin tespiti için; başlangıçta bir miktar öğütülmüş PKF, 105 °C'deki etüvde 24 saat kurutulmuştur. Kurutulan PKF içeriği daha sonra 400 °C'deki diğer etüvde 24 saat bekletilmiştir. (Şekil 4.18 ve Şekil 4.19).

$$\text{Organik madde oranı} = \frac{105\text{ °C'den } 400\text{ °C'ye ağırlık farkı}}{105\text{ °C'deki kuru ağırlık}}$$

(3.8)

$$\text{Organik madde oranı} = \frac{40 - 36.52}{36.52} = 0.095$$



Şekil 4.16. Yüksek sıcaklıkta çalışan etüv



Şekil 4.17. 105 °C'de (A) ve 400 °C'de (B) kurutulan PKF

4.2.7. Kil-PKF numunelerinin hazırlanması

Konya II. Organize Sanayi Bölgesindeki düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlerin stabilizasyonu için atık kireç çamuru (PKF) kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, kurutulmuş ve öğütülmüş yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminler ile karıştırılmak üzere kuru ağırlıkları sırasıyla %5, %10, %15 ve %20 olan preslenmiş kireç atığı (PKF) her iki zemin için ayrı ayrı eklenerek deneyler yapılmıştır. Her iki zemine eklenen farklı kuru ağırlıklara sahip PKF ile zemin homojen şekilde karıştırılmıştır (Şekil 4.20 ve Şekil 4.21).



Şekil 4.18. Yüksek plastisiteli kilin PKF ile karışımı



Şekil 4.19. Düşük plastisiteli kilin PKF ile karışımı

Zemin (CH, CL)-PKF karışımına eklenecek su miktarı, kompaksiyon deneyinden elde edilen veriler dikkate alınarak optimum su muhtevası değerine göre belirlenip buna göre su eklenmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.20. Yüksek (CH)-PKF ve düşük (CL)-PKF plastisiteli killerin optimum su muhtevası karışımı

Zemin (CH, CL)-PKF-optimum su karışımı; serbest basınç deneyi için numuneler, Modifiye edilmiş, minyatür Harvard kompaksiyon aleti (Şekil 4.23) kullanılarak 38 mm çapa ve 76 mm yüksekliğe sahip kaplarda sıkıştırılması sonucunda elde edilmiştir.



Şekil 4.21. Modifiye edilmiş, minyatür Harvard kompaksiyon aleti

Kür süresi 7, 15 ve 28 gün olan numuneler, kapalı kutu içerisinde hava almayacak şekilde sarılarak saklanmıştır.

Kesme kutusu deneyinde, numune sayısının fazlalığından dolayı PKF, kireç ve çimento karışımlarının $M_{yaş}$ 'ı (optimum su muhtevasında) aşağıdaki formül kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$\rho_n = \frac{M_{yaş}}{V_{tüm}} \quad (3.9)$$

$M_{yaş}$ hesaplandıktan sonra 60x60x20 boyutlarındaki kutularda özel hazırlanan tokmak yardımıyla Şekil 4.24'te gösterilen alette sıkıştırılarak numuneler elde edilmiştir. Numunelerin kür süreleri boyunca serbest basınç deneyindeki gibi hava almayacak şekilde saklanmıştır.



Şekil 4.22. Kesme kutusu deneyi için numunelerin hazırlanışı

Preslenmiş atık kireç çamurunun (PKF) kil zeminlerin stabilizasyonunda etki derecesini belirlemek amacıyla, aynı kil zeminler benzer reaksiyon gösteren günümüzde stabilizasyon özellikleri bilinen çimento ve kireç ile aynı oranlarda stabilize edilerek kayma mukavemeti parametreleri karşılaştırılmıştır.

4.2.8. Kil-Çimento numunelerinin hazırlanması

Kurutulmuş ve öğütülmüş yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminler ile karıştırılmak üzere kuru ağırlıkları sırasıyla %5 ve %10 olan CEM I 42,5 R Portland Çimento her iki zemin için ayrı ayrı eklenmiştir. Her iki zemine eklenen farklı kuru ağırlıklara sahip çimento ile zemin homojen şekilde karıştırılmıştır. (Şekil 4.25)



Şekil 4.23. Zemin-çimento karışımı

Zemin (CH, CL)-çimento karışımına eklenecek su miktarı, kompaksiyon deneyinden elde edilen veriler dikkate alınarak optimum su muhtevası değerine göre belirlenmiş ve eklenmiştir. (Şekil 4.26)



Şekil 4.24. Zemin-çimento optimum su muhtevası ile karışımı

Zemin (CH, CL)-çimento-optimum su karışımı; Modifiye edilmiş, minyatür Harvard kompaksiyon aleti kullanılarak serbest basınç deneyi için numuneler, 38 mm çapa ve 76 mm yüksekliğe sahip kaplarda sıkıştırılması sonucunda elde edilmiştir. Numunelerin kür süresi 0, 7, 15 ve 28 gün olmak üzere kapalı kutu içerisinde hava almayacak şekilde streç sarılarak korunmuştur.

Kesme kutusu deneyi için numuneler, 60x60x20 boyutlarındaki kutularda sıkıştırılarak elde edilmiştir (Şekil 4.24). Numuneler kür süreleri boyunca diğer deneylerde olduğu gibi hava almayacak şekilde korunmuştur.

4.2.9. Kil-Kireç numunelerinin hazırlanması

Kurutulmuş ve öğütölmüş yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminler ile karıştırılmak üzere kuru ağırlıkları sırasıyla %5 ve %10 olan sönmüş kireç Ca(OH)_2 her iki zemin için ayrı ayrı eklendi. Her iki zemine eklenen farklı kuru ağırlıklara sahip sönmüş kireç ile zemin homojen şekilde karıştırılmıştır (Şekil 4.27).



Şekil 4.25. Zemin-kireç karışımı

Zemin (CH, CL)-kireç karışımına eklenecek su miktarı, kompaksiyon deneyinden elde edilen veriler dikkate alınarak optimum su muhtevası değeriine göre belirlenmiştir ve eklenmiştir (Şekil 4.28).



Şekil 4.26. Zemin-kireç optimum su muhtevası ile karışımı

Zemin (CH, CL)-kireç-optimum su karışımı; Modifiye edilmiş, minyatür Harvard kompaksiyon aleti kullanılarak serbest basınç deneyi için numuneler, 38 mm çapa ve 76 mm yüksekliğe sahip kaplarda sıkıştırılması sonucunda elde edilmiştir. Numunelerin kür süresi 0, 7, 15 ve 28 gün olmak üzere kapalı kutu içerisinde hava almayacak şekilde streç sarılarak korundu.

Kesme kutusu deneyi için numuneler, 60x60x20 boyutlarındaki kutularda sıkıştırılarak elde edilmiştir (Şekil 4.24). Numunelerin kür süreleri önceki deneylerdeki gibi hava almayacak şekilde korunmuştur.

4.2.10. Serbest basınç deneyi

Serbest basınç deneyinde; Harvard kompaksiyon aleti, numune düzeltme ve çıkartma aleti, 0.003 mm duyarlılıktaki okuma saati, yaklaşık 0.25 mm duyarlı boy kısılması ölçen deformasyon saati, kronometre, yaklaşık 0.01 gr duyarlılığa sahip terazi ve kumpas, spatula ve su içeriği ölçümü için kap ve milimetrik kâğıt kullanılmıştır. Serbest basınç deneyi ASTM D 2166-00 (2003) standardına göre yapılmıştır.

Deneyde, 2. Organize Sanayi Bölgesinden getirilen kil zeminler kullanılmıştır. Optimum su muhtevası tespit edilen yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminlere kuru ağırlıkça;

1-) %5, %10, %15 ve %20 oranında preslenmiş kireç atığı (PKF),

2-) %5 ve %10 oranında çimento,

3-) %5 ve %10 oranında kireç eklenmiştir. Hazırlanan her karışım için modifiye edilmiş minyatür Harvard kompaksiyon aleti ile optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı belirlenmiştir (Şekil 4.29).



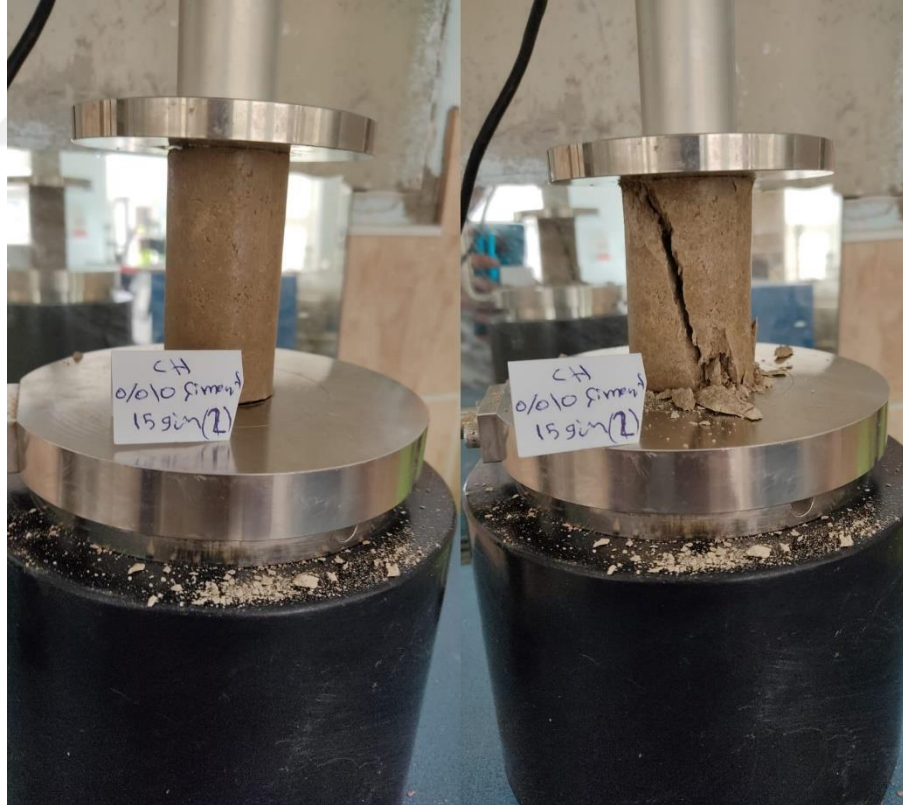
Şekil 4.27. Modifiye edilmiş minyatür Harvard kompaksiyon aleti

Harvard kompaksiyon aletinde sıkıştırma işlemi, 38 mm çapında ve 76 mm yüksekliğindeki silindir tüplerde yapıldı. Silindir tüpler içerisine Zemin-PKF, Zemin-Çimento, Zemin-Kireç karışımları ayrı ayrı koyuldu. Zemine eklenen katkı maddelerinin her birinin sayısı, oranı ve kür süreleri Çizelge 4.9'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.9. Serbest basınç deneyi için hazırlanan numuneler

Yüksek Plastisiteli Kil (CH)				Düşük Plastisiteli Kil (CL)			
Karışım	Yüzde (%)	Numune Sayısı	Kür Süresi (Gün)	Karışım	Yüzde (%)	Numune Sayısı	Kür Süresi (Gün)
PKF	%5	3	0/7/15/28	PKF	%5	3	0/7/15/28
	%10	3	0/7/15/28		%10	3	0/7/15/28
	%15	3	0/7/15/28		%15	3	0/7/15/28
	%20	3	0/7/15/28		%20	3	0/7/15/28
Çimento	%5	3	0/7/15/28	Çimento	%5	3	0/7/15/28
	%10	3	0/7/15/28		%10	3	0/7/15/28
Kireç	%5	3	0/7/15/28	Kireç	%5	3	0/7/15/28
	%10	3	0/7/15/28		%10	3	0/7/15/28
Toplam: 96				Toplam: 96			

Harvard kompaksiyon aletinde sıkıştırılmış silindir zemin numuneleri serbest basınç deneyi için, iki plaka arasına konuldu. Üstteki plaka sabit kalırken alttaki plaka, zemini 0.5 mm/dk yükleme hızıyla sıkıştırarak eksenel boy kısalmalarına karşılık gelen yük değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.30).

**Şekil 4.28.** Serbest basınç deneyi

Eksenel boy/ilk boy oranı hesaplanarak birim boydaki deformasyonlar tespit edilmiştir. Kırılma esnasındaki yükün, numunenin A_f en kesit alanına bölünmesiyle

gerilme değerleri hesaplanmıştır. Birim boydaki kısalmaya karşılık deformasyon-gerilme grafikleri çizilmiş ve eğrinin tepe noktası numunenin serbest basınç mukavemeti değeri alınmıştır. Zeminin ilk boyunda %15-%20 oranına kadar deformasyonda göçme tespit edilmediği durumlarda, %15-%20 boy kısalması anındaki gerilme değeri numune için serbest basınç mukavemeti olarak kabul edilmiştir. Deneyde, yükleme süresince zemin numunelerinde herhangi bir hacimsel değişiklik olmamıştır. Hesaplamalar aşağıdaki formüllere göre yapılmıştır:

$$q_u = \sigma_1 = P_{\max}/A_f \quad (4.1)$$

$$\epsilon = \Delta H / H_o \quad (4.2)$$

$$A_f = A_o / (1 - \epsilon) \quad (4.3)$$

$$\sigma_1 = P_{\max} / A_f \quad (4.4)$$

$$q_u = \sigma_1 \quad (4.5)$$

$$c = q_u / 2 \quad (4.6)$$

q_u : Serbest basınç direnci
 $P_{\max}$: Maksimum kırılma yükü
 ϵ : Eksenel boy değişimi
 A_f : Kırılma anında en kesit alanı
 A_o : Numunenin orijinal en kesit alanı
 σ_1 : Deviator gerilme
 c : Kohezyon

4.2.11. Kesme kutusu deneyi

Kesme kutusu deneyi hem kohezyonlu hem de kohezyonsuz zemin tiplerinde kullanılabilir. Deney, sabit yük altındaki zemin numunesinin kesilmesine imkn tanımaktadır. Herhangi bir zeminin; kohezyon, içsel sürtünme açısı ve drenajsız kayma dayanımının hesaplanmasında kesme kutusu deneyi kullanılmaktadır. Kesme kutusu deneyi ASTM D 3080-98 standardına göre yapılmıştır.

Zemin numunesi kesme kalıbına yerleştirilmiş ve üzeri delikli poroz taşı ile kapatılarak kesme işlemi yapılmıştır. Deney numuneleri serbest basınç deneyinde olduğu gibi optimum su muhtevasında Kil-PKF (%5, %10, %15 ve %20 oranında) ve Kil-imento/Kireç (%5 ve %10 oranında) karışımları, kutularda sıkıştırılarak elde edilmiştir (şekil 4.24), ve kalıbın vidaları çapraz olarak yerleştirilerek vidaları sıkıldı (izelge 4.8’de gösterildiği gibi işlemler ayrı ayrı zemin-karışım numunelerine uygulandı). Kesme

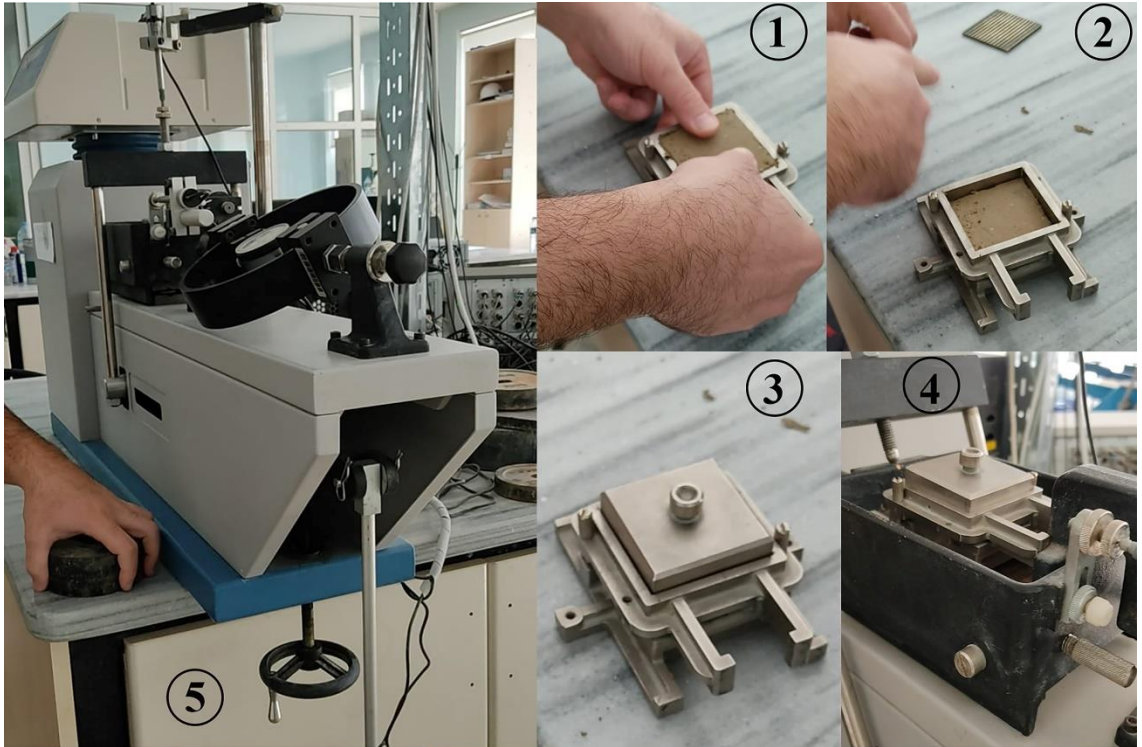
kutusu hazır hale getirilmiş ve cihazdaki yük hücresine koyulmuştur. Numunenin yerleştirildiği kalıp kutusunun vidaları cihazdaki yük hücresine konduktan sonra çıkarılmış ve yükleme kolu 100N, 200N ve 400N'luk yük değerlerine ayarlanarak ayrı ayrı uygulanmıştır . Deneye başlamadan önce deformasyon saatinin ayarı yapılmıştır . 1 mm/dk hızla gerçekleştirilen deneyde, yatay deformasyona karşılık gelen yük değerleri okundu ve kırılma esnasındaki kayma mukaveti değerleri tespit edilmiştir. Gerekli boşaltma işleminin ardından yük hücresindeki kalıp çıkarılmış . Aynı işlem 100 N, 200 N ve 400 N yüklerde uygulanarak zeminin kohezyon değeri (c) ve ϕ açısı hesaplanmıştır. Kesme kutusu deney denklemleri aşağıdaki formüllere göre elde edilmiştir:

$$\sigma_n = N/A \quad (4.7)$$

$$\tau_{max} = T_{max}/A \quad (4.8)$$

σ_n : Normal gerilmesi
 τ_{max} : Kayma gerilmesi
 T_{max} : Kırılma anındaki maksimum yükü
A: Kesit alanı

Şekil 4.31'de kesme kutusu deneyinin aşamaları özetlenmiştir.



Şekil 4.29. Kesme kutusu deneyinin aşamaları

4.2.12. Konsolidasyon deneyi

Killi zeminlerin sabit gerilmeler altında, zamana bağılı olarak, bünyelerindeki suyun dışarı çıkması ile sıkışması olayına konsolidasyon adı verilir. Konsolidasyon deneyi ödometre aleti ile yapılır. Suyu doymuş haldeki örselenmemiş zeminin yanıl deformasyonu engellenerek düşey yönde basınç etkisiyle drene olması sonucu zemindeki boşluk miktarının azalma miktarı ölçülerek yapılır.

Ödometre aleti; konsolidasyon hücresi, konsolidasyon halkası, 2 adet poroz taşı, deformasyon okuyucu ve yük kolu olmak üzere çeşitli kısımlardan oluşmaktadır. Deney ASTM D2435 standardına göre yapılmış ve deneyde 50 mm çapında ve 20 mm yüksekliğindeki halkalar kullanılmış. Optimum su muhtevasında hem düşük hem de yüksek plastisiteli killer için %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında PKF atığı eklenerek hazırlanan numuneler su muhtevasını kaybetmeyecek şekilde 15 gün kür süresince bekletilmiştir (Şekil 4.32).



Şekil 4.30. Konsolidasyon deneyinin aşamaları

Başlangıçta, konsolidasyon halkaları içerisine yerleştirilecek zemin-PKF karışımının $M_{yaş}$ değeri formül 3.9'a göre hesaplanmıştır. Hesaplanan zemin-PKF karışımı, sıkıştırma aleti yardımıyla halka içerisinde sıkıştırılmıştır. Daha sonra halkaların yüzeyi düzleştirildi ve alt ve üst yüzeyine poroz taşları yerleştirilerek konsolidasyon halkasına konyunmuştur. Halkanın konsolidasyon içerisinde yatay yöndeki hareketi

engellemek için vidalar ile sabitlenmiş. Konsolidasyon hücresinin deformasyon okuma saati ayarlanarak içerisine bir miktar su ilave edildi ve deneye hazır hale getirilmiş. 25, 50, 100, 200, 400 kPa gerilmeler uygulanarak konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Deneyin sonucunda, boşluk oranı (e)-konsolidasyon basıncı (σ) grafiği çizilmiştir. Grafiğin logaritmik eksenlerdeki değerlerine göre zeminin sıkışma indisi (C_c), kabarma indisi (C_s), gibi parametreleri tespit edilmiştir.

4.2.13. Permeabilite deneyi

Permeabilite ya da geçirimsizlik, suyun zemin içerisindeki akışını ifade eden hız boyutundaki zemin özelliğidir. Zemin içerisindeki boşluklar birbiriyle bağlantılıdır ve su bu boşluklar içerisinde yüksek enerjili konumdan daha düşük enerjili konuma hareket etme eğilimindedir. Doygun halde bulunan zemin içerisindeki suyun hareketi geçirimsizlikle ilişkilidir ve zemin türüne göre değişkenlik göstermektedir. Zeminlerin geçirgenliği etkileyen temel faktörler; zeminin boyutu, yapısı ve dağılımı, boşluk oranı ve zeminin suya doygunluk derecesidir.

Laboratuvar ortamında herhangi bir zeminin geçirgenlik değeri farklı yöntemlerle hesaplanabilir. Kil zeminlerin geçirimsizliği genellikle düşen düzeyli geçirimsizlik yöntemi ile hesaplanmaktadır. Zaman tasarrufu açısından üç eksenli veya konsolidasyon deneylerinden de faydalanılabilir. 10 cm yüksekliğe ve 4,65 cm çapa sahip numune kalıbı içerisinde sıkıştırılarak düşen düzeyli geçirimsizlik deneyi yapılmıştır. Zemin, suda bekletilerek doymuş hale getirilmiştir ve şişmeyi önlemek için alt ve üst plakalar sabitlenmiştir. Doygun hale gelen zeminler permeabilite deneyi için hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan numuneler, üst kısımda su girişi olan alt kısımda ise su çıkışı olan kaplara yerleştirilmiştir (Şekil 4.33).



Şekil 4.31. Permeabilite deneyi

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Karışım Oranları

5.1.1. Kil-PKF karışım oranı

Çalışmada kullanılan yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminlerdeki PKF karışım oranları Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2 'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Yüksek plastisiteli kil zemindeki PKF karışım oranlarına göre optimum su muhtevası

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı madesi yüzdesi (%)	Optimum su muhtevası $w_{op}(\%)$	P_{kmax} (g/cm ³)
1	CH	PKF	5	23.00	1.626
2	CH	PKF	10	23.40	1.621
3	CH	PKF	15	24.40	1.608
4	CH	PKF	20	26.00	1.587

Çizelge 5.2. Düşük plastisiteli kil zemindeki PKF karışım oranlarına göre optimum su muhtevası

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı madesi yüzdesi (%)	Optimum su muhtevası $w_{op}(\%)$	P_{kmax} (g/cm ³)
1	CL	PKF	5	18.00	1.695
2	CL	PKF	10	18.30	1.691
3	CL	PKF	15	18.50	1.688
4	CL	PKF	20	18.80	1.684

5.1.2. Kil-Çimento karışım oranı

Çalışmada kullanılan yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminlerdeki çimento karışım oranları Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te verilmiştir

Çizelge 5.3. Yüksek plastisiteli kil zemindeki çimento karışım oranlarına göre optimum su muhtevası

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı madesi yüzdesi (%)	Optimum su muhtevası $w_{op}(\%)$	P_{kmax} (g/cm ³)
1	CH	Çimento	5	23.40	1.621
2	CH	Çimento	10	23.60	1.618

Çizelge 5.4. Düşük plastisiteli kil zemindeki çimento karışım oranlarına göre optimum su muhtevası

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı madesi yüzdesi (%)	Optimum su muhtevası $w_{op}(\%)$	P_{kmax} (g/cm ³)
1	CL	Çimento	5	20.00	1.667
2	CL	Çimento	10	21.00	1.653

5.1.3. Kil-Kireç karışım oranı

Çalışmada kullanılan yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminlerdeki kireç karışım oranları Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.5. Yüksek plastisiteli kil zemindeki kireç karışım oranlarına göre optimum su muhtevası

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı madesi yüzdesi (%)	Optimum su muhtevası $w_{op}(\%)$	P_{kmax} (g/cm ³)
1	CH	Kireç	5	30.00	1.538
2	CH	Kireç	10	31.00	1.527

Çizelge 5.6. Düşük plastisiteli kil zemindeki kireç karışım oranlarına göre optimum su muhtevası

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı madesi yüzdesi (%)	Optimum su muhtevası $w_{op}(\%)$	P_{kmax} (g/cm ³)
1	CL	Kireç	5	23.00	1.626
2	CL	Kireç	10	23.68	1.617

5.2. Serbest basınç deneyi sonuçları

Optimum su muhtevasında hazırlanan katkısız ve katkılı kil zeminin, 38 mm çapında 76 mm yüksekliğindeki hazırlanmış deney numunelerinin serbest basınç deney sonuçları Çizelge 5.7-5.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Katkısız ve PKF karışımlı yüksek plastisiteli kil zeminde serbest basınç deney sonuçları

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı maddesi yüzdesi (%)	Kür süresi (gün)	Serbest basınç mukavemeti $\sigma(kN/m^2)$
1	CH	-	0	0	81.31
				0	83.99
				7	85.04
2	CH	PKF	5	15	134.80
				28	118.40
				0	97.23
				7	122.25
3	CH	PKF	10	15	154.60
				28	127.80
				0	101.99
				7	112.87
4	CH	PKF	15	15	160.77
				28	152.20
				0	87.71
				7	88.33
5	CH	PKF	20	15	138.31
				28	114.65

Çizelge 5.8. Katkısız ve PKF karışımı düşük plastisiteli kil zeminde serbest basınç deney sonuçları

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı maddesi yüzdesi (%)	Kür süresi (gün)	Serbest basınç mukavemeti σ (kN/m ²)
1	CL	-	0	0	64.56
				0	80.21
2	CL	PKF	5	7	92.25
				15	109.34
				28	131.41
3	CL	PKF	10	0	116.94
				7	122.11
				15	157.46
				28	196.52
4	CL	PKF	15	0	129.03
				7	132.53
				15	164.34
				28	210.24
5	CL	PKF	20	0	107.70
				7	118.26
				15	137.64
				28	155.53

Yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminlerdeki serbest basınç mukavemeti; aynı kür süreleri içerisindeki %0, %5, %10 ve %15'lik PKF katkısı ile artmıştır. En yüksek mukavemet ise %15'lik PKF ilavesi sonucunda elde edilmiştir. Mukavemet, %15'ten sonraki PKF ilavesi ile azalmaya başlamıştır.

Al-Kiki ve ark. (2011) killi zeminin kuru ağırlığına göre zemine farklı oranlardaki endüstriyel atık kireç (şeker fabrikası yan ürünü) (%2, %4, %6 ve %8) ilave etmiştir. Zemine ilave edilen %6 oranındaki atık kireç içeriğinin kürlenme süresi ile artarak zeminin maksimum serbest basınç dayanımına ulaştığı sonucuna varılmıştır. Artan atık kireç ilavesinin zemin mukavemetini azalttığı ifade edilmiştir.

Topçu ve Sofuoğlu (2017) harç karışımı için çimento yerine PKF atığını kullanmıştır. Atığın çimento ağırlığı %5, %10, %15, %20 oranında kullanılarak harç karışımları elde edilmiş ve ağırlıkça %5'lik PKF atığı 7 günlük ortalama basınç dayanımının en yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.9. Katkısız ve çimento karışımı yüksek plastisiteli kil zeminde serbest basınç deney sonuçları

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı maddesi yüzdesi (%)	Kür süresi (gün)	Serbest basınç mukavemeti σ (kN/m ²)
1	CH	-	0	0	81.31
				0	710.33
2	CH	Çimento	5	7	1043,00
				15	1445.30
				28	1740.85
				0	1395.85
3	CH	Çimento	10	7	2433.45
				15	4218.25
				28	5175.64

Çizelge 5.10. Katkısız ve çimento karışımı düşük plastisiteli kil zeminde serbest basınç deney sonuçları

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı maddesi yüzdesi (%)	Kür süresi (gün)	Serbest basınç mukavemeti σ (kN/m ²)
1	CL	-	0	0	64.56
				0	210.39
2	CL	Çimento	5	7	780.34
				15	1055.29
				28	1456.65
				0	430.56
3	CL	Çimento	10	7	1963.30
				15	2890.74
				28	3159.69

Serbest basınç deneyi sonuçlarına göre düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlere ilave edilen farklı oranlardaki (%0, %5 ve %10) çimento katkısının zemin mukavemetini artırdığı belirlenmiştir. Artan kür süresi ile mukavemet değerinin artış gösterdiği ve maksimum değer %10'luk çimento ilavesi ile 28 günlük kür süresi sonucunda elde edildiği tespit edilmiştir.

Çiniçioğlu (1993) ince daneli zemine çimento katkısının, zeminin likit ve plastik limitini artırdığı ve plastisitesini azalttığını belirtmiştir. Ayrıca çimento ilavesinin ince daneli zeminin mukavemetini artırdığını ifade etmiştir.

Kılıç (2008) West Ashling ve Hamble kil zeminlerine, %20 ve %25 katkılı çimento numunelerini 7, 14 ve 28 günlük kür süreleri ile serbest basınç deneyleri uygulamıştır. West Ashling kil zeminde en yüksek mukavemet değeri, %25'lik çimento ilavesi sonucunda elde edilirken Hamble kil zemininde en yüksek mukavemet değeri %20'lik çimento ilavesinde elde edilmiştir.

Çizelge 5.11. Katkısız ve kireç karışımı yüksek plastisiteli kil zeminde serbest basınç deney sonuçları

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı maddesi yüzdesi (%)	Kür süresi (gün)	Serbest basınç mukavemeti σ (kN/m ²)
1	CH	-	0	0	81.31
2	CH	Kireç	5	0	320.21
				7	443.80
				15	649.56
				28	798.29
3	CH	Kireç	10	0	539.70
				7	772.03
				15	1104.61
				28	1312.75

Çizelge 5.12. Katkısız ve kireç karışımı düşük plastisiteli kil zeminde serbest basınç deney sonuçları

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı maddesi yüzdesi (%)	Kür süresi (gün)	Serbest basınç mukavemeti σ (kN/m ²)
1	CL	-	0	0	64.56
2	CL	Kireç	5	0	116.46
				7	559.21
				15	1467.31
				28	1706.13
3	CL	Kireç	10	0	131.41
				7	971.42
				15	2063.76
				28	2258.28

Serbest basınç deneyi sonuçlarına göre düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlere ilave edilen farklı oranlardaki (%0, %5 ve %10) kireç katkısının zemin mukavemetini artırdığı belirlenmiştir. Artan kür süresi ile mukavet değerinin artış gösterdiği ve maksimum değer %10'luk kireç ilavesi ile 28 günlük kür süresi sonucunda elde edildiği tespit edilmiştir.

Dinçer ve Belirgen (1991) ince daneli zemine, %4-6,5 oranında kireç ilavesi ile 7 ve 28 günlük numunelerdeki serbest basınç mukavemeti deneyi sonucunda ilk başta azalan mukavemet değerlerinin zamanla kür süresi ile doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir.

Soğancı (2004) killi zemine %6 oranındaki kireç ilavesi sonucunda; 1, 3, 7, 21 ve 28 günlük kür süresince mukavemet değerinin artış gösterdiği sonucuna varmıştır.

Çizelge 5.7-5.12’de verilen optimum su muhtevasında hazırlanan numunelerin serbest basınç deneyi sonuç grafikleri EK-1’de verilmiştir. Serbest basınç deneyi sonucu kırılan numuneler Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

Düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlerde PKF, çimento ve kireç katkı durumları için serbest basınç deney sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 5.13 ve Çizelge 5.14 de verilmiştir.

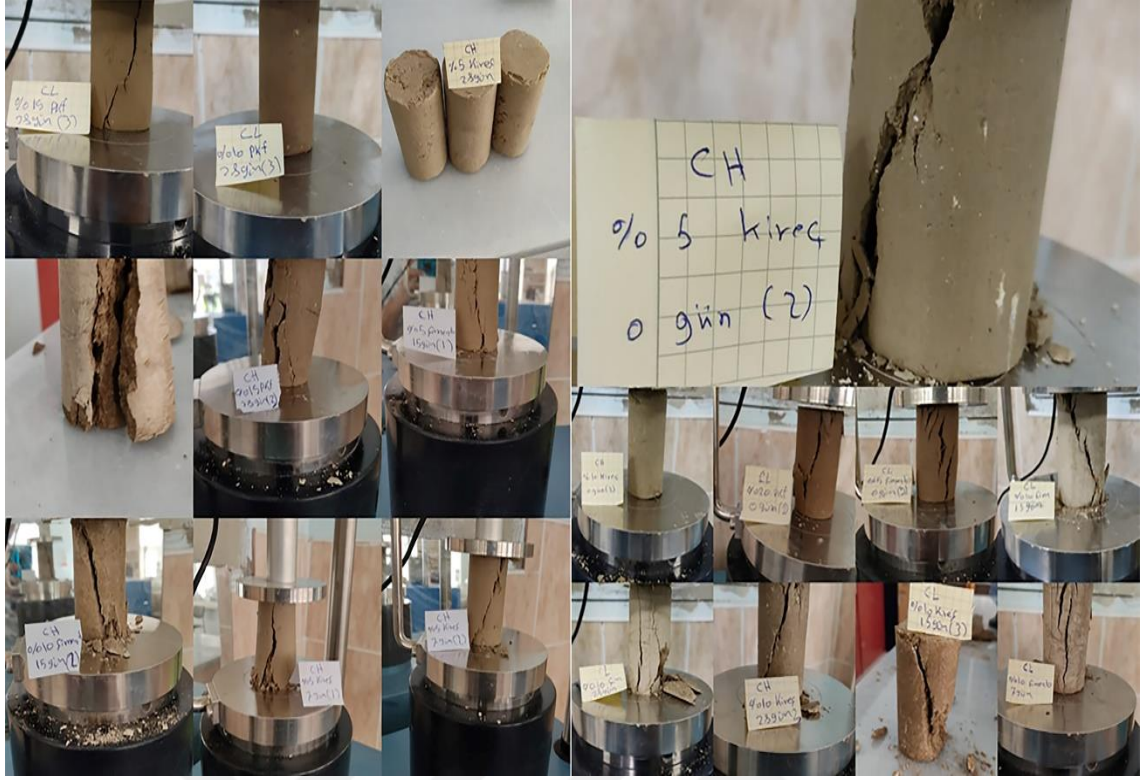
Çizelge 5.13. (PKF-çimento-kireç) katkı durumları için yüksek plastisiteli kil için serbest basınç deney sonuçları

CH	%5 katkılı				%10 katkılı			
	Kür süresi				Kür süresi			
	0	7	15	28	0	7	15	28
PKF	83.99	85.04	134.80	118.40	97.23	122.25	154.60	127.80
Çimento	710.33	1043.00	1445.30	1740.85	1395.85	2433.45	4218.25	5175.64
Kireç	320.21	443.80	649.56	798.29	539.70	772.03	1104.61	1312.75

Çizelge 5.14. (PKF-çimento-kireç) katkı durumları için düşük plastisiteli kil için serbest basınç deney sonuçları

CL	%5 katkılı				%10 katkılı			
	Kür süresi				Kür süresi			
	0	7	15	28	0	7	15	28
PKF	80.21	92.25	109.34	131.41	116.94	122.11	157.46	196.52
Çimento	210.39	780.34	1055.29	1456.65	430.56	1963.30	2890.74	3159.69
Kireç	116.46	559.21	1467.31	1706.13	131.41	971.42	2063.76	2258.28

PKF’nin granülometrik analizinde, % 94 oranında silt boyutundaki tanelerden oluştuğu, kil boyutundaki ince tane miktarının azlığı (% 6 civarında olması), ayrıca PKF içinde organik madde miktarının fazlalığı (% 9.5) PKF- kil zemin arasındaki puzzalonik reaksiyonu azaltmakta, PKF katkılı kil zeminlerin mukavemet değerleri çimento ve kireç katkılara göre daha düşük kalmaktadır.



Şekil 5.1. Serbest basınç deney sonrası kırılan numuneler

5.3. Kesme kutusu deneyi sonuçları

Optimum su muhtevasında hazırlanan numunelerin kesme kutusu deneyi sonuçları Çizelge 5.13-5.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.15. PKF karışımı yüksek plastisiteli kil zeminde kesme kutusu deneyi sonuçları

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı maddesi yüzdesi (%)	Kür süresi (gün)	Kohezyon(c) (kPa)	İçsel sürtünme açısı (ϕ)
1	CH	-	0	0	27.25	11.58
2	CH	PKF	5	0	29.66	12.31
				7	31.98	17.55
				15	39.55	22.15
				28	40.53	24.82
3	CH	PKF	10	0	29.89	17.09
				7	34.22	17.67
				15	40.97	19.29
				28	44.35	27.25
4	CH	PKF	15	0	30.37	21.81
				7	40.44	26.12
				15	47.17	27.28
				28	52.75	29.44
5	CH	PKF	20	0	22.38	14.58
				7	25.72	16.09
				15	27.59	21.57
				28	29.84	24.08

Çizelge 5.16. PKF karışımı düşük plastisiteli kil zeminde kesme kutusu deneyi sonuçları

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı maddesi yüzdesi (%)	Kür süresi (gün)	Kohezyon(c) (kPa)	İçsel sürtünme açısı (ϕ)
1	CL	-	0	0	16.13	19.75
2	CL	PKF	5	0	24.98	19.75
				7	32.20	26.68
				15	38.11	26.85
				28	48.21	28.33
3	CL	PKF	10	0	32.44	26.80
				7	36.99	29.49
				15	46.48	30.68
				28	49.50	31.98
4	CL	PKF	15	0	33.93	29.93
				7	39.76	32.36
				15	48.56	34.36
				28	51.98	35.20
5	CL	PKF	20	0	25.86	28.92
				7	35.23	30.84
				15	40.17	31.18
				28	44.11	34.51

Kesme kutusu deneylerinde, optimum su muhtevasında hazırlanan düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlere PKF ilavesi sonucunda kayma dayanımında belirli miktarlarda artış meydana gelmiştir. %15 katkı oranında artan kür süresi ile en yüksek kayma dayanımına ulaşılmıştır. PKF katkısı içerisindeki yüksek miktardaki kireç, flokülasyon ve aglomerasyon nedeniyle kil partiküllerinin hem içsel sürtünme açısında (ϕ) hem de kohezyonda (c) artışa sebep olmuştur. Bu olayların sonucu olarakta zeminde iyileşme meydana gelmiştir.

Assadi Langroudi ve ark. (2019) stabilizör olarak kullandığı çökeltilmiş kalsiyum karbonatın, doymuş modifiye zeminlerin plastisitesi artırarak ve kafes içi gözenek hacmini azaltarak kesme dayanımını artırdığını ifade etmiştir.

Çizelge 5.17. Çimento karışumlu yüksek plastisiteli kil zeminde kesme kutusu deneyi sonuçları

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı maddesi yüzdesi (%)	Kür süresi (gün)	Kohezyon(c) (kPa)	İçsel sürtünme açısı (ϕ)
1	CH	-	0	0	27.25	11.58
				0	33.200	26.94
2	CH	Çimento	5	7	129.37	41.65
				15	173.65	55.52
				28	237.68	39.69
				0	39.560	30.30
3	CH	Çimento	10	7	232.36	51.78
				15	274.05	53.69
				28	311.12	59.77

Çizelge 5.18. Çimento karışumlu düşük plastisiteli kil zeminde kesme kutusu deneyi sonuçları

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı maddesi yüzdesi (%)	Kür süresi (gün)	Kohezyon(c) (kPa)	İçsel sürtünme açısı (ϕ)
1	CL	-	0	0	16.13	19.75
				0	23.610	28.67
2	CL	Çimento	5	7	110.67	53.68
				15	174.23	56.75
				28	217.72	58.70
				0	22.090	39.31
3	CL	Çimento	10	7	188.53	54.41
				15	269.20	57.03
				28	359.19	55.12

Kesme kutusu deneylerinde, optimum su muhtevasında hazırlanan düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlere çimento ilavesi sonucunda kayma dayanımında belirli miktarlarda artış meydana gelmiştir. %10 katkı oranında artan kür süresi ile en yüksek kayma dayanımına ulaşılmıştır. Yapıştırma özelliğine sahip çimento, içerisinde bulunan bol miktardaki silis, kalkerli kil ve mineral parçalarından dolayı su ile reaksiyonu girerek çimento ile iyileştirilmiş kil yapısının partiküllerinin hem içsel sürtünme açısında (ϕ) hem de kohezyonda (c) artışa sebep olmuştur.

Kalava (1992) kil zeminin stabilizasyonunda, ağırlıkça farklı oranlardaki (%4, 6, 7, 8, 10, 12.5, 15 ve 20) çimento karışımlarını 2 hafta süre ile kür etmiştir. Kesme kutusu deneyi sonuçlarında; kayma mukavemeti açısının ağırlıkça %6 çimento içeren karışımda maksimum olduğu belirtilmiştir. Fakat, kayma mukavemeti açısının %6-8 ve %15-20 aralığındaki çimento karışımlarının da kabul edilebilir derecede yüksek olduğu ifade edilmiştir. %10-%20 arasındaki çimento katkısının kohezyon açısından optimum seçenek olduğu sonucuna varılmıştır.

İnan (2019) kumlu kil zemine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento ilave ederek zeminin içsel sürtünme açısını ve kayma mukavemeti değerlerini kesme kutusu deneyi ile test etmiştir. Numuneler, aynı gün ve 7 gün kür süreleri sonucunda deneye tabi tutulmuştur. İçsel sürtünme açısı değerinin, her iki kür süresince (aynı ve 7. gün) test edilen numunelerde %15 oranındaki çimento katkısında artış gösterdiği, %15'ten sonraki oranlardaki çimento katkısının ise azalış gösterdiği tespit edilmiştir. Her iki kür süresince (aynı gün ve 7. Gün), %5- %10 oranındaki çimento ilavesinde mukavemet değerlerinin arttığı, %10'dan sonraki ilavelerde ise azaldığı belirlenmiştir.

Çizelge 5.19. Kireç karışıklı yüksek plastisiteli kil zeminlere kesme kutusu deneyi sonuçları

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı maddesi yüzdesi (%)	Kür süresi (gün)	Kohezyon(c) (kPa)	İçsel sürtünme açısı (ϕ)
1	CH	-	0	0	27.250	11.580
2	CH	Kireç	5	0	31.280	26.48
				7	114.90	37.92
				15	120.72	46.52
				28	123.72	45.10
3	CH	Kireç	10	0	38.830	27.28
				7	126.73	42.51
				15	135.12	44.57
				28	143.24	55.53

Çizelge 5.20. Kireç karışıklı düşük plastisiteli kil zeminlere kesme kutusu deneyi sonuçları

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı maddesi yüzdesi (%)	Kür süresi (gün)	Kohezyon(c) (kPa)	İçsel sürtünme açısı (ϕ)
1	CL	-	0	0	16.130	19.75
				0	25.100	31.70
				7	75.430	36.85
2	CL	Kireç	5	15	121.72	44.35
				28	180.36	45.13
				0	28.850	26.80
				7	82.800	38.93
3	CL	Kireç	10	15	125.71	45.75
				28	173.16	49.83

Kesme kutusu deneylerinde, optimum su muhtevasında hazırlanan düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlere kireç ilavesi sonucunda kayma dayanımında belirli miktarlarda artış meydana gelmiştir. %10 katkı oranında artan kür süresi ile en yüksek kayma dayanımına ulaşılmıştır. Kireç, flokülasyon ve aglomerasyon nedeniyle kil partiküllerinin hem içsel sürtünme açısında (ϕ) hem de kohezyonda (c) artışa sebep olmuştur. Bu olayların sonucunda zeminde iyileşme meydana gelmiştir.

Kalava (1992) killi zemine ağırlıkça %1, 2, 3, 4, 6, 8, ve 15 kireç karışımı ilave etmiştir. 2 hafta kür süresi sonunda numuneleri kesme kutusu deneyinde test etmiştir. En yüksek kayma mukavemeti açısı değeri, %2 ve %15 kireç katkılı karışımlarda tespit edilmiştir. Maksimum kohezyon (c) değerine ise %8'lik karışımda ulaşıldığı ifade edilmiştir.

Soğancı (2004) Konya'nın Doğanhisar ilçesindeki düşük plastisiteli kil ve Aksaray ilindeki yüksek plastisiteli kil zeminlere %6 oranında kireç katkısı ile zeminlerin kohezyon ve içsel sürtünme açısını test etmiştir. Kil zemin-kireç karışımlarını 1, 3, 7, 21 ve 28 günlük kür süresince bekleterek kesme kutusu deneyini yapmıştır. Deney sonucunda; artan kür süreleri ile her iki kil zeminde hem kohezyon hem de içsel sürtünme açısı değerlerinde artış görülmüştür. En yüksek mukavemet değeri 28 günlük kür süresi sonucunda elde edilmiştir.

Çizelge 5.13-5.18'de verilen optimum su muhtevasında hazırlanan numunelerin kesme kutusu deneyi sonuç grafikleri EK-2'de verilmiştir.

Düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlerde PKF, çimento ve kireç katkı durumları için kesme kutusu deney sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 5.21-5.22 ve Çizelge 5.23-5.24 de verilmiştir.

Çizelge 5.21. (PKF-çimento-kireç) %5 katkı durumları için yüksek plastisiteli kil için kesme kutusu deneyi sonuçları

CH	%5 katkı							
	Kür süresi							
	0		7		15		28	
	(c)	(ϕ)	(c)	(ϕ)	(c)	(ϕ)	(c)	(ϕ)
PKF	29.65	12.31	31.98	17.55	39.55	22.18	40.53	24.82
Çimento	33.20	26.94	129.37	41.65	173.65	55.52	237.68	39.69
Kireç	31.280	26.48	114.90	37.92	120.72	46.52	123.72	45.10

Çizelge 5.22. (PKF-çimento-kireç) %10 katkı durumları için yüksek plastisiteli kil için kesme kutusu deneyi sonuçları

CH	%10 katkı							
	Kür süresi							
	0		7		15		28	
	(c)	(ϕ)	(c)	(ϕ)	(c)	(ϕ)	(c)	(ϕ)
PKF	29.89	17.09	34.22	17.67	40.97	19.29	44.35	27.25
Çimento	39.560	30.30	232.36	51.78	274.05	53.69	311.12	59.77
Kireç	38.830	27.28	126.73	42.51	135.12	44.57	143.24	55.53

Çizelge 5.23. (PKF-çimento-kireç) %5 katkı durumları için düşük plastisiteli kil için kesme kutusu deneyi sonuçları

CL	%5 katkı							
	Kür süresi							
	0		7		15		28	
	(c)	(ϕ)	(c)	(ϕ)	(c)	(ϕ)	(c)	(ϕ)
PKF	24.98	19.75	32.20	26.68	38.11	26.85	48.21	28.33
Çimento	23.610	28.67	110.67	53.68	174.23	56.75	217.72	58.70
Kireç	25.100	31.70	75.430	36.85	121.72	44.35	180.36	45.13

Çizelge 5.24. (PKF-çimento-kireç) %10 katkı durumları için düşük plastisiteli kil için kesme kutusu deneyi sonuçları

CL	%10 katkı							
	Kür süresi							
	0		7		15		28	
	(c)	(ϕ)	(c)	(ϕ)	(c)	(ϕ)	(c)	(ϕ)
PKF	32.44	26.80	36.99	29.49	46.48	30.68	49.50	31.98
Çimento	22.090	39.31	188.53	54.41	269.20	57.03	359.19	55.12
Kireç	28.850	26.80	82.800	38.93	125.71	45.75	173.16	49.83

5.4. Konsolidasyon deneyi sonuçları

Düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlere katkısız ve PKF katkılı olarak optimum su muhtevasında hazırlanan numunelerin (%0, %5, %10, %15 ve %20 katkılı PKF atığı) konsolidasyon deneyi sonuçları Çizelge 5.19 ve 5.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.25. PKF karışımlı yüksek plastisiteli kil zeminde konsolidasyon deneyi sonuçları

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı maddesi yüzdesi (%)	Kür süresi (gün)	Sıkışma indisi (C_c)	Kabarma indisi (C_s)
1	CH	-	0	0	0.07004	0.01227
2	CH	PKF	5	15	0.06978	0.01222
3	CH	PKF	10	15	0.05072	0.01079
4	CH	PKF	15	15	0.05408	0.02104
5	CH	PKF	20	15	0.04545	0.01228

Çizelge 5.26. PKF karışımlı düşük plastisiteli kil zeminlerde konsolidasyon deneyi sonuçları

Tasarım no	Kil	Katkı maddesi	Katkı maddesi yüzdesi (%)	Kür süresi (gün)	Sıkışma indisi (C_c)	Kabarma indisi (C_s)
1	CL	-	0	0	0.07923	0.06414
2	CL	PKF	5	15	0.07462	0.05945
3	CL	PKF	10	15	0.06050	0.00424
4	CL	PKF	15	15	0.05122	0.01272
5	CL	PKF	20	15	0.04618	0.00520

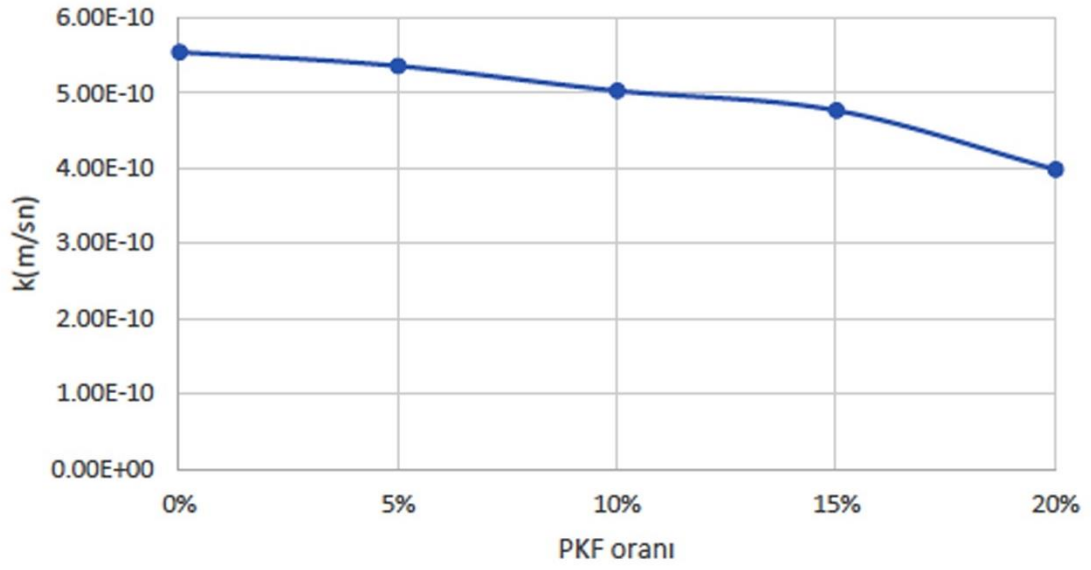
PKF katkısı içerisindeki yüksek miktardaki kireç, flokülasyon ve aglomerasyon nedeniyle kil partiküllerinin sıkışma indisi (C_c) ve kabarma indisi (C_s) her iki kil zemindeki PKF katkı yüzdesindeki artış ile azalmaktadır. Bu azalma düşük plastisiteli kilde daha fazla olmuştur.

Çizelge 5.13-5.18’de verilen optimum su muhtevasında hazırlanan numunelerin konsolidasyon deneyi sonuç grafikleri EK-3’te verilmiştir.

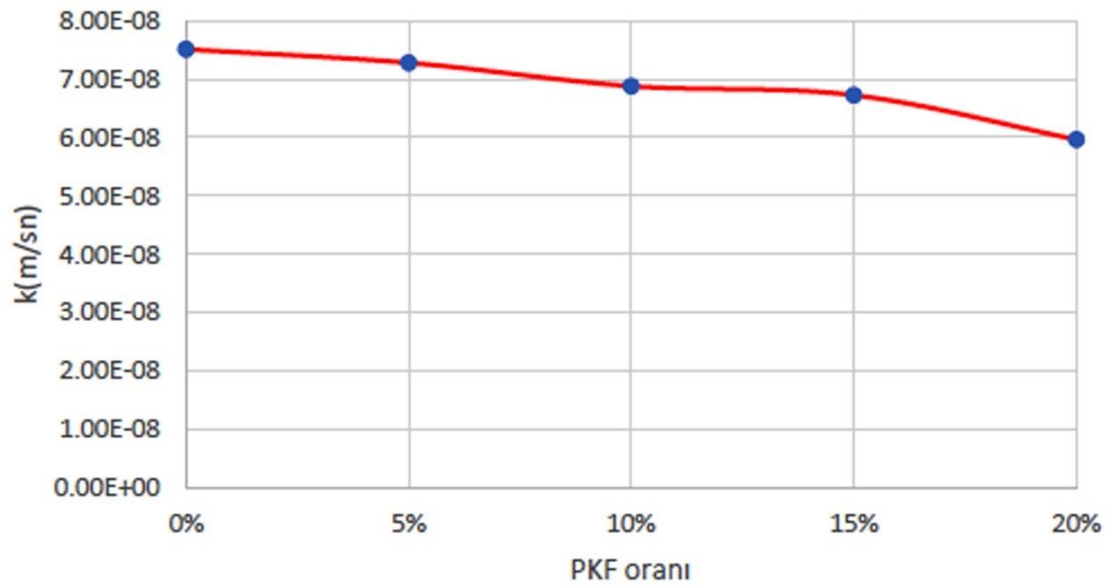
5.5. Permeabilite deneyi sonuçları

Optimum su muhtevasında hem yüksek hem düşük plastisiteli killer ile farklı oranlarda (%5, %10, %15 ve %20) karıştırılan PKF, 10 cm yüksekliğe ve 4,65 cm çapa sahip numune kalıbı içerisinde sıkıştırılarak düşen düzeyli geçirimsizlik deneyi yapılmıştır. Deney sonuçlarına ait grafikler Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’te gösterilmiştir. Permeabilite deney sonuçlarına göre yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminlere ilave edilen PKF miktarı

arttıkça zeminlerin geçirirliiliği azalmaktadır. PKF nin organik madde içermesinden dolayı zemin boşlukları tıkanmakta ve permeabilite değeri azalmaktadır.



Şekil 5.2. CH-PKF numunelerinin permeabilite sonuçları



Şekil 5.3. CL-PKF numunelerinin permeabilite sonuçları

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Geoteknik mühendisliğinde, endüstriyel atık malzemelerin zemin iyileştirme çalışmalarında kullanılabilirliği araştırılmakta, bu malzemelerin geleneksel güçlendirme katkılarının yerine geçebilme durumları incelenmektedir. Birçok atık malzemenin tek başına ya da var olan malzemelere ilave edilerek kullanımı ve geri dönüşümü araştırılmaktadır. Böylece, bu atık malzemelerin ekosisteme zararları azaltılmış olacak ve ekonomik olarak katkı sağlanacaktır.

Taşıma kapasitesi ve oturma problemi birçok zemin için önemli bir sorundur. Bu durum diğer birçok zemine kıyasla düşük ve yüksek plastisiteli killerde çok daha büyük sorun teşkil etmektedir. Killi zeminler, genellikle yüksek şişme özellikleri sergiler ve suya erişim sağlandığında şişer ve kuruduklarında büzülürler. Ayrıca su muhtevalarındaki artışa bağlı olarak taşıma güçlerinde azalma meydana gelir. Killi zeminler, yeterince stabilize edilmezler ise yapılarda büyük hasara neden olabilecek potansiyel bir doğal tehlike olarak kabul edilirler. Kilin dezavantajları, uygun malzeme ile stabilize edilerek giderilebilir. Yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminlerin iyileştirilmesinde pres filtre atık kireç çamuru (PKF)'nin kullanılması çok yeni bir uygulamadır ve mevcut çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır.

Bu çalışma, PKF atığının yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminlerin iyileştirilmesinde ve atığın bertarafı hususunda önemli bir adımdır. Maliyetli olan zemin iyileştirme yöntemlerine kıyasla maliyeti daha düşük olan bu atığın kullanılması hem maliyetin azaltılması hem de atık malzemenin yeniden değerlendirilmesi noktasında olanak sağlayacaktır. Çalışmada, Konya II. Organize Sanayi Bölgesindeki düşük ve yüksek plastisiteli iki tür kil zeminin atık kireç çamuru (PKF) ile stabilizasyonu araştırılmıştır. Araştırmada, serbest basınç, kayma dayanımı, permeabilite ve konsolidasyon deneyleri ile killi zeminlerdeki PKF katkısının etkileri analiz edilmiştir ve PKF atığının optimum katkı oranları belirlenmiştir. Çalışma sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

1- Yüksek ve düşük plastisiteli kil zemin-PKF karışım numunelerinde (optimum su muhtevasında) en yüksek dayanım, %15 katkılı PKF numunelerinde tespit edildi. Katkısız kil zemine göre her iki kil zeminin (farklı kür sürelerinde) serbest basınç

mukavemetinde artış görülmüştür. %15 üzeri katkı ilavesinde mukavemette azalma tespit edildi.

2- Yüksek plastisiteli kil zeminler ile optimum su muhtevsındaki PKF karıştırılmış kil zemin numunelerinde; en yüksek dayanım 15 gün kür süresinde, %15 katkılı PKF karıştırılmış kil zemin numunelerinde tespit edilmiştir. Katkılı yüksek plastisiteli kil zeminin, katkısız yüksek plastisiteli kil zemine göre basınç mukavemetindeki artış %97 olmuştur.

3- Düşük plastisiteli kil zeminler ile optimum su muhtevsındaki PKF karıştırılmış kil zemin numunelerinde; en yüksek dayanım 28 gün kür süresinde, %15 katkılı PKF karıştırılmış kil zemin numunelerinde tespit edilmiştir. Katkılı düşük plastisiteli kil zeminin, katkısız düşük plastisiteli kil zemine göre basınç mukavemetindeki artış %225 olmuştur.

4- Kesme kutusu deneylerinde, düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlere PKF ilavesi (optimum su muhtevsında) sonucunda kayma dayanımında (farklı kür sürelerinde) %15 katkı oranına kadar belirli miktarlarda artış tespit edildi. En yüksek kayma dayanımına %15 oranında ulaşılmıştır.

5- Yüksek ve düşük plastisiteli killi zeminlere farklı oranlarda (%5, %10, %15 ve %20) eklenen PKF atığı, zeminlerin içsel sürtünmesini ve kohezyonunu artırmıştır. Optimum artışa %15'lik katkıda 28gün kürsüresinde ulaşıldı. Katkısız zemine göre yüksek plastisiteli ise (c) %93 (ϕ) %64 düşük plastisiteli ise (c) %200 (ϕ) %78 bir artış olmuştur.

6- Konsolidasyon deneyi sonucunda; her iki kil zemin için de %20 katkılı zemin-PKF numunesinde sıkışma indisi (C_c) ve kabarma indisi (C_s) minimum tespit edildi. Yani PKF oranı arttıkça oturma oranı azaldı.

7- Permeabilite deney sonuçları, yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminlerdeki PKF katkısının artışıyla zeminlerin geçirimsizliği azalmaktadır.

Killi zeminlerdeki PKF katkısının etkileri analiz edilmiş ve PKF atığının optimum katkı oranları belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada, yüksek ve düşük plasitisiteli kil zeminlere belirli oranlarda ilave edilen PKF'nin zeminlerin basınç ve kayma mukavemetini artırıp oturmayı azalttığı tespit edilmiştir. PKF, başta killi zeminler olmak üzere çeşitli zeminlerde stabilizasyon (iyileştirme) maddesi olarak kullanılabilir.

6.2 Öneriler

Belirli oranlarda yüksek ve düşük plasitisiteli kil zeminlere ilave edilen Pres filtre atık kireç çamuru (PKF), zeminlerin basınç ve kayma mukavemetini artırıp oturmayı azalttığı bu çalışmada tespit edilmiştir. Fakat PKF atığının içerisindeki kil boyutundaki ince tanelerin azlığı ve organik bileşenlerin fazla olması bahsi geçen geoteknik özelliklerin iyileştirilmesini sınırlamaktadır. Mümkün olan en verimli zemin iyileştirmesi için PKF atığı içerisindeki organik bileşenleri yüksek sıcaklıktaki fırınlarda (400 °C’de) ortadan kaldırarak başta killi zeminler olmak üzere çeşitli zeminlerde stabilizasyon (iyileştirme) maddesi olarak kullanılabilir.



KAYNAKLAR

- ASTM D6913, Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis. American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D7928, Standard Test Method for Particle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis. American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM 4318, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D698-12e2, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)). American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D2166-00 (2003), Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D3080-98, Standard Test Method For Direct Shear Test Of Soils Under Consolidated Drained Conditions. American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D2435, Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading. American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D-5084, Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter. American Society for Testing and Materials, USA.
- Acar, M. H. ve Yıldız, M., 1997, Seydişehir alüminyum fabrikası üretim sonrası atıklarının yol alt yapısı inşaatında değerlendirilmesi, *Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılması 3, 1-12 Ekim, Eskişehir*, p.223-230.
- Afrin, H., 2017, A review on different types soil stabilization techniques, *International Journal of Transportation Engineering and Technology*, 3 (2), 19-24.
- Akbulut, H. ve Gürer, C., 2006, Atık mermerlerin asfalt kaplamalarda agrega olarak değerlendirilmesi, *Teknik Dergi*, 17 (84), 3943-3960.
- Al-Aghbari, M. Y., Mohamedzein, Y.-A. ve Taha, R., 2009, Stabilisation of desert sands using cement and cement dust, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 162 (3), 145-151.
- Al-Kiki, I. M., Al-Atalla, M. A. ve Al-Zubaydi, A. H., 2011, Long term strength and durability of clayey soil stabilized with lime, *Engineering and Technology Journal*, 29 (4), 725-735.
- Al-Obaydi, M., Al-Kiki, I. ve Al-Zubaydi, A., 2010, Strength and durability of gypseous soil treated with waste lime and cement, *Journal Al-Rafidain Engineering*, 18 (1), 28-42.

- Anonim, 2004, Türkiye Çevre Atlası, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü, Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Anonim, 2020, https://www.turkseker.gov.tr/data/dokumanlar/2020_Sektor_Raporu.pdf, [Erişim Tarihi: 18.05.2022].
- Assadi Langroudi, A., Ghadr, S., Theron, E., Oderinde, S. ve Katsipatakis, E., 2019, Lime cake as an alternative stabiliser for loose clayey loams, *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 5 (3), 1-13.
- Aysu, Ş., 2020, Yüksek plastisiteli kil zeminlerde cam lifi katkısının zeminin mukavemet, permeabilite ve konsolidasyon özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, 1-118.
- Chapman, H., 1965, Cation-exchange capacity, In: Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties, Eds: *Amer Society of Agronomy*, p. 891-901.
- Çiniçioğlu, F., 1993, İnce taneli zeminlerde kireç ve çimento katkının etkileri, *Altıncı Ulusal Kil Sempozyumu, 8-11 Eylül, Boğaziçi Üniversitesi, Bebek, İstanbul*, p.8-11.
- Dash, S. K. ve Hussain, M., 2012, Lime stabilization of soils: reappraisal, *Journal of materials in civil engineering*, 24 (6), 707-714.
- Dinçer, E. ve Belirgen, M., 1991, İnce daneli bir zeminin kireç stabilizasyonu, *Anadolu Üniversitesi V. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, p.280-291.
- EuroSoilStab, 2002, Development of design and construction methods to stabilize soft organic soils: Design guide for soft soil stabilization, CT97-0351, *European Commission, Industrial and Materials Technologies Programme (Rite-EuRam III) Bryssel*.
- Garzón, E., Cano, M., O'Kelly, B. C. ve Sánchez-Soto, P. J., 2015, Phyllite clay–cement composites having improved engineering properties and material applications, *Applied Clay Science*, 114, 229-233.
- Geçkil, T., Sarıcı, T. ve Yıldırım, E. S., 2019, Kireç katkısı ile kil bir zeminin dayanımının iyileştirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34 (4), 171-179.
- Ghobadi, M., Abdilor, Y. ve Babazadeh, R., 2014, Stabilization of clay soils using lime and effect of pH variations on shear strength parameters, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73 (2), 611-619.
- İnan, H., 2019, Çimento-kumlu kil karışım oranlarının mekanik özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, 1-118.

- Kalava, İ., 1992, Killerin çimento ve kireç ile stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir*, 1-319.
- , 2004. Ankara Bala ayrımı-Kulu ayrımı bölünmüş yolu kireç stabilizasyonu uygulaması p. 1-30.
- Khalid, U., Liao, C., Ye, G.-l. ve Yadav, S. K., 2018, Sustainable improvement of soft marine clay using low cement content: a multi-scale experimental investigation, *Construction and Building Materials*, 191, 469-480.
- Kılıç, G., 2008, Çimento ile zemin stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul*, 1-102.
- Kumar Sharma, A. ve Sivapullaiah, P., 2012, Improvement of strength of expansive soil with waste granulated blast furnace slag, p. 3920-3928.
- Ławińska, K., Szufa, S., Obraniak, A., Olejnik, T., Siuda, R., Kwiatek, J. ve Ogrodowczyk, D., 2020, Disc granulation process of carbonation lime mud as a method of post-production waste management, *Energies*, 13, 3419.
- Li, H., Xu, W., Yang, X. ve Wu, J., 2014, Preparation of Portland cement with sugar filter mud as lime-based raw material, *Journal of Cleaner Production*, 66, 107-112.
- Mohanty, S. K., Pradhan, P. K. ve Mohanty, C. R., 2017, Stabilization of expansive soil using industrial wastes, *Geomechanics and Engineering*, 12 (1), 111-125.
- Namlı, A., Akça, H. ve Akça, M. O., 2020, Vermicomposting of agro-industrial waste by-product of the sugar industry, *Eurasian Journal of Soil Science*, 9 (4), 292-297.
- Olgun, M., 2013, Effects of polypropylene fiber inclusion on the strength and volume change characteristics of cement-fly ash stabilized clay soil, *Geosynthetics International*, 20 (4), 263-275.
- Pousette, K., Macsik, J., Jacobson, A., Andersson, R. ve Lahtinen, P., 1999, Peat soil samples stabilised in laboratory-Experiences from manufacturing and testing, In: Dry mix methods for deep soil stabilization, Eds: Bredenberg, H., Holm, G. ve Broms, B.: *A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield*, p. 85-92.
- Prusinski, J. R. ve Bhattacharja, S., 1999, Effectiveness of Portland cement and lime in stabilizing clay soils, *Transportation research record*, 1652 (1), 215-227.
- Rajasekaran, G., 2005, Sulphate attack and ettringite formation in the lime and cement stabilized marine clays, *Ocean Engineering*, 32 (8-9), 1133-1159.
- Rama Subbarao, G., Siddartha, D., Muralikrishna, T., Sailaja, K. ve Sowmya, T., 2011, Industrial wastes in soil improvement, *International Scholarly Research Notices*, 2011, 1-5.

- Ross, D. S. ve Ketterings, Q., 1995, Recommended methods for determining soil cation exchange capacity, In: Recommended soil testing procedures for the northeastern United States, Eds: *Northeastern Regional Publication No. 493*, p. 75-86.
- Saadeldin, R. ve Siddiqua, S., 2013, Geotechnical characterization of a clay–cement mix, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 72 (3), 601-608.
- Şentürk, Ö., 2020, <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2020-Temmuz%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Raporu/%C5%9Eker%20Pancar%C4%B1,%20Temmuz-2020,%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasa%20Raporu.pdf>, [Erişim Tarihi: 01.11.2021].
- Shoira, M., 2006, Application of defecation lime from sugar industry in Uzbekistan, Yüksek Lisans Tezi, *Urgench State University KTH Chemical Engineering and Technology, Uzbekistan*, 1-91.
- Soğancı, A. S., 2004, Tekrarlı donma ve çözülmenin kireç ile stabilize edilmiş zeminlerin mukavemet ve permeabilitesine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya*, 1-61.
- Sol-Sánchez, M., Castro, J., Ureña, C. ve Azañón, J., 2016, Stabilisation of clayey and marly soils using industrial wastes: pH and laser granulometry indicators, *Engineering geology*, 200, 10-17.
- Tan, T.-S., Goh, T.-L. ve Yong, K.-Y., 2002, Properties of Singapore marine clays improved by cement mixing, *Geotechnical Testing Journal*, 25 (4), 422-433.
- Topçu, İ. B. ve Sofuoğlu, T., 2017, Properties of mortars produced with PKF press filter waste, *International Sustainable Buildings Symposium*, Dubai, 347-360.
- Tunçez, F. D., 2007, Şeker fabrikası atık çamuru ve pomzanın toprak iyileştirici olarak kullanılması, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*, 93.
- Turkoz, M. ve Vural, P., 2013, The effects of cement and natural zeolite additives on problematic clay soils, *Science and Engineering of Composite Materials*, 20 (4), 395-405.
- Türkşeker, 2021, <http://www.turkseker.gov.tr/>, [Erişim Tarihi: 03.11.2021].
- Turna, T., 2010, Şeker üretim endüstrisinde çevre sorunlarının çözümüne yönelik modern yaklaşımların belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri*, 1-62.
- Ural, N., Karakurt, C. ve Cömert, A. T., 2014, Influence of marble wastes on soil improvement and concrete production, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 16 (3), 500-508.

Vural, İ., 2019, İnşaat yıkıntı atıklarının zemin iyileştirmesinde kullanılabilirliği, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 7 (1), 1-6.

Wikipedia, 2022, Şeker, [Erişim Tarihi: 18/04/2022].

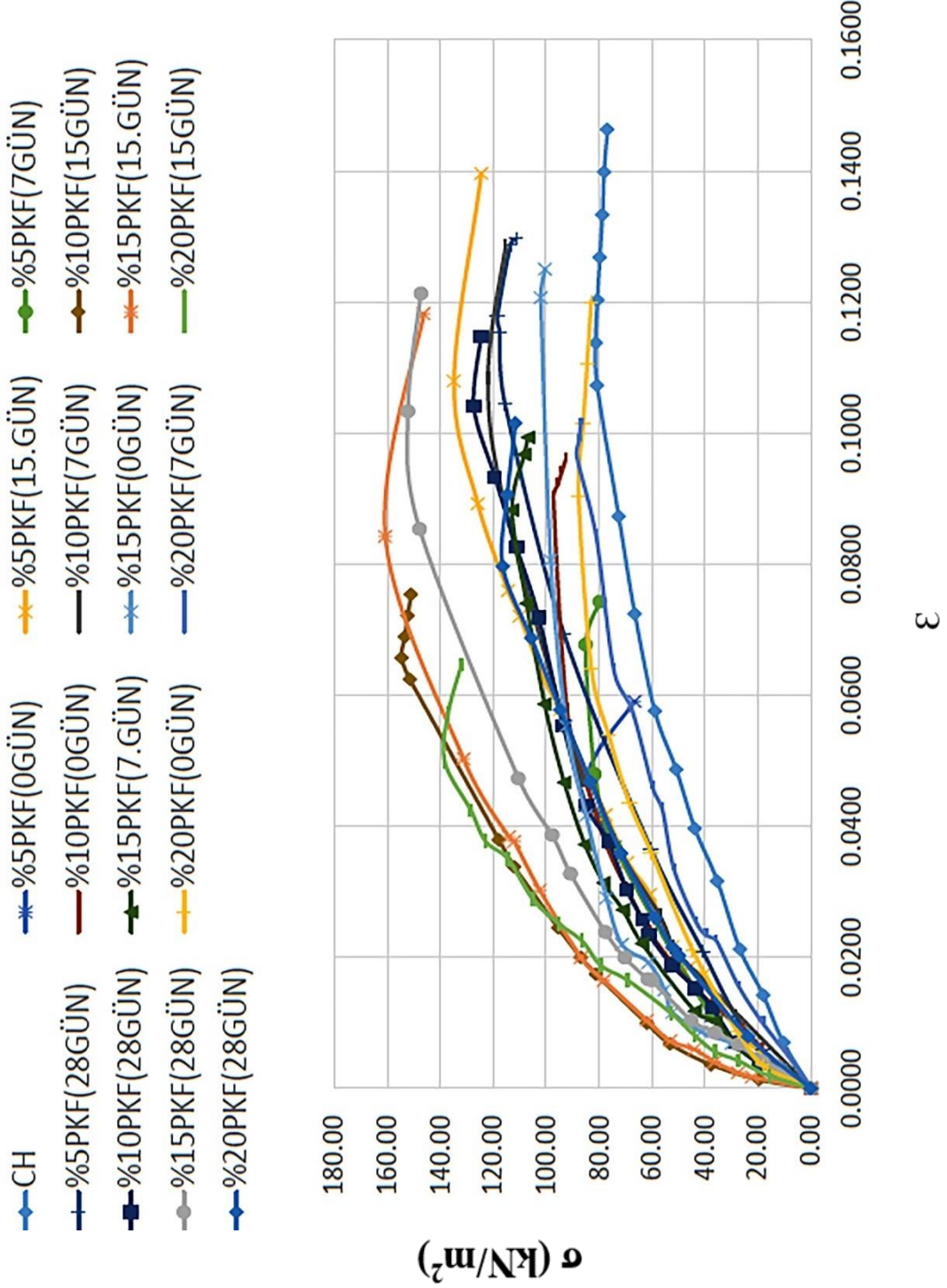
Zorluer, I., 2020, Evaluation of Trace Elements from Used Industrial Waste in Soil improvement, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92 (3), e20200974.

Zorluer, I. ve Gucek, S., 2020, The usability of industrial wastes on soil stabilization, *Revista de la construcción*, 19 (1), 80-89.

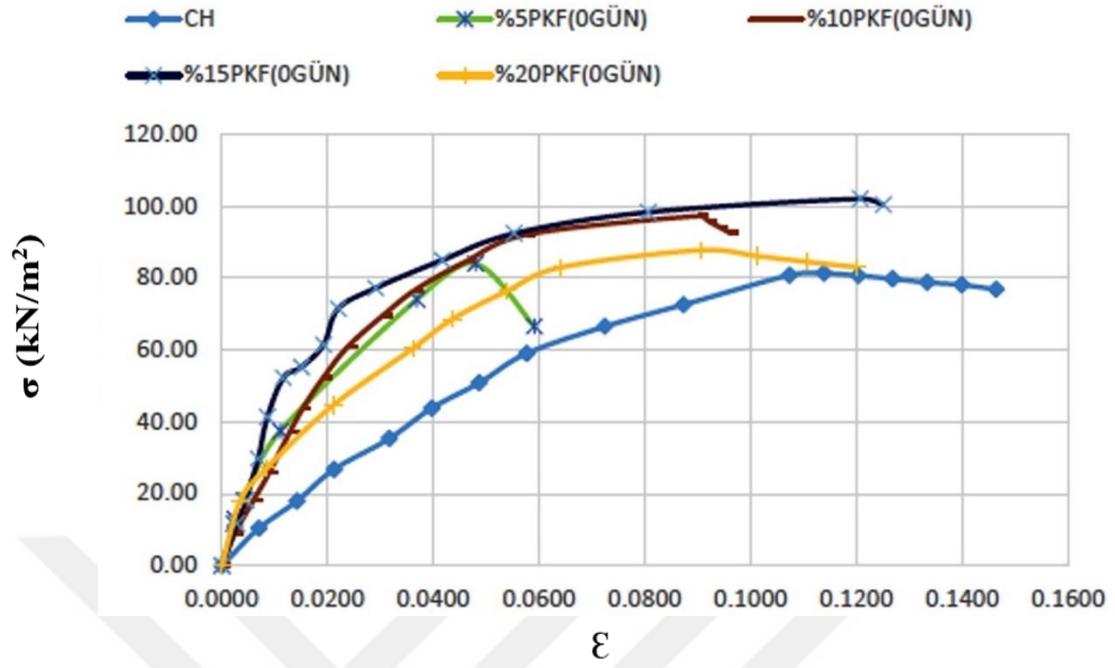


EKLER

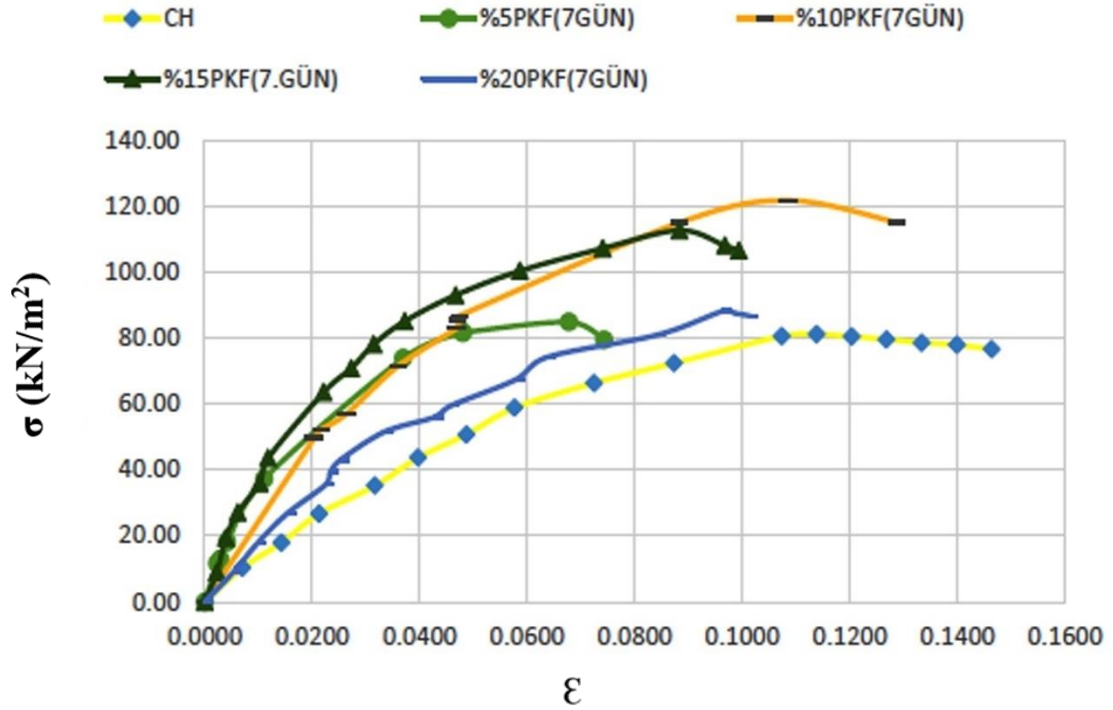
EK-1: Serbest Basınç Deneyi Sonuçları



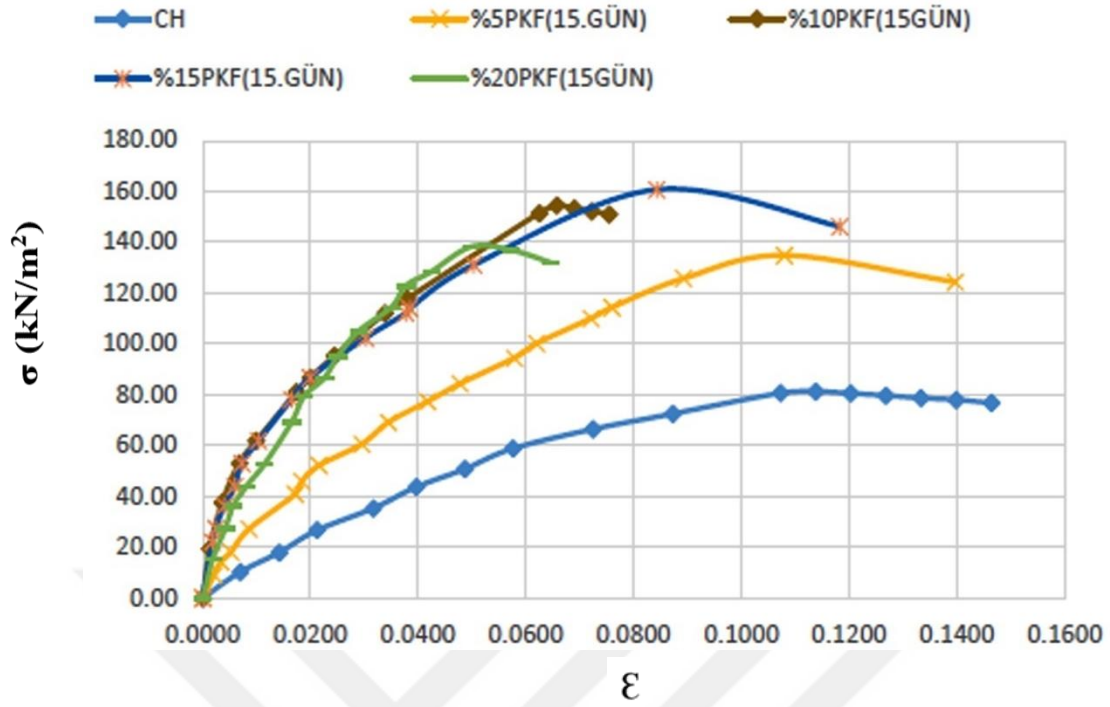
Ek Şekil 1.1. Yüksek plastisiteli kil-PKF karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



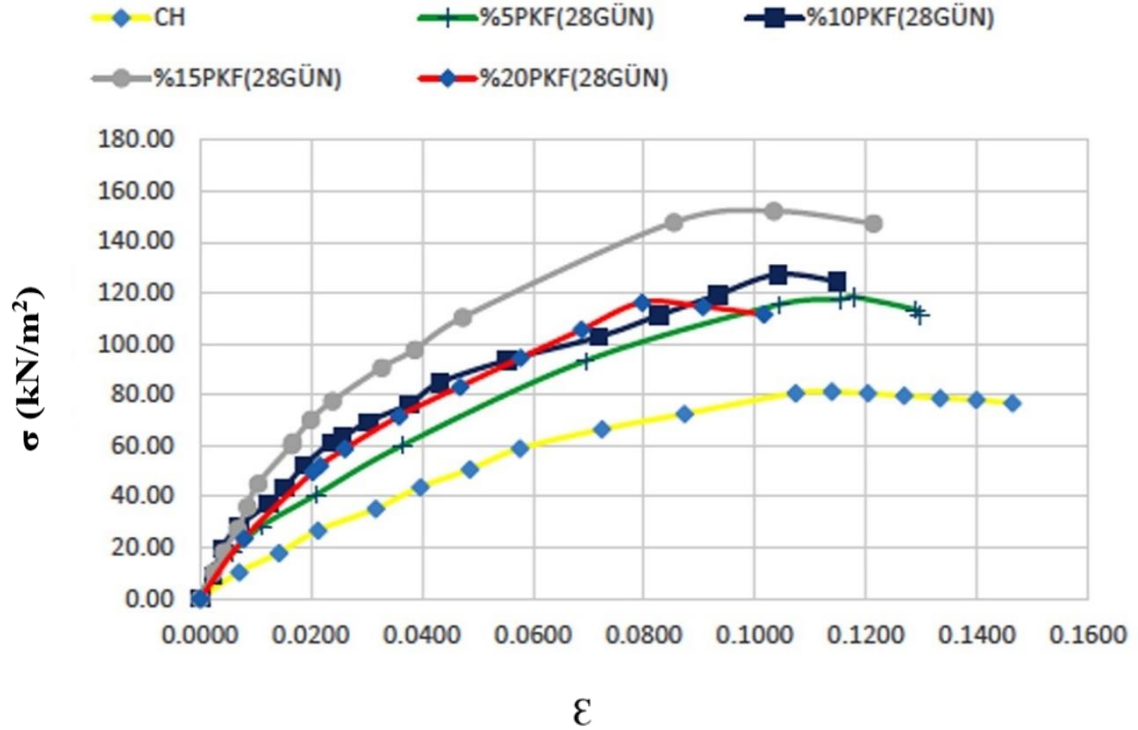
Ek Şekil 1.2. Yüksek plastisiteli kil-PKF karışımının 0. gün serbest basınç deneyi sonuçları



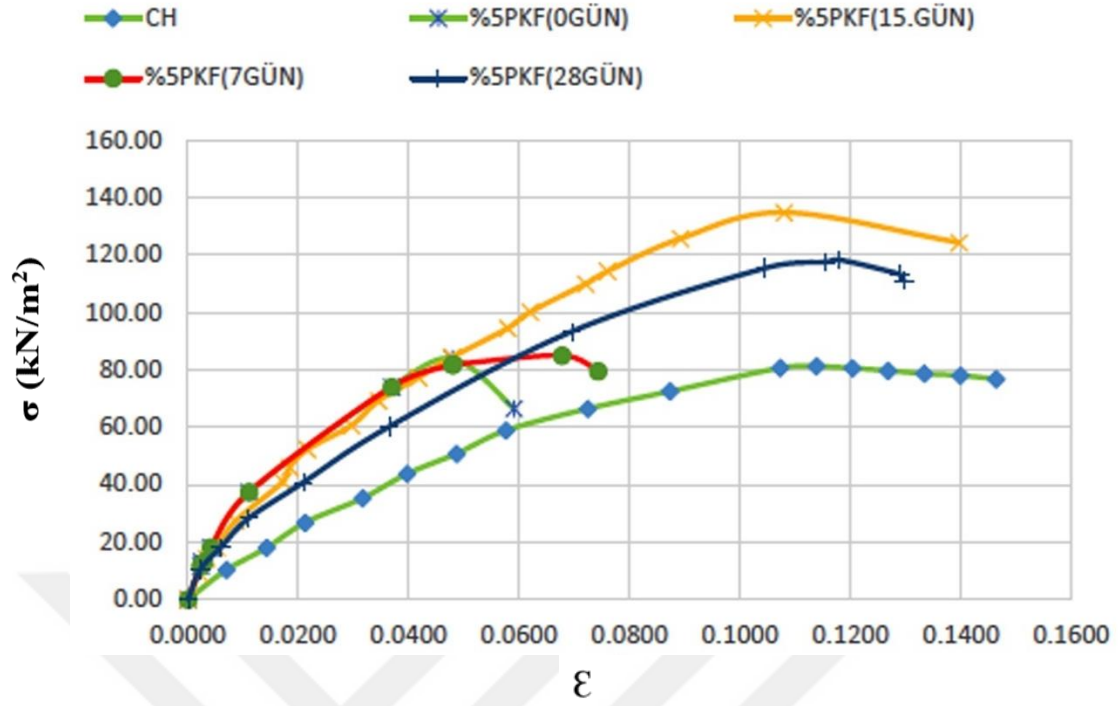
Ek Şekil 1.3. Yüksek plastisiteli kil-PKF karışımının 7. gün serbest basınç deneyi sonuçları



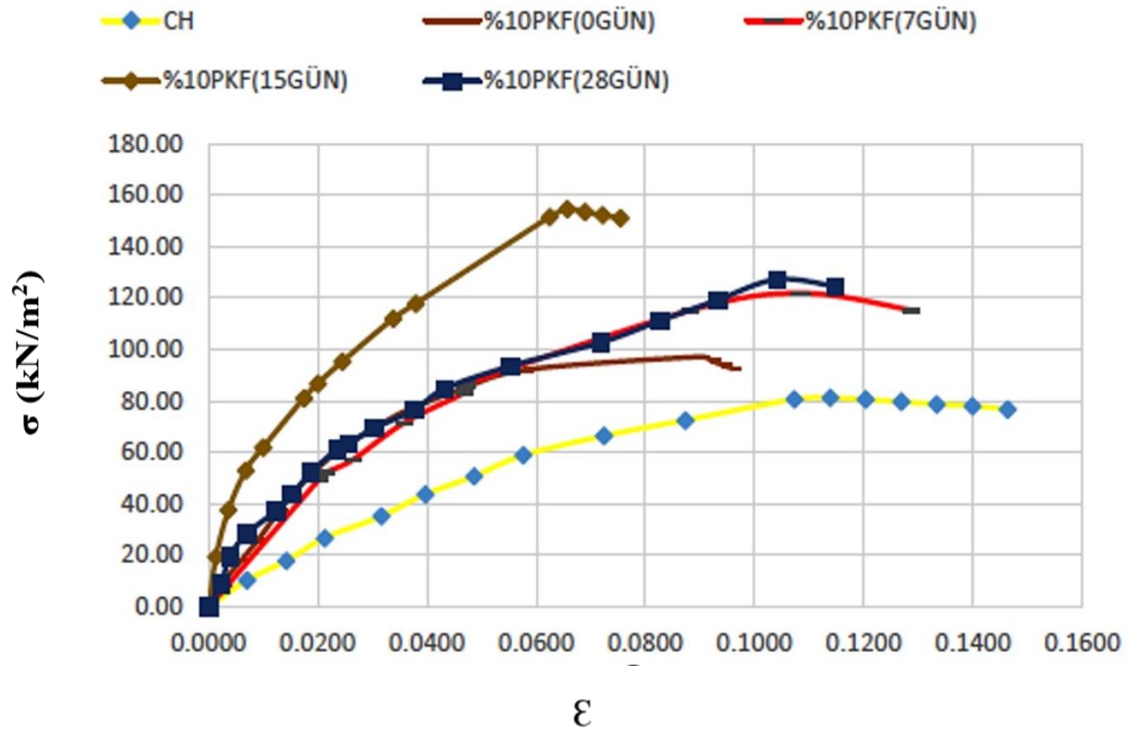
Ek Şekil 1.4. Yüksek plastisiteli kil-PKF karışımının 15. gün serbest basınç deneyi sonuçları



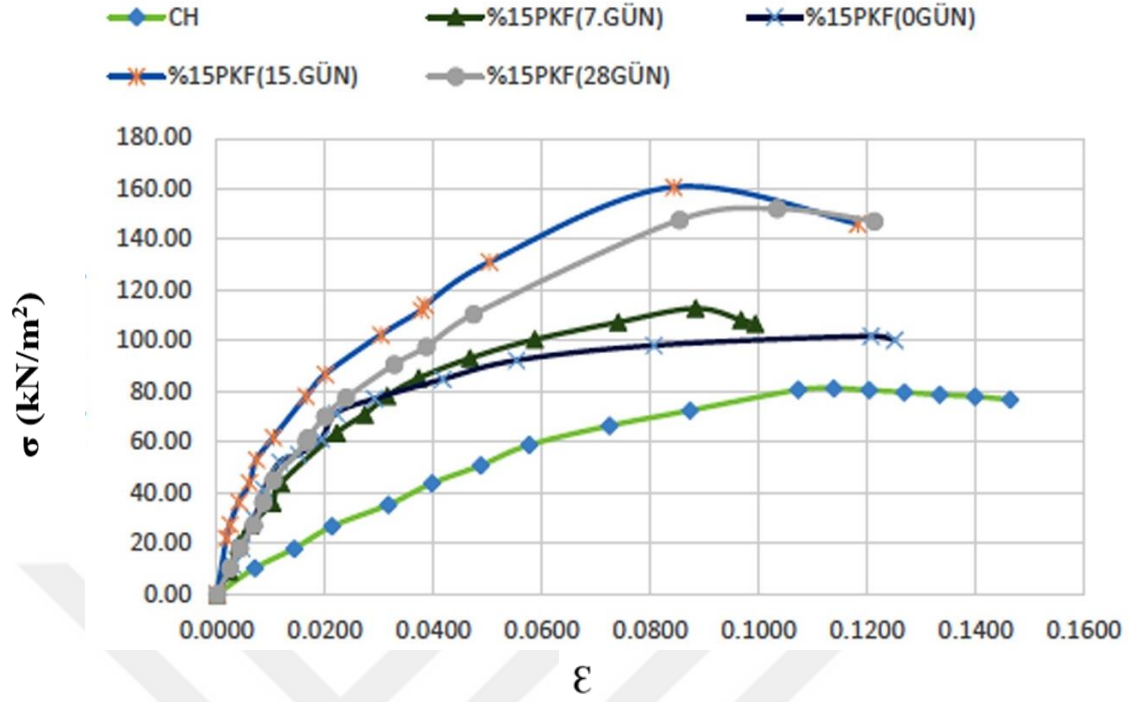
Ek Şekil 1.5. Yüksek plastisiteli kil-PKF karışımının 28. gün serbest basınç deneyi sonuçları



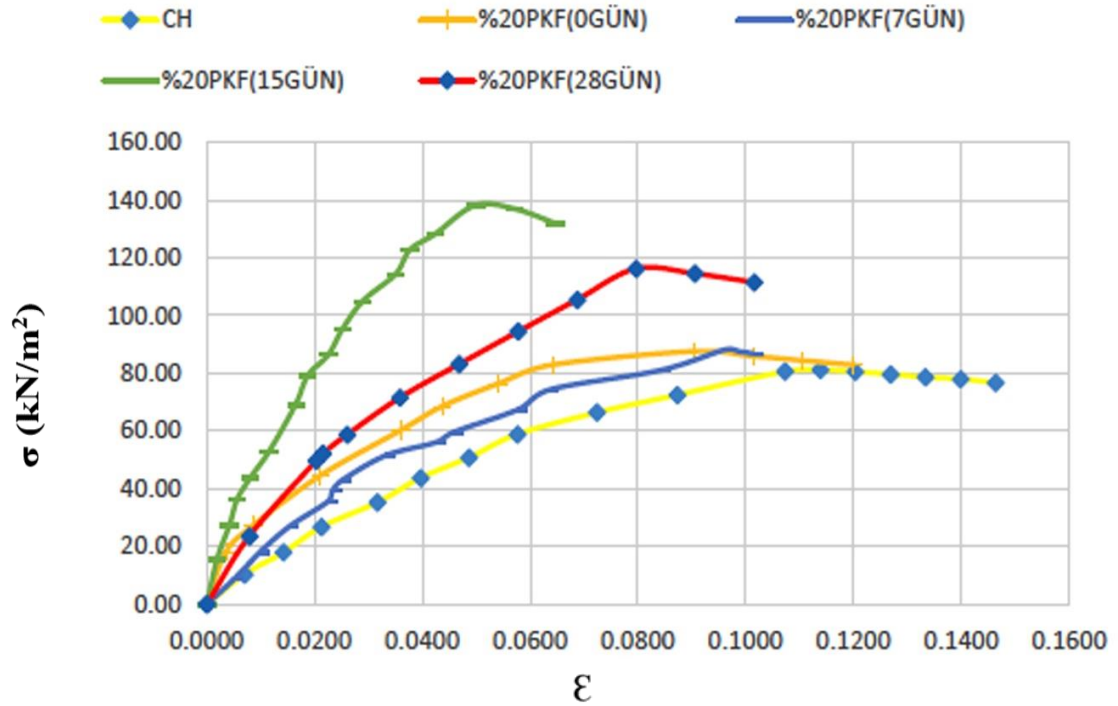
Ek Şekil 1.6. Yüksek plastisiteli kil-%5 katkılı PKF karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



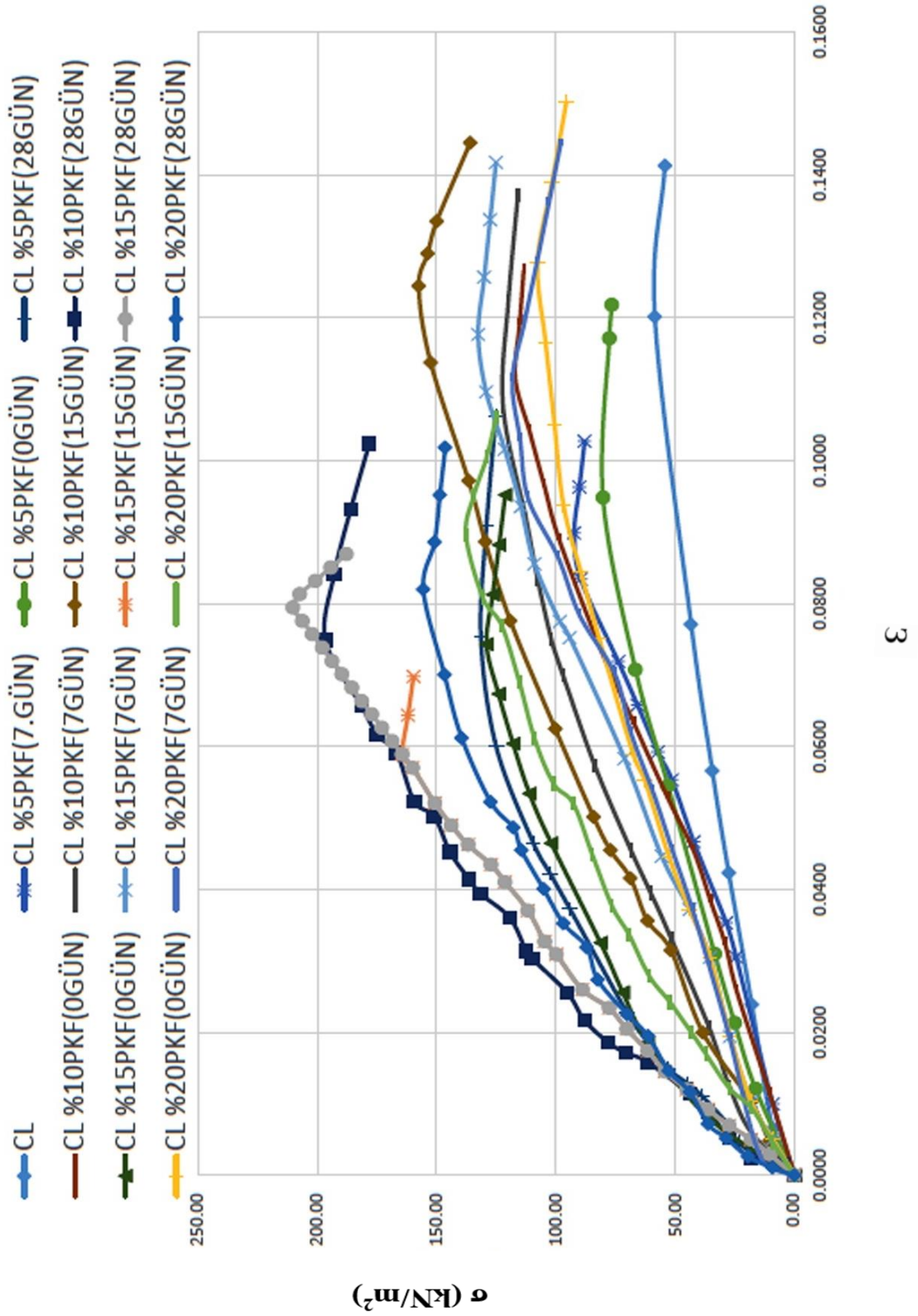
Ek Şekil 1.7. Yüksek plastisiteli kil-%10 katkılı PKF karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



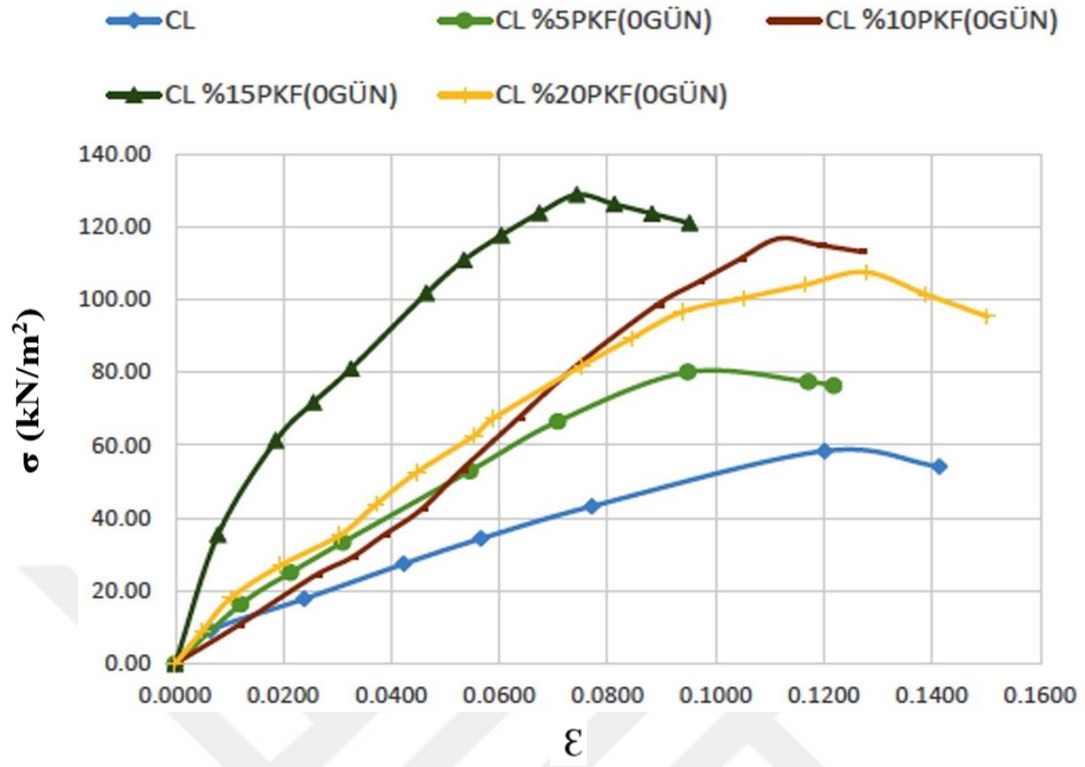
Ek Şekil 1.8. Yüksek plastisiteli kil-%15 katkılı PKF karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



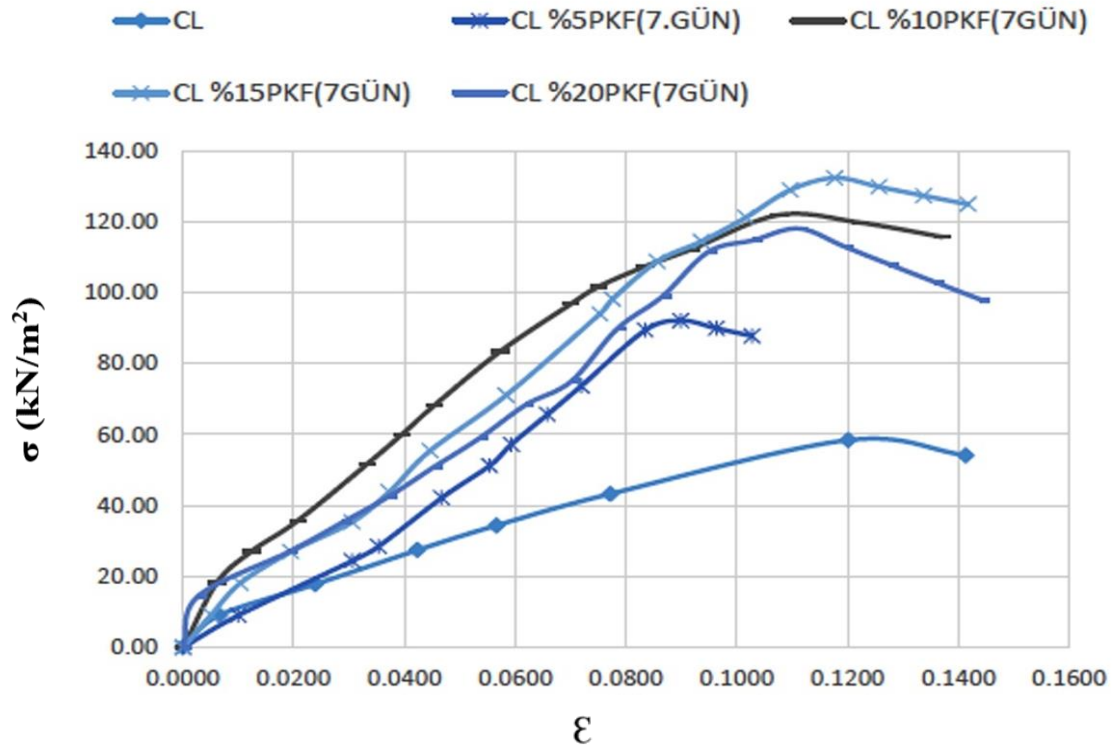
Ek Şekil 1.9. Yüksek plastisiteli kil-%20 katkılı PKF karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



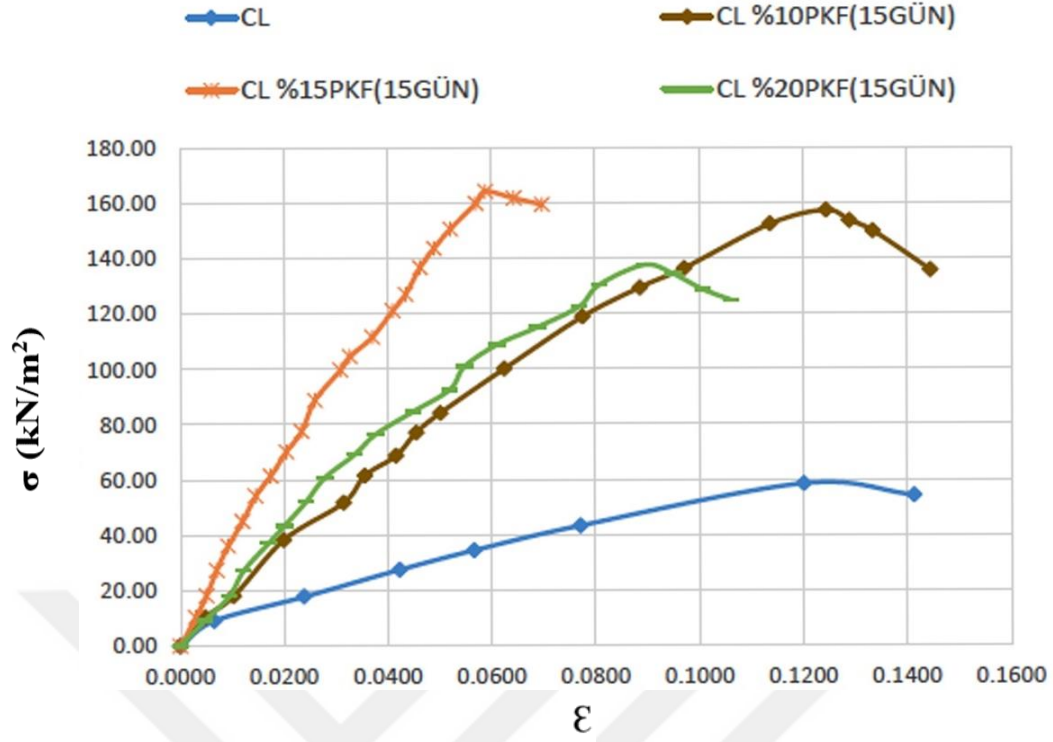
Ek Şekil 1.10. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



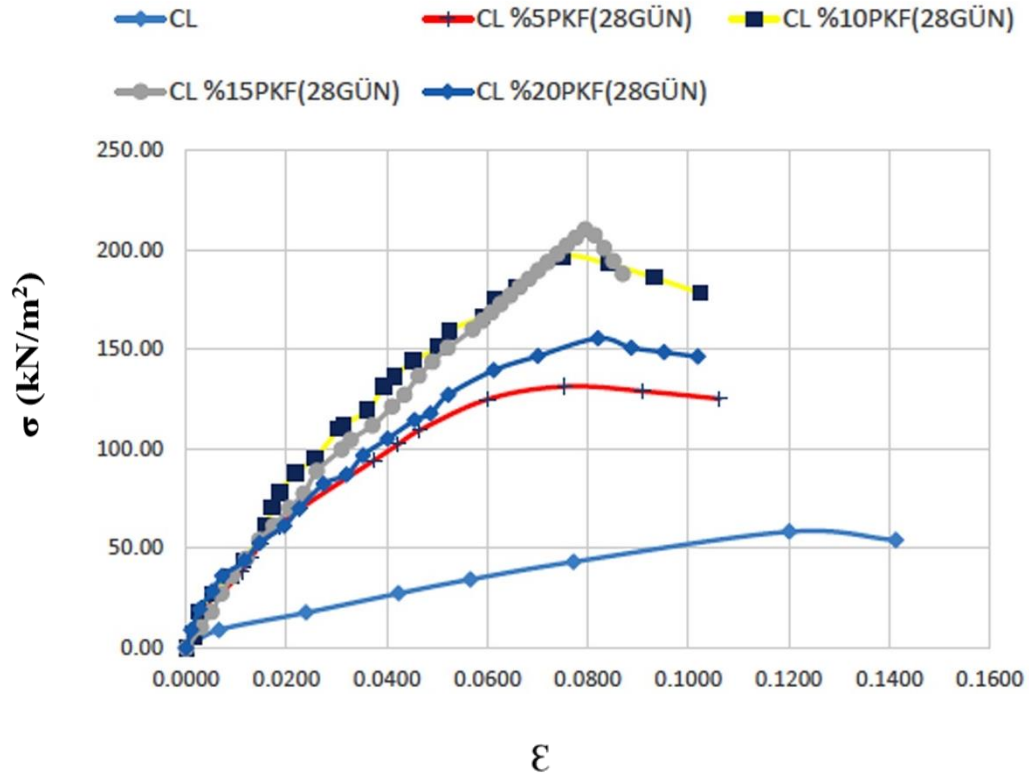
Ek Şekil 1.11. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının 0. gün serbest basınç deneyi sonuçları



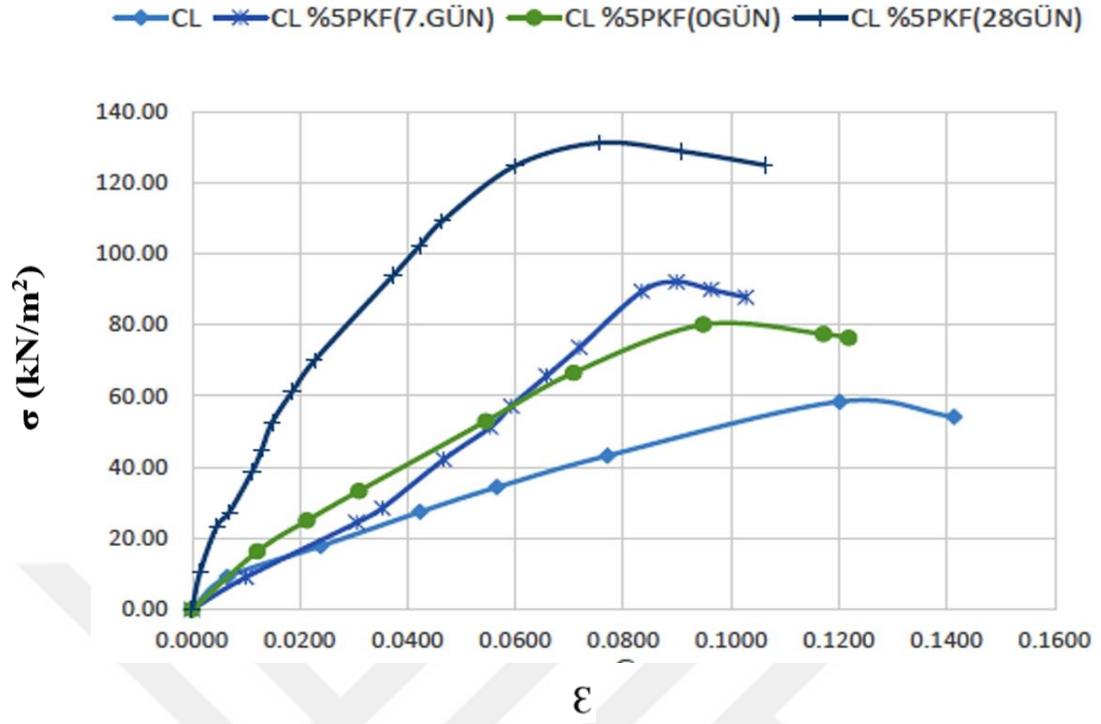
Ek Şekil 1.12. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının 7. gün serbest basınç deneyi sonuçları



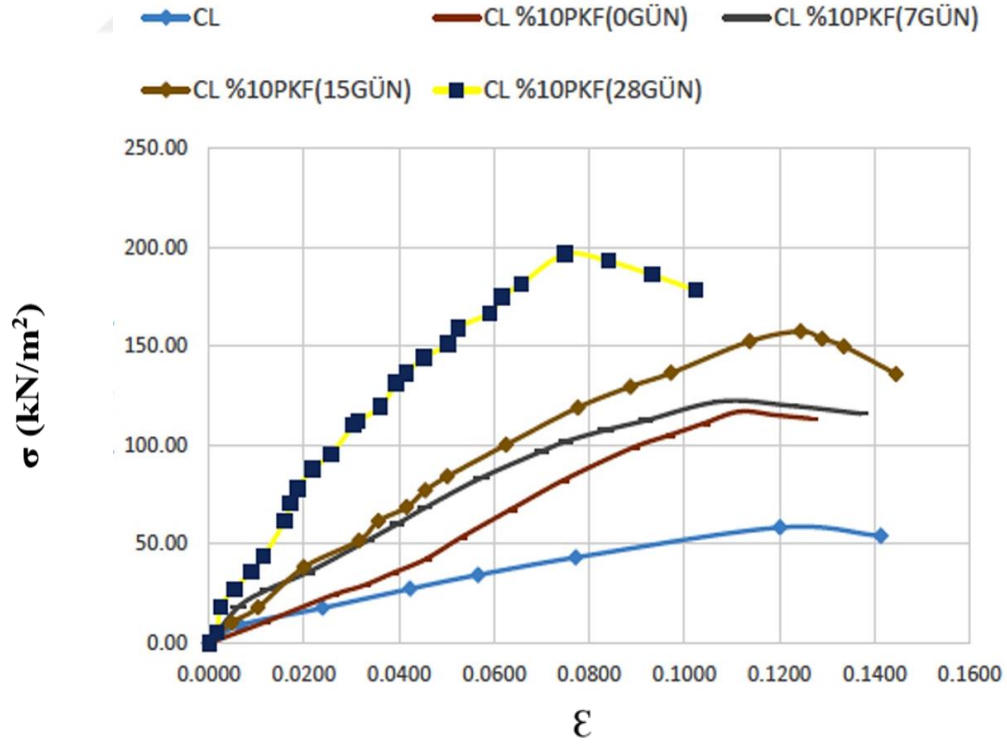
Ek Şekil 1.13. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının 15. gün serbest basınç deneyi sonuçları



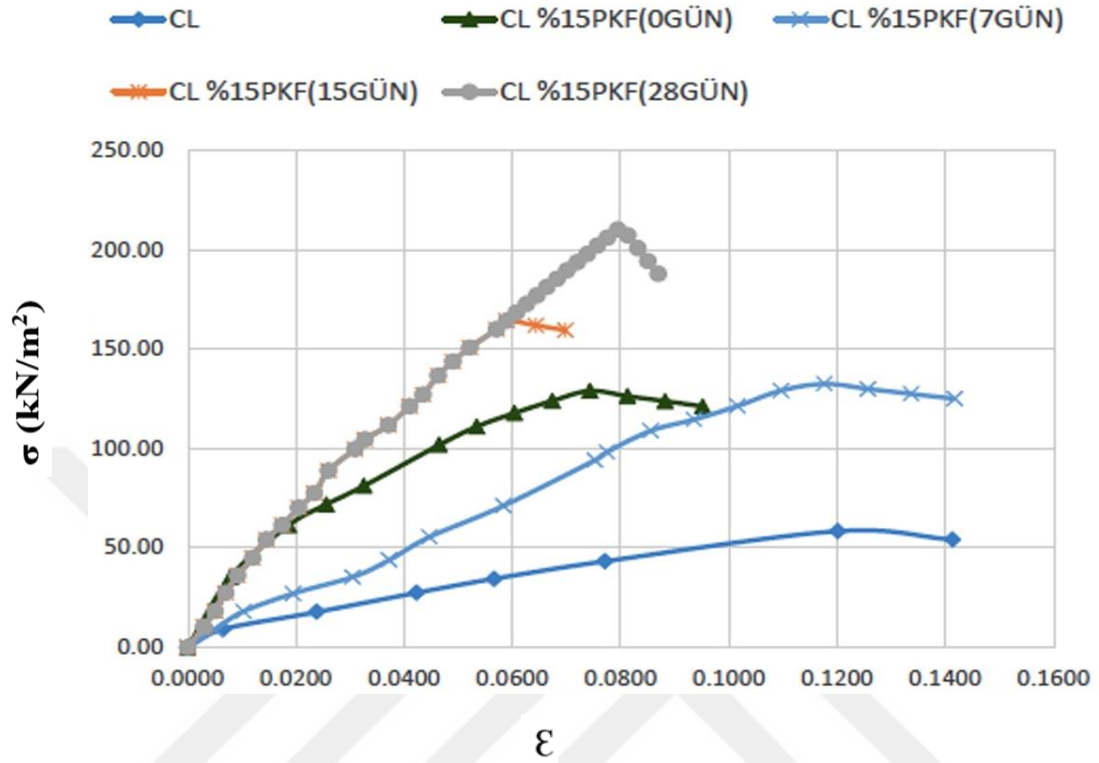
Ek Şekil 1.14. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının 28. gün serbest basınç deneyi sonuçları



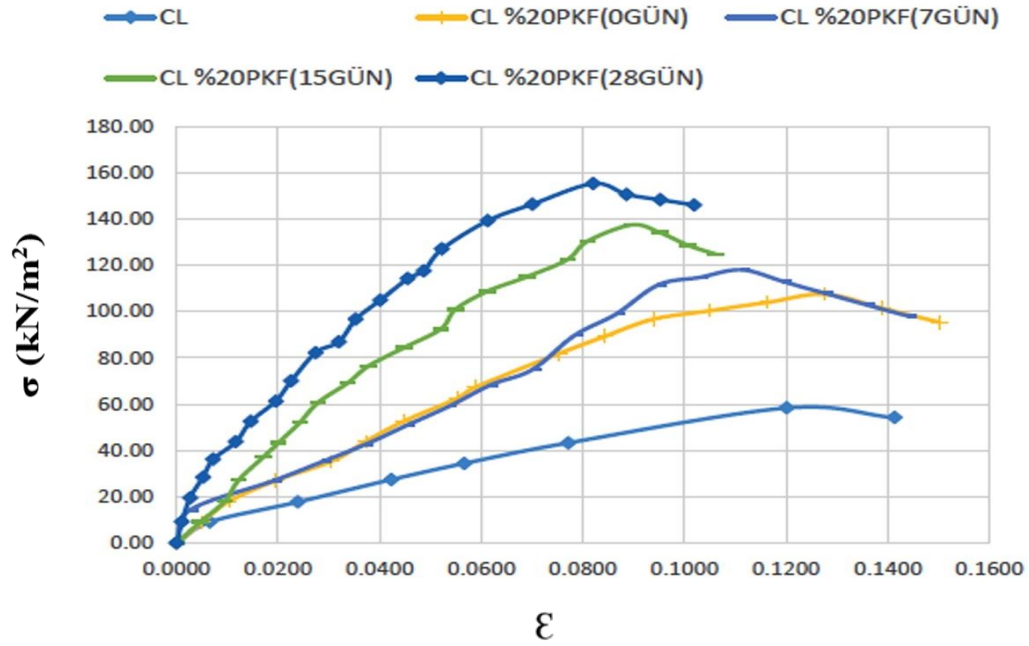
Ek Şekil 1.15. Düşük plastisiteli kil-%5 katkılı PKF karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



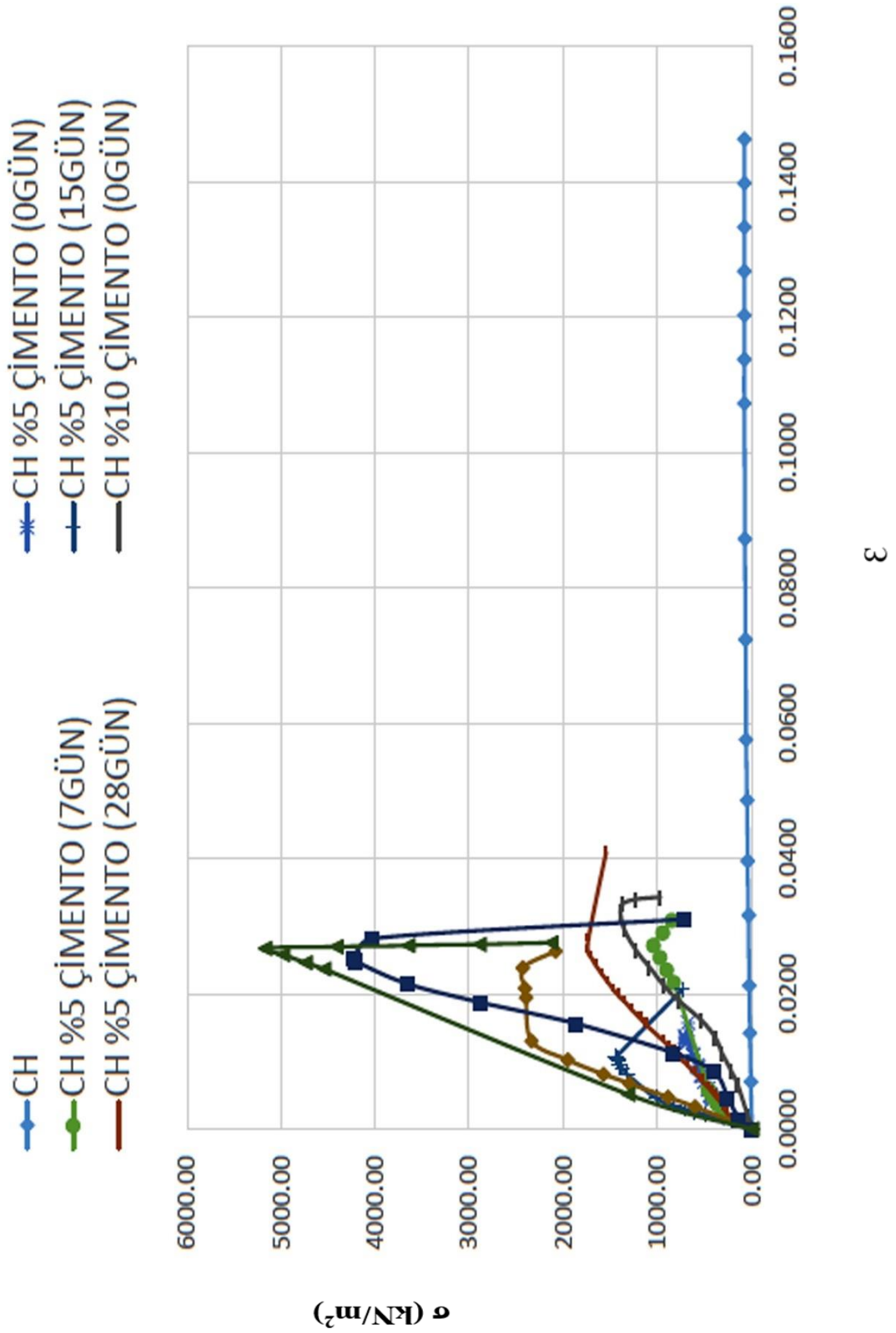
Ek Şekil 1.16. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının %10 gün serbest basınç deneyi sonuçları



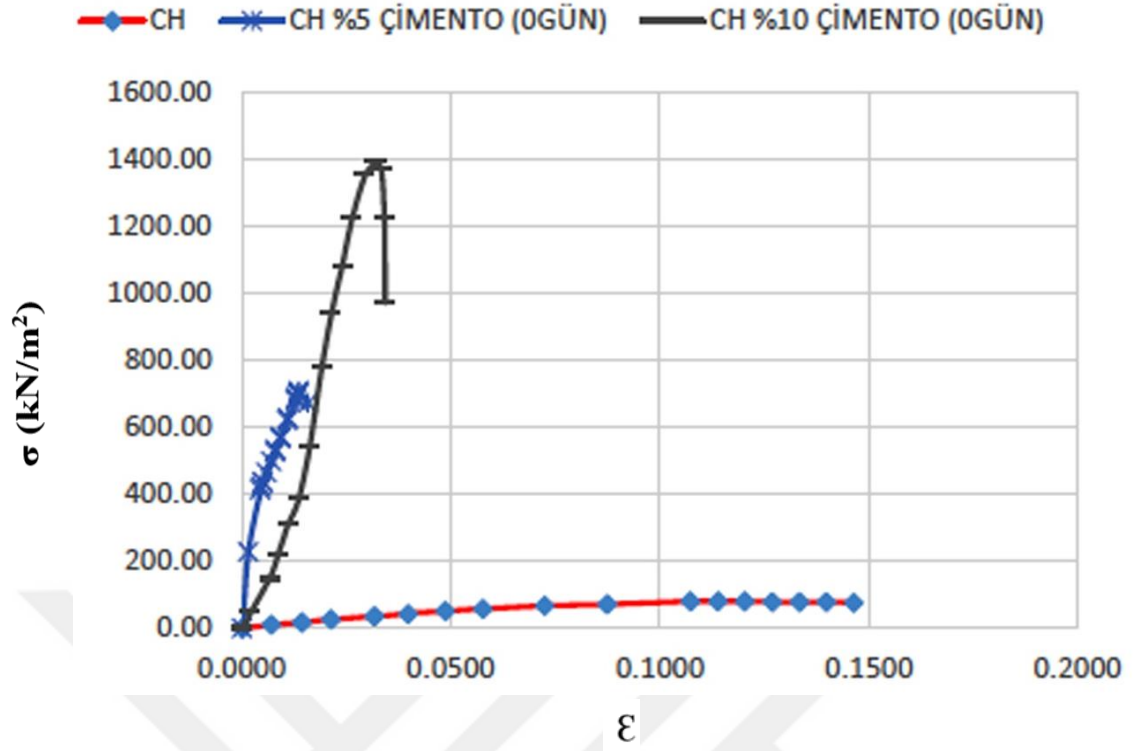
Ek Şekil 1.17. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının %15 gün serbest basınç deneyi sonuçları



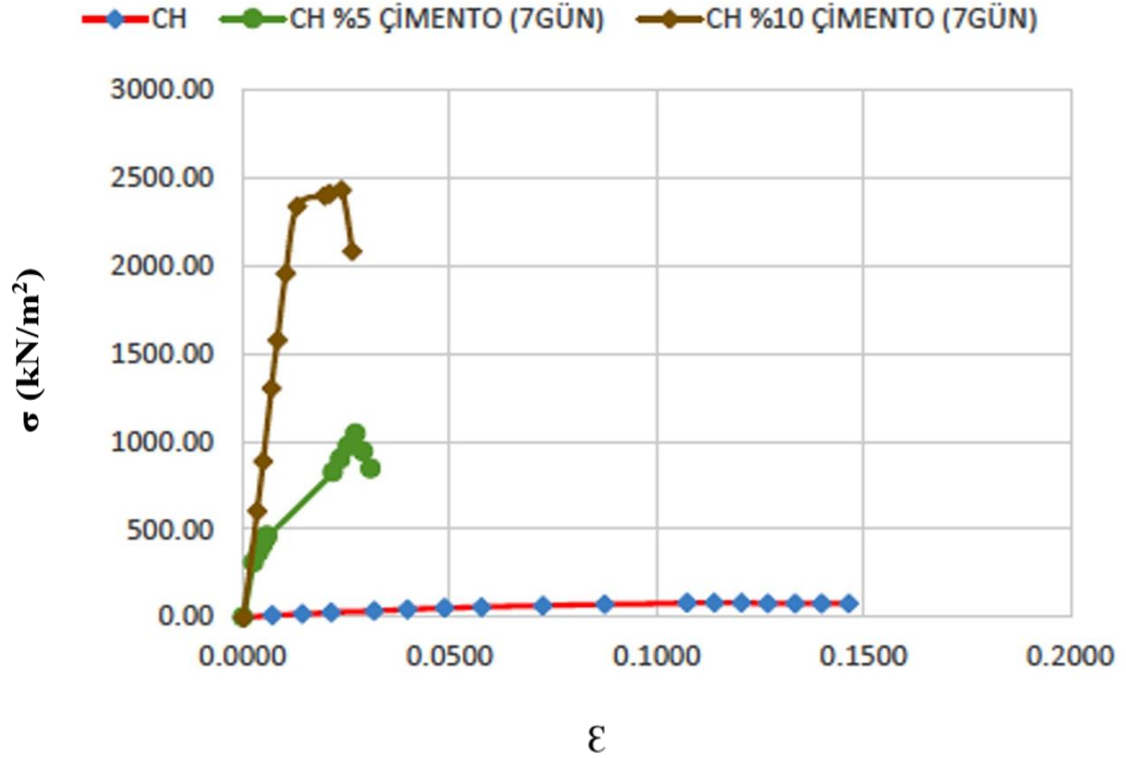
Ek Şekil 1.18. Düşük plastisiteli kil-PKF karışımının %20 gün serbest basınç deneyi sonuçları



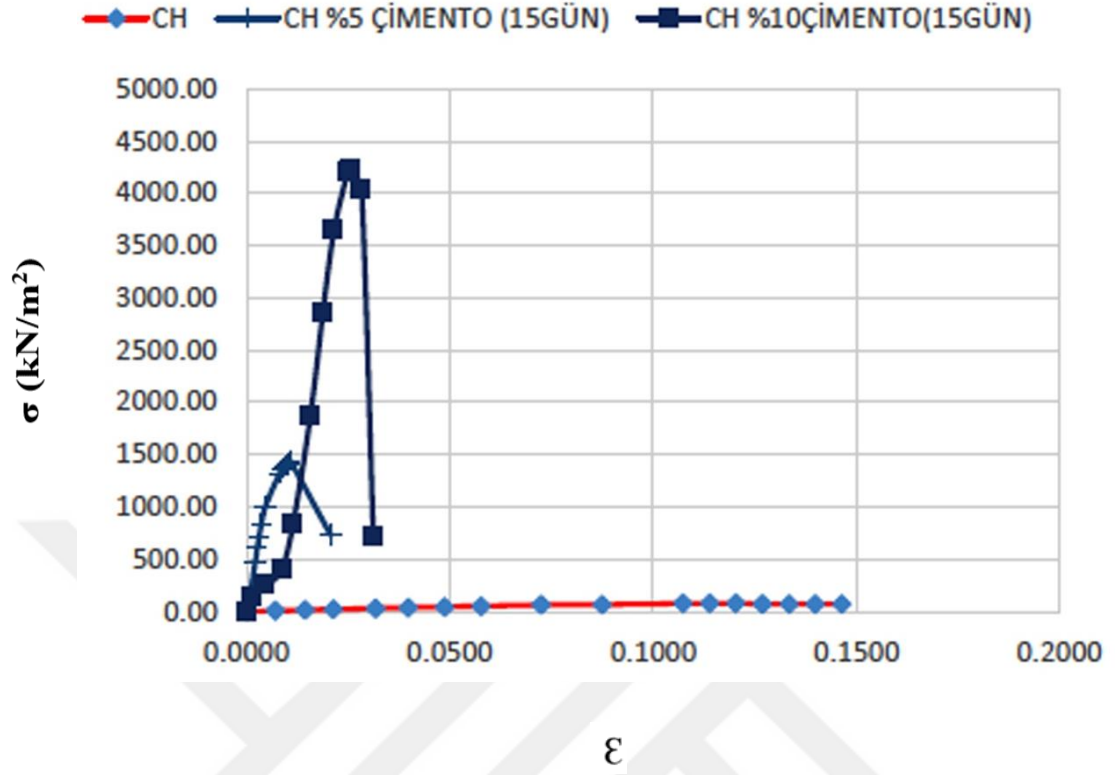
Ek Şekil 1.19. Yüksek plastisiteli kil-çimento karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



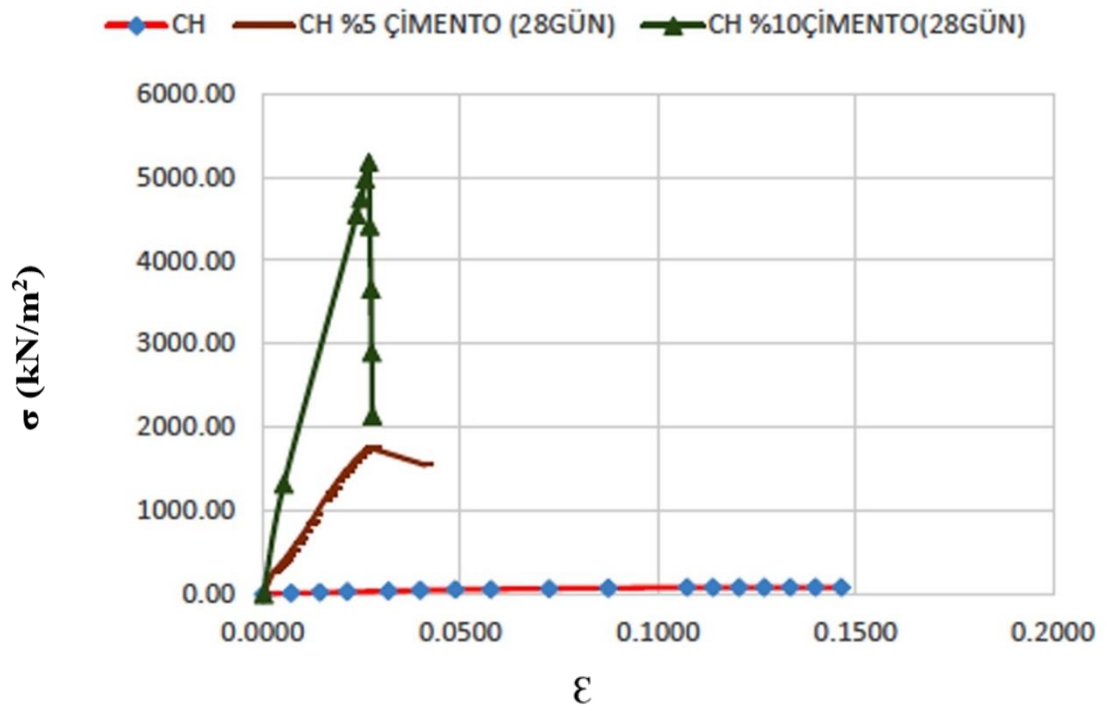
Ek Şekil 1.20. Yüksek plastisiteli kil-çimento karışımının 0. gün serbest basınç deneyi sonuçları



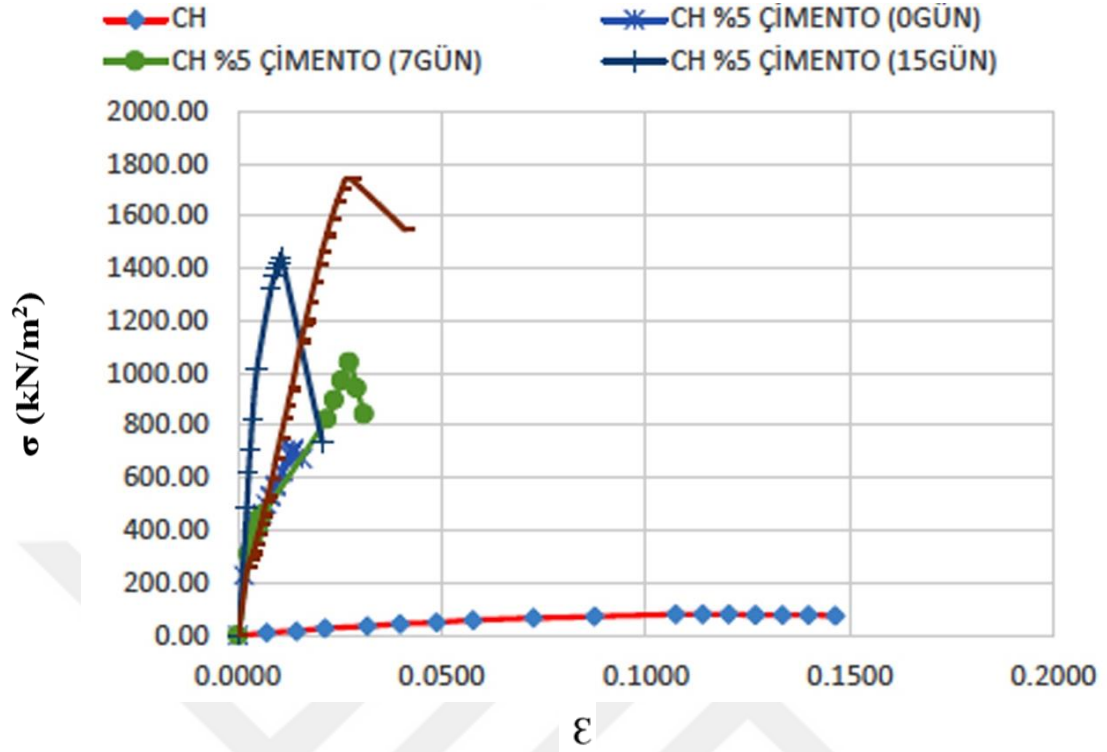
Ek Şekil 1.21. Yüksek plastisiteli kil-çimento karışımının 7. gün serbest basınç deneyi sonuçları



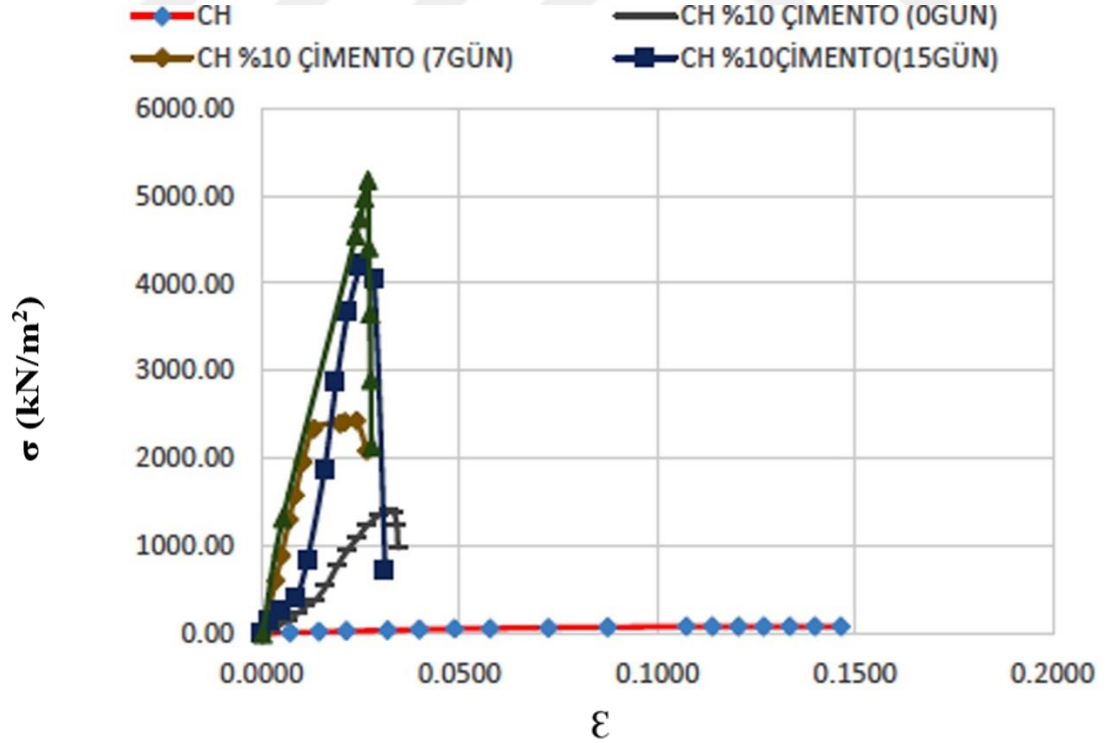
Ek Şekil 1.22. Yüksek plastisiteli kil-çimento karışımının 15. gün serbest basınç deneyi sonuçları



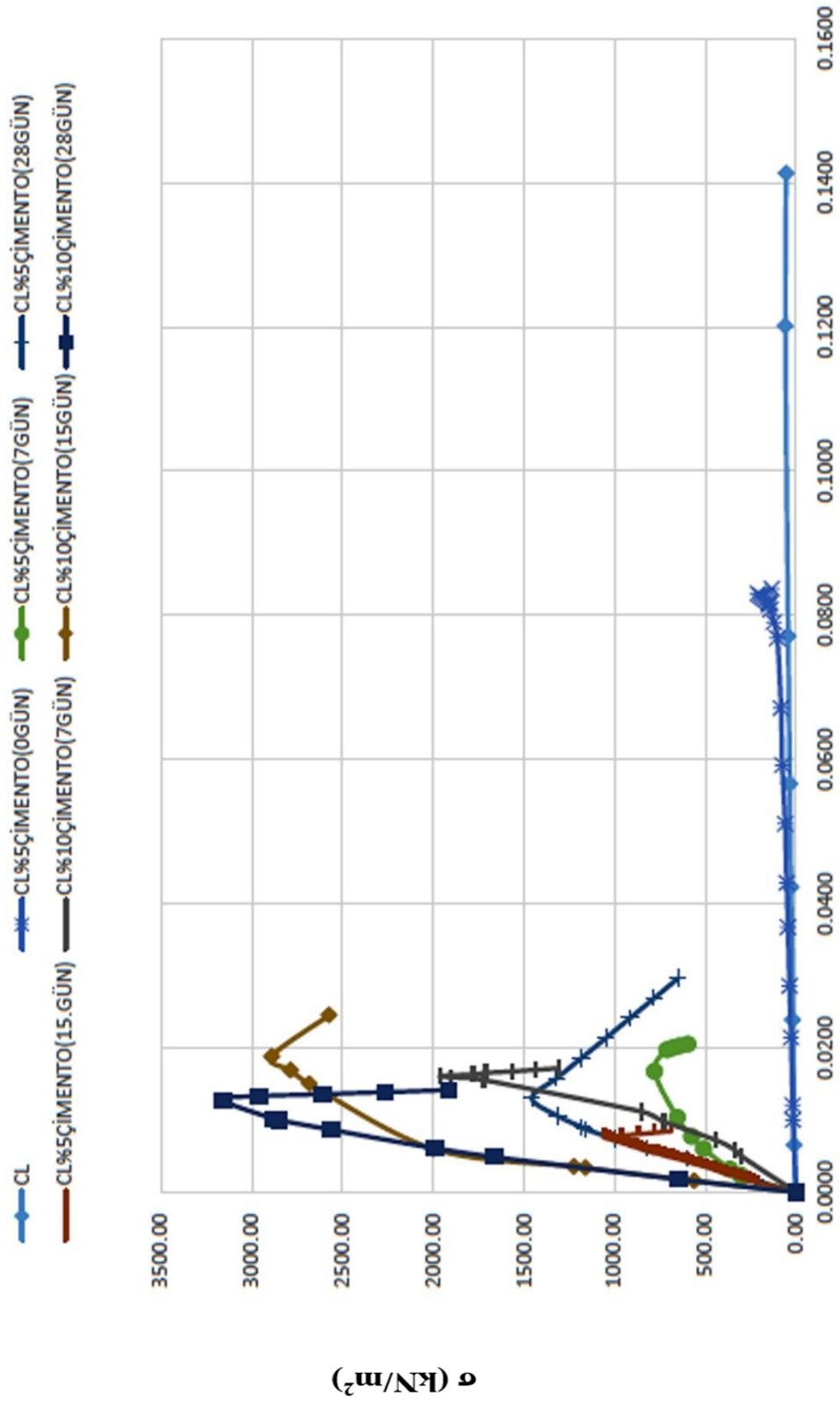
Ek Şekil 1.23. Yüksek plastisiteli kil-çimento karışımının 28. gün serbest basınç deneyi sonuçları



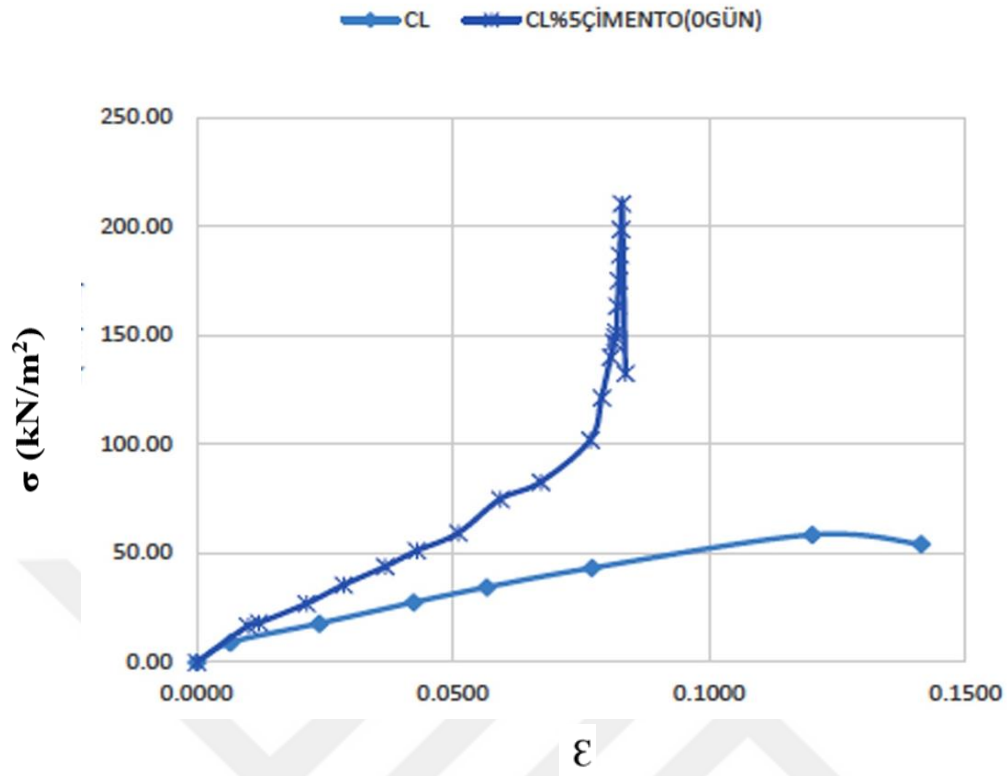
Ek Şekil 1.24. Yüksek plastisiteli kil-%5 çimento karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



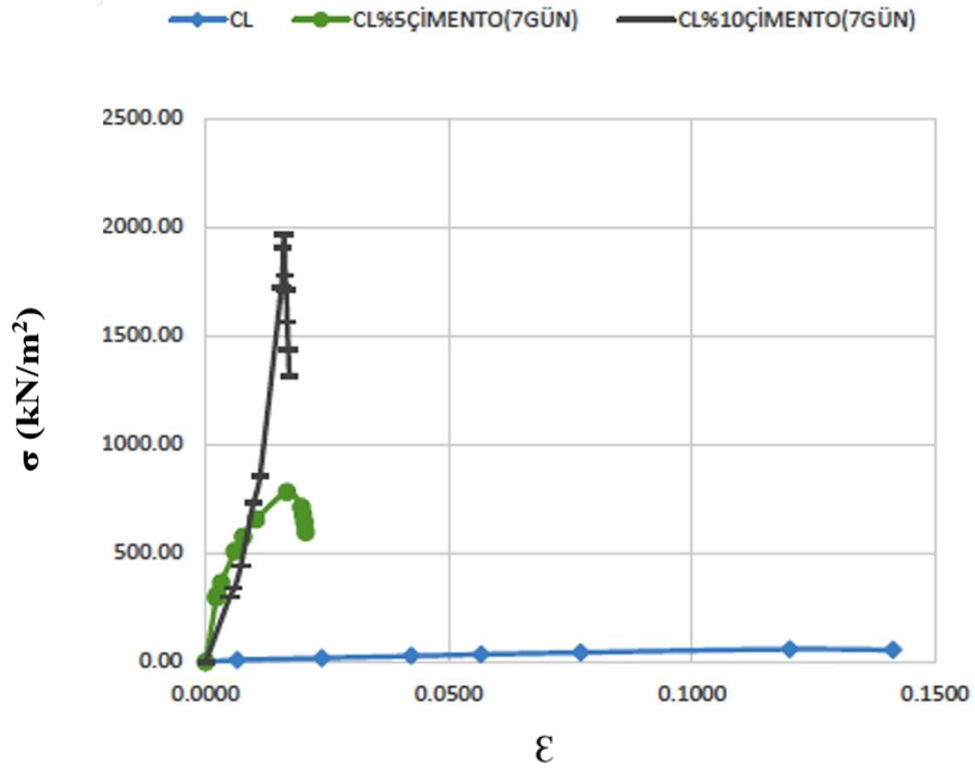
Ek Şekil 1.25. Yüksek plastisiteli kil-%10 çimento karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



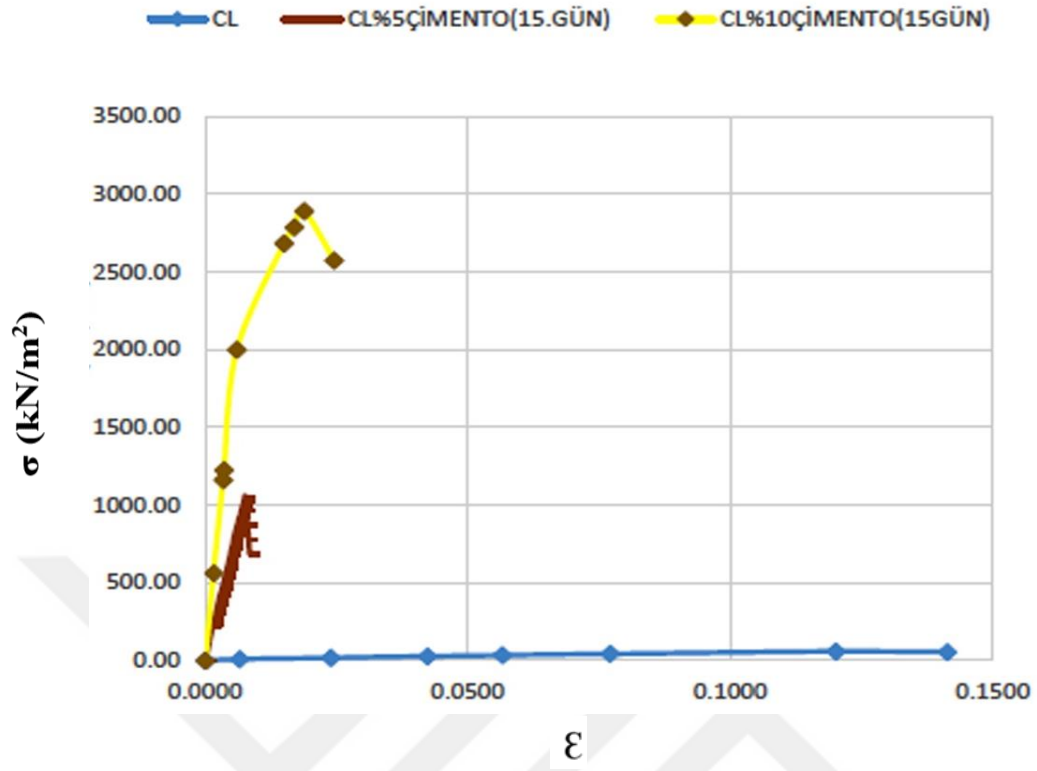
Ek Şekil 1.26. Düşük plastisiteli kil-çimento karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



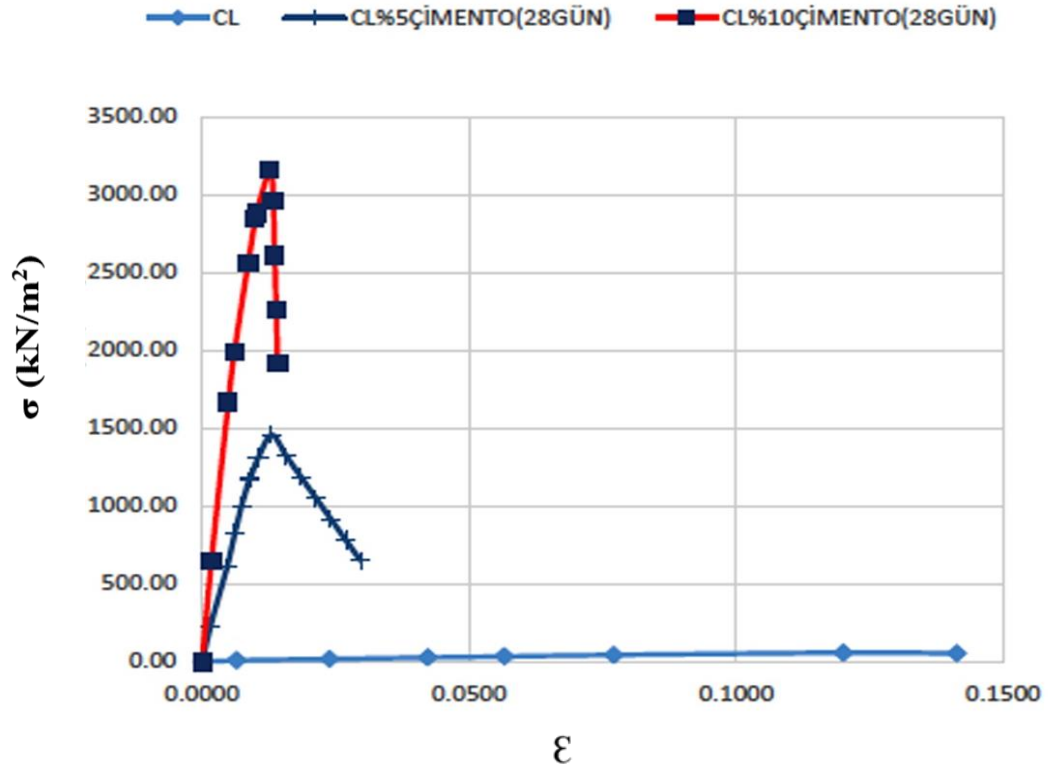
Ek Şekil 1.27. Düşük plastisiteli kil-çimento karışımının 0. gün serbest basınç deneyi sonuçları



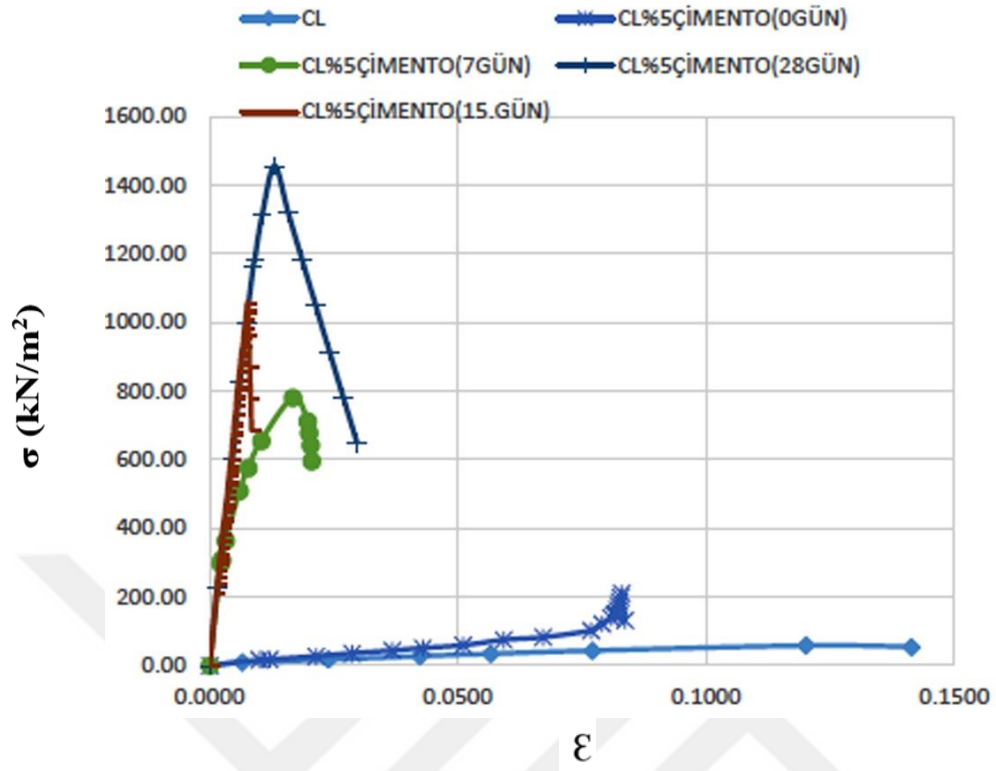
Ek Şekil 1.28. Düşük plastisiteli kil-çimento karışımının 7. gün serbest basınç deneyi sonuçları



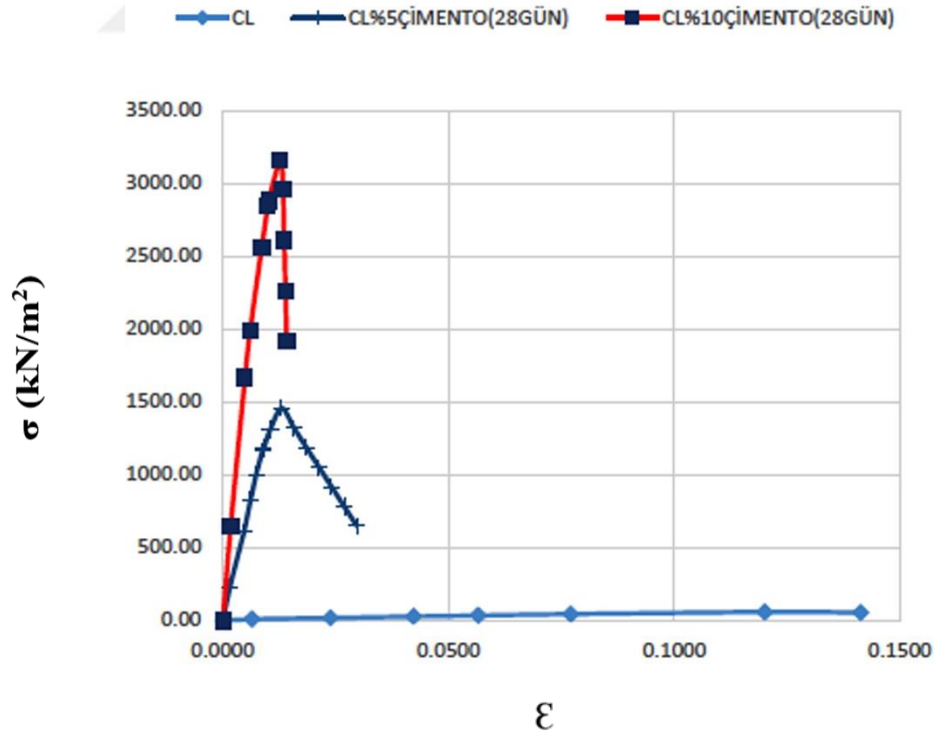
Ek Şekil 1.29. Düşük plastisiteli kil-çimento karışımının 15. gün serbest basınç deneyi sonuçları



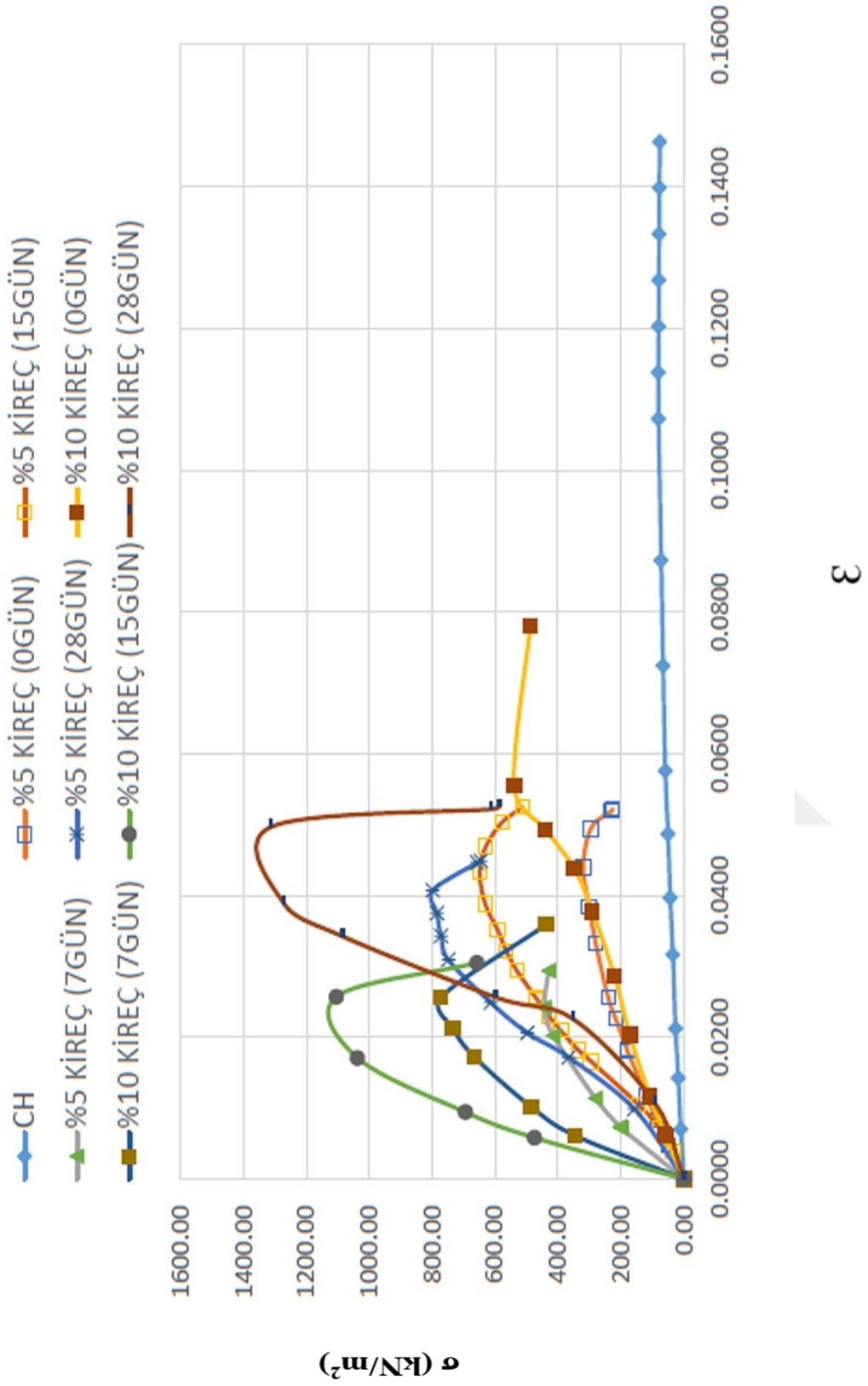
Ek Şekil 1.30. Düşük plastisiteli kil-çimento karışımının 28. gün serbest basınç deneyi sonuçları



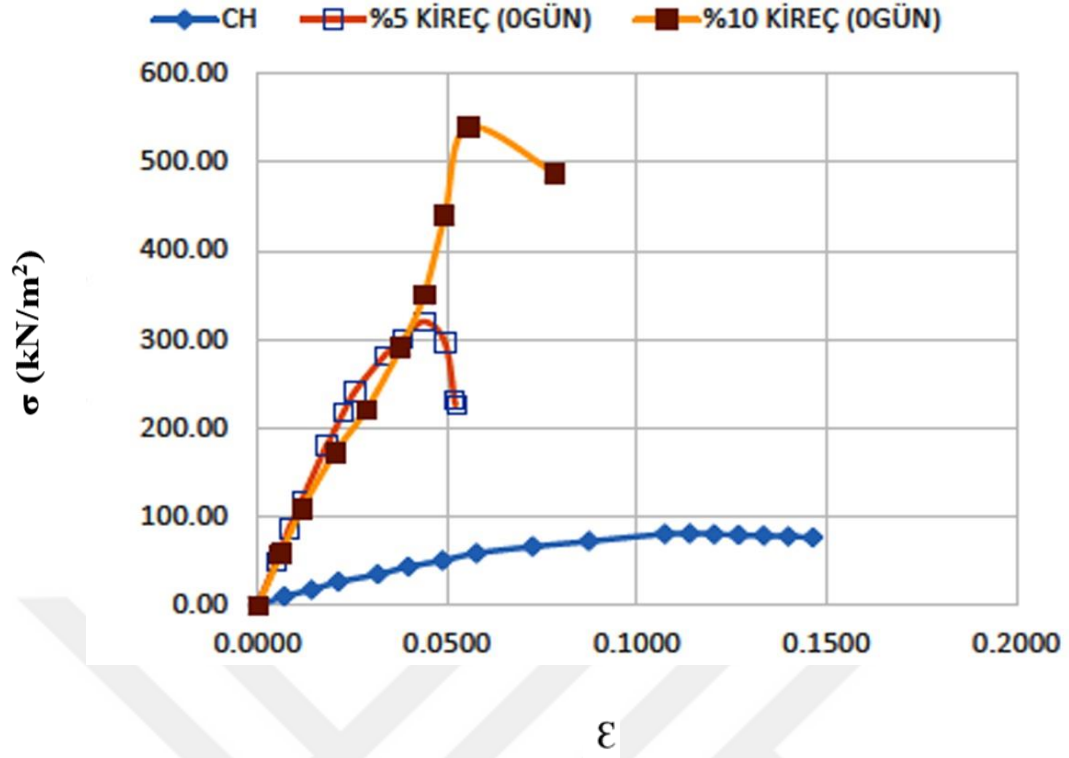
Ek Şekil 1.31. Düşük plastisiteli kil-%5 çimento karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



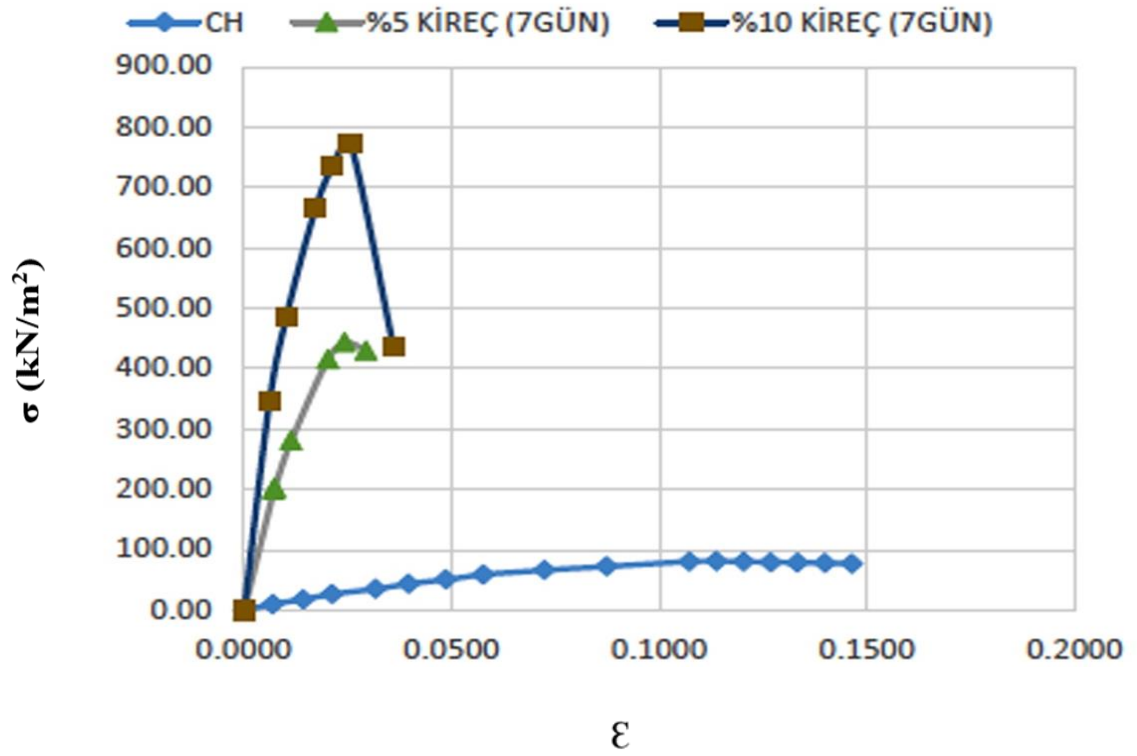
Ek Şekil 1.32. Düşük plastisiteli kil-%10 çimento karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



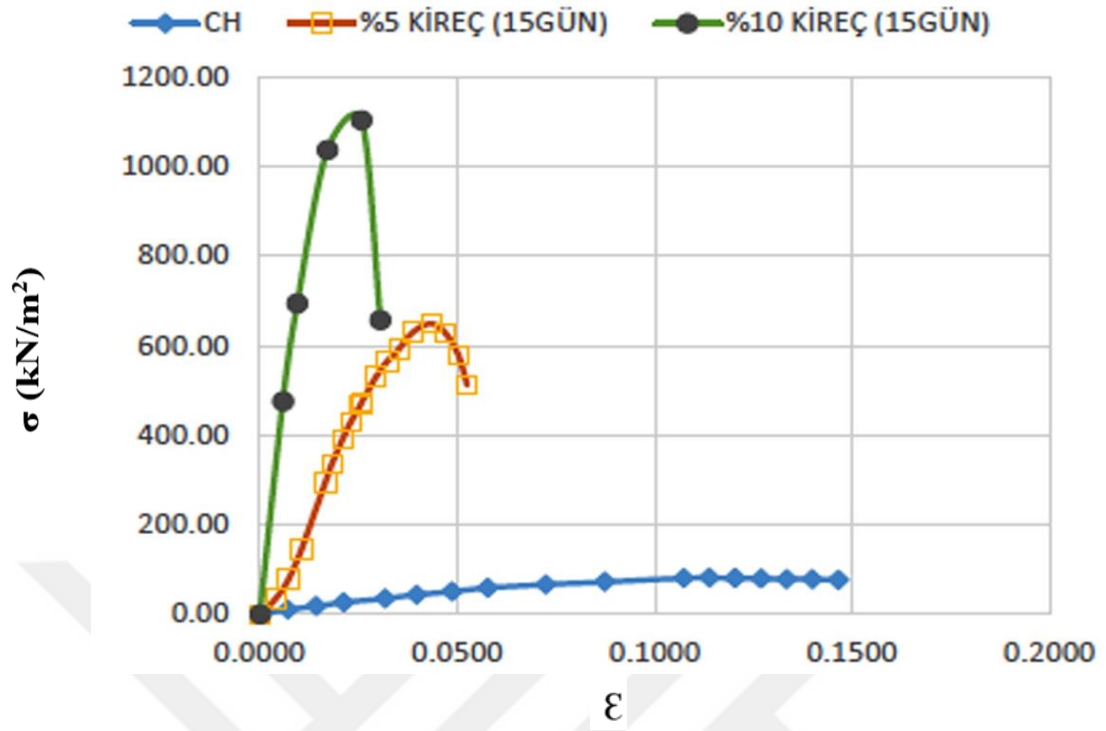
Ek Şekil 1.33. Yüksek plastisiteli kil-kireç karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



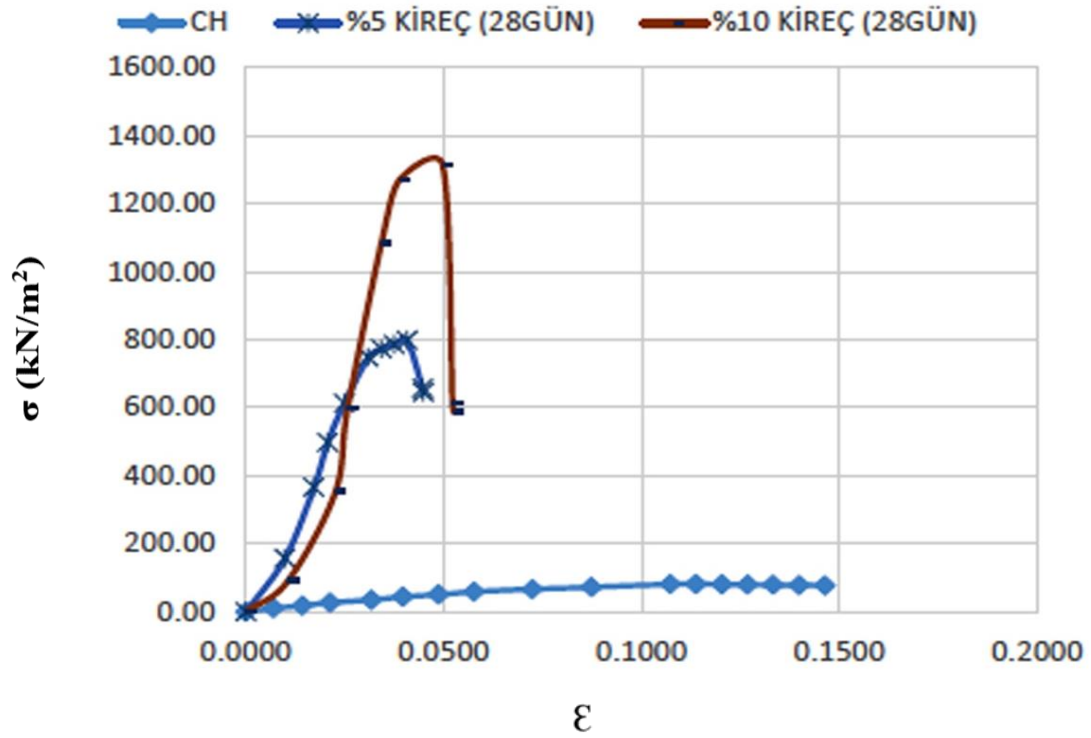
Ek Şekil 1.34. Yüksek plastisiteli kil-kirç karışımının 0. gün serbest basınç deneyi sonuçları



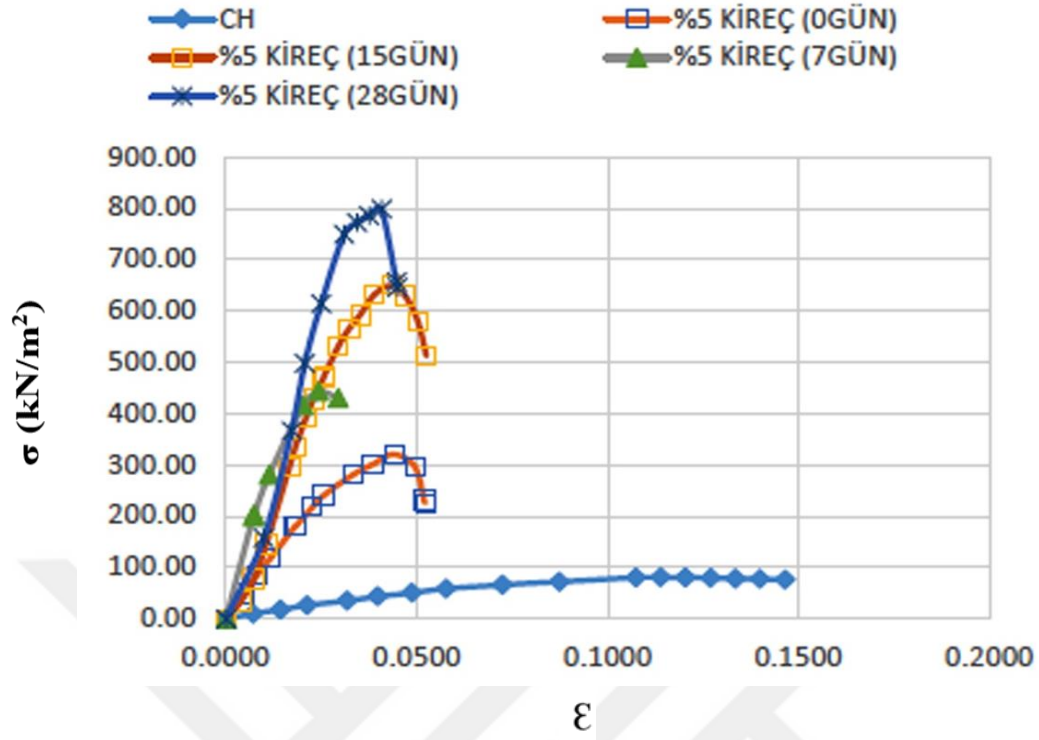
Ek Şekil 1.35. Yüksek plastisiteli kil-kireç karışımının 7. gün serbest basınç deneyi sonuçları



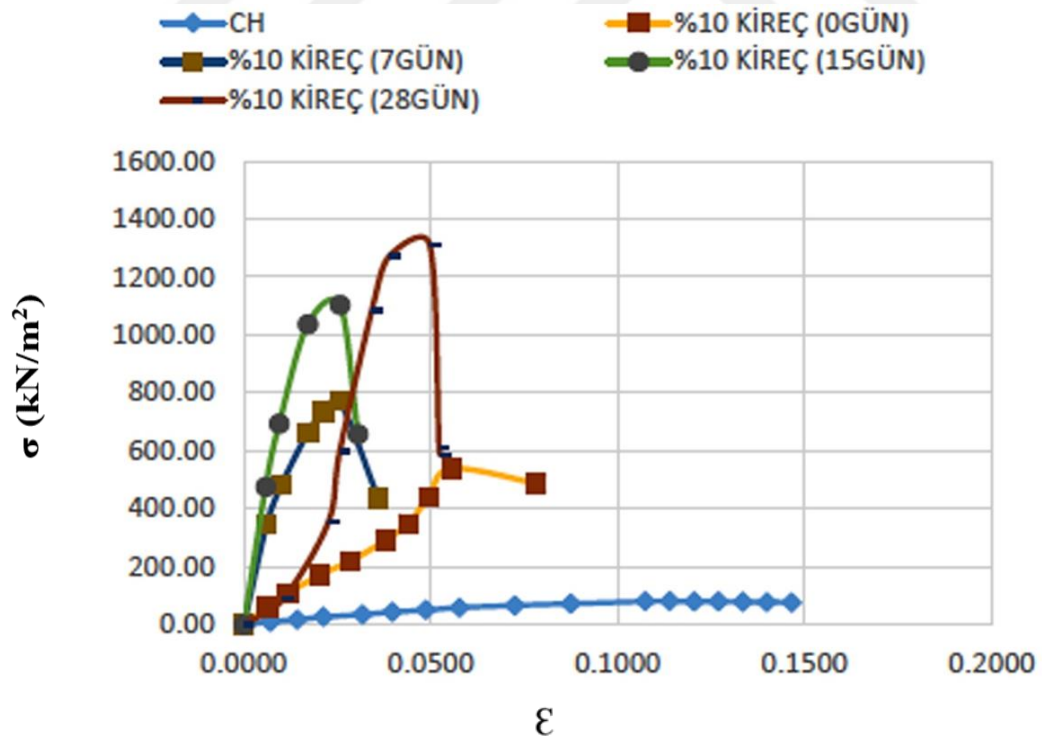
Ek Şekil 1.36. Yüksek plastisiteli kil-kireç karışımının 15. gün serbest basınç deneyi sonuçları



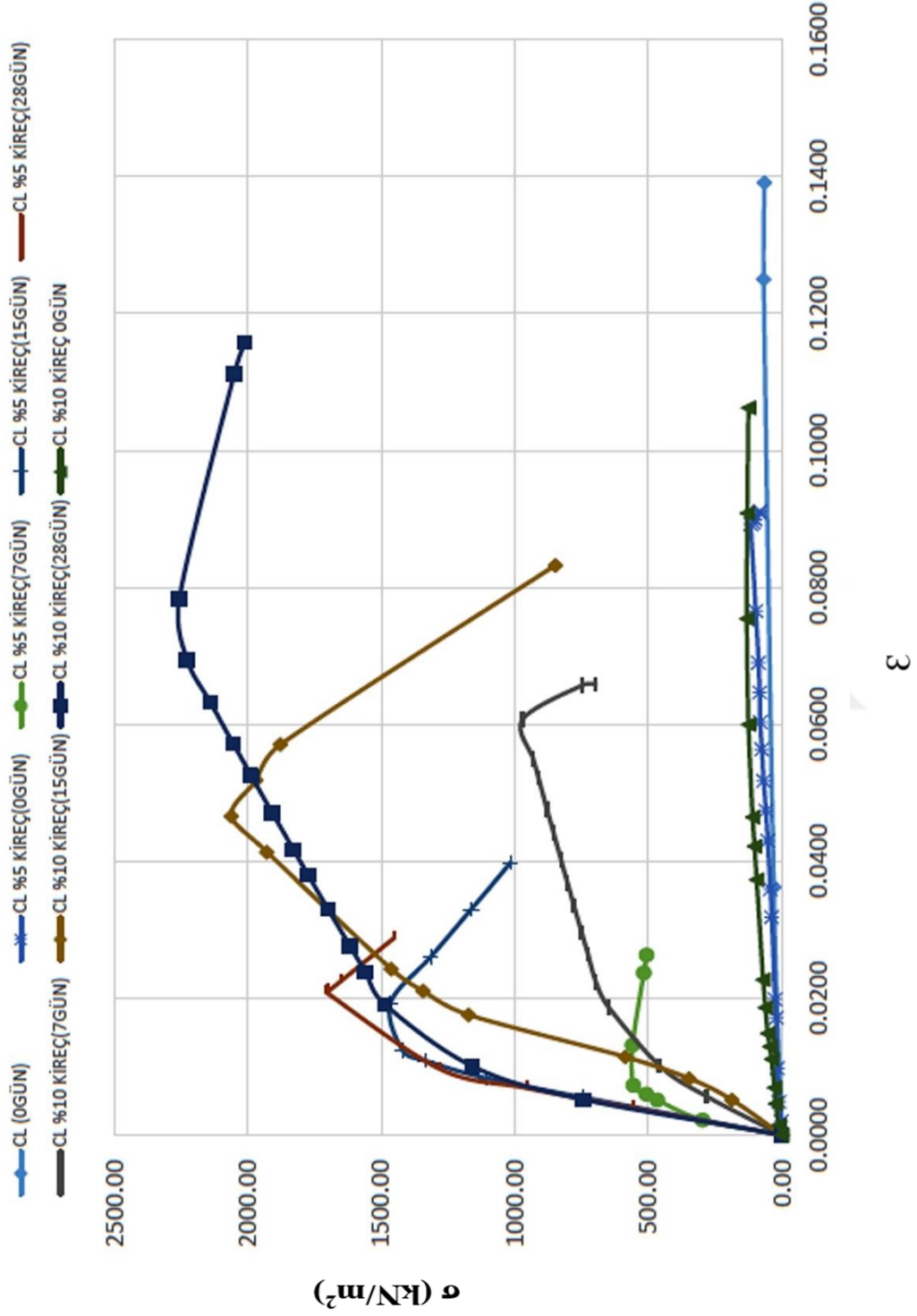
Ek Şekil 1.37. Yüksek plastisiteli kil-kireç karışımının 28. gün serbest basınç deneyi sonuçları



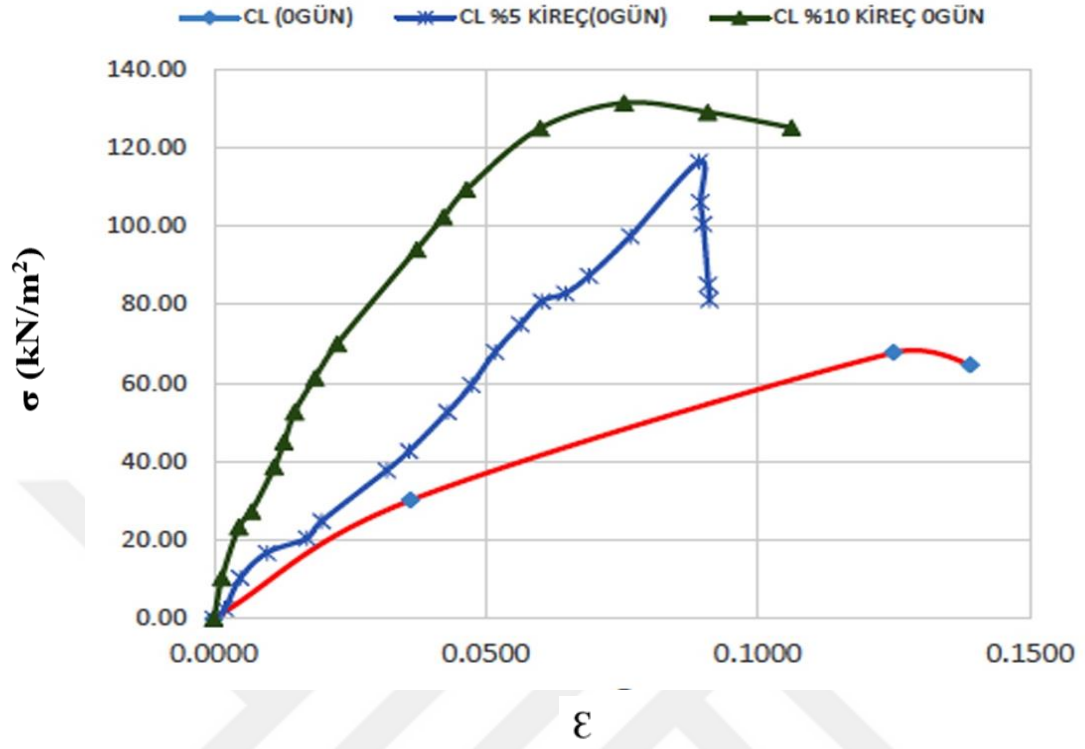
Ek Şekil 1.38. Yüksek plastisiteli kil-%5 çimento karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



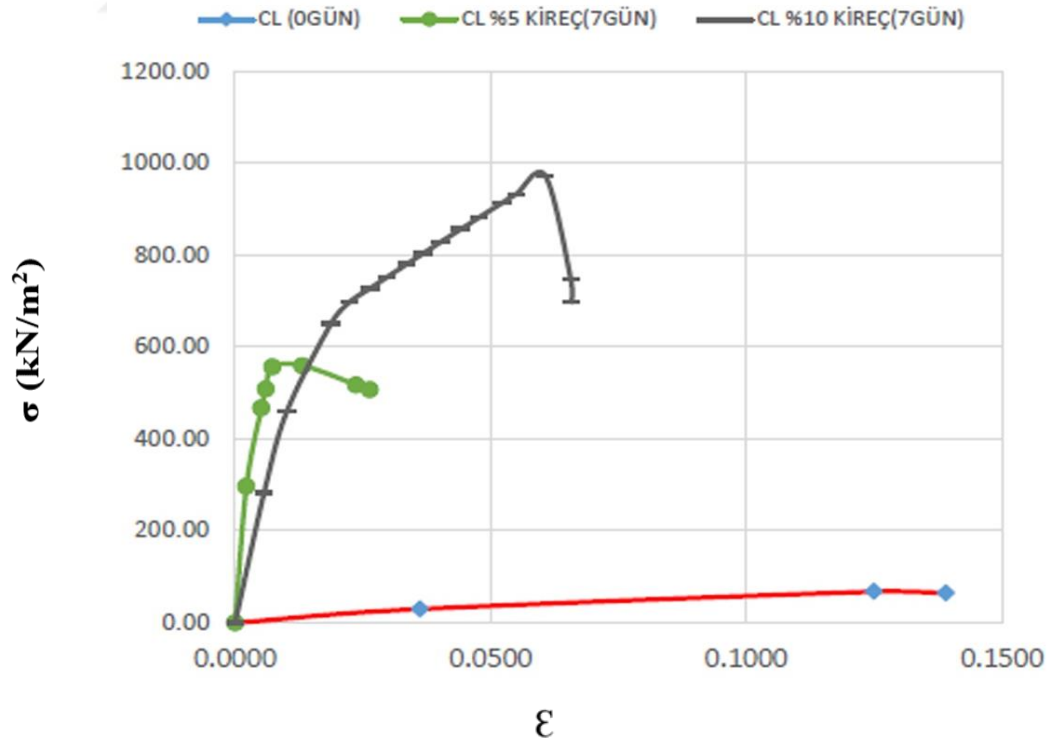
Ek Şekil 1.39. Yüksek plastisiteli kil-%10 çimento karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



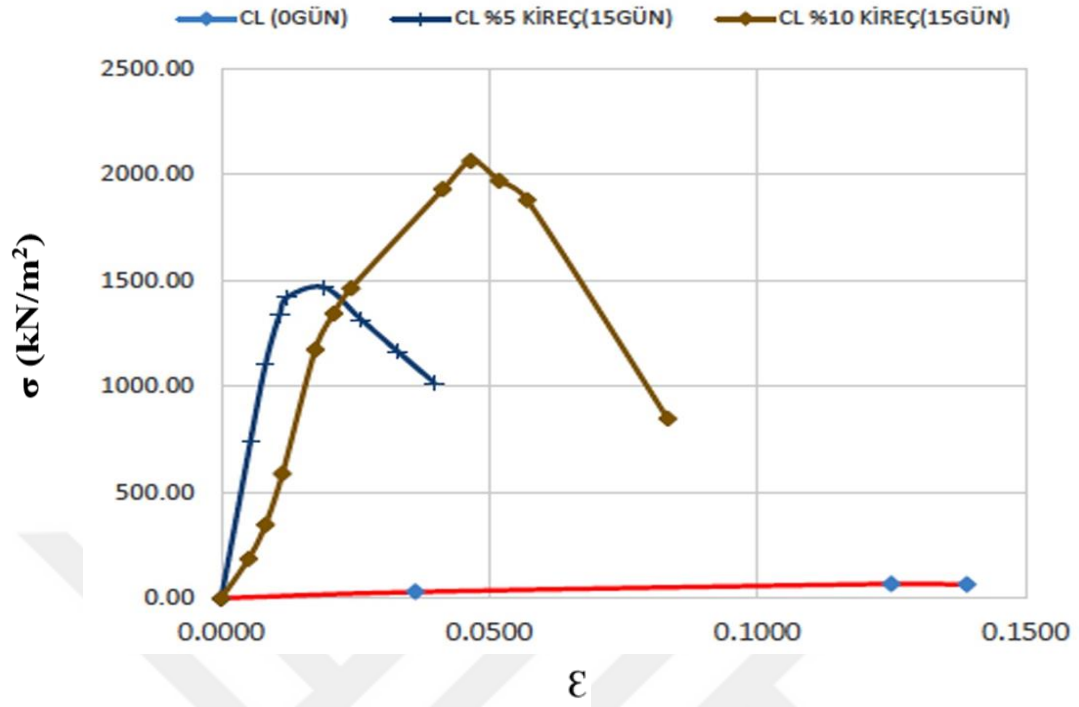
Ek Şekil 1.40. Düşük plastisiteli kil-kireç karışımının serbest basınç deneyi sonuçları



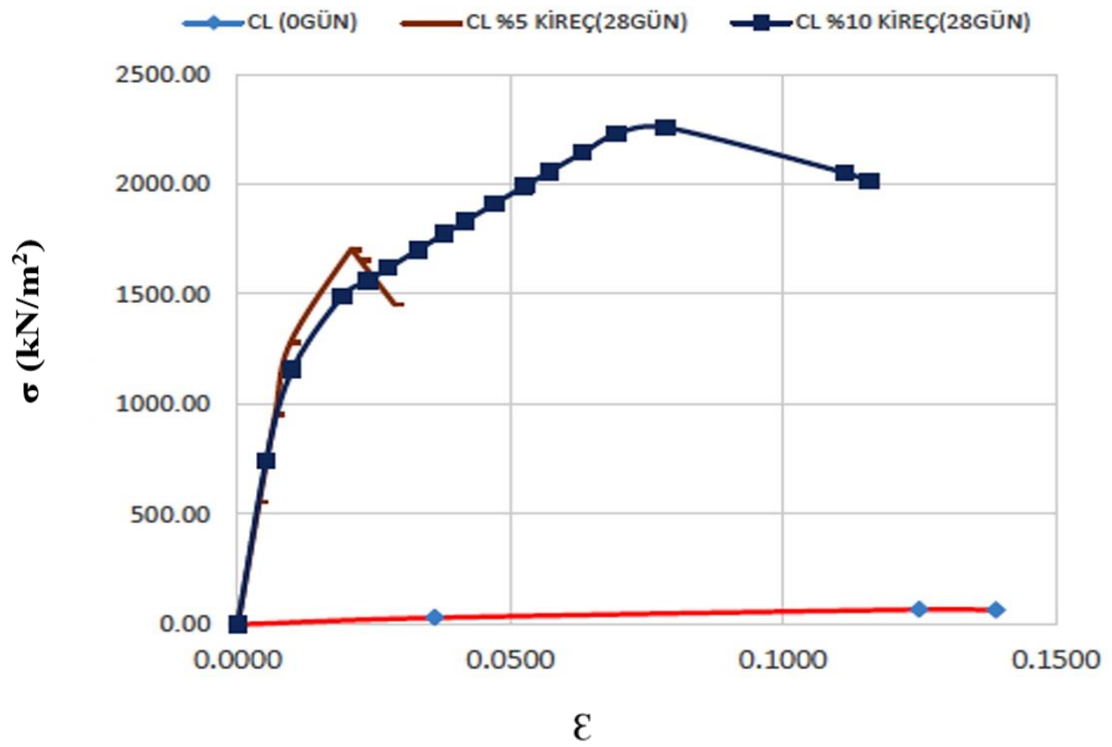
Ek Şekil 1.41. Düşük plastisiteli kil-kireç karışımının 0. gün serbest basınç deneyi sonuçları



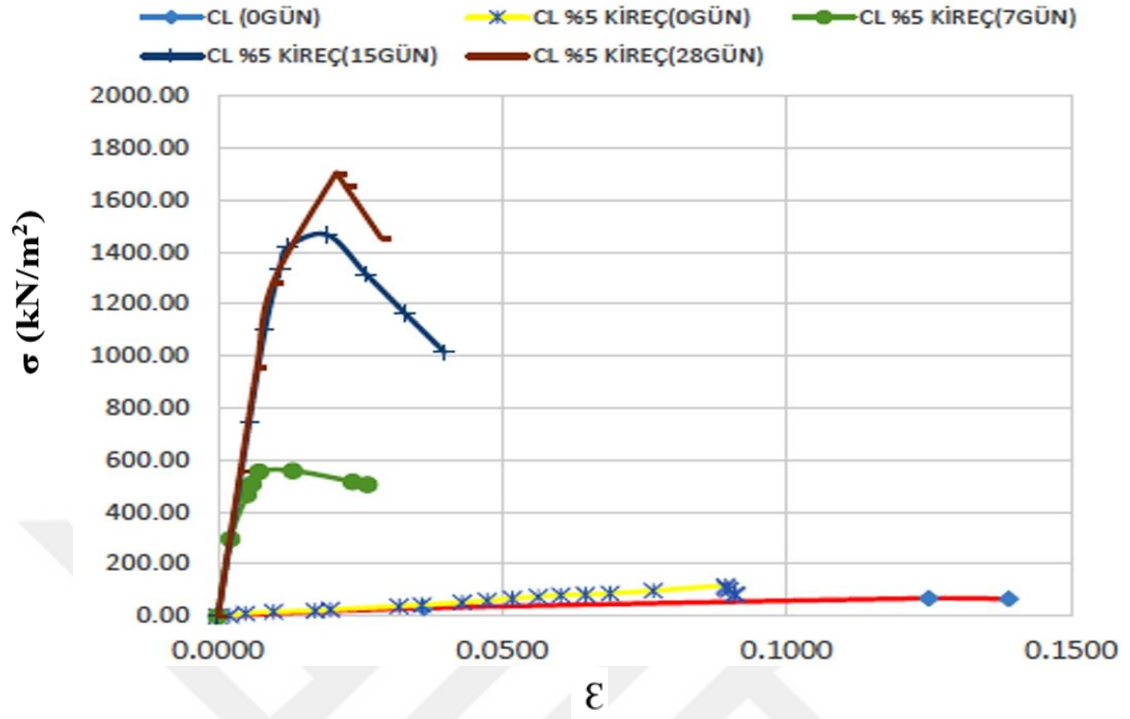
Ek Şekil 1.42. Düşük plastisiteli kil-kireç karışımının 7. gün serbest basınç deneyi sonuçları



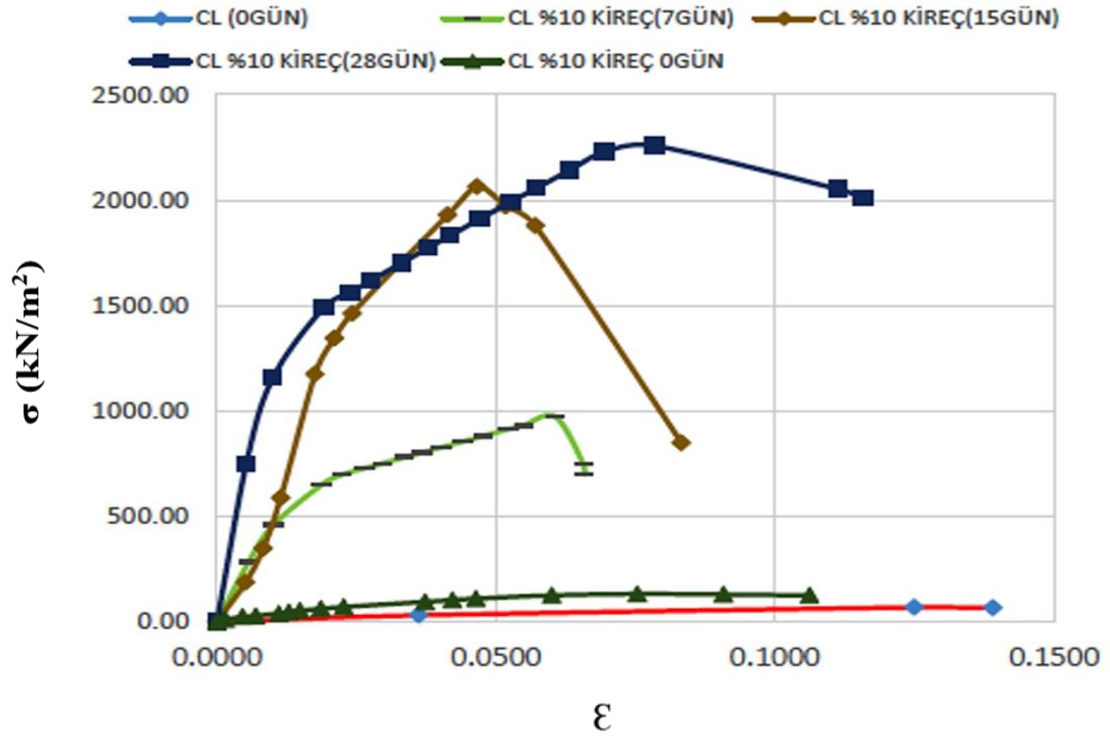
Ek Şekil 1.43. Düşük plastisiteli kil-kireç karışımının 15. gün serbest basınç deneyi sonuçları



Ek Şekil 1.44. Düşük plastisiteli kil-kireç karışımının 28. gün serbest basınç deneyi sonuçları

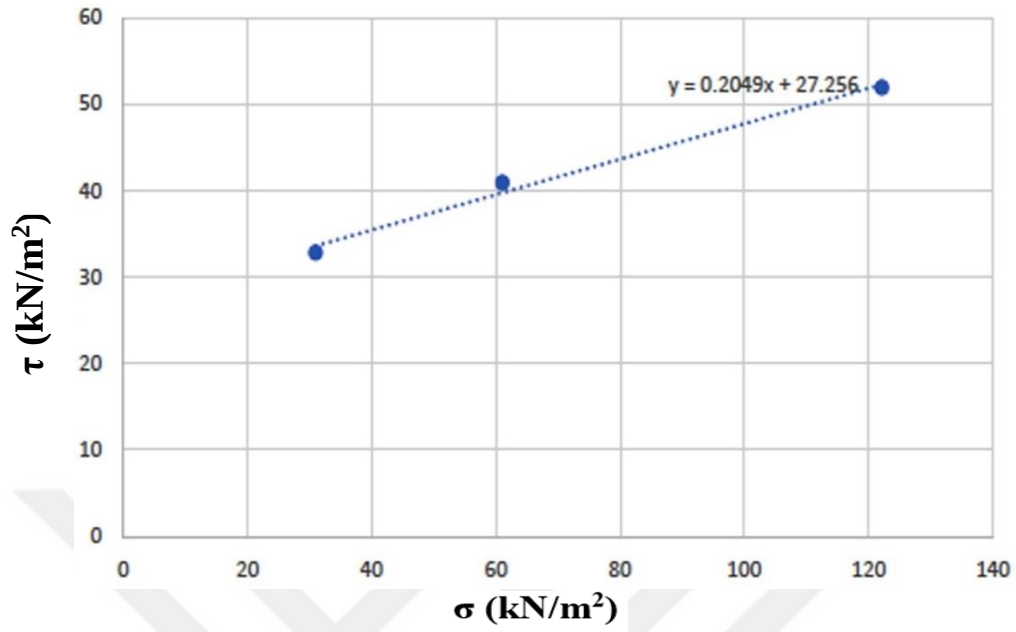


Ek Şekil 1.45. Düşük plastisiteli kil-%5 kireç karışımının serbest basınç deneyi sonuçları

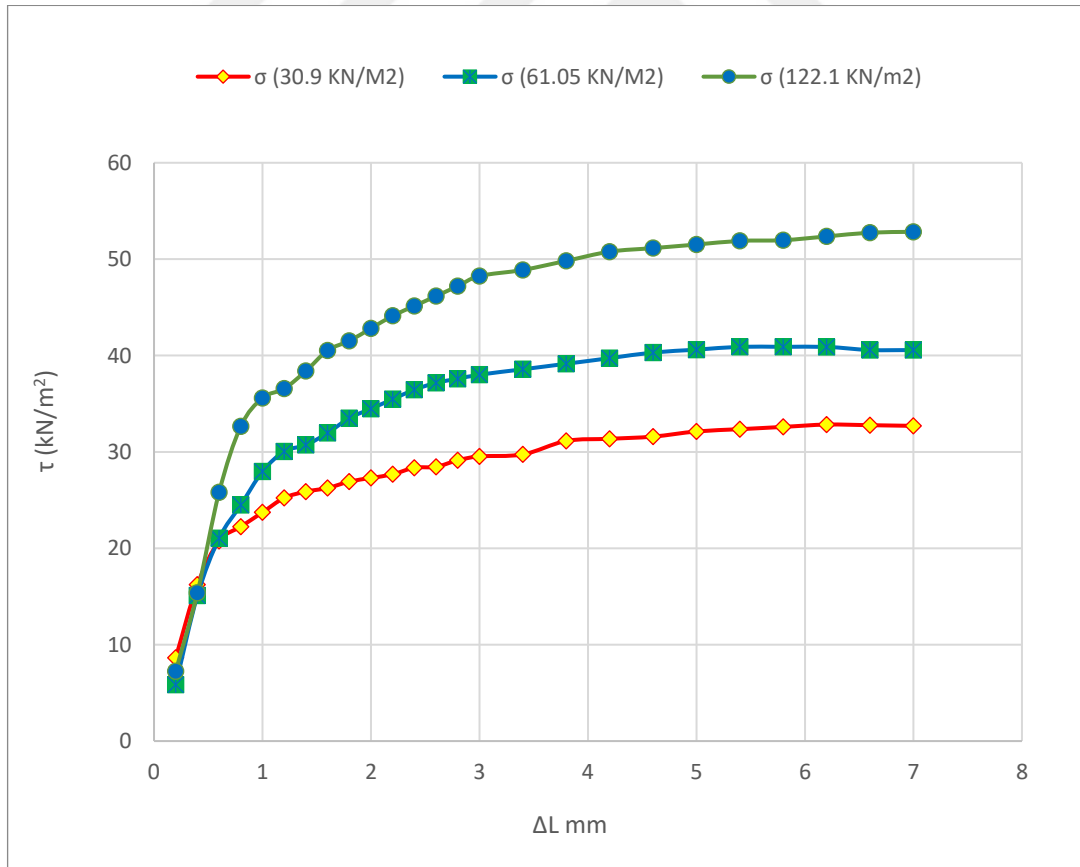


Ek Şekil 1.46. Düşük plastisiteli kil-%10 kireç karışımının serbest basınç deneyi sonuçları

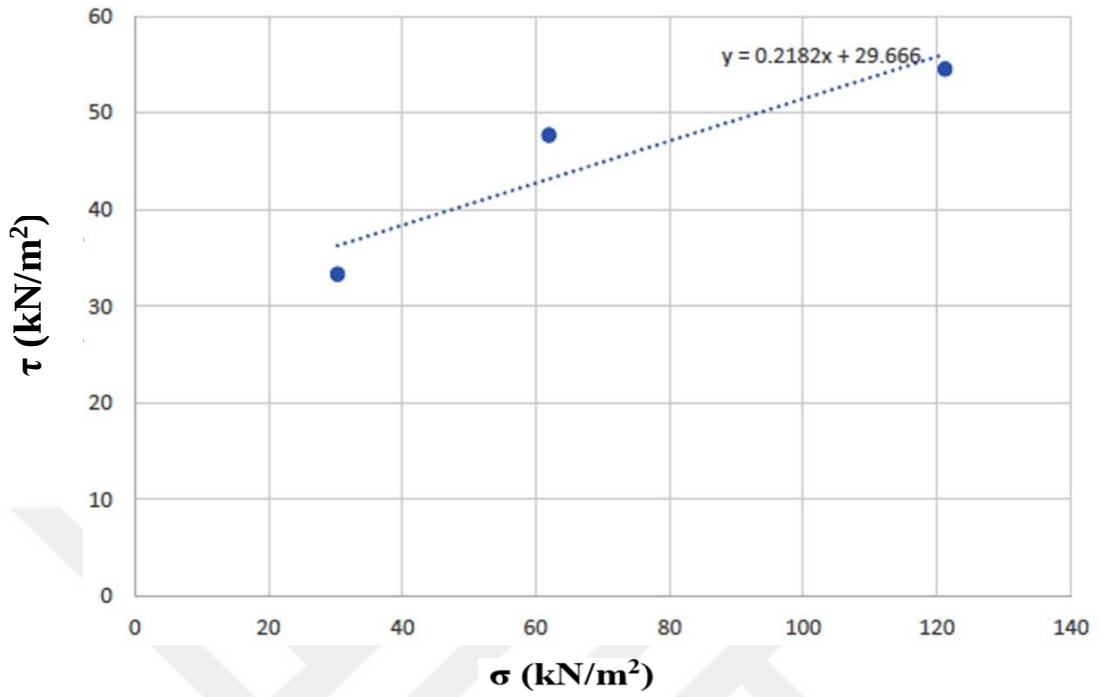
EK-2: Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları



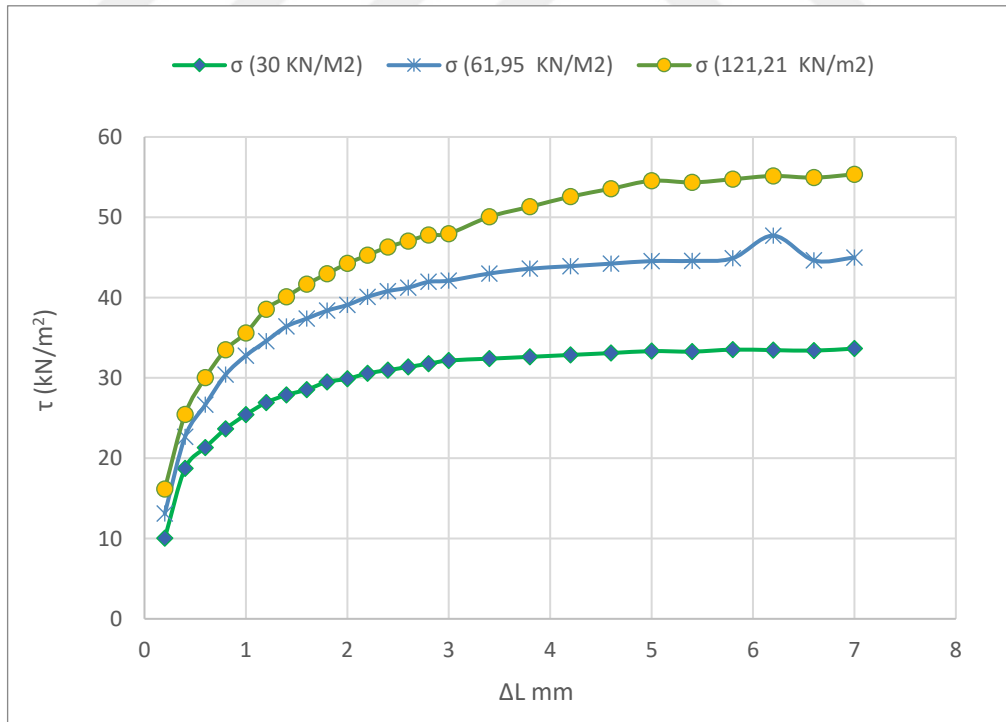
Ek Şekil 2.1. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (saf kil)



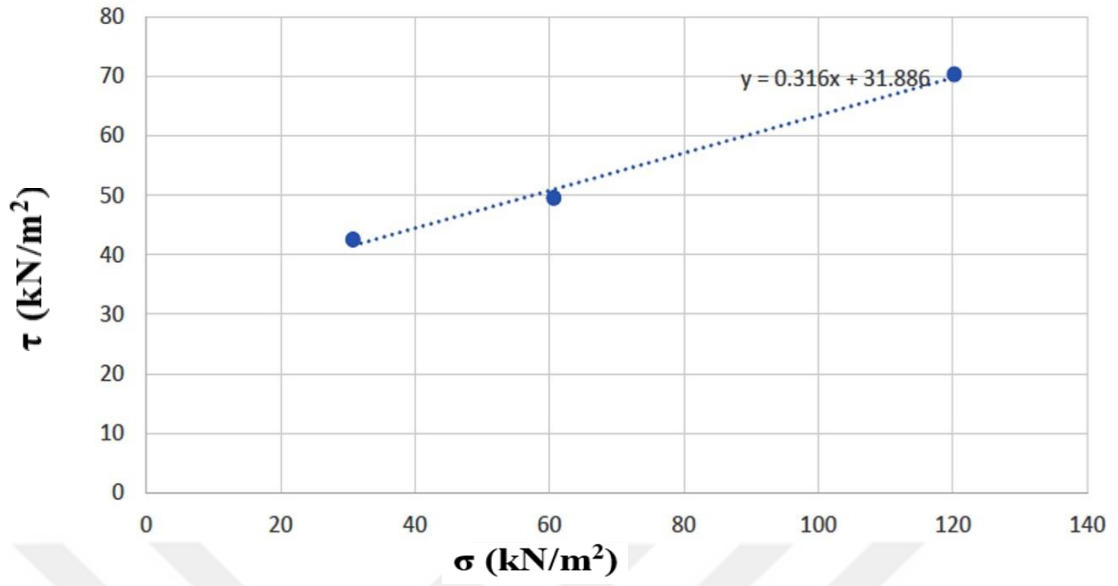
Ek Şekil 2.2. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (saf kil)



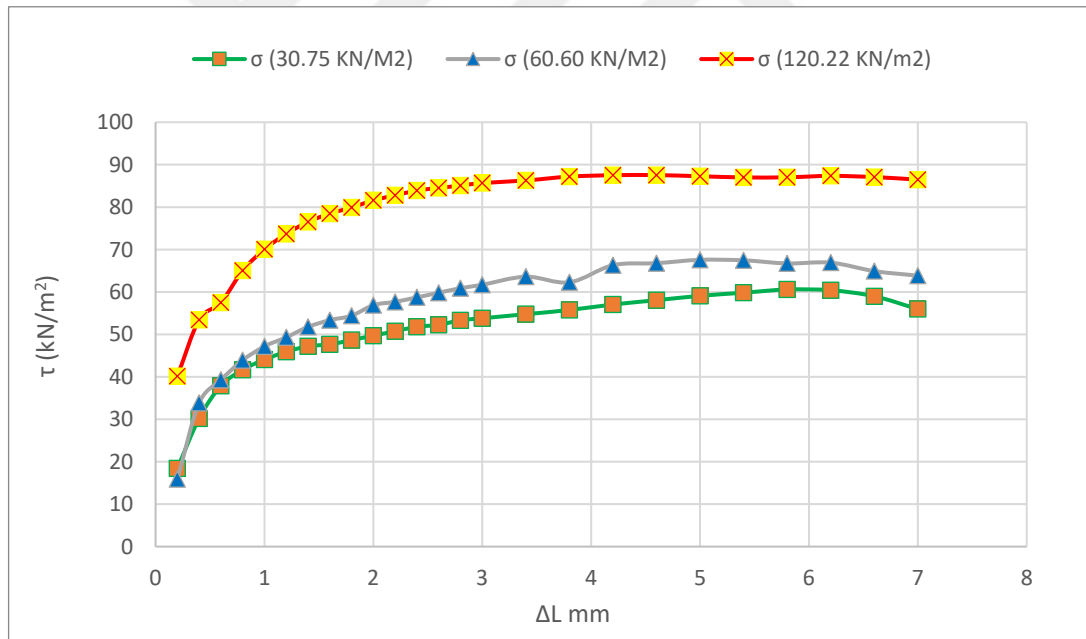
Ek Şekil 2.3. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 PKF 0.gün)



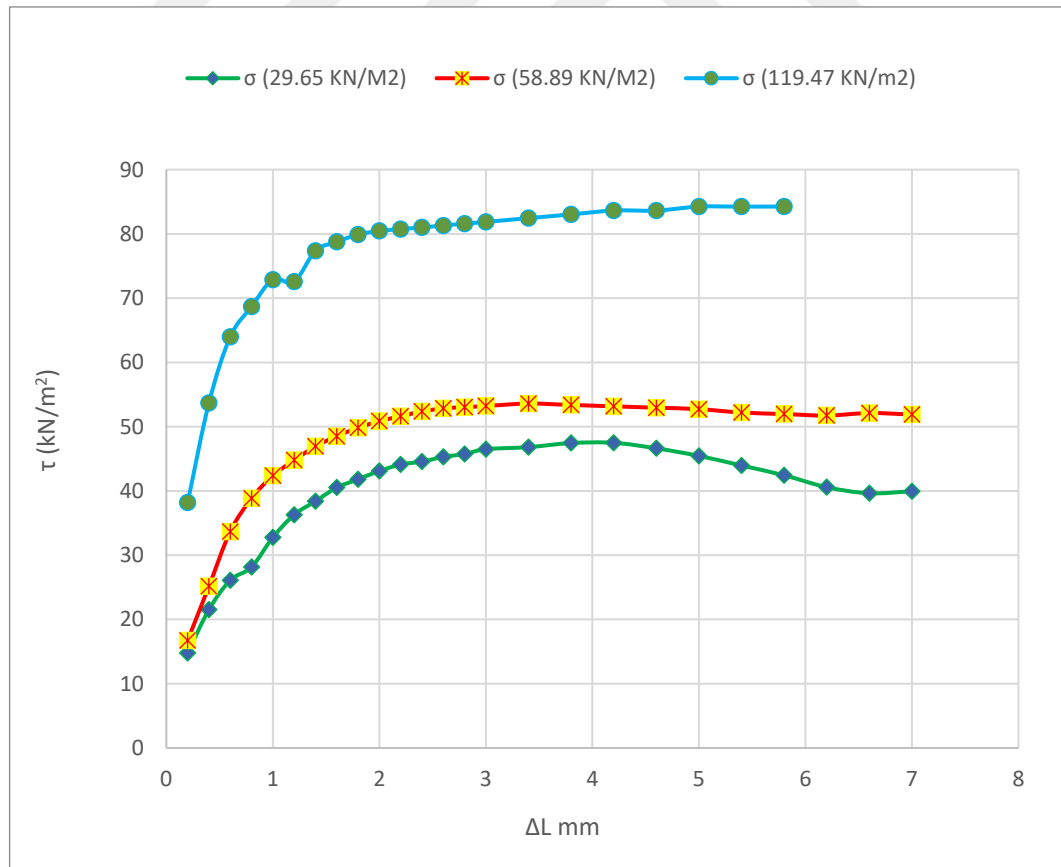
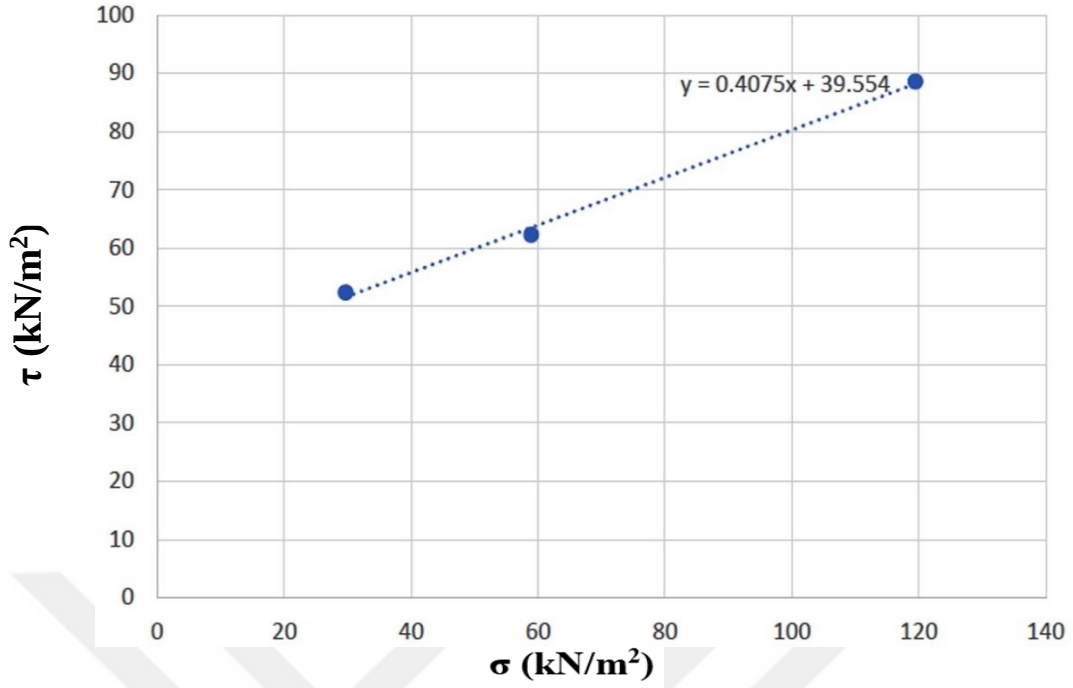
Ek Şekil 2.4. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 PKF 0.gün)

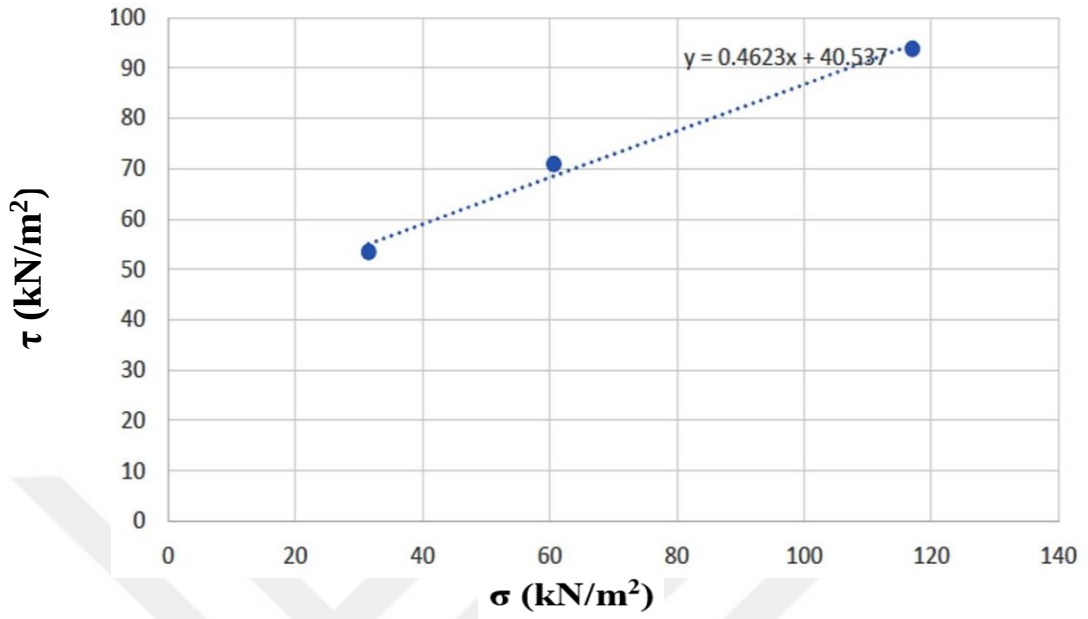


Ek Şekil 2.5. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 PKF 7.gün)

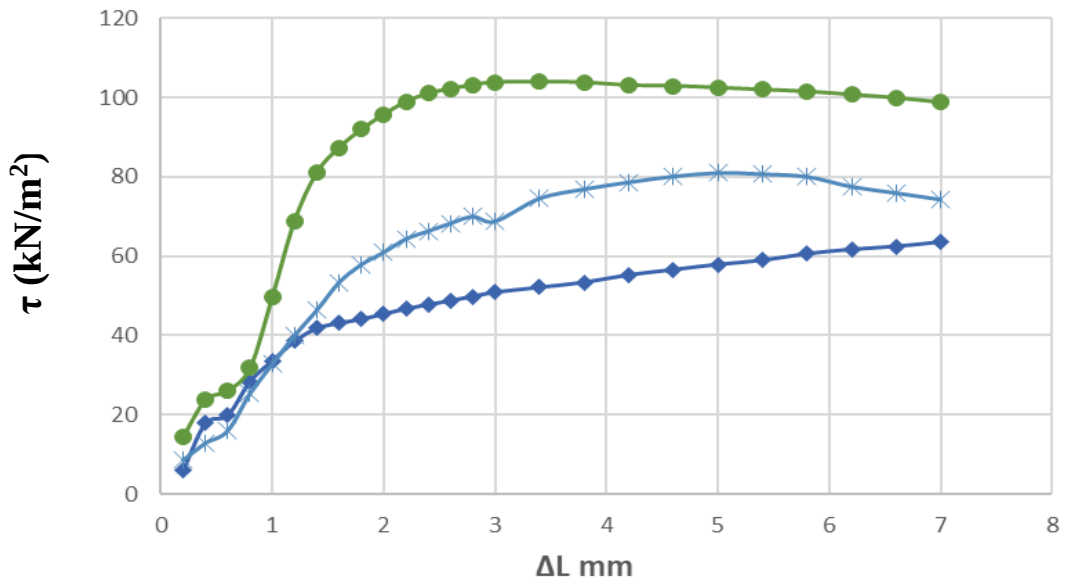


Ek Şekil 2.6. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 PKF 7.gün)

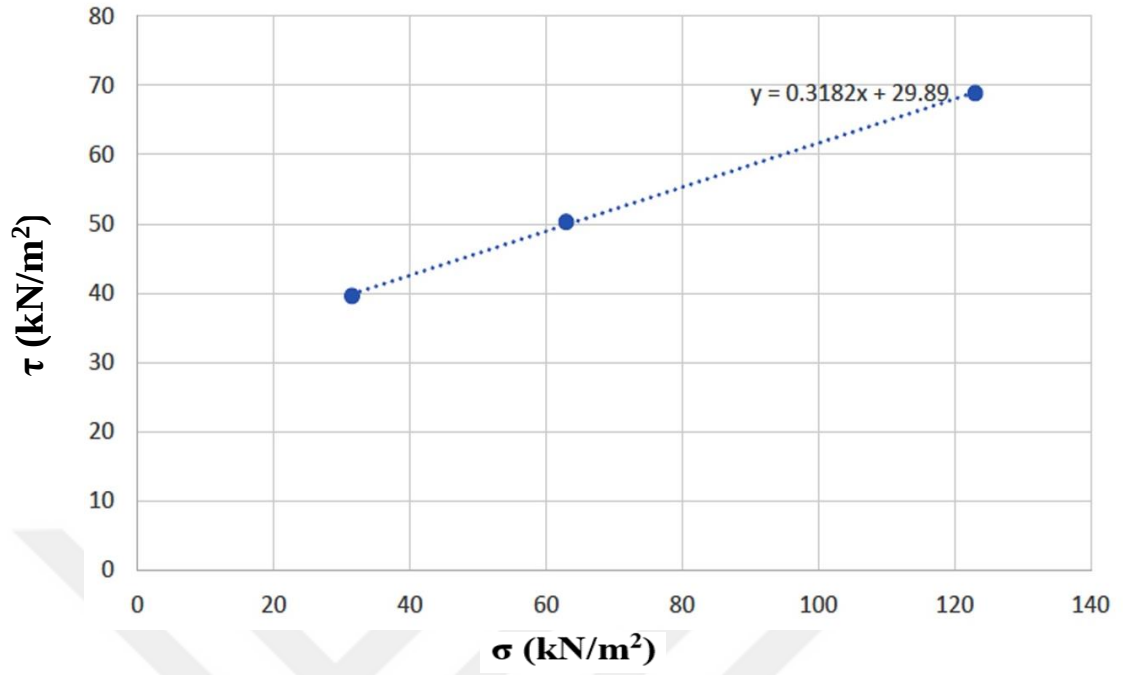




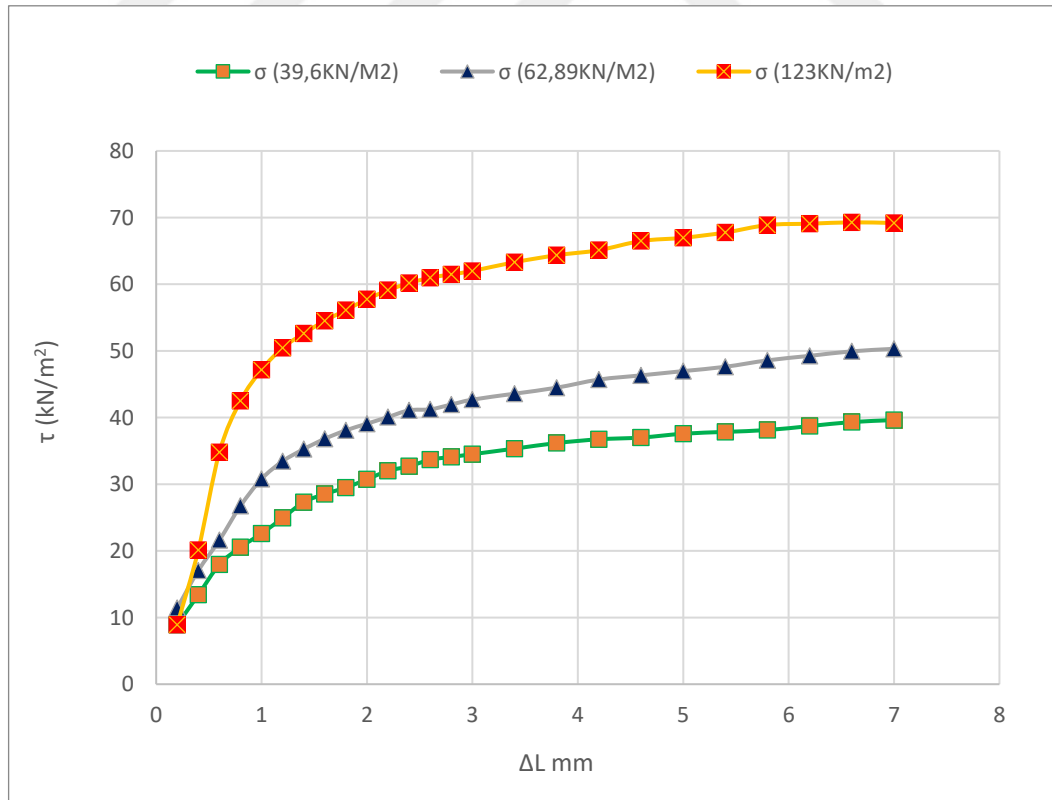
Ek Şekil 2.9. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 PKF 28.gün)



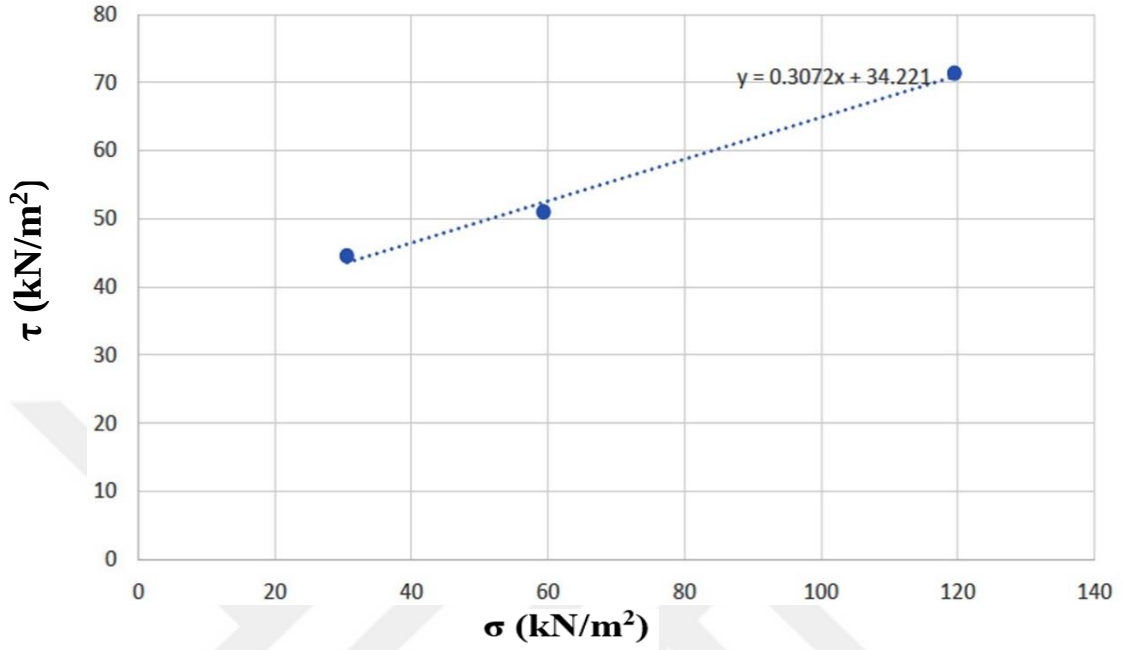
Ek Şekil 2.10. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 PKF 28.gün)



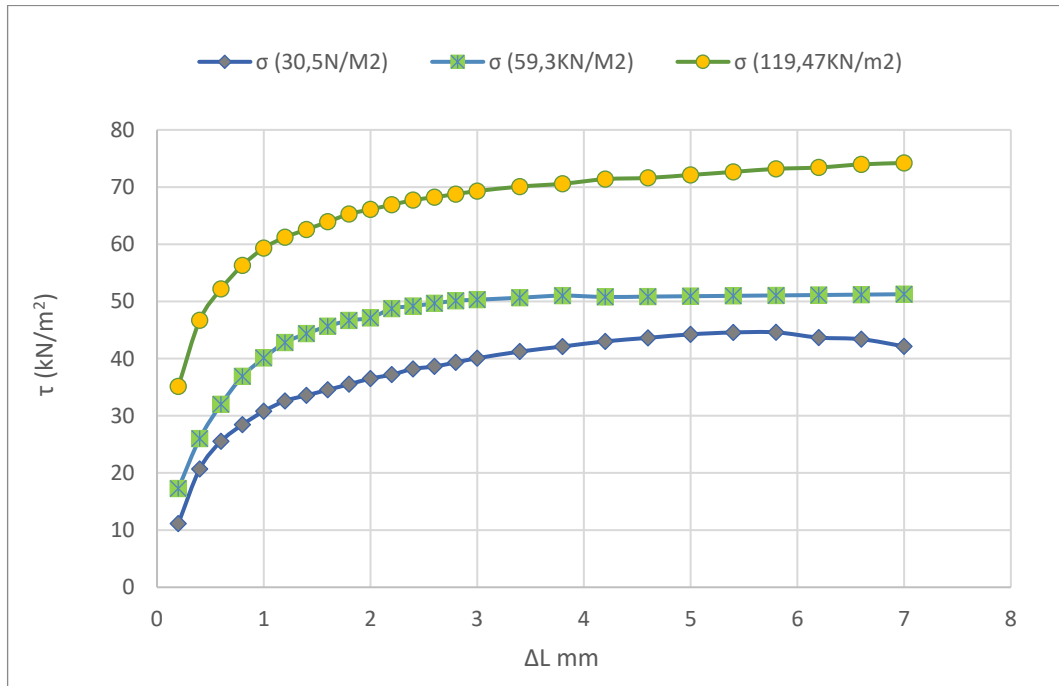
Ek Şekil 2.11. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 PKF 0.gün)



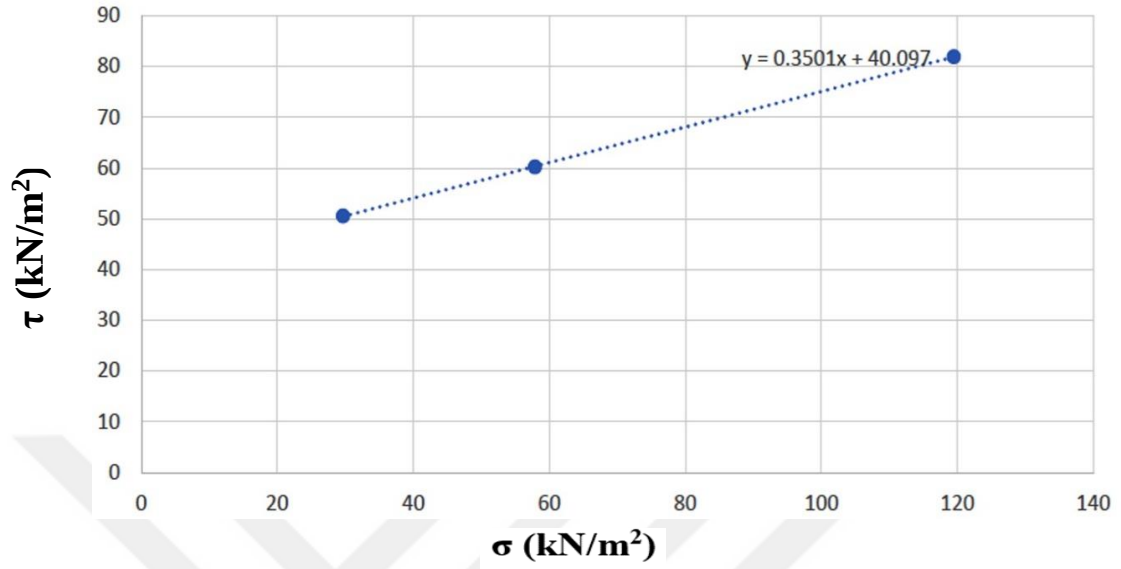
Ek Şekil 2.12. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 PKF 0.gün)



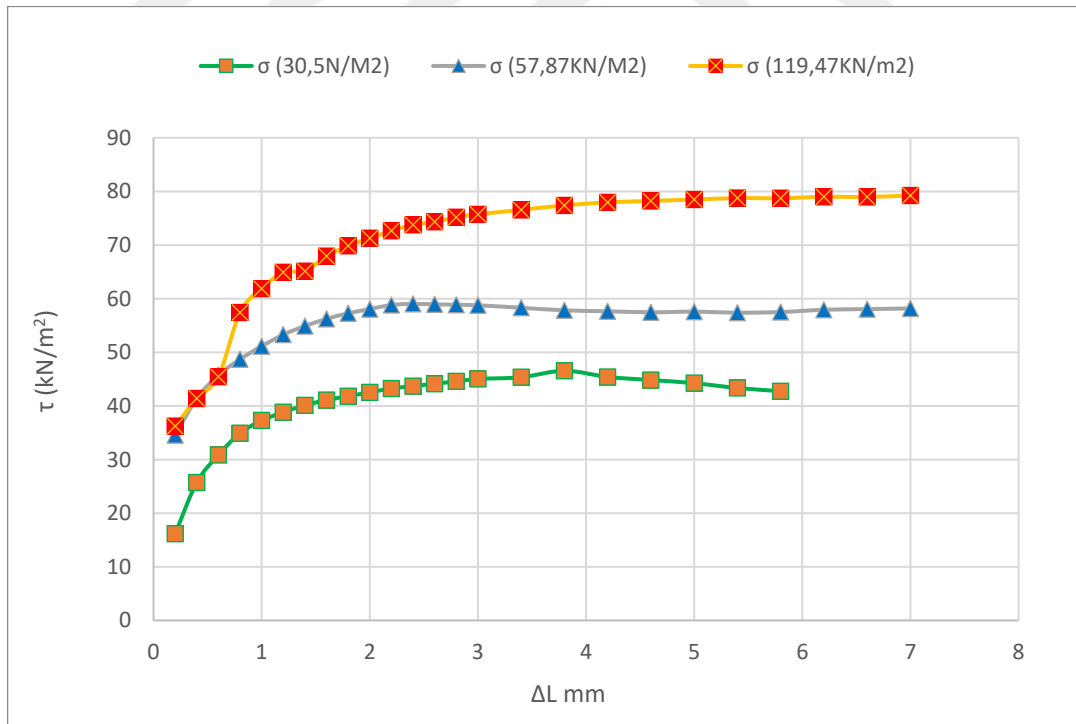
Ek Şekil 2.13. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 PKF 7.gün)



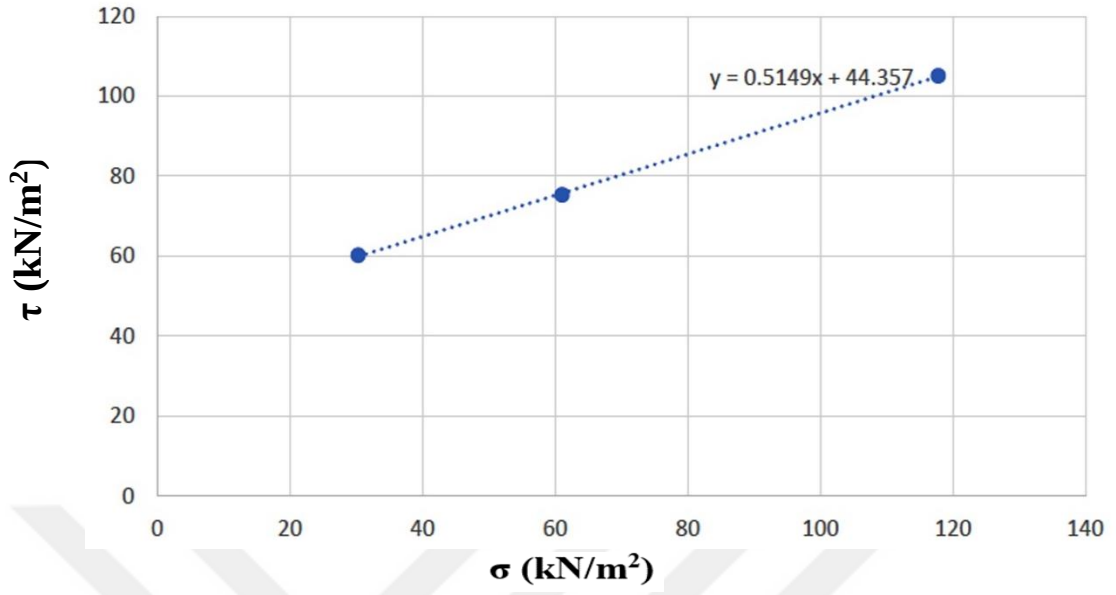
Ek Şekil 2.14. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH%10 PKF 7.gün)



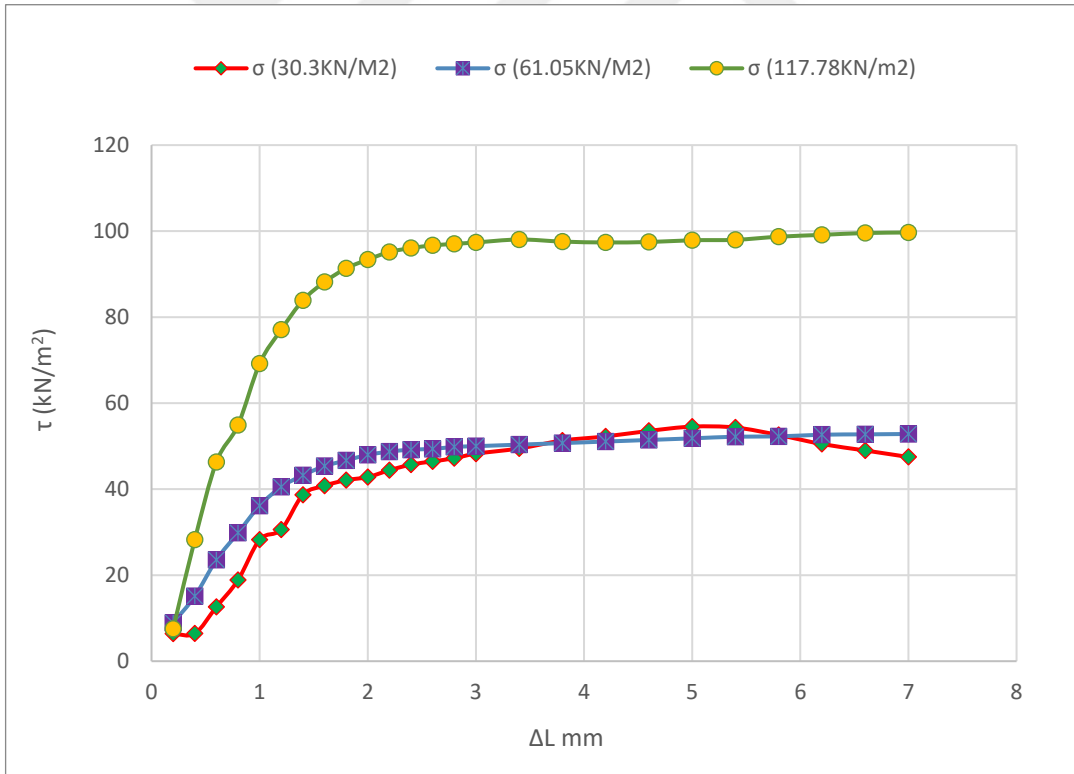
Ek Şekil 2.15. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 PKF 15.gün)



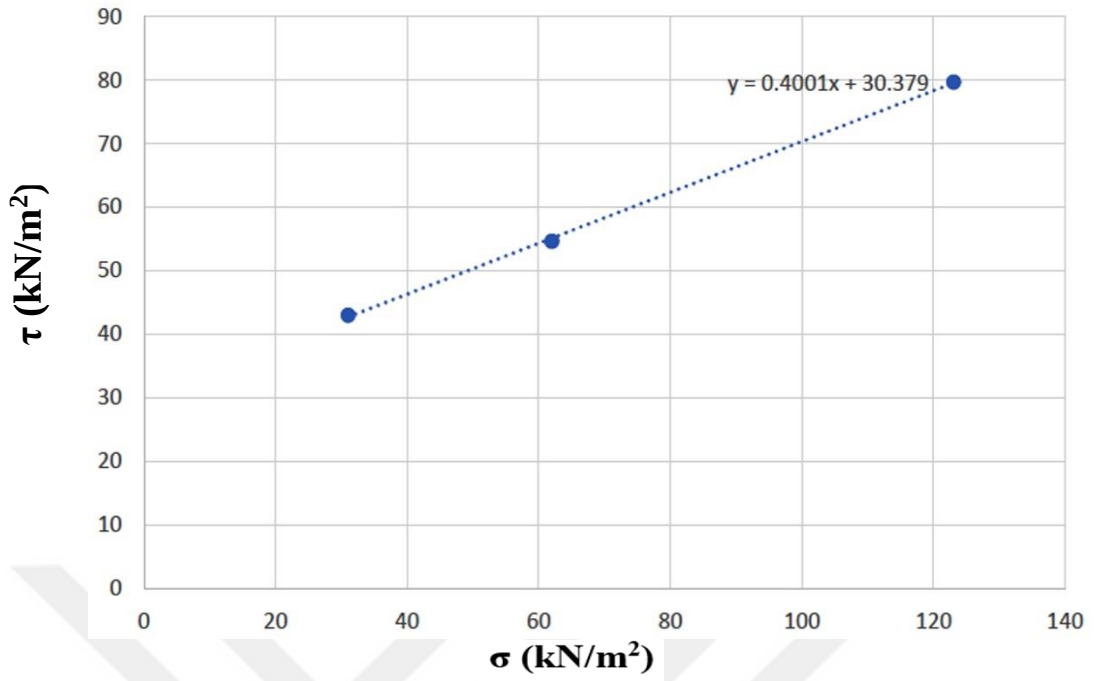
Ek Şekil 2.16. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 PKF 15.gün)



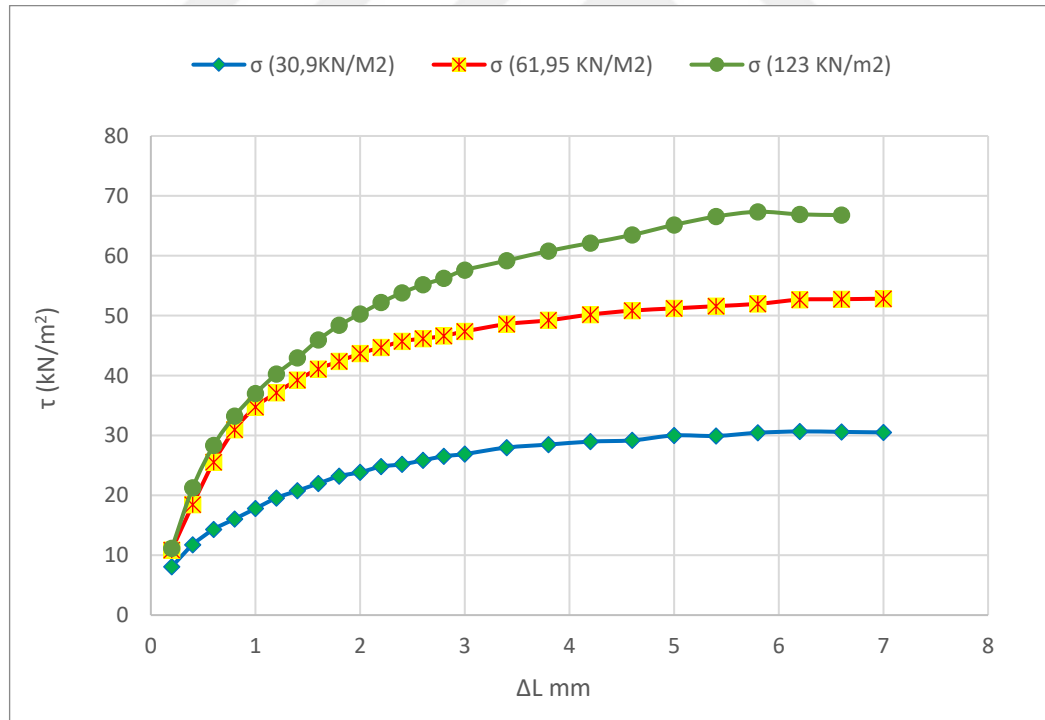
Ek Şekil 2.17. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 PKF 28.gün)



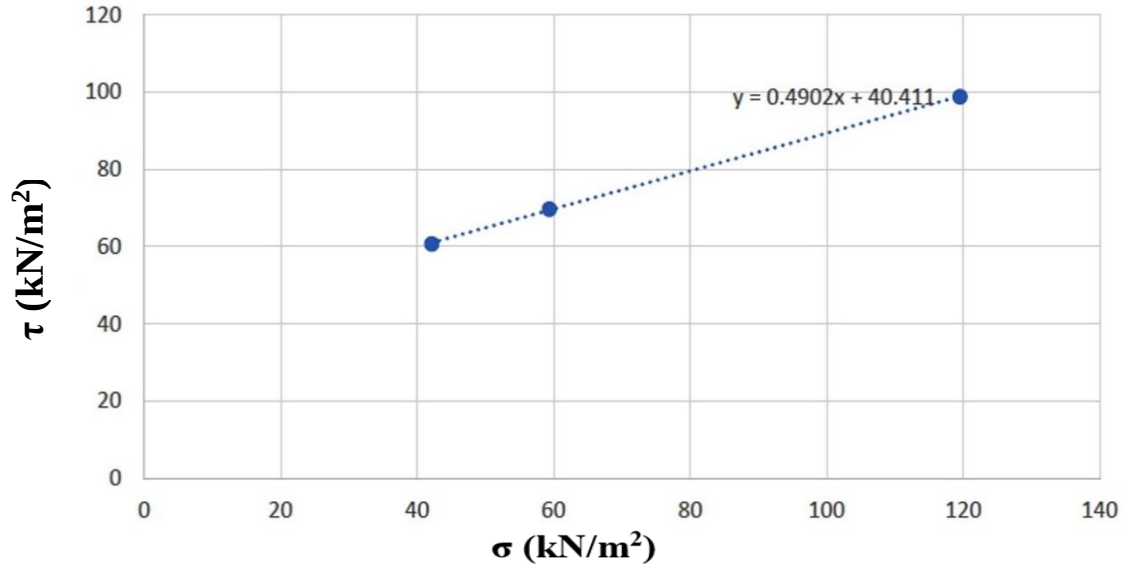
Ek Şekil 2.18. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 PKF 28.gün)



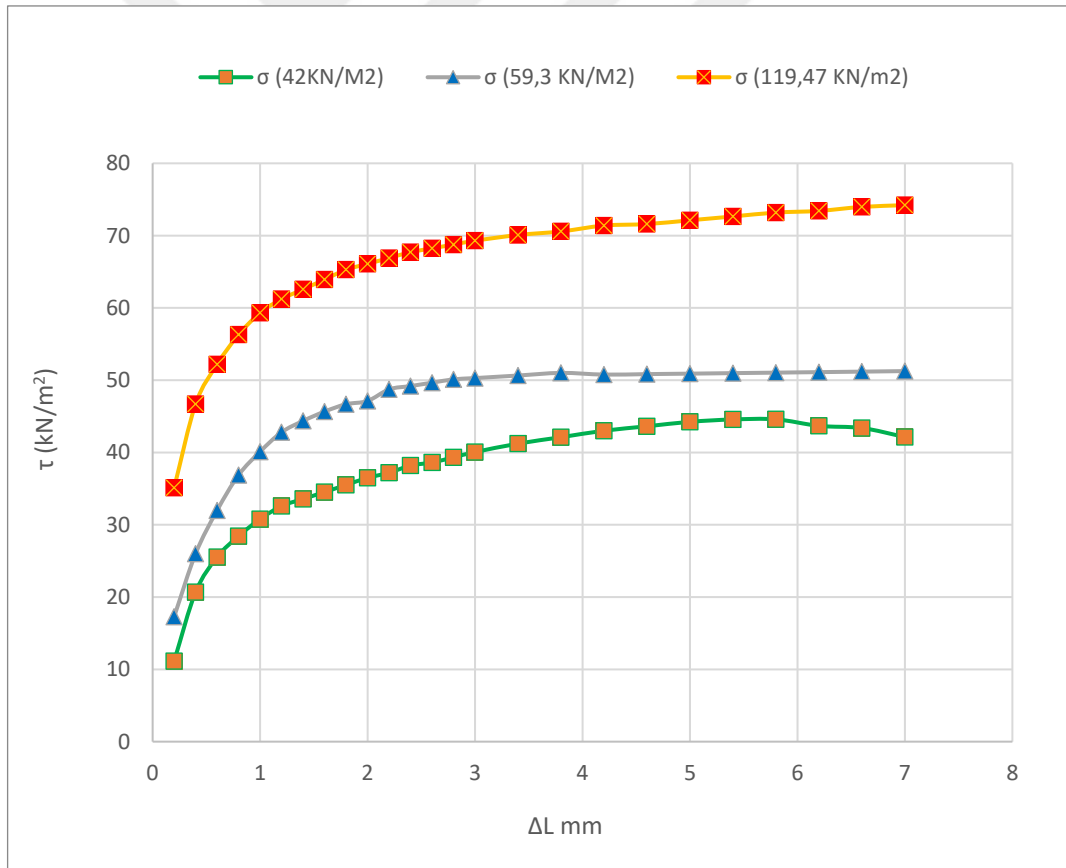
Ek Şekil 2.19. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %15 PKF 0.gün)



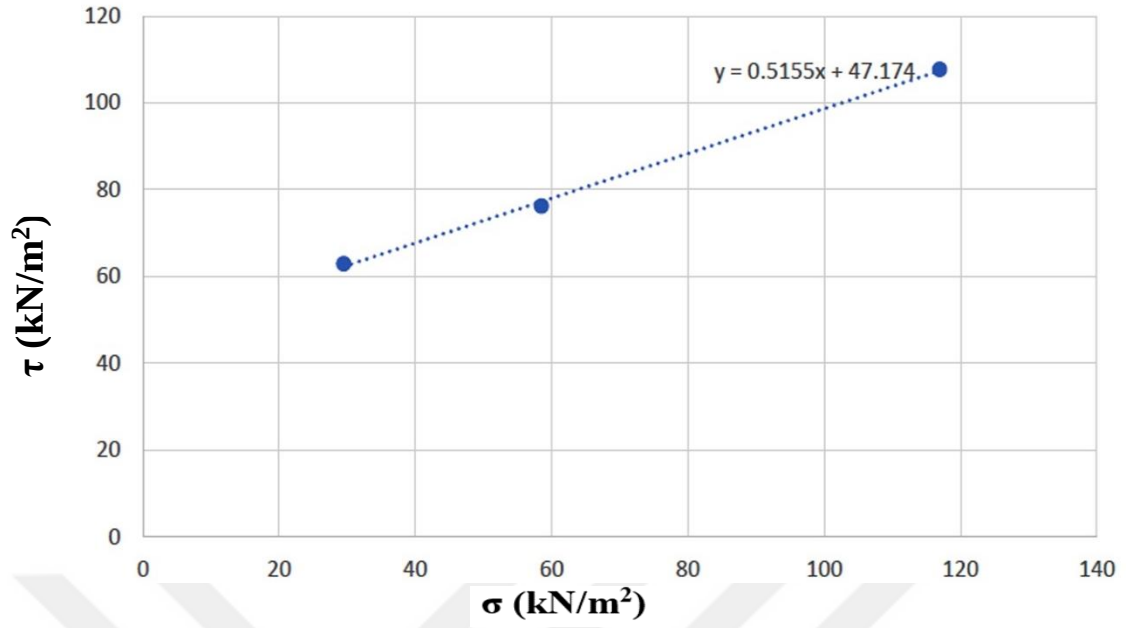
Ek Şekil 2.20. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %15 PKF 0.gün)



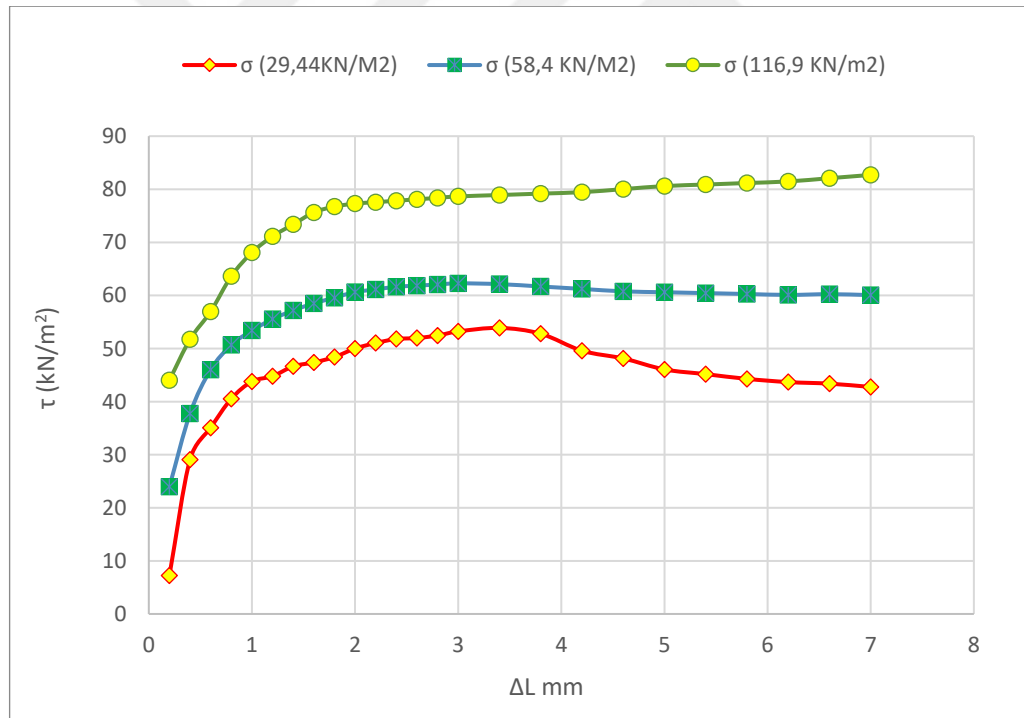
Ek Şekil 2.21. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %15 PKF 7.gün)



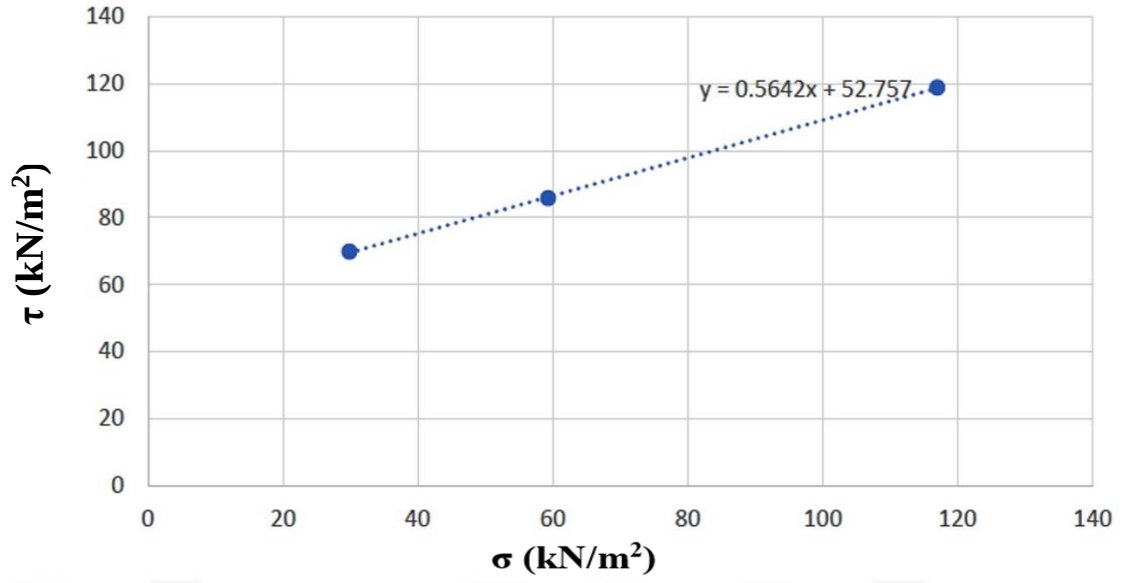
Ek Şekil 2.22. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %15 PKF 7.gün)



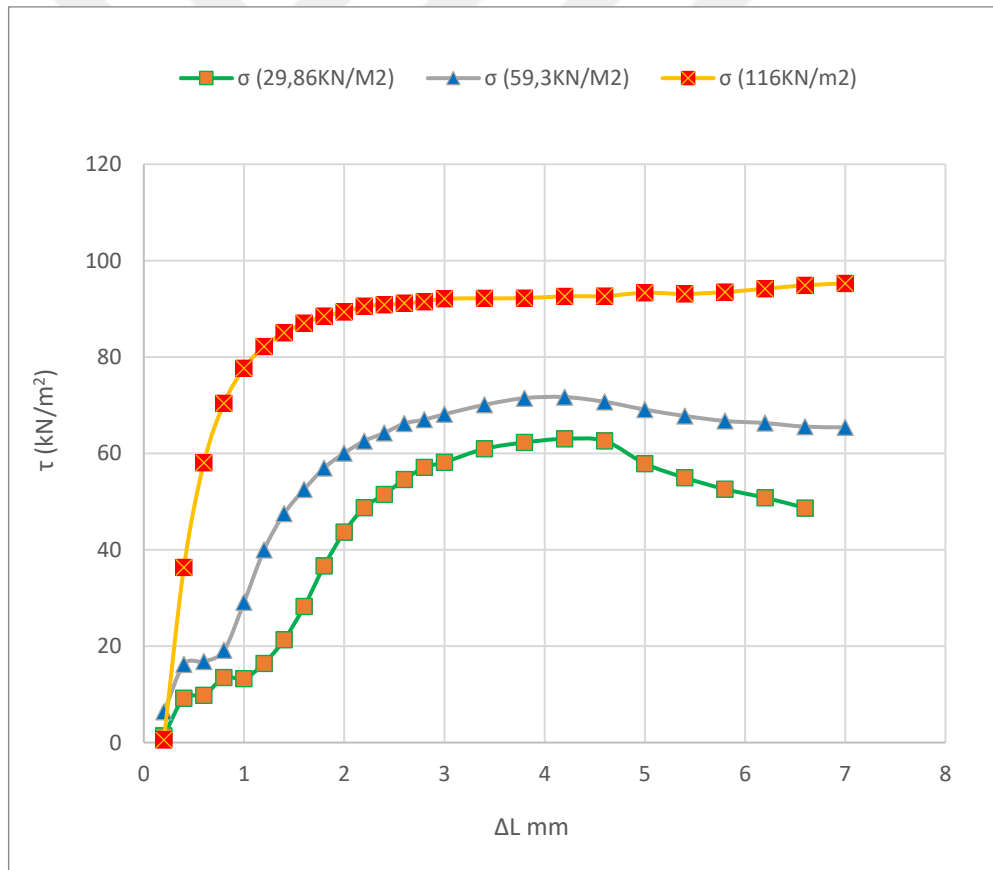
Ek Şekil 2.23. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %15 PKF 15.gün)



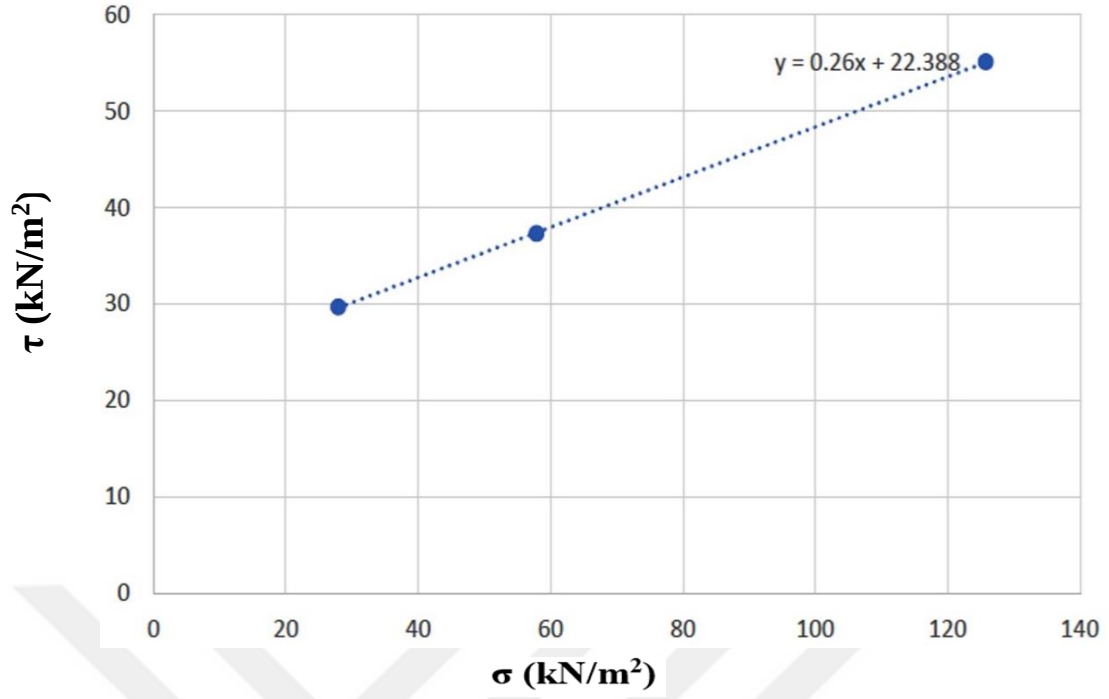
Ek Şekil 2.24. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %15 PKF 15.gün)



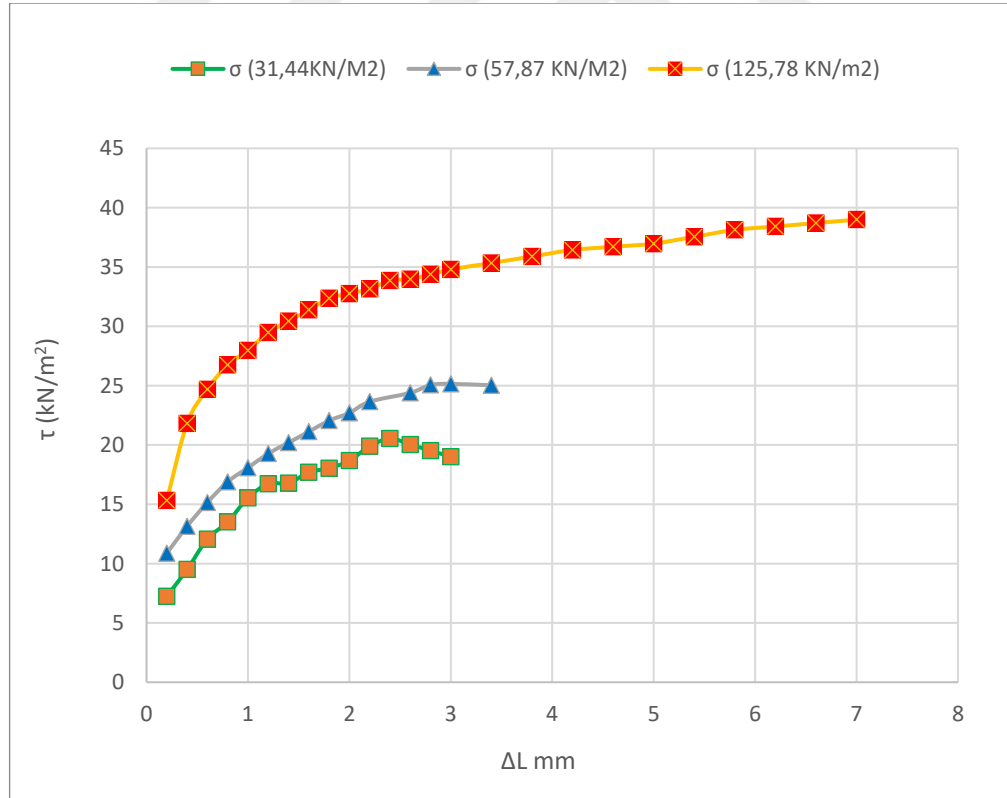
Ek Şekil 2.25. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %15 PKF 28.gün)



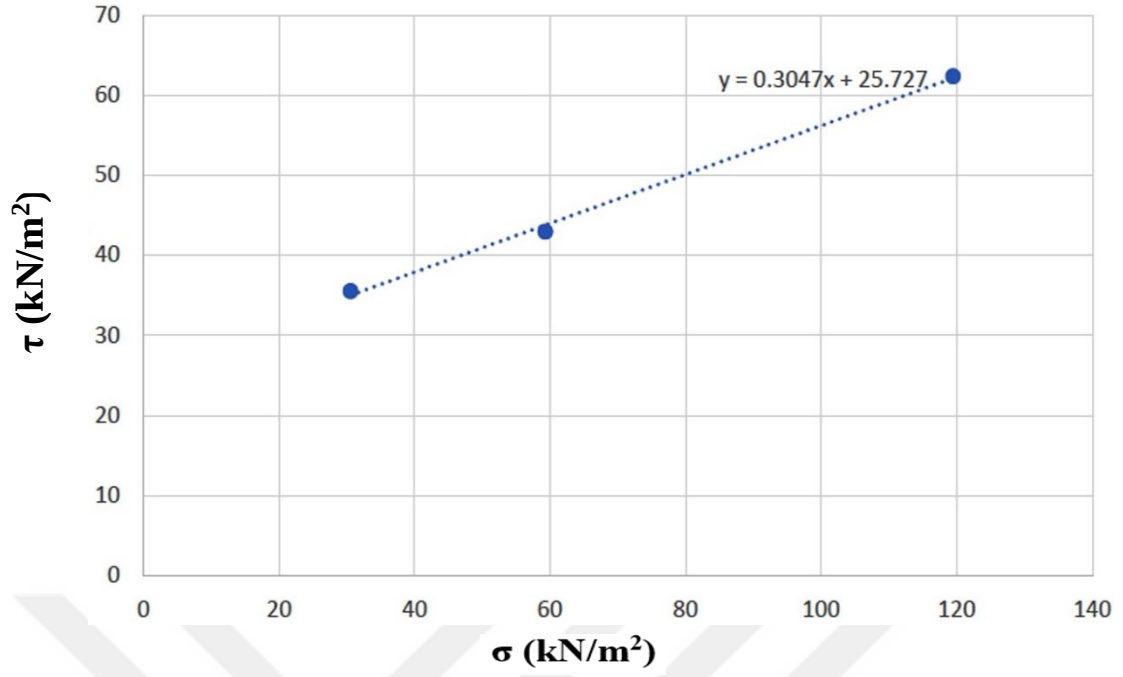
Ek Şekil 2.26. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %15 PKF 28.gün)



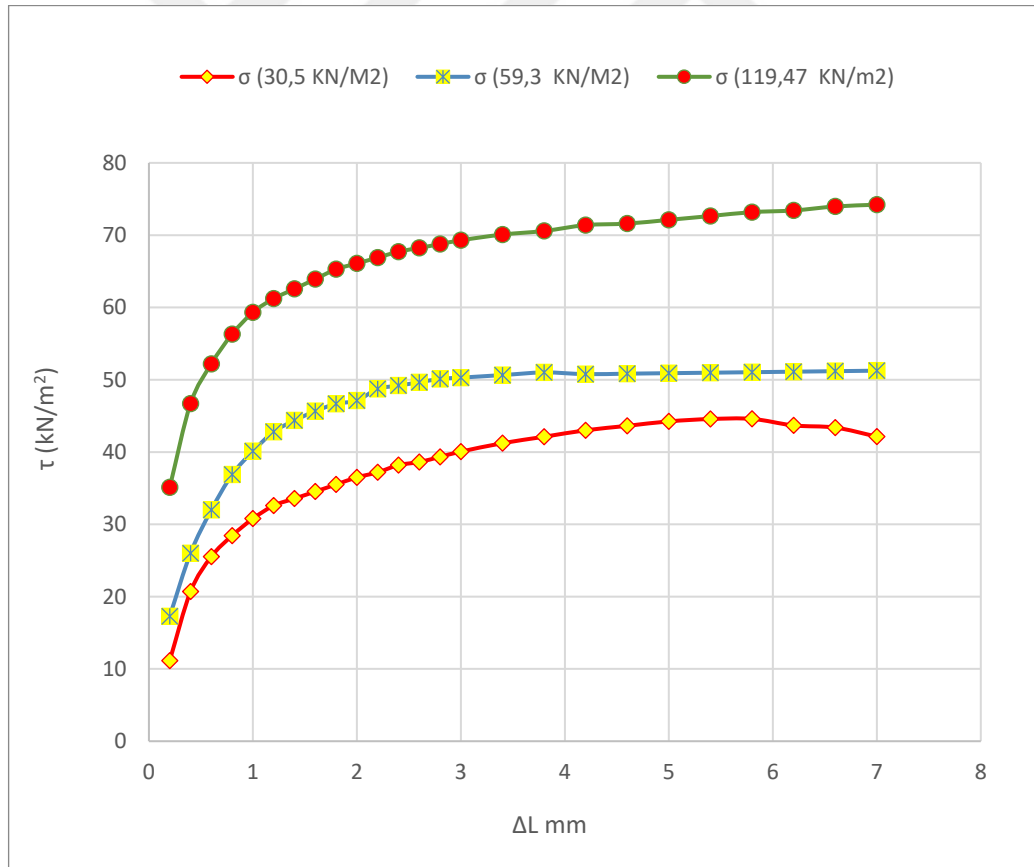
Ek Şekil 2.27. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %20 PKF 0.gün)



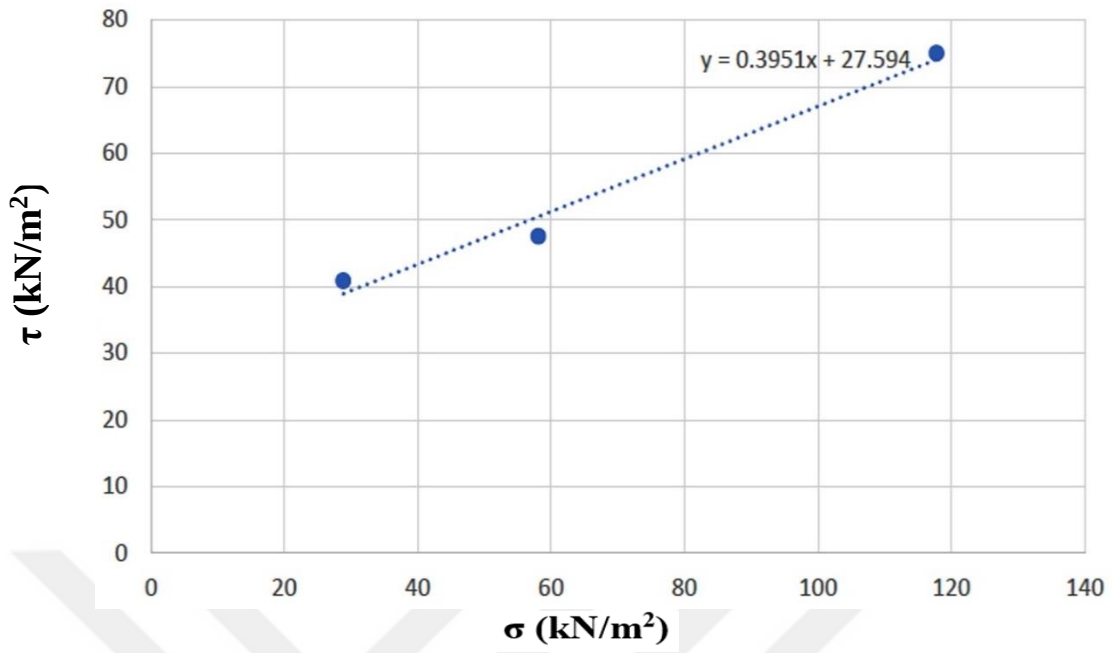
Ek Şekil 2.28. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %20 PKF 0.gün)



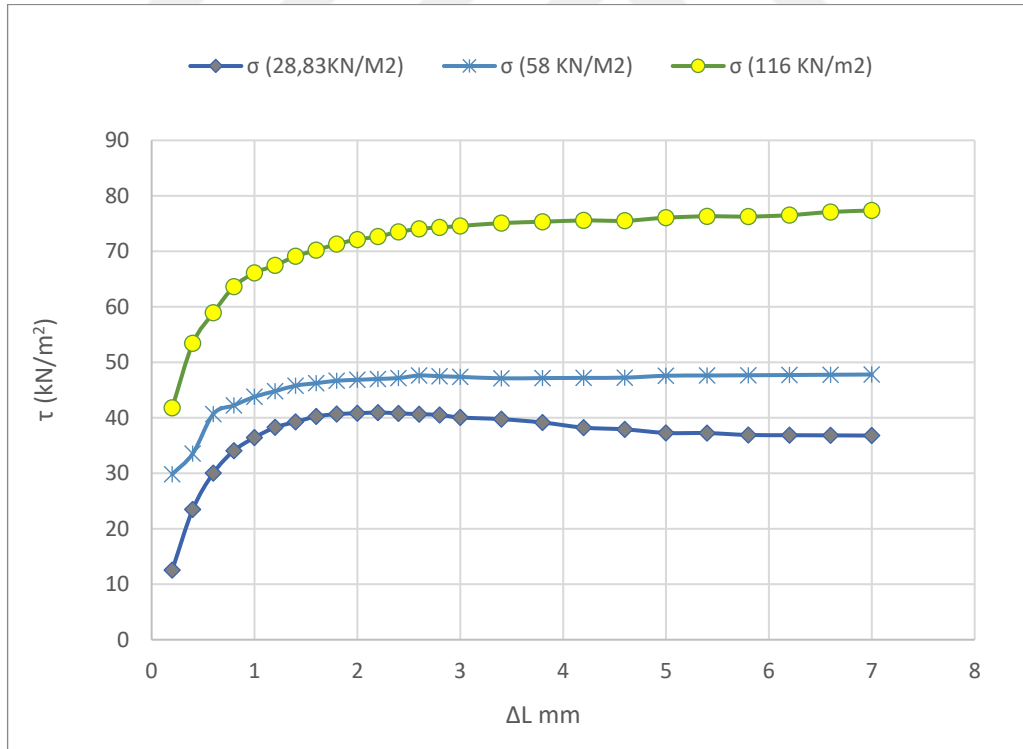
Ek Şekil 2.29. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %20 PKF 7.gün)



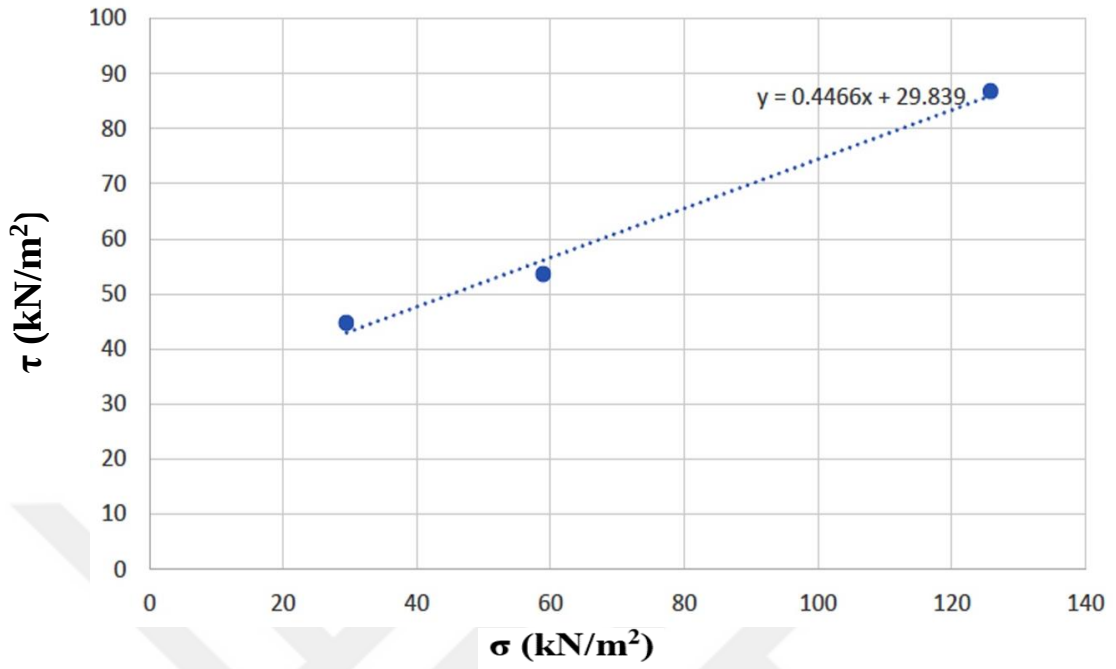
Ek Şekil 2.30. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %20 PKF 7.gün)



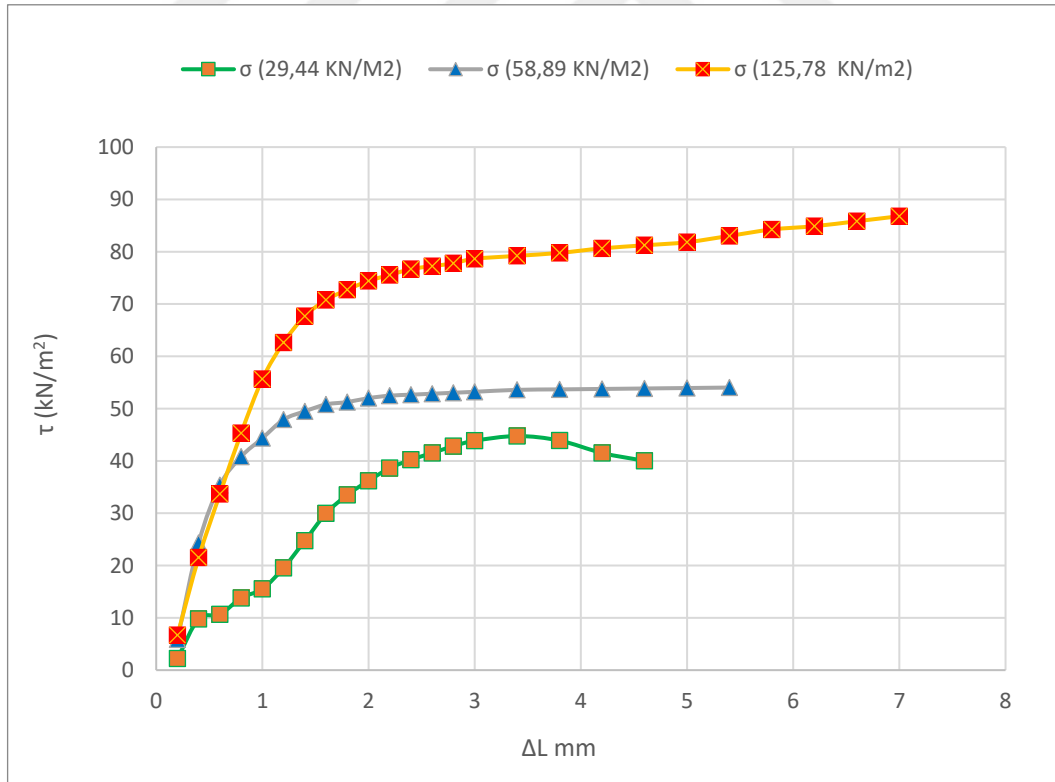
Ek Şekil 2.31. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %20 PKF 15.gün)



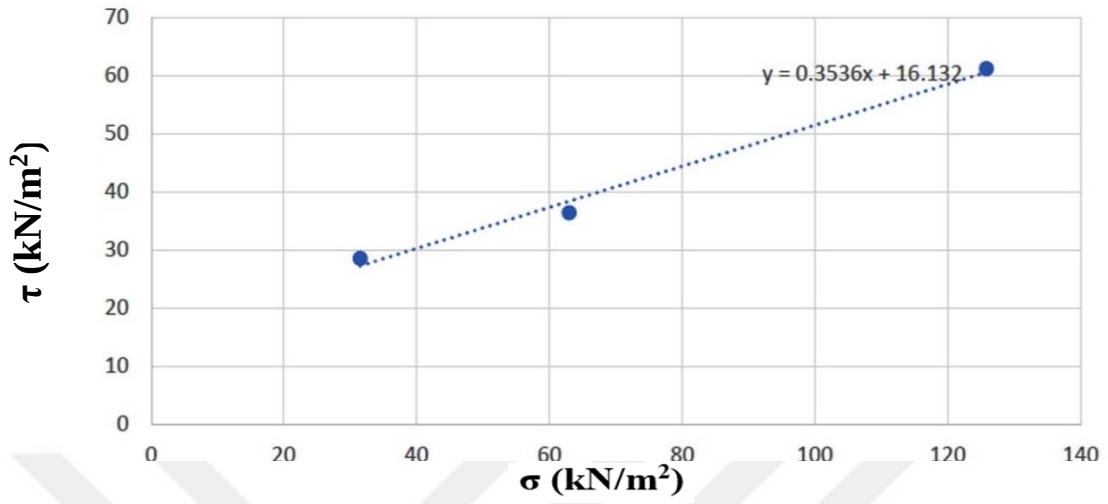
Ek Şekil 2.32. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %20 PKF 15.gün)



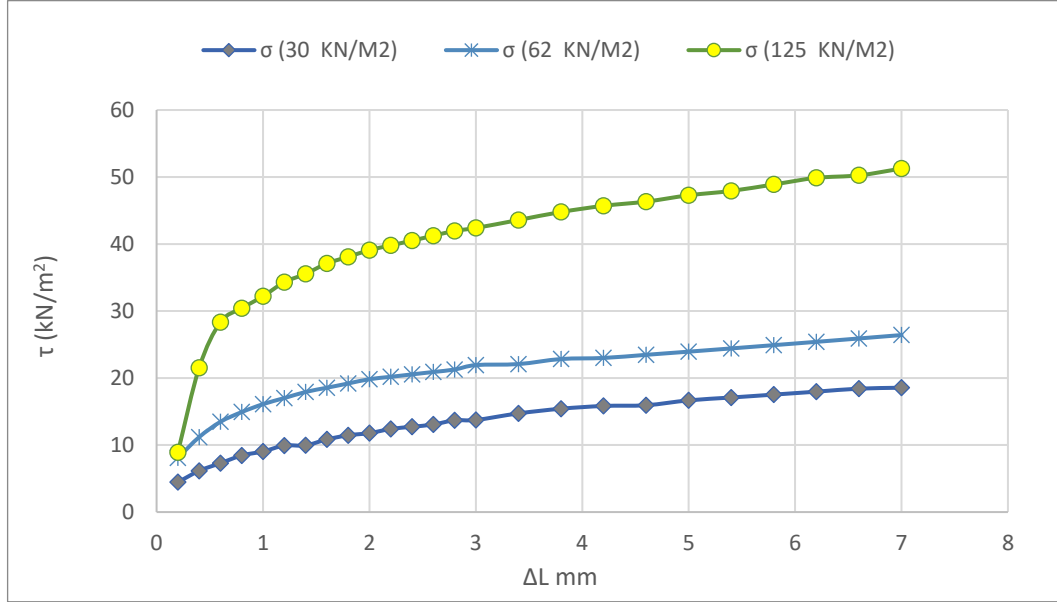
Ek Şekil 2.33. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %20 PKF 28.gün)



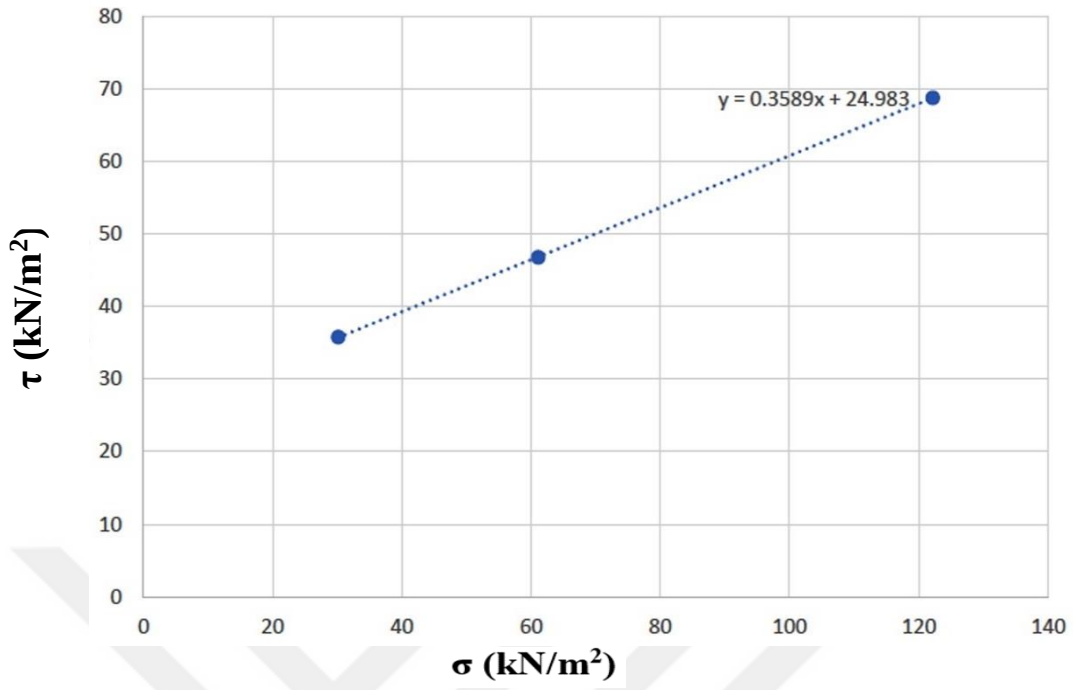
Ek Şekil 2.34. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %20 PKF 28.gün)



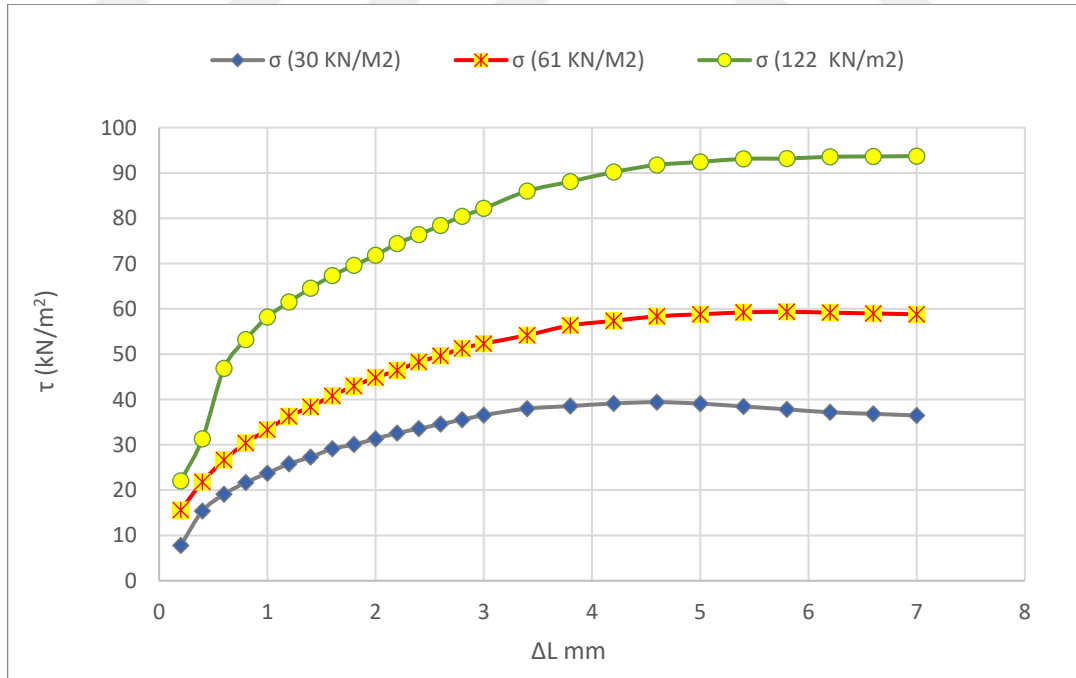
Ek Şekil 2.35. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (saf kil)



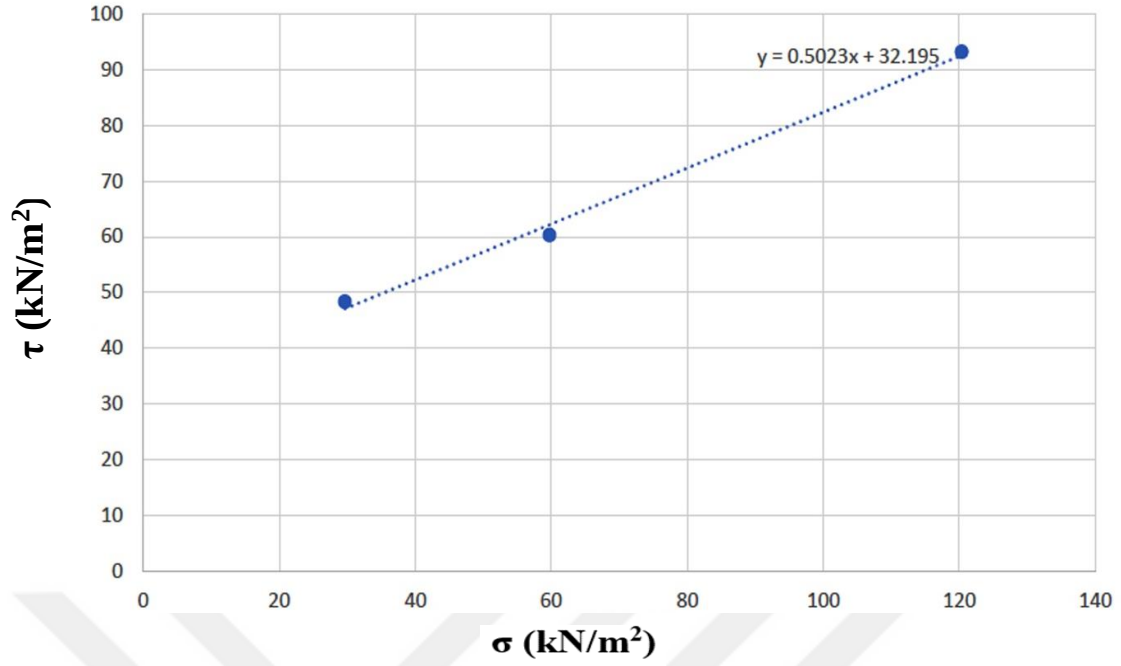
Ek Şekil 2.36. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (saf kil)



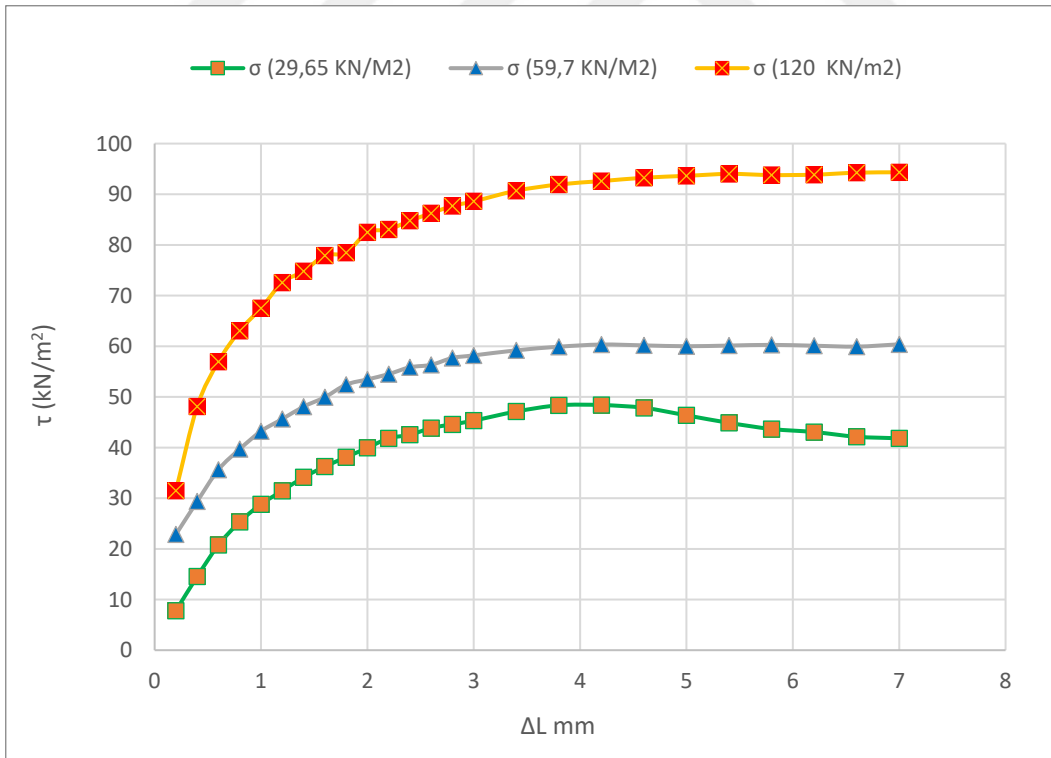
Ek Şekil 2.37. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL%5 PKF 0.gün)



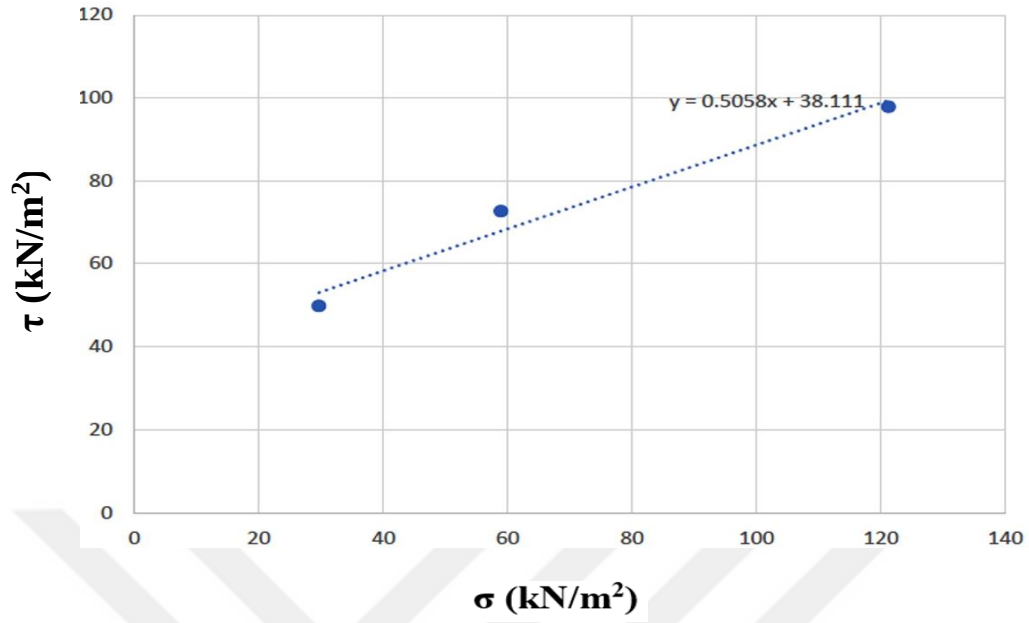
Ek Şekil 2.38. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL%5 PKF 0.gün)



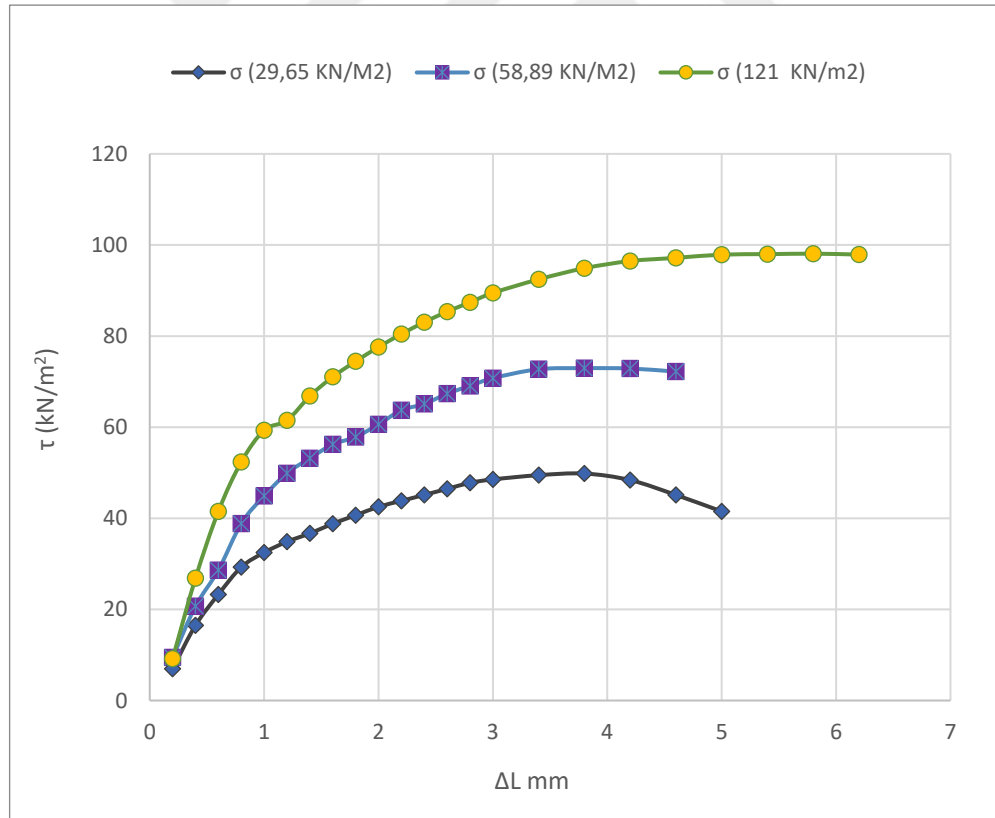
Ek Şekil 2.39. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL%5 PKF 7.gün)



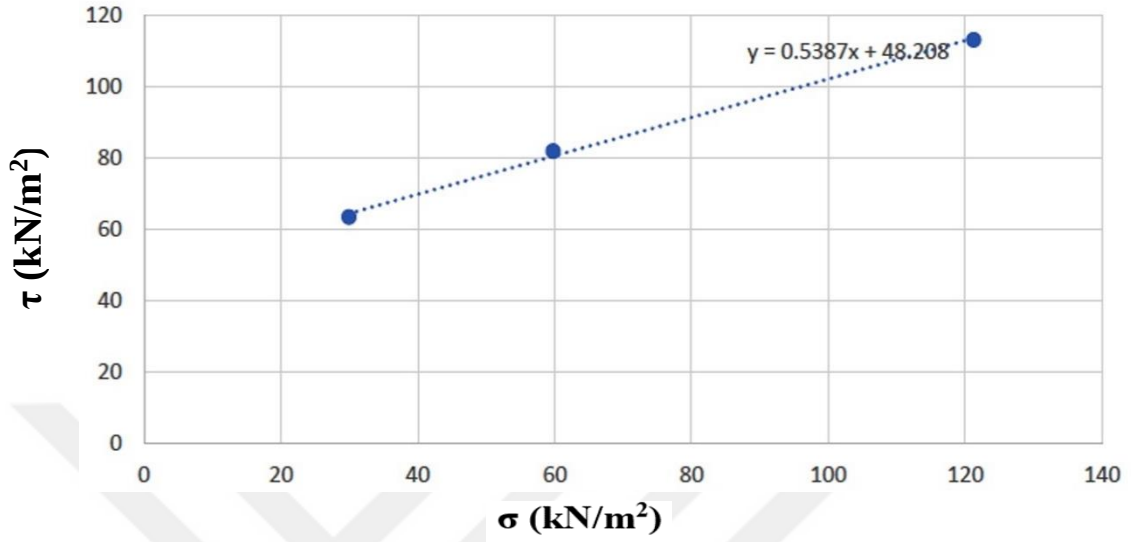
Ek Şekil 2.40. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 PKF 7.gün)



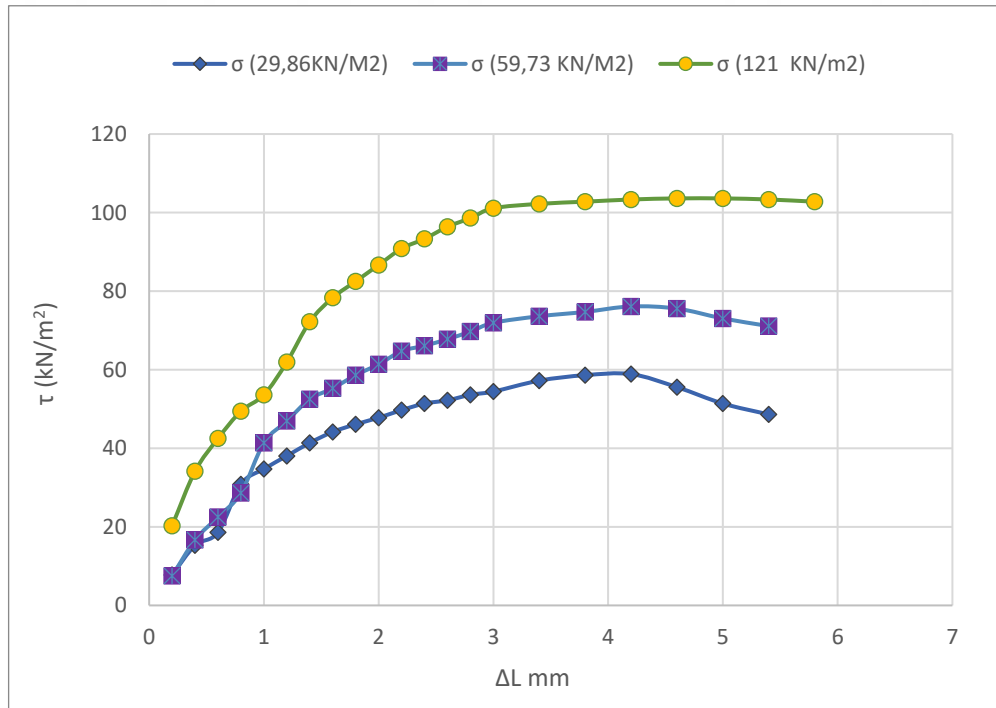
Ek Şekil 2.41. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 PKF 15.gün)



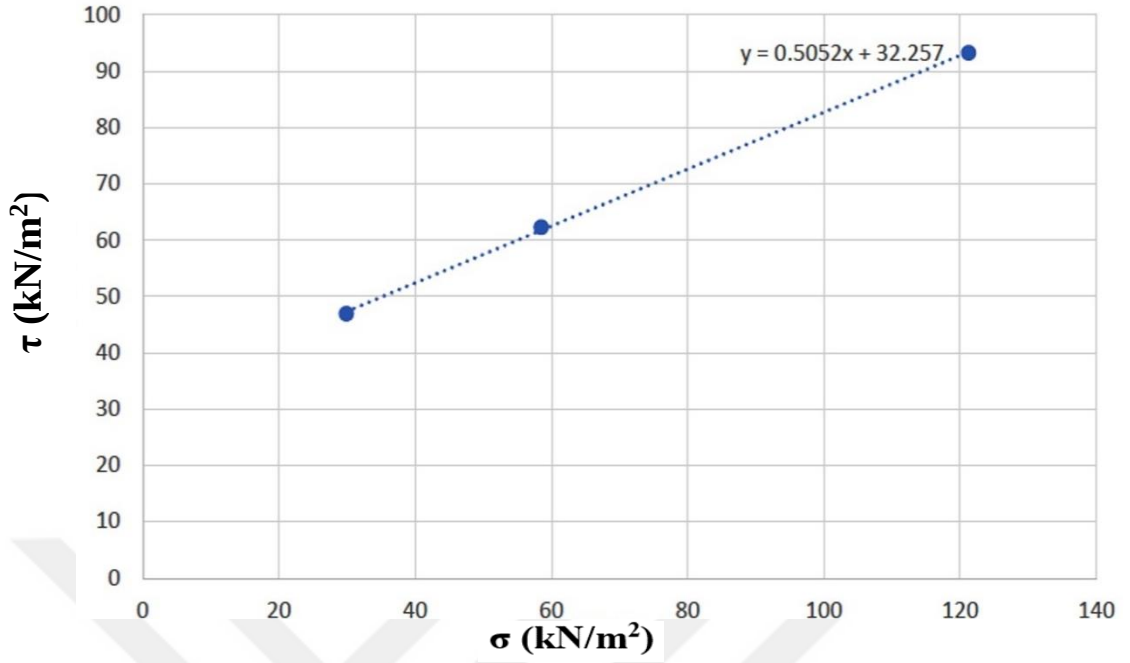
Ek Şekil 2.42. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 PKF 15.gün)



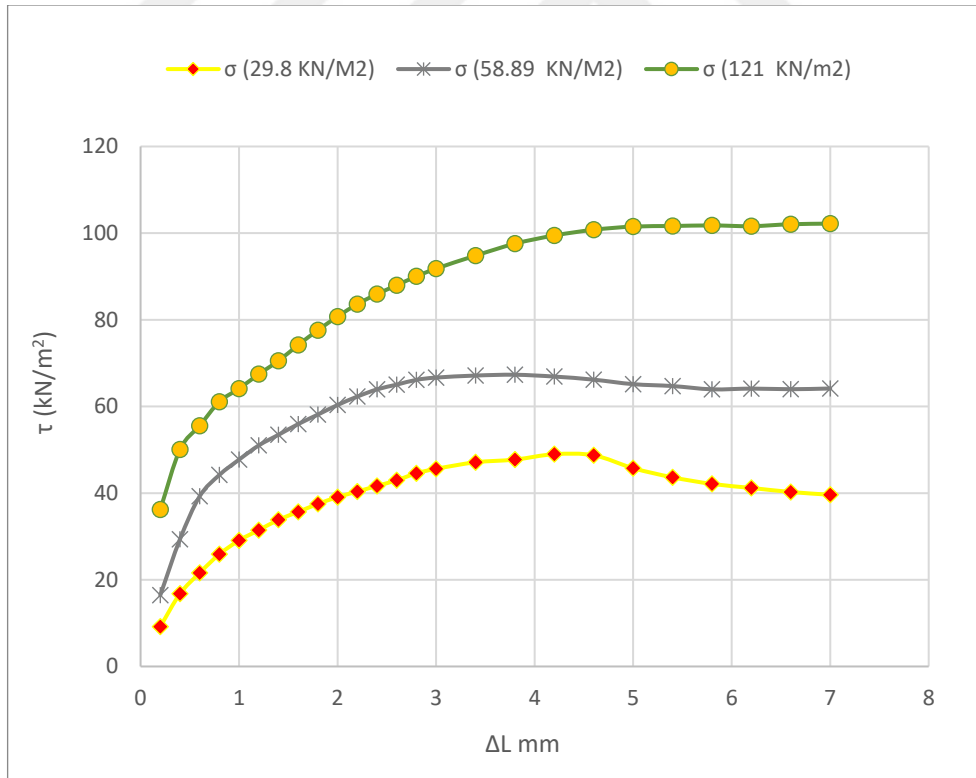
Ek Şekil 2. 43. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 PKF 28.gün)



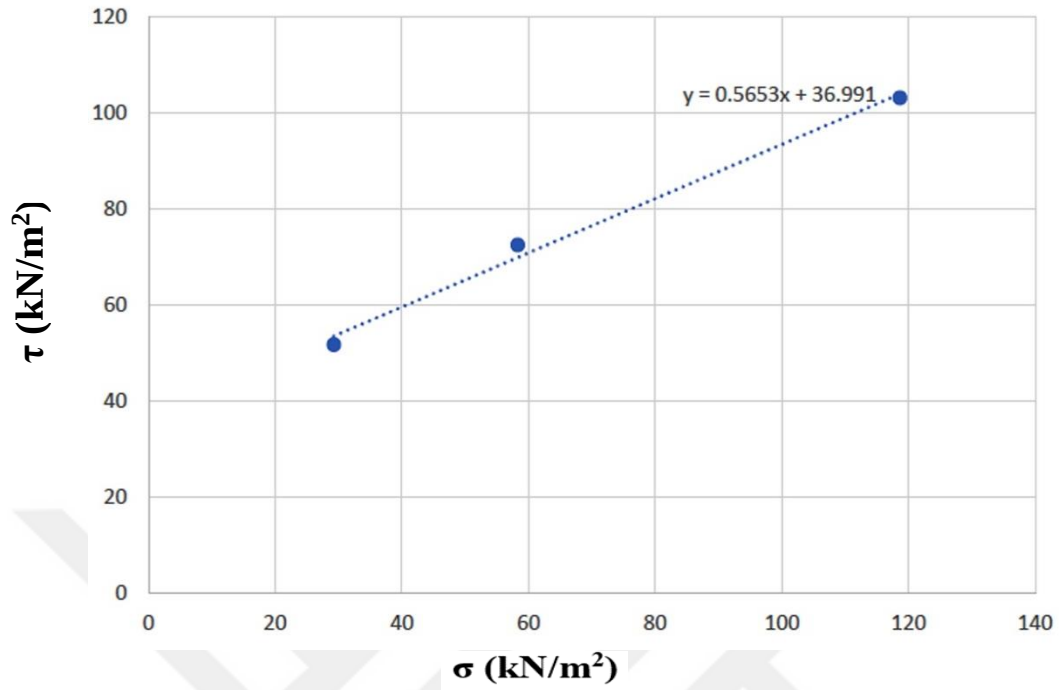
Ek Şekil 2.44. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 PKF 28.gün)



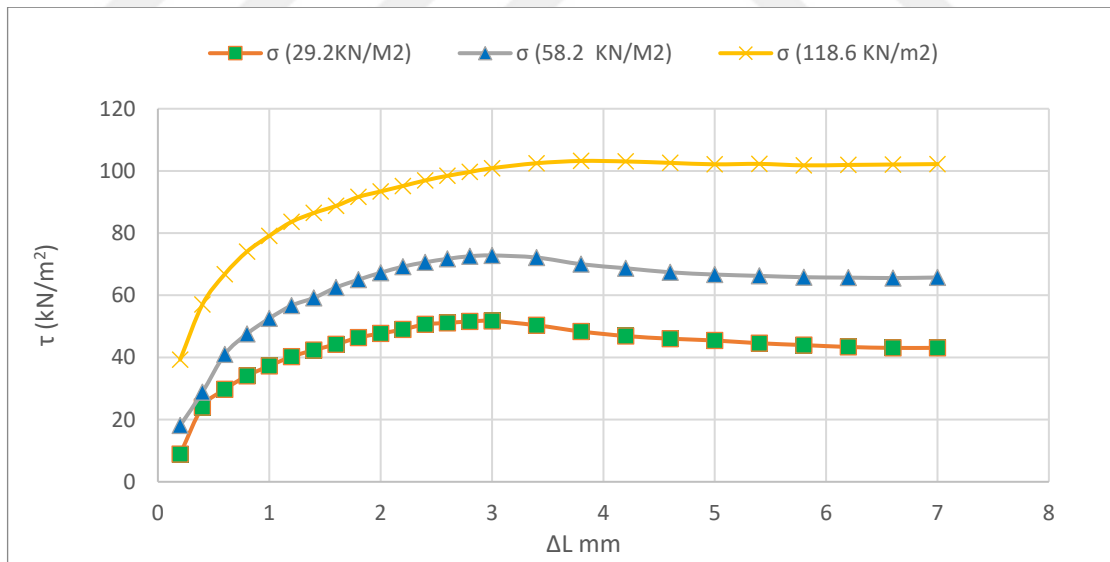
Ek Şekil 2.45. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 PKF 0.gün)



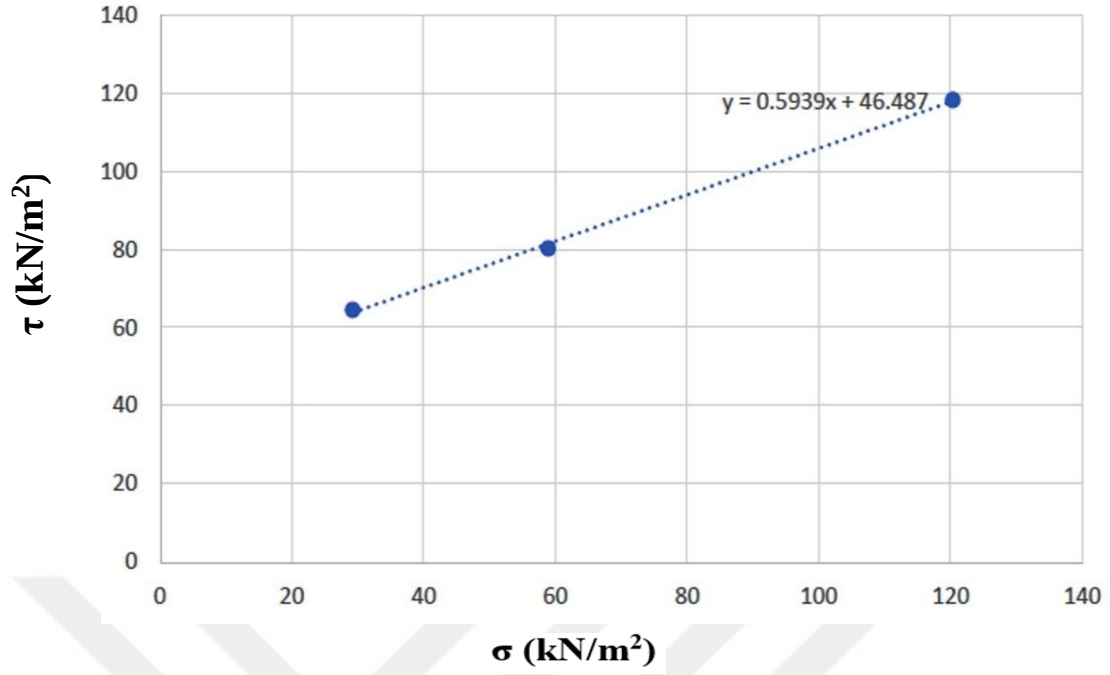
Ek Şekil 2. 46. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 PKF 0.gün)



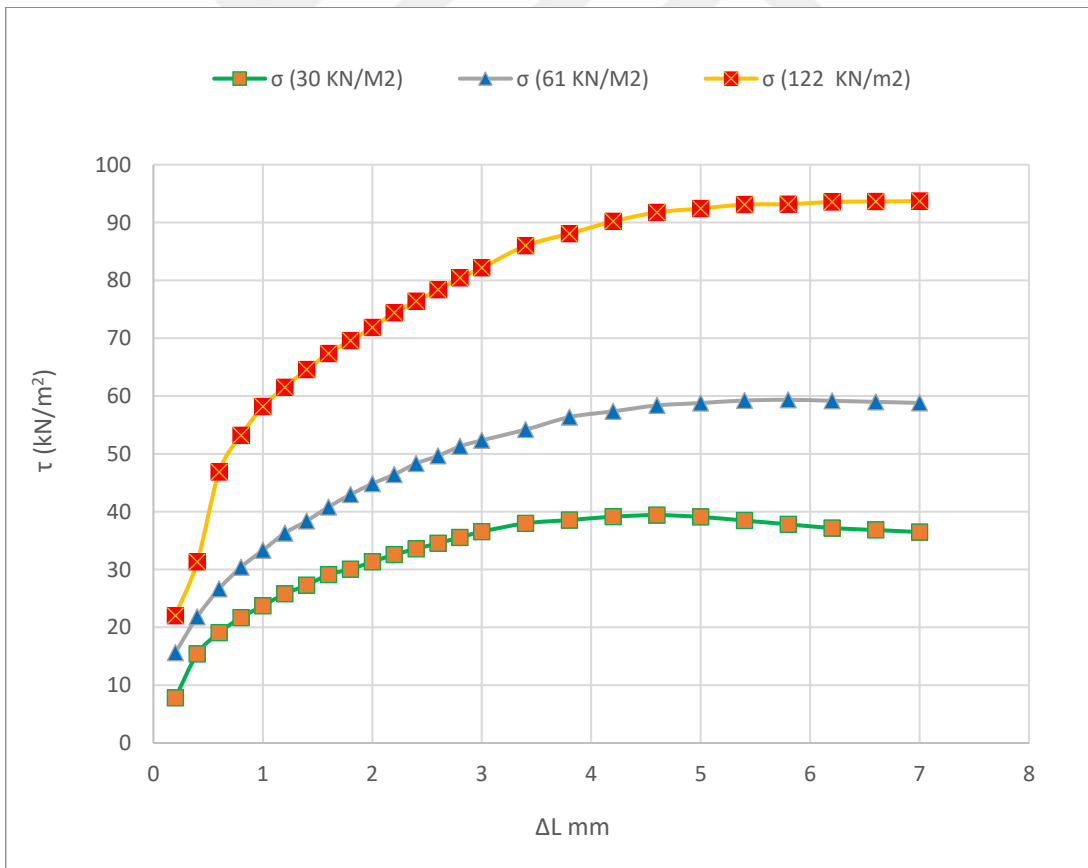
Ek Şekil 2.47. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 PKF 7.gün)



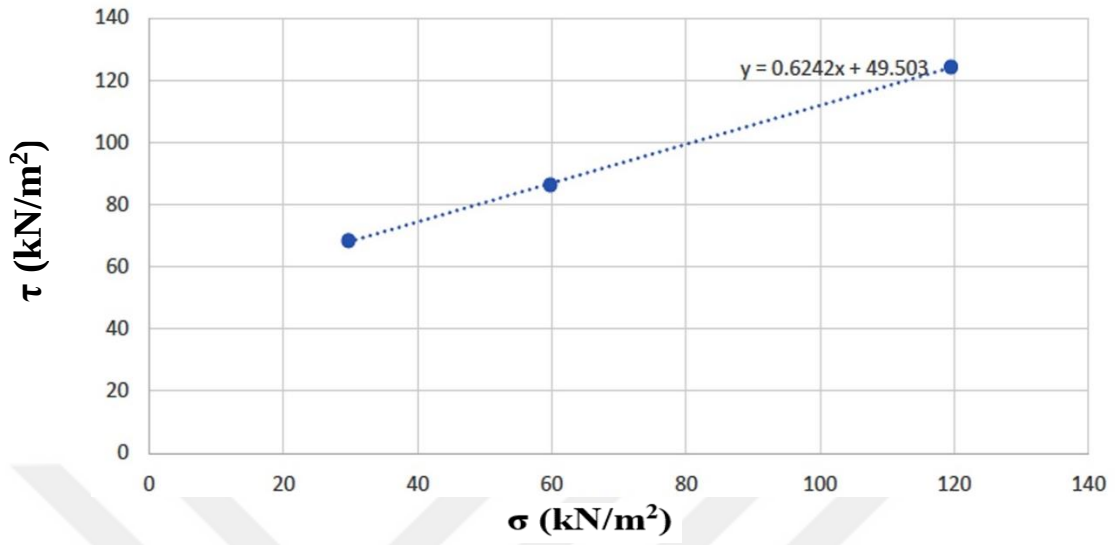
Ek Şekil 2. 48. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 PKF 7.gün)



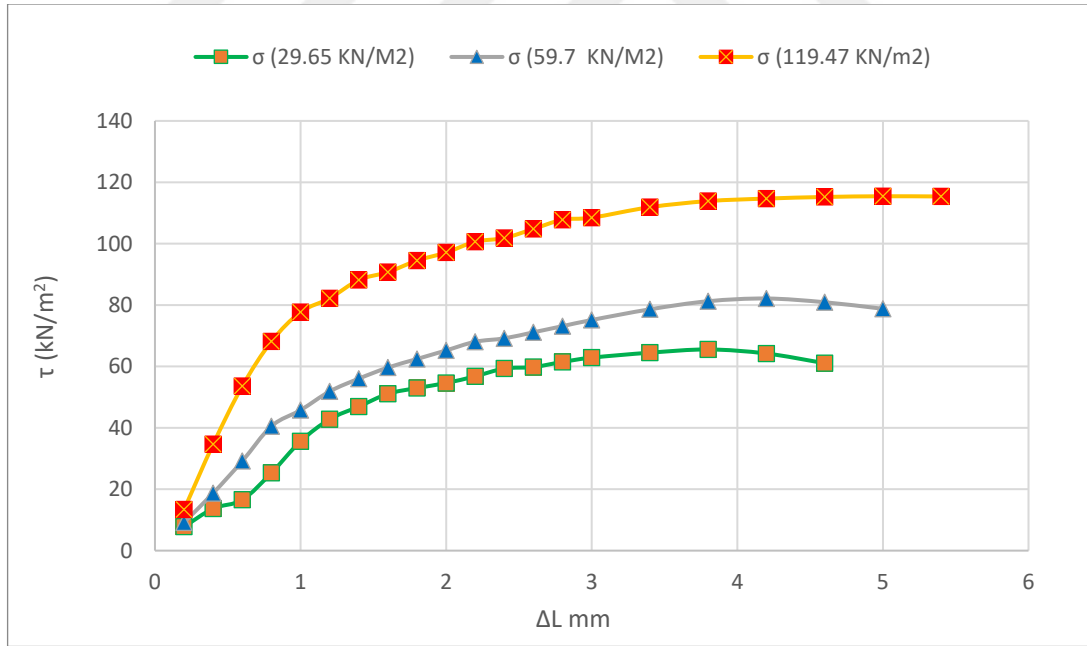
Ek Şekil 2.49. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 PKF 15.gün)



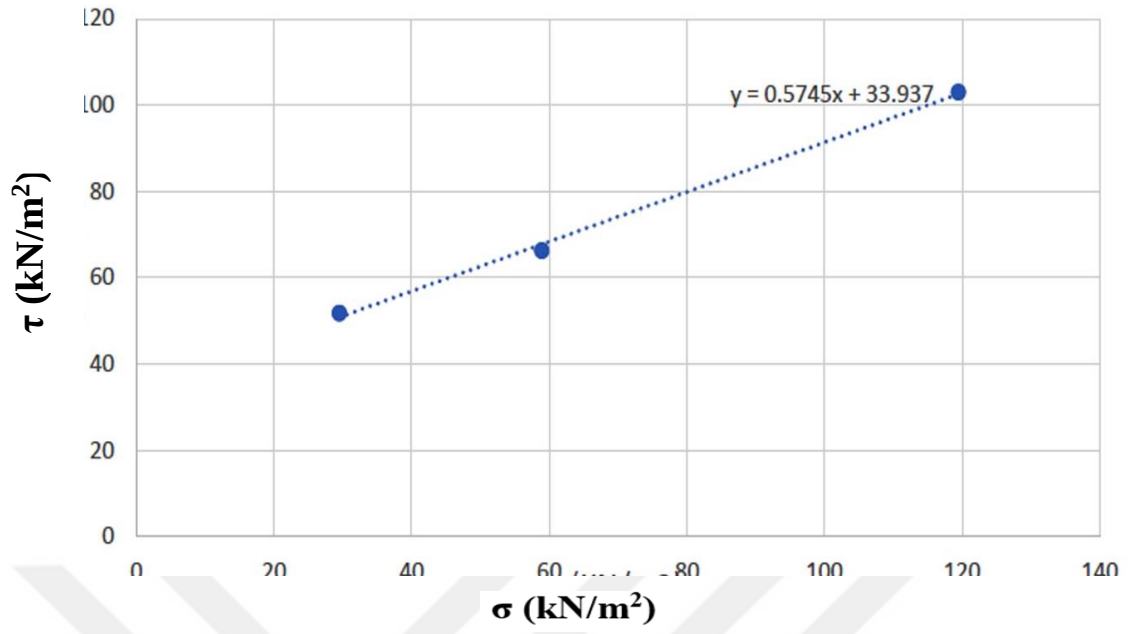
Ek Şekil 2.50. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 PKF 15.gün)



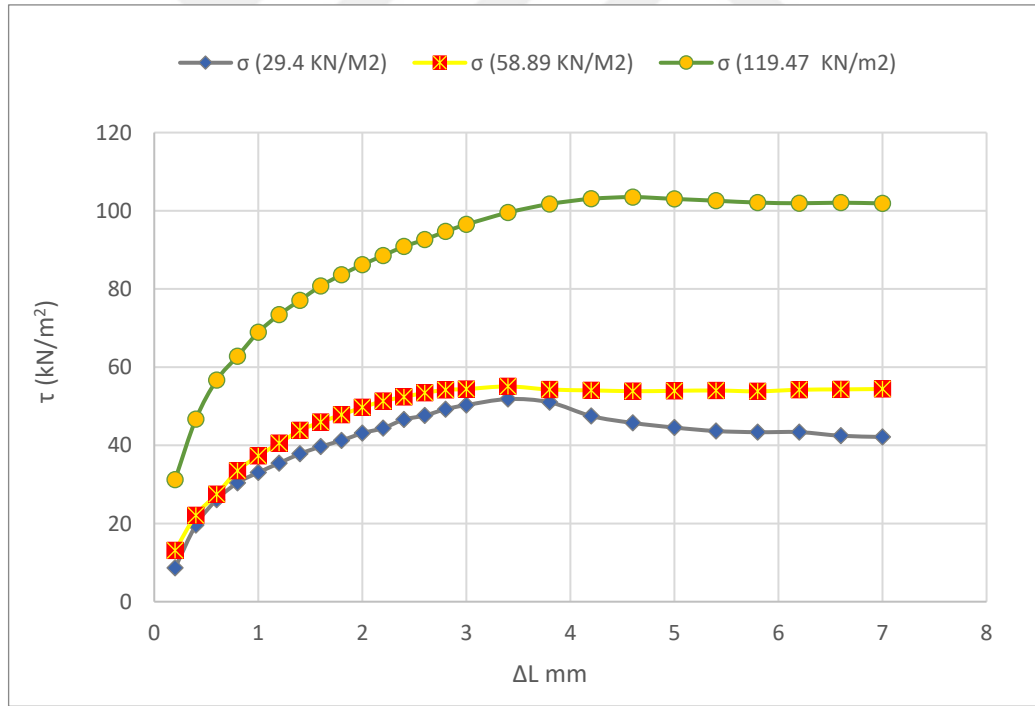
Ek Şekil 2.51. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 PKF 28.gün)



Ek Şekil 2.52. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 PKF 28.gün)

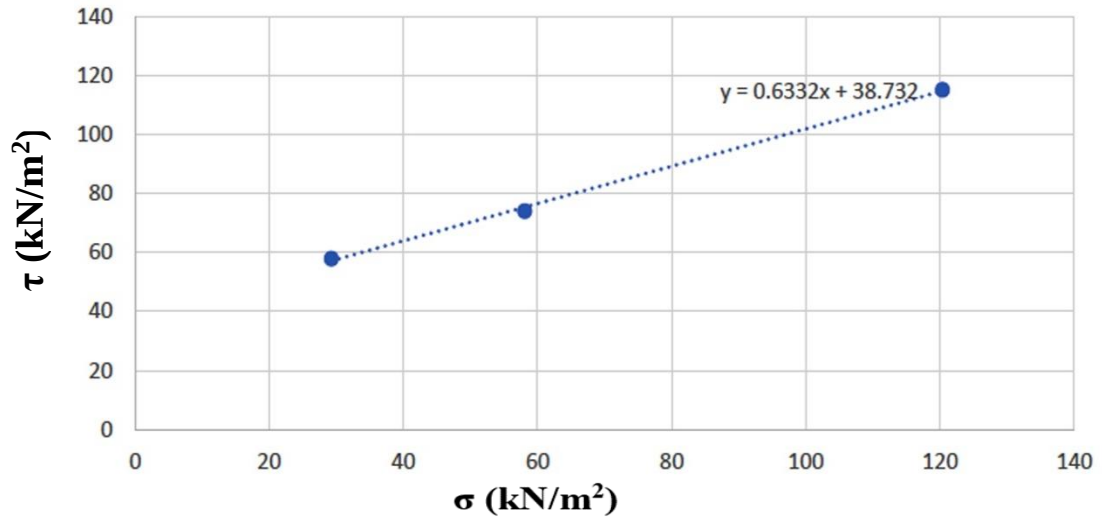


Ek Şekil 2.53. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %15 PKF 0.gün)

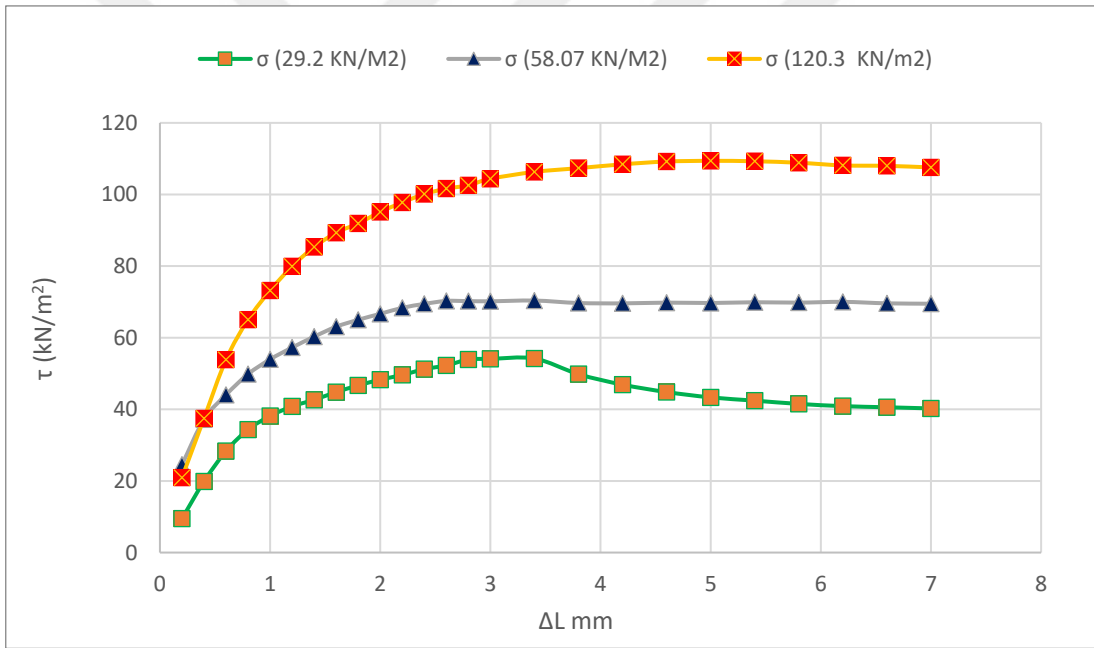


Ek Şekil 2.54. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %15 PKF 0.gün)

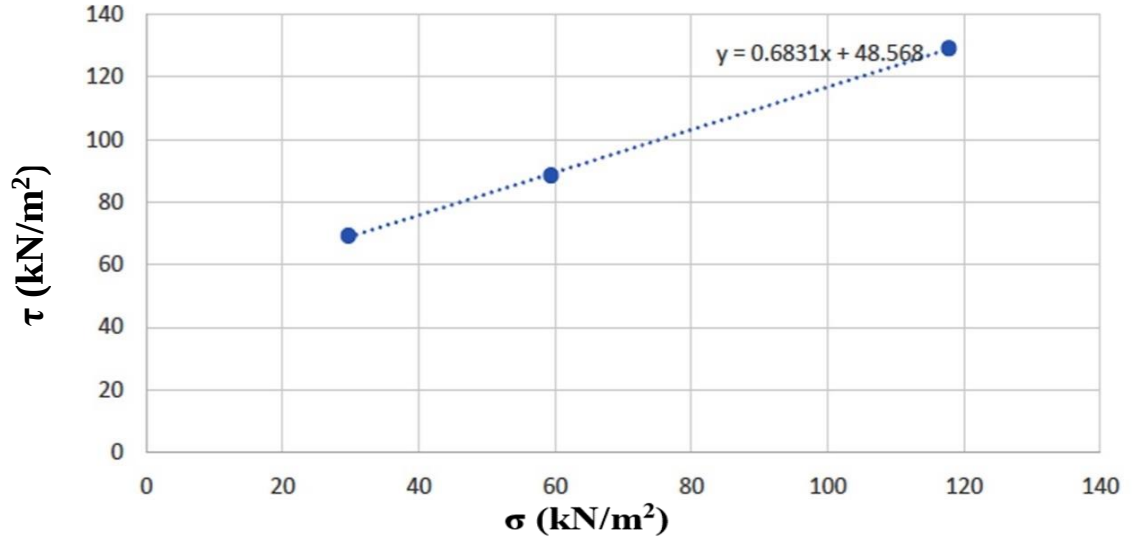
8



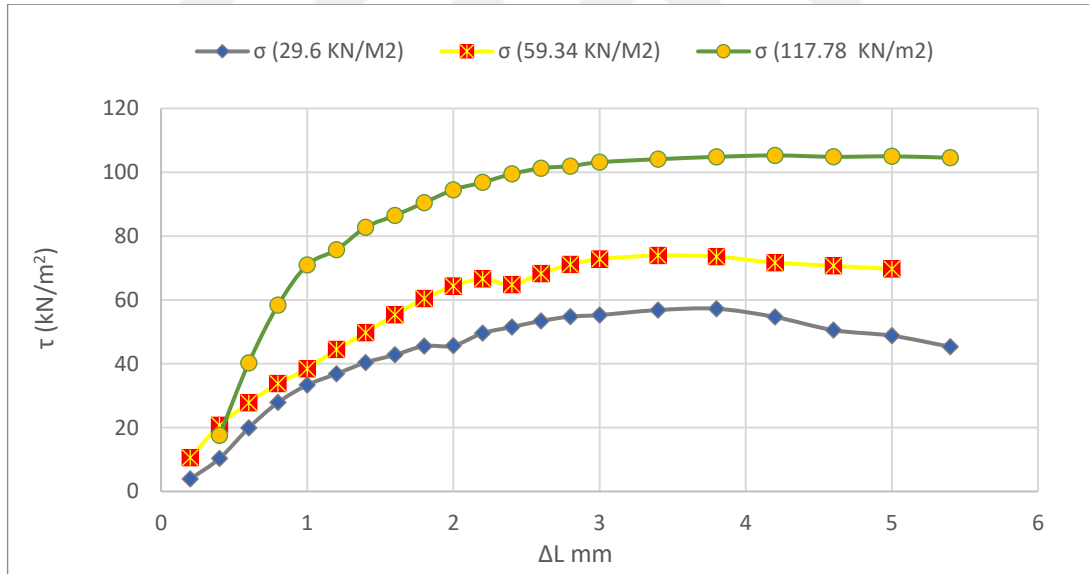
Ek Şekil 2.55. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %15 PKF 7.gün)



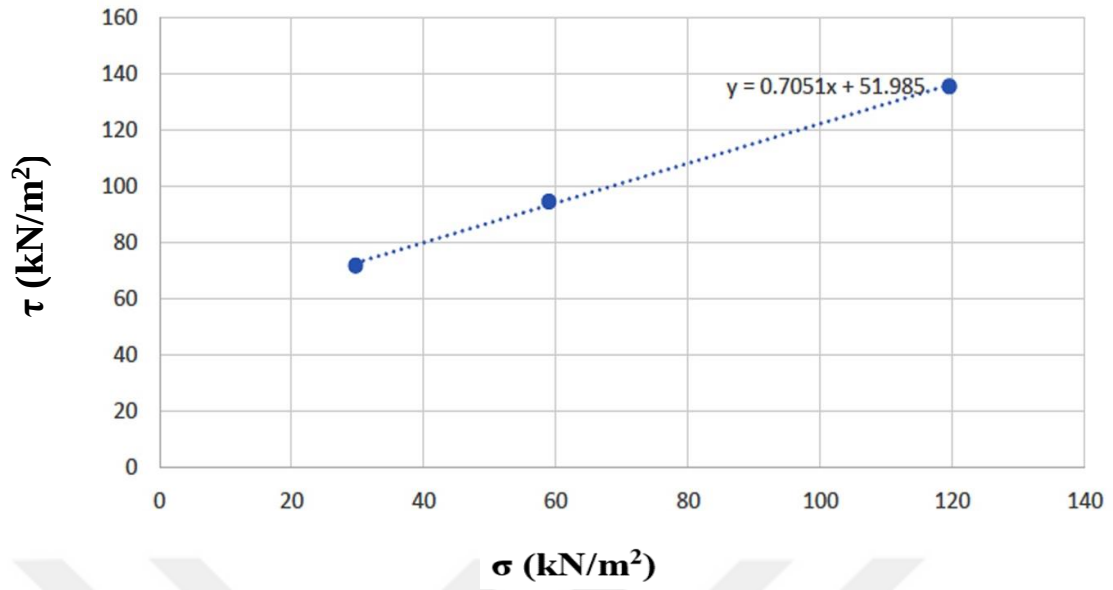
Ek Şekil 2.56. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %15 PKF 7.gün)



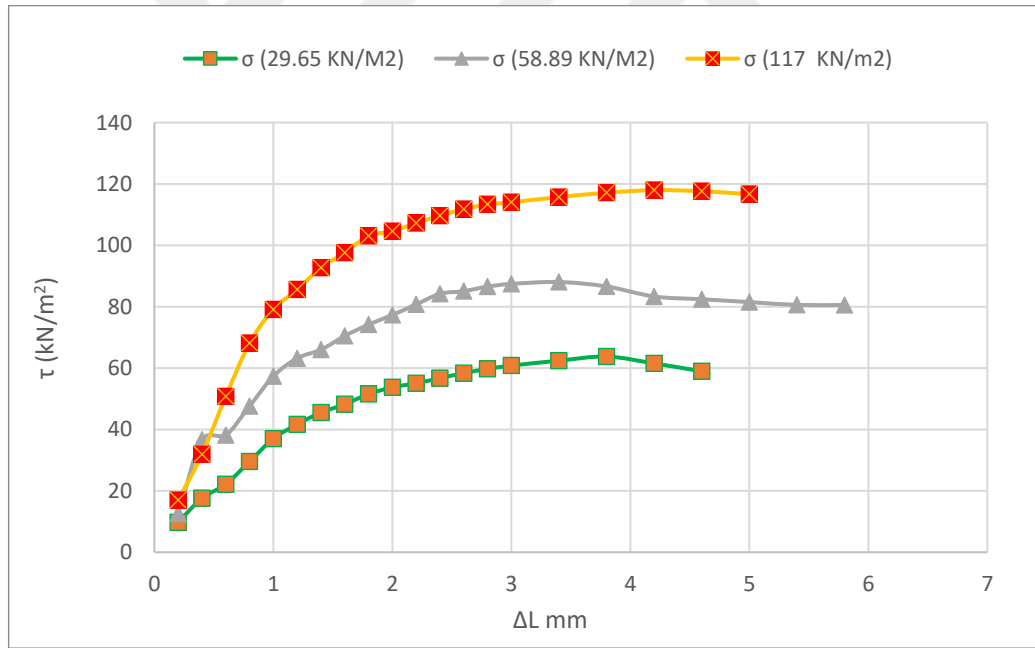
Ek Şekil 2.57. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %15 PKF 15.gün)



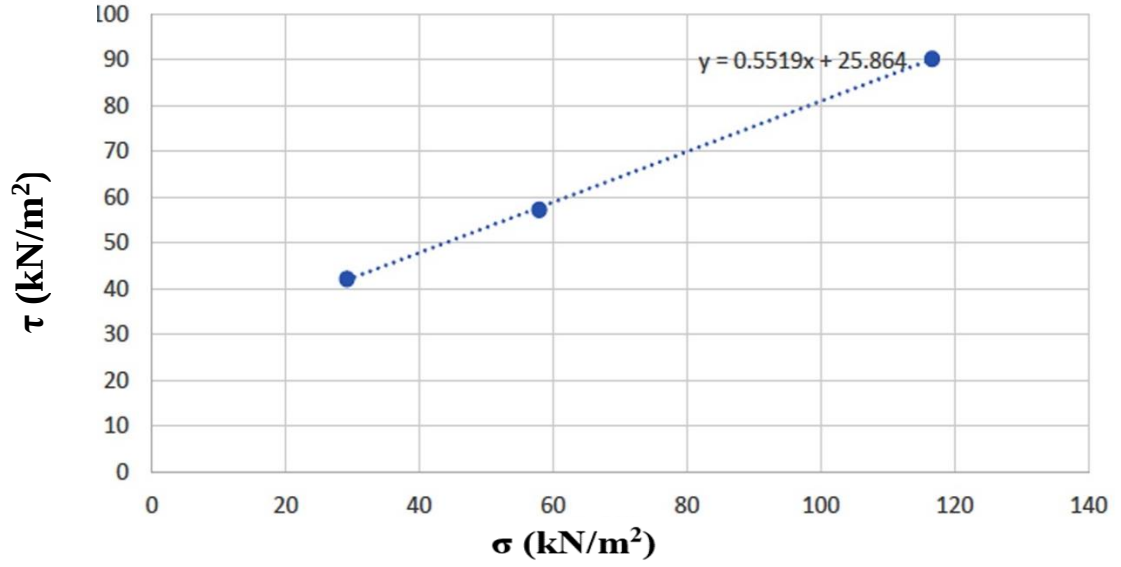
Ek Şekil 2.58. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %15 PKF 15.gün)



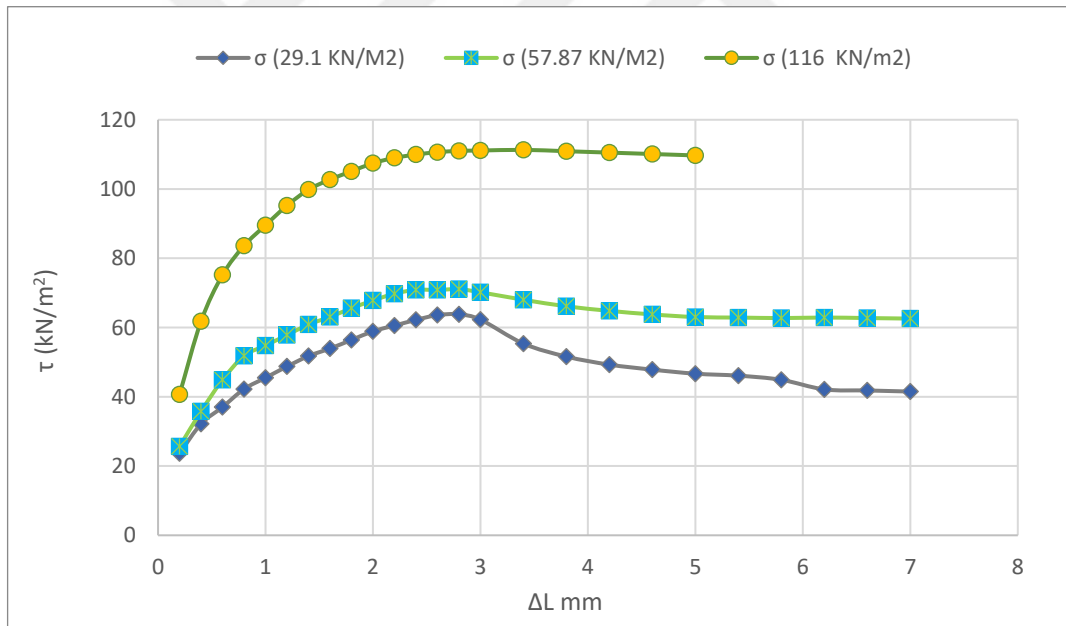
Ek Şekil 2.59. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %15 PKF 28.gün)



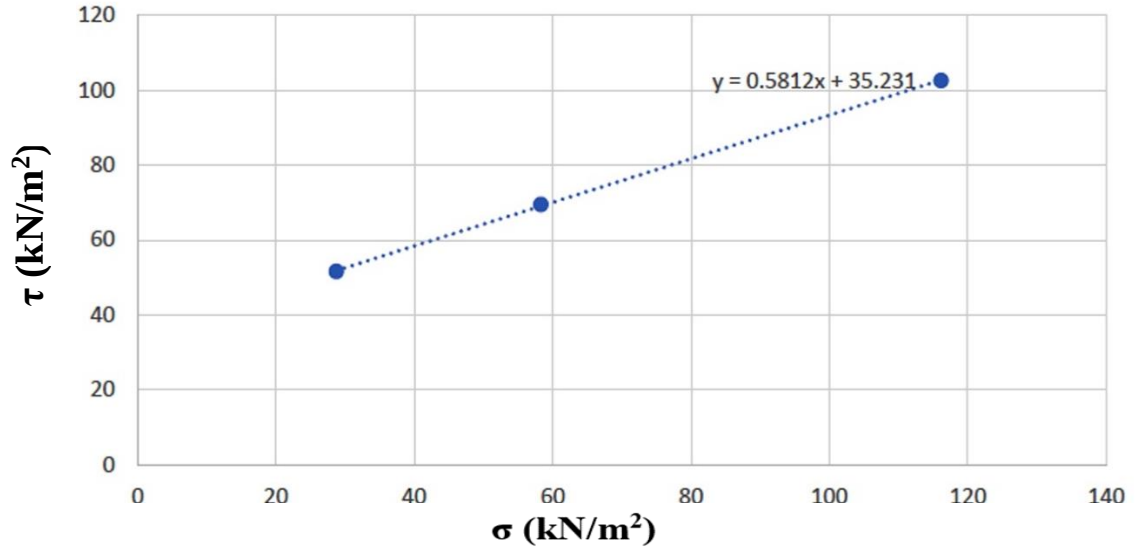
Ek Şekil 2.60. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %15 PKF 28.gün)



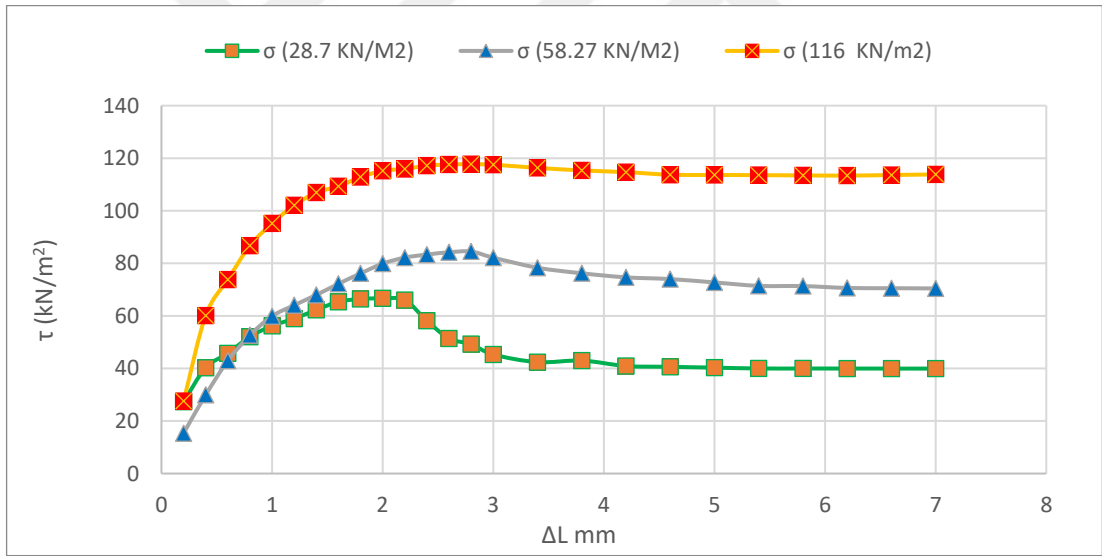
Ek Şekil 2.61. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %20 PKF 0.gün)



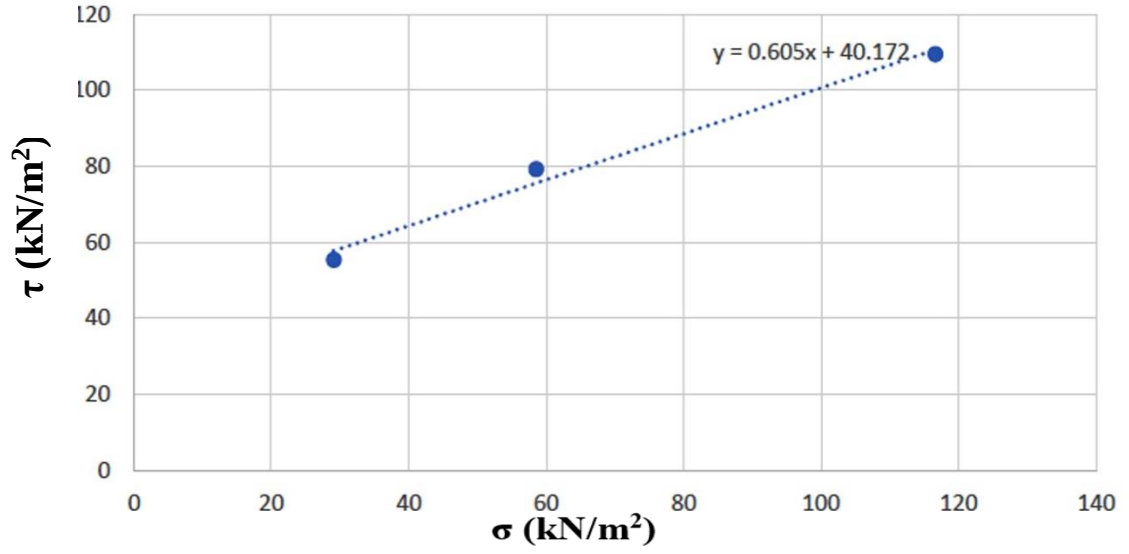
Ek Şekil 2.62. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %20 PKF 0.gün)



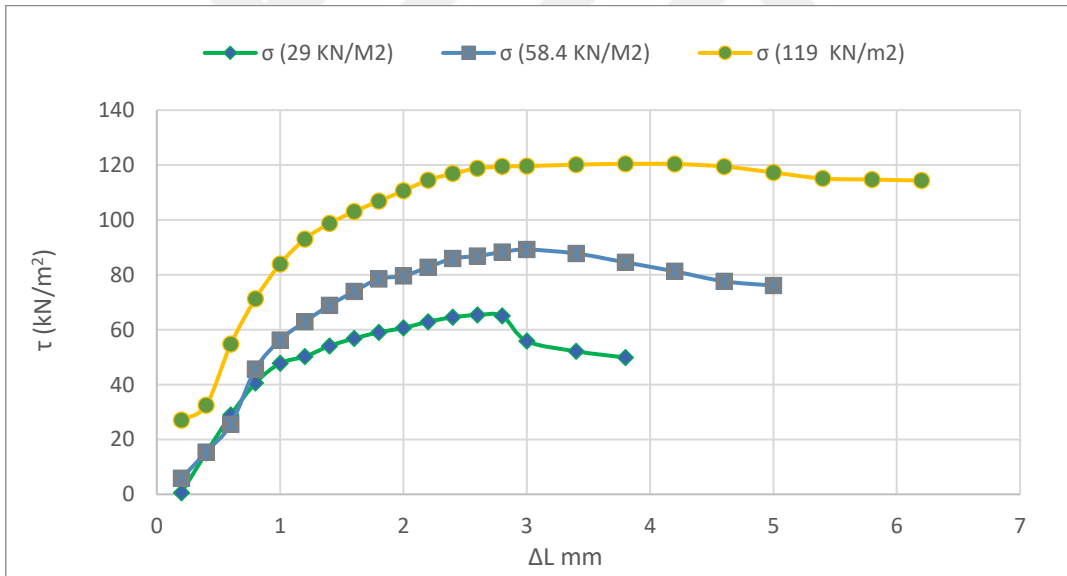
Ek Şekil 2.63. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %20 PKF 7.gün)



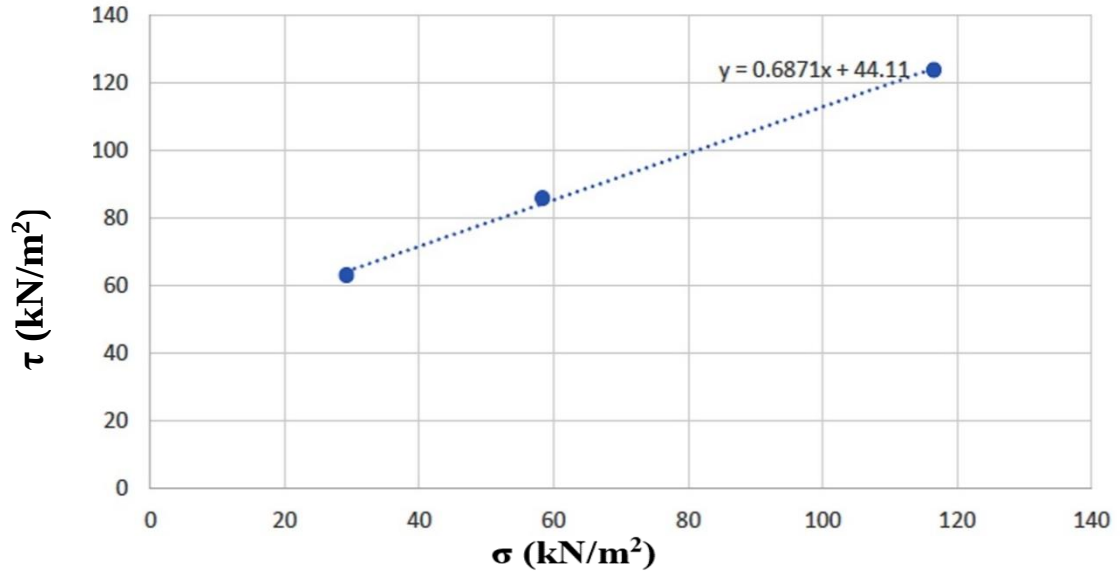
Ek Şekil 2.64. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %20 PKF 7.gün)



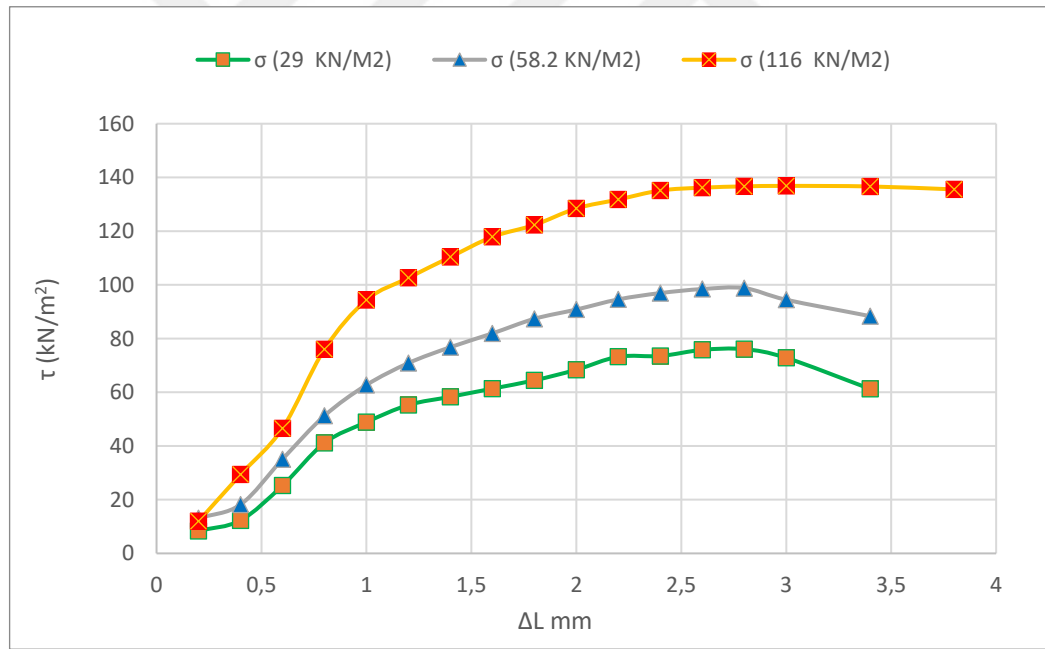
Ek Şekil 2.65. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %20 PKF 15.gün)



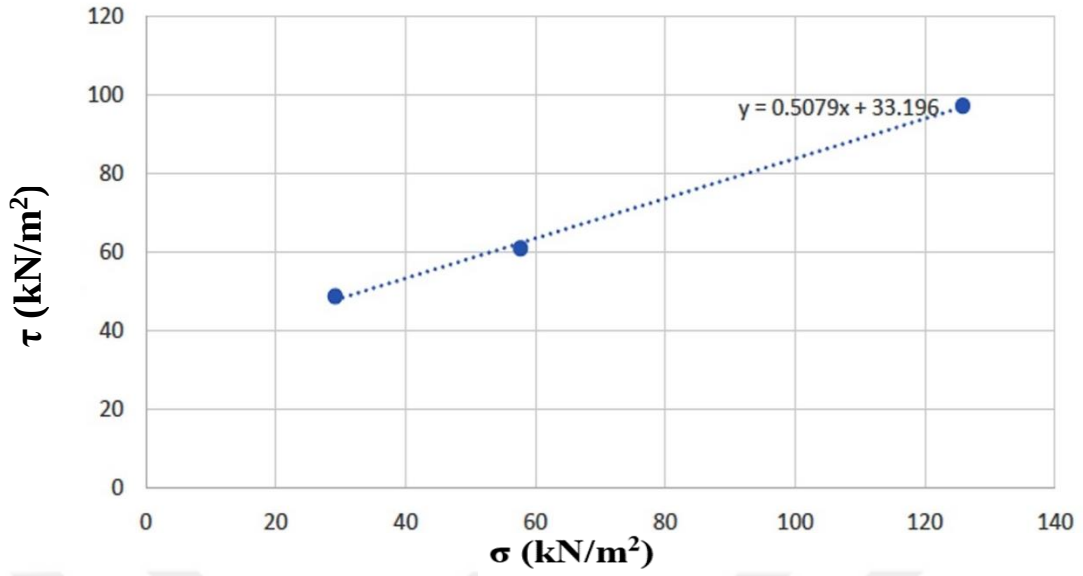
Ek Şekil 2.66. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %20 PKF 15.gün)



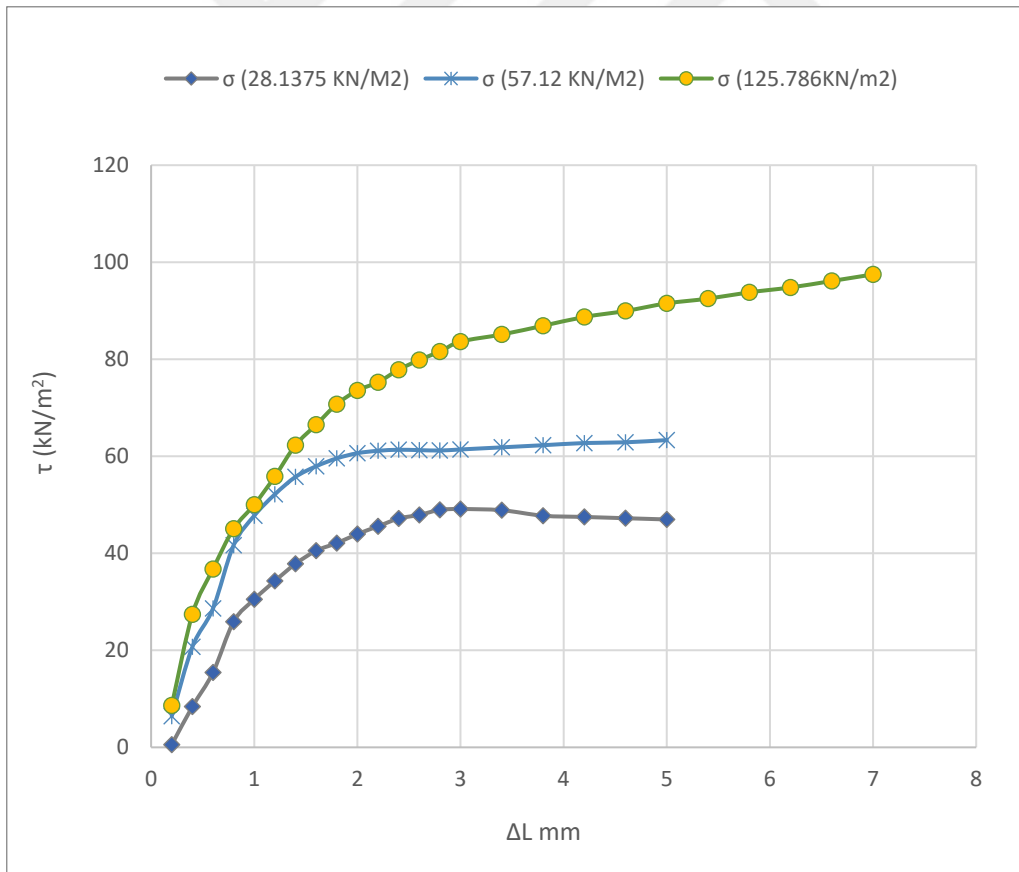
Ek Şekil 2.67. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %20 PKF 28.gün)



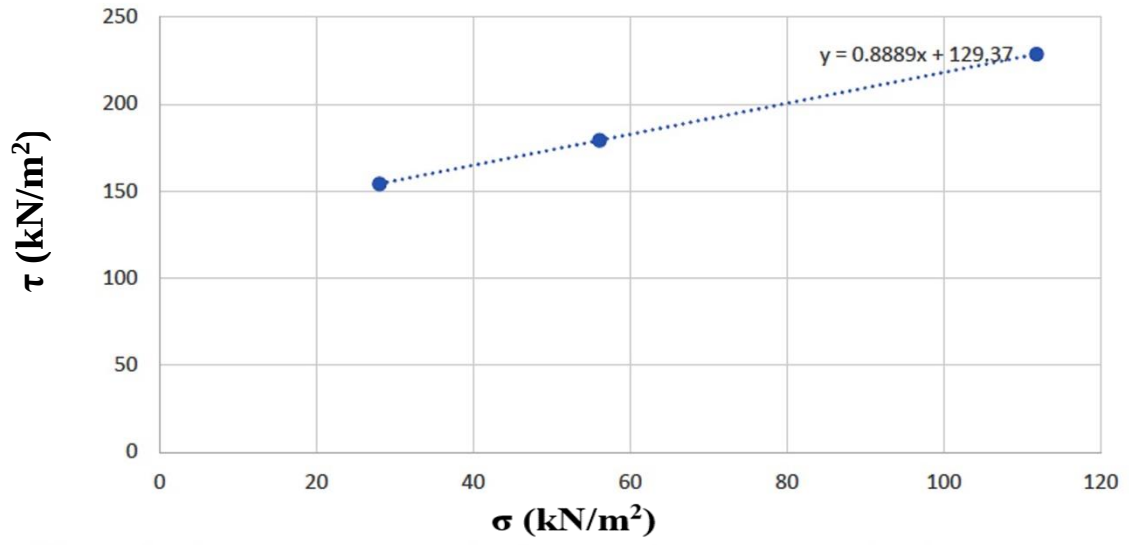
Ek Şekil 2.68. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %20 PKF 28.gün)



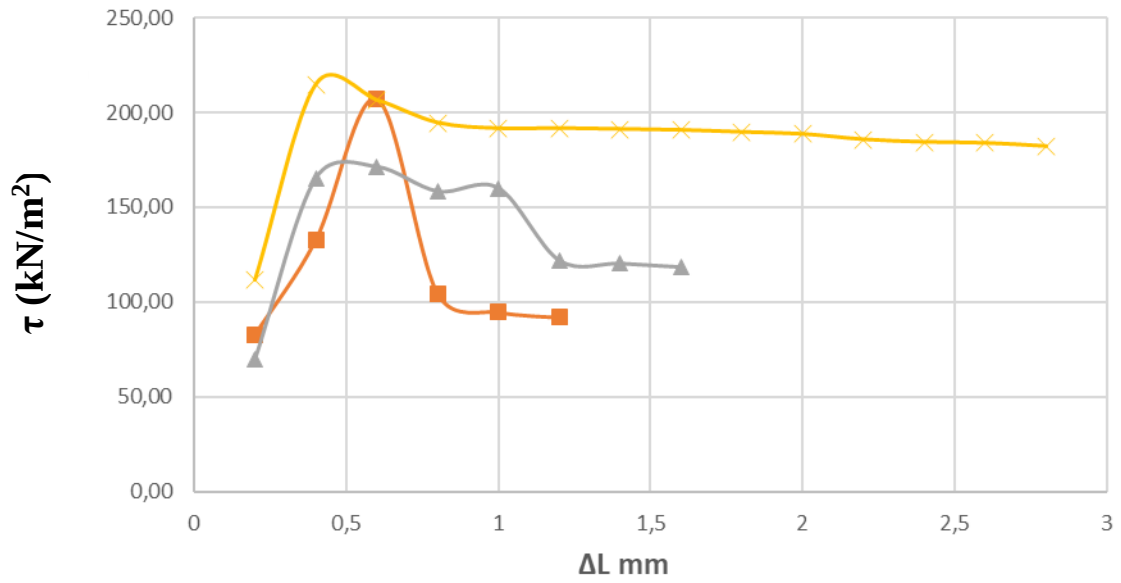
Ek Şekil 2.69. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 Çimento 0.gün)



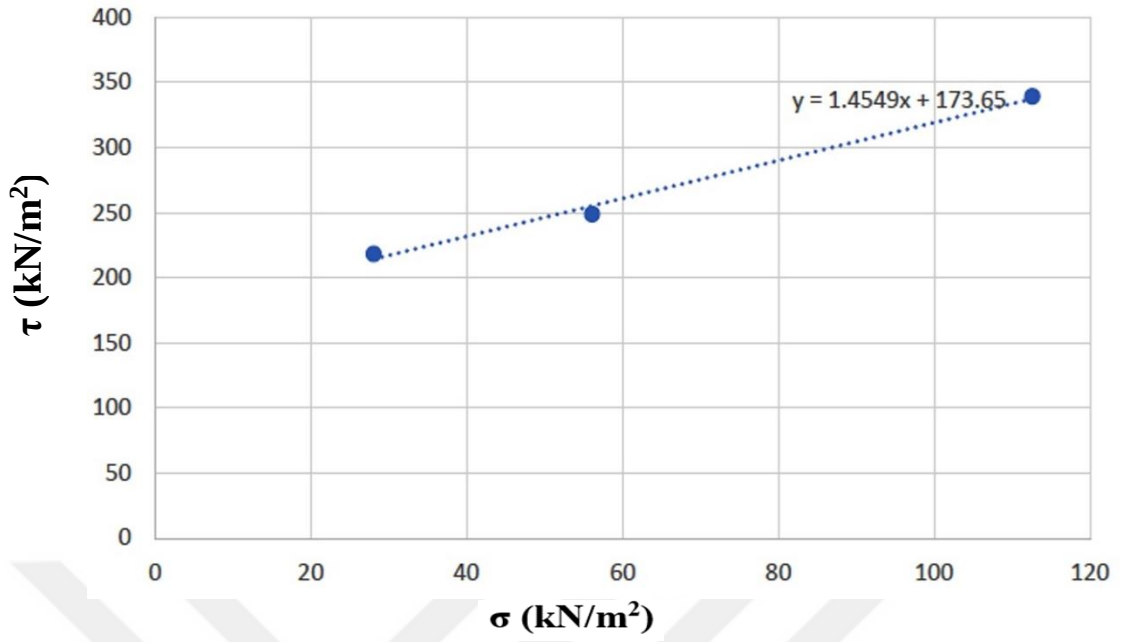
Ek Şekil 2.70. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 Çimento 0.gün)



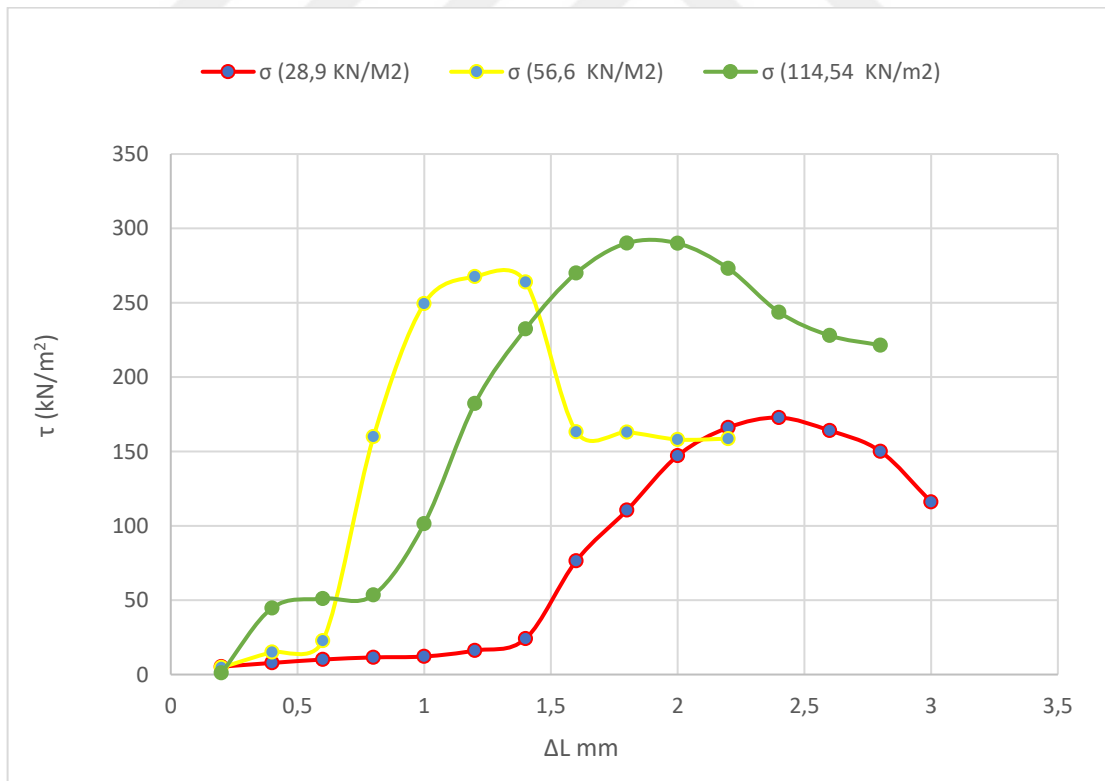
Ek Şekil 2.71. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 Çimento 7.gün)



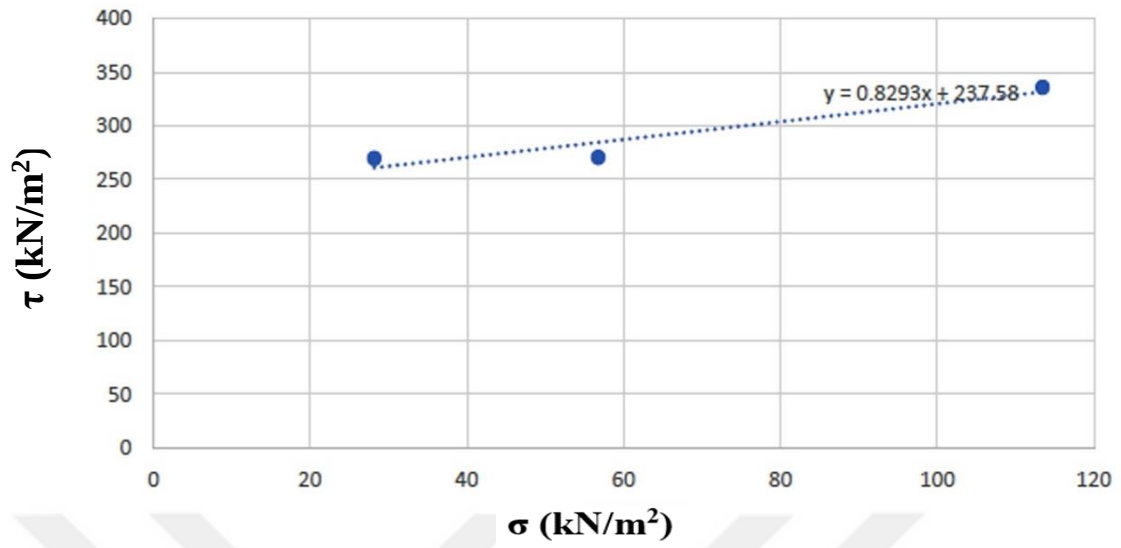
Ek Şekil 2.72. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 Çimento 7.gün)



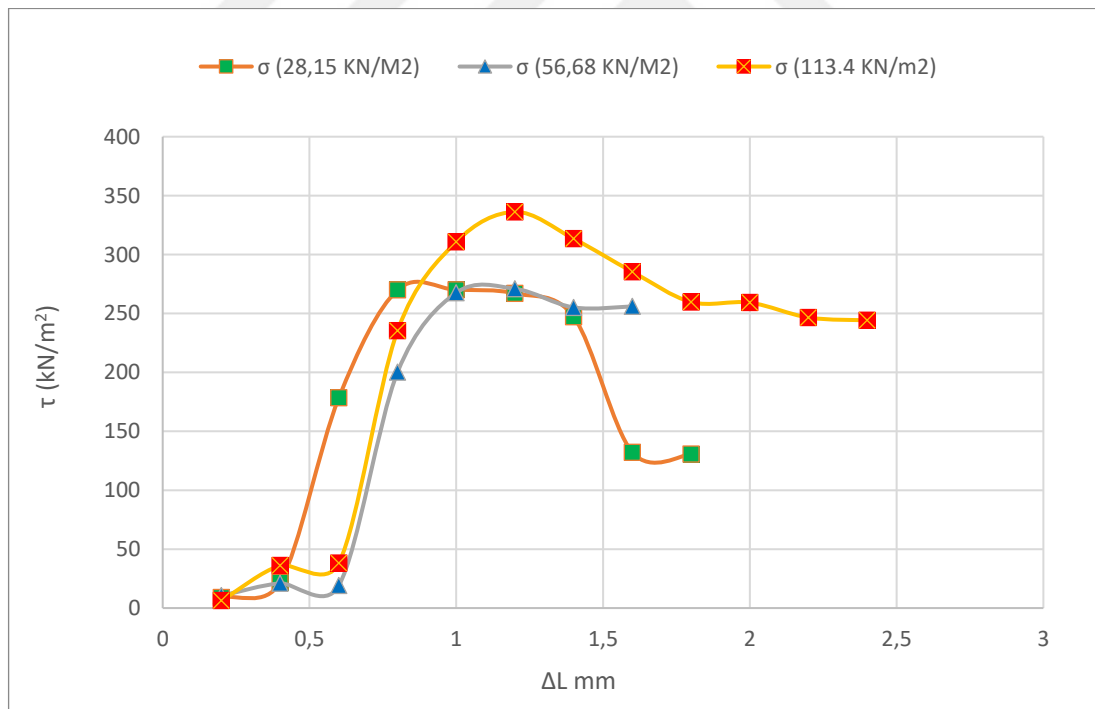
Ek Şekil 2.73. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 Çimento 15.gün)



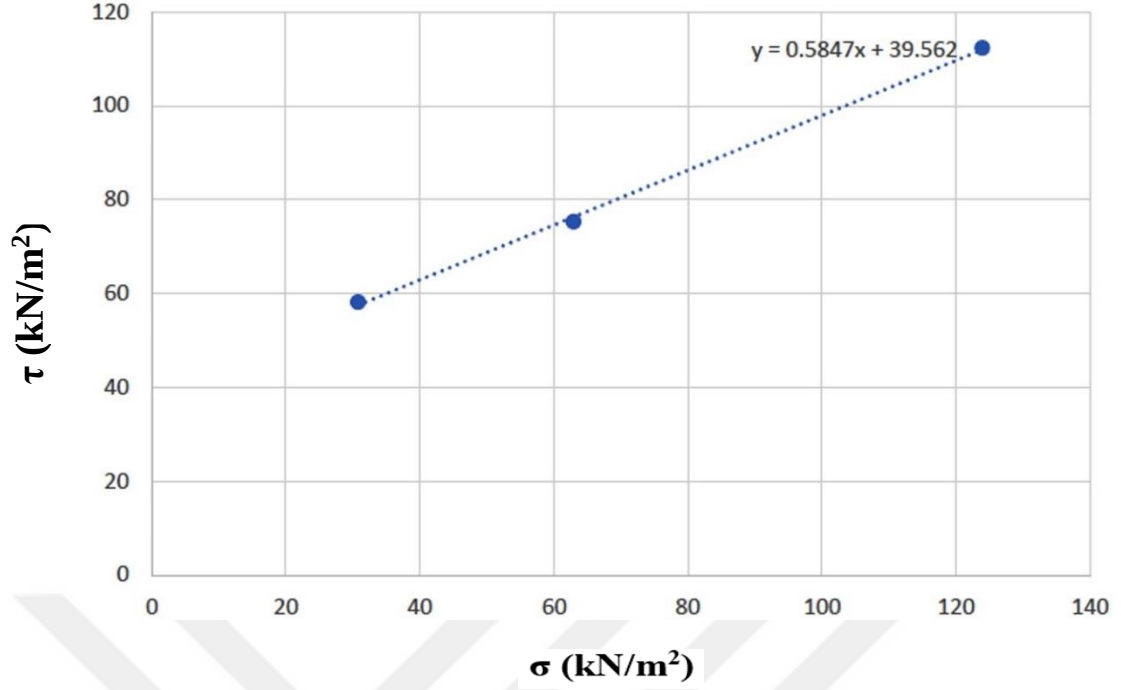
Ek Şekil 2.74. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 Çimento 15.gün)



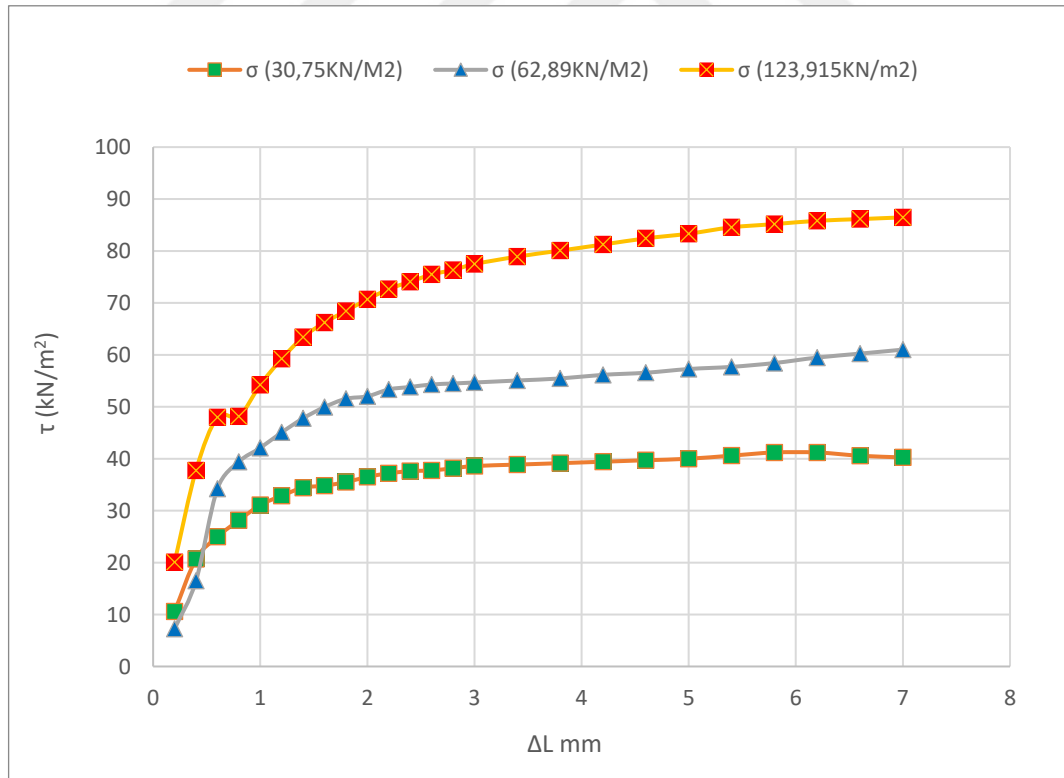
Ek Şekil 2. 75. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 Çimento 28.gün)



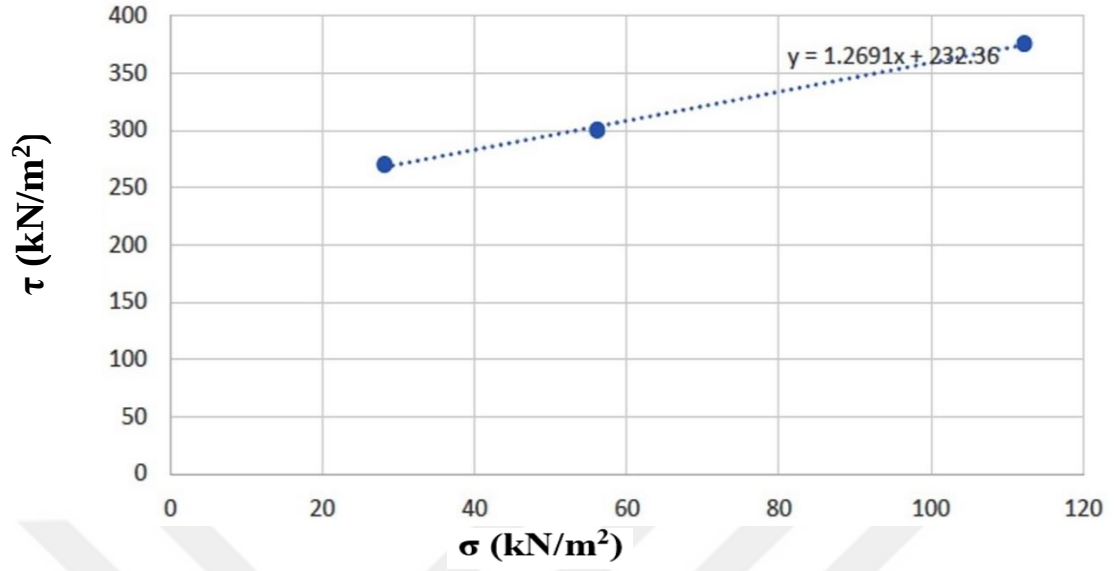
Ek Şekil 2. 76. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 Çimento 28.gün)



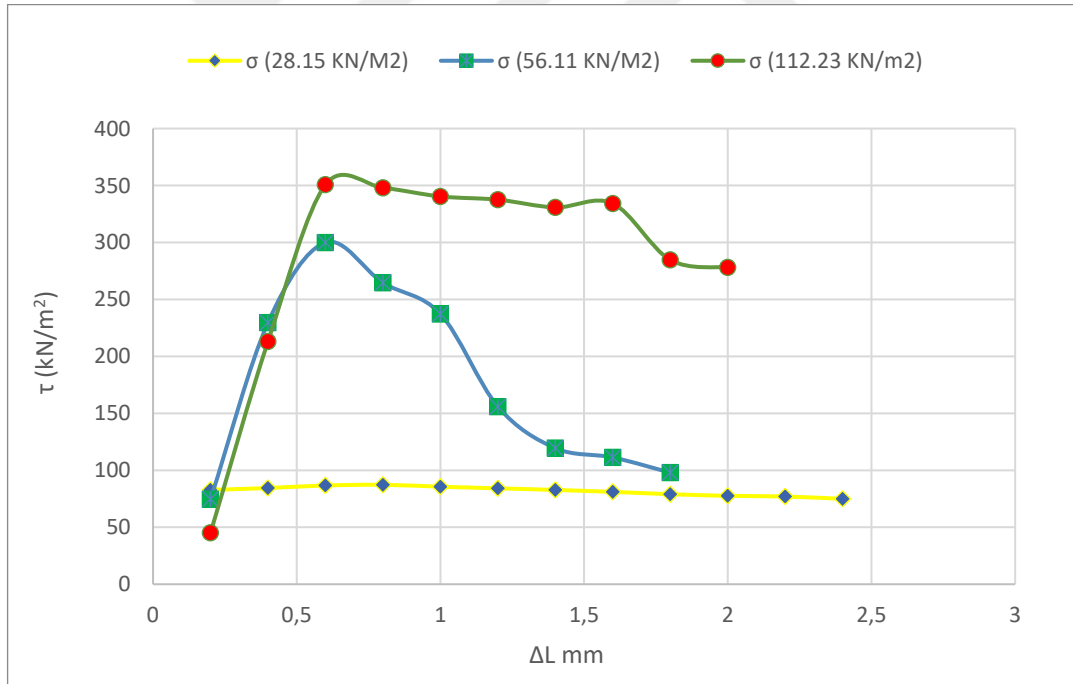
Ek Şekil 2.77. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 Çimento 0.gün)



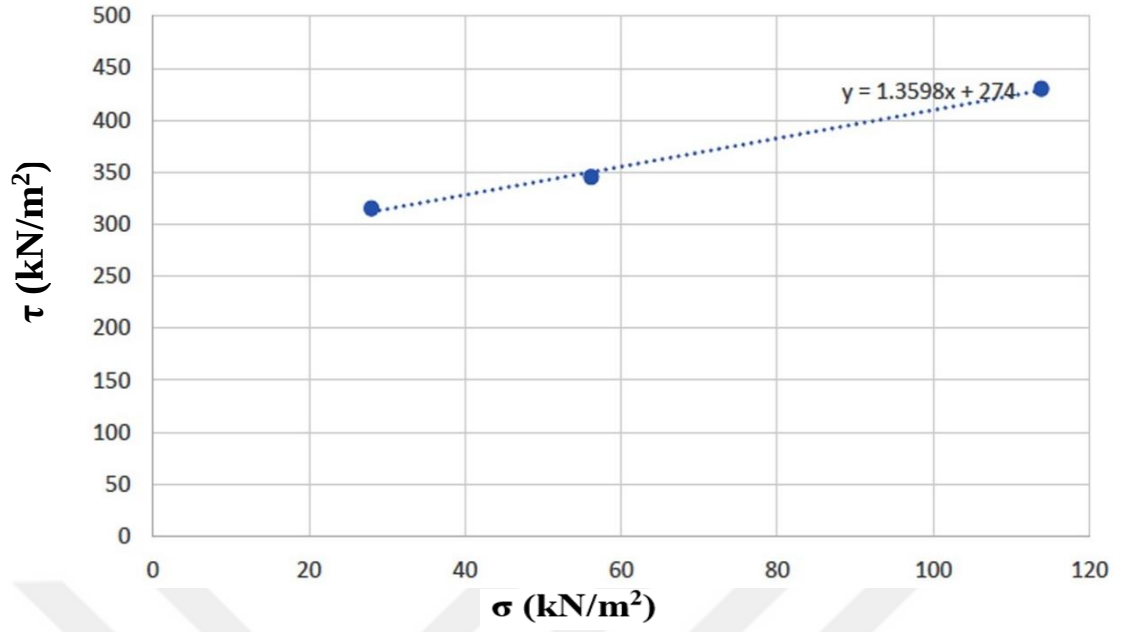
Ek Şekil 2.78. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 Çimento 0.gün)



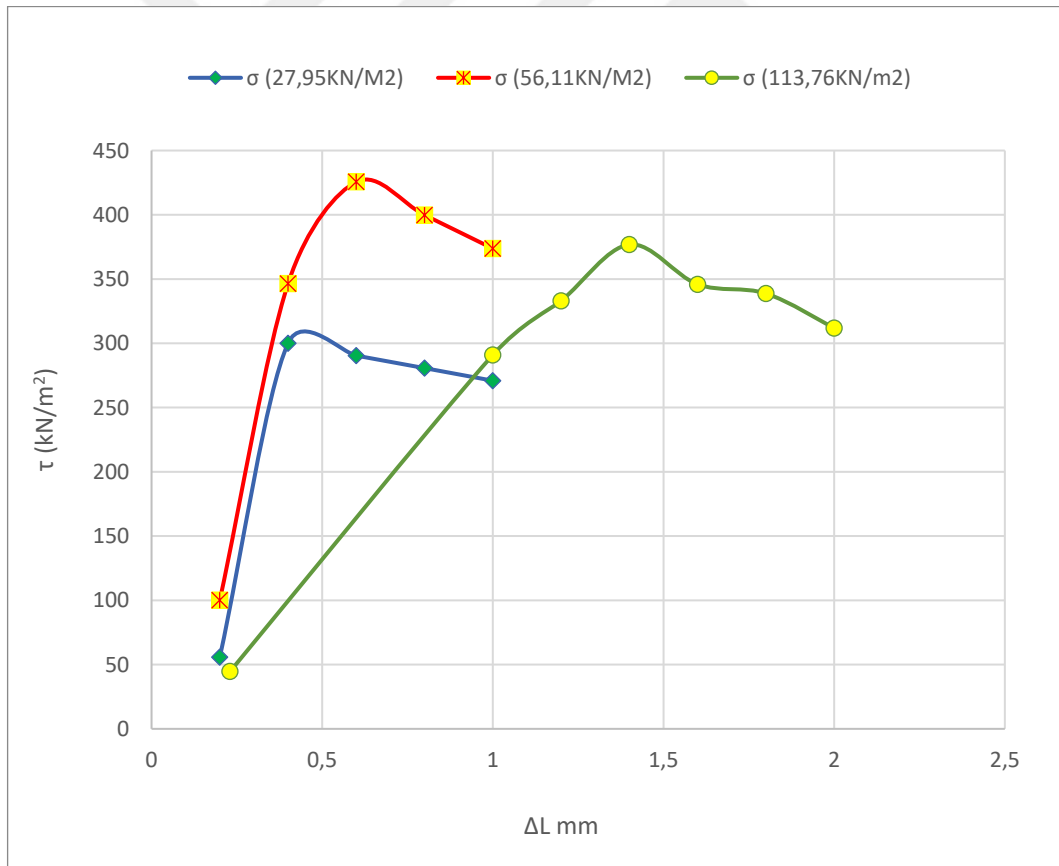
Ek Şekil 2.79. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 Çimento 7.gün)



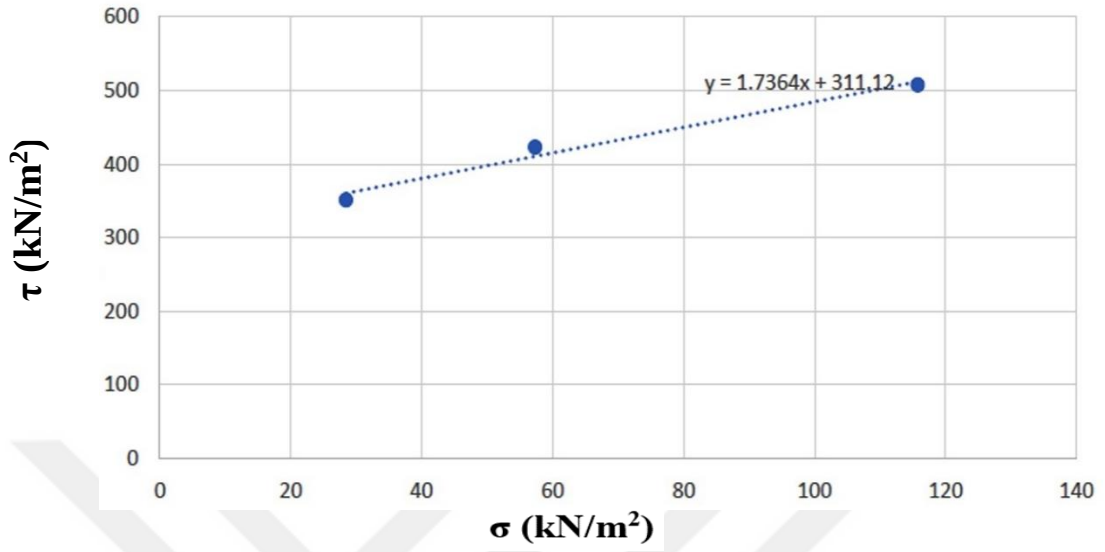
Ek Şekil 2.80. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 Çimento 7.gün)



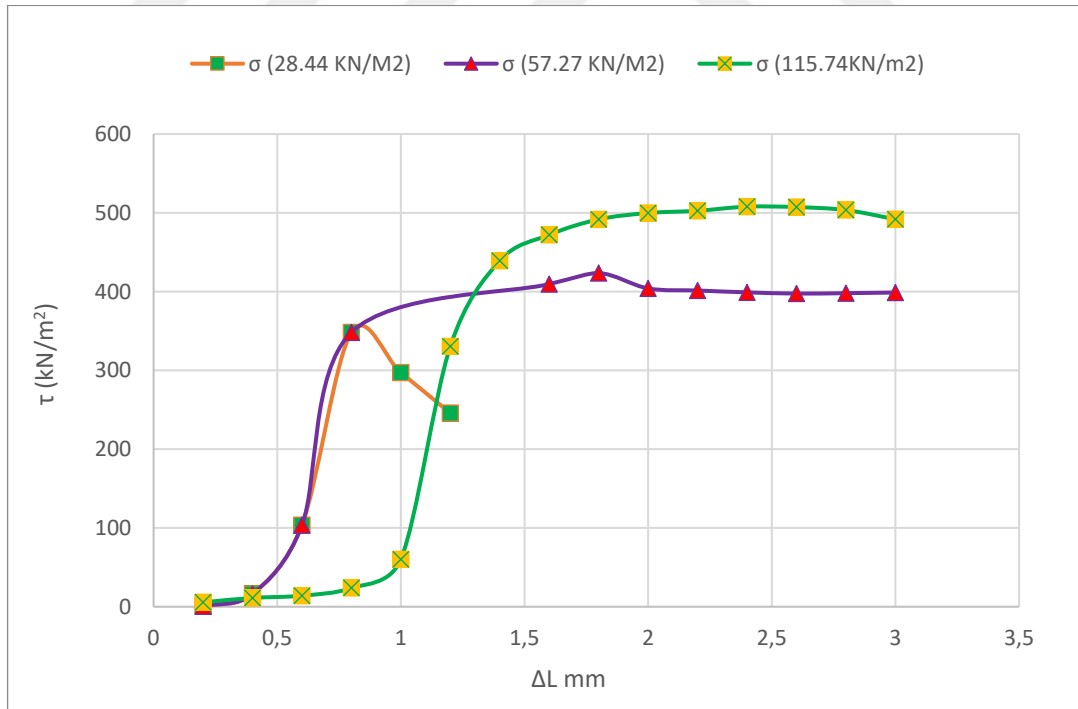
Ek Şekil 2.81. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 Çimento 15.gün)



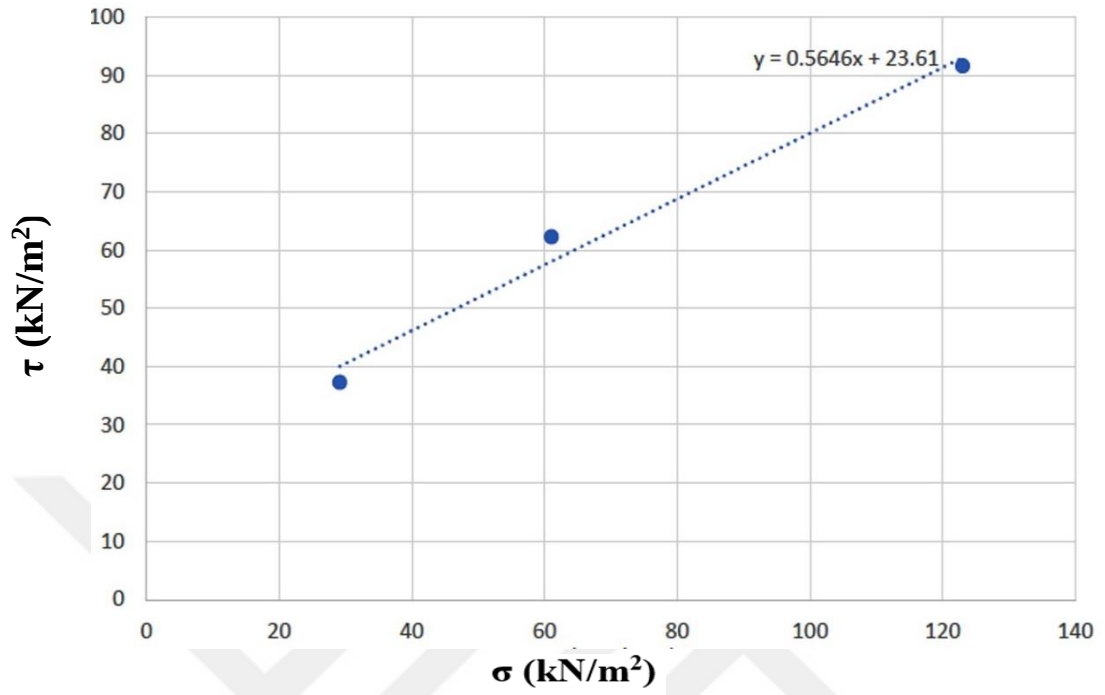
Ek Şekil 2.82. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 Çimento 15.gün)



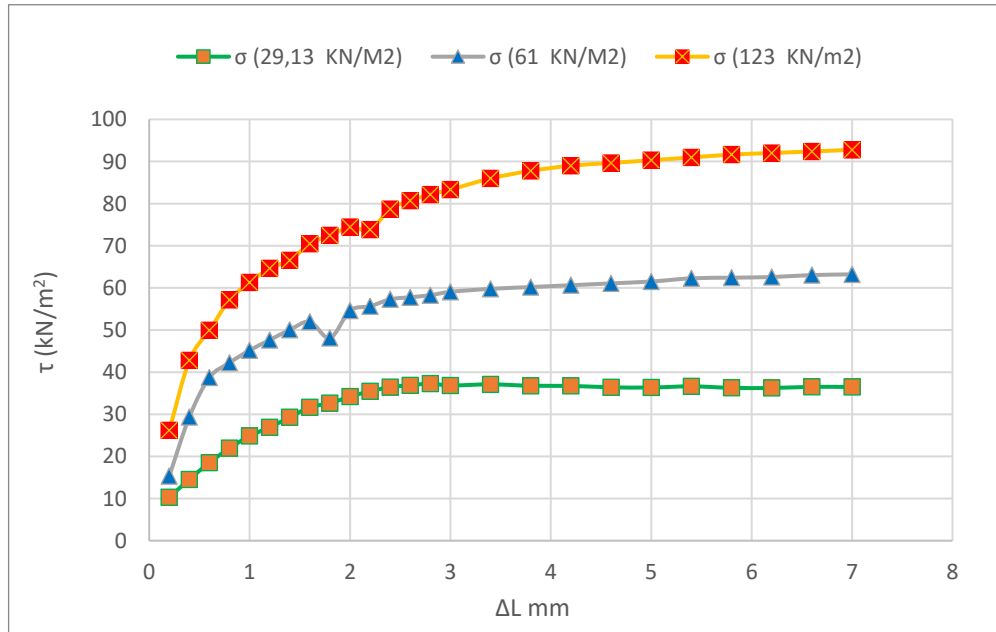
Ek Şekil 2.83. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 Çimento 28.gün)



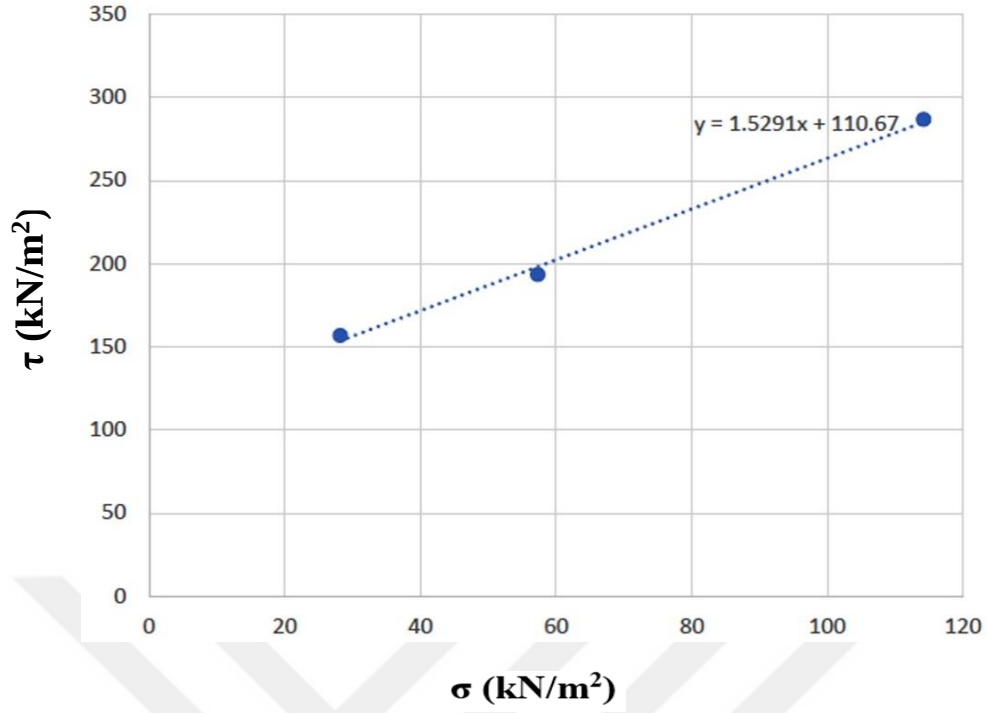
Ek Şekil 2.84. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 Çimento 28.gün)



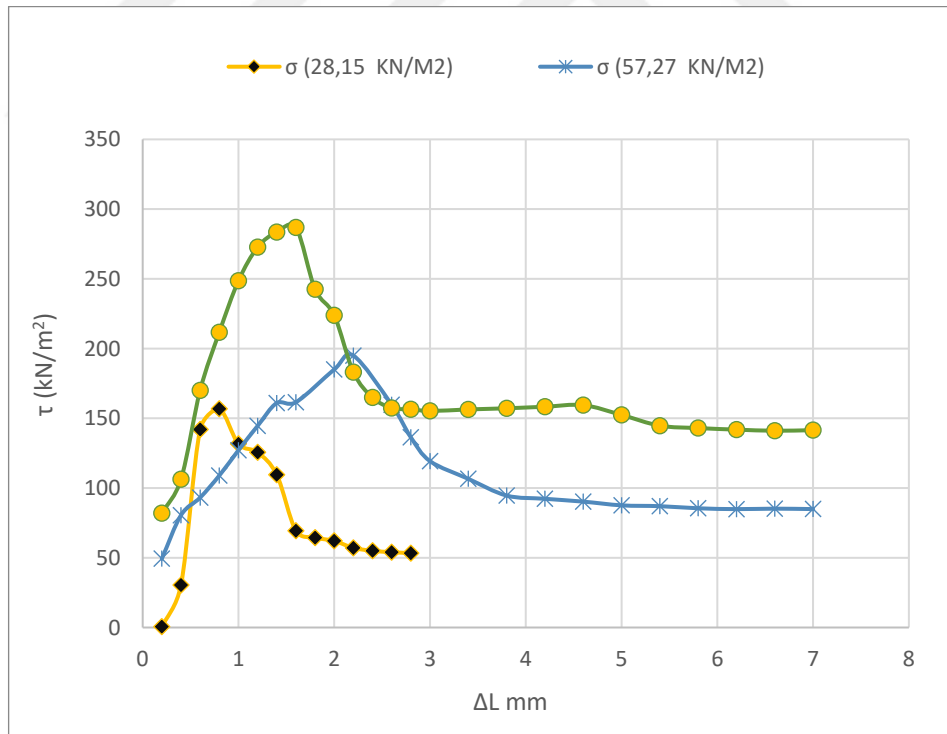
Ek Şekil 2.85. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 Çimento 0.gün)



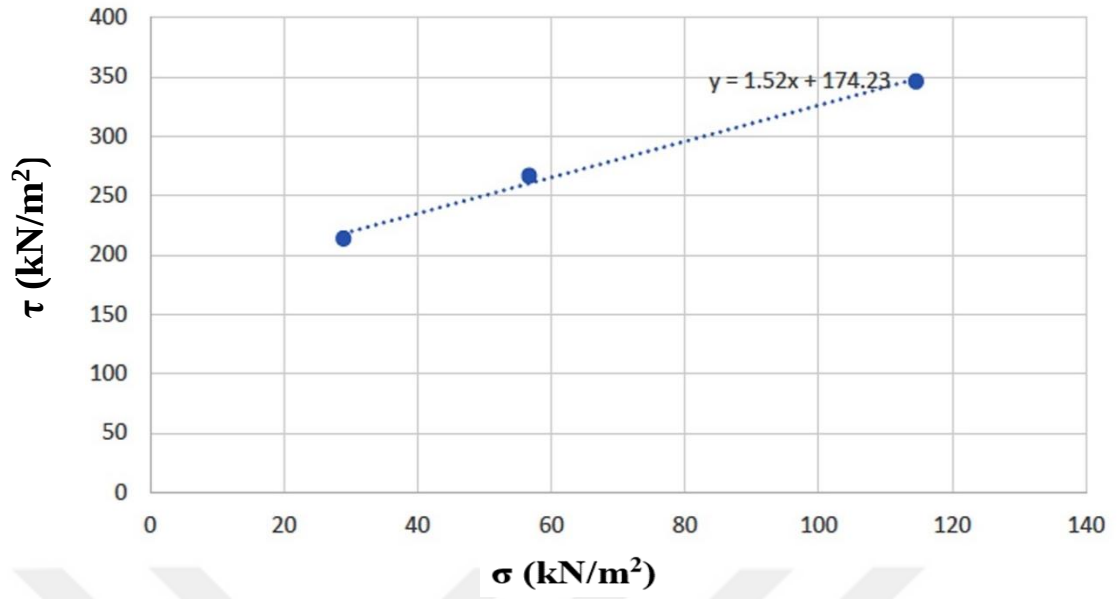
Ek Şekil 2.86. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 Çimento 0.gün)



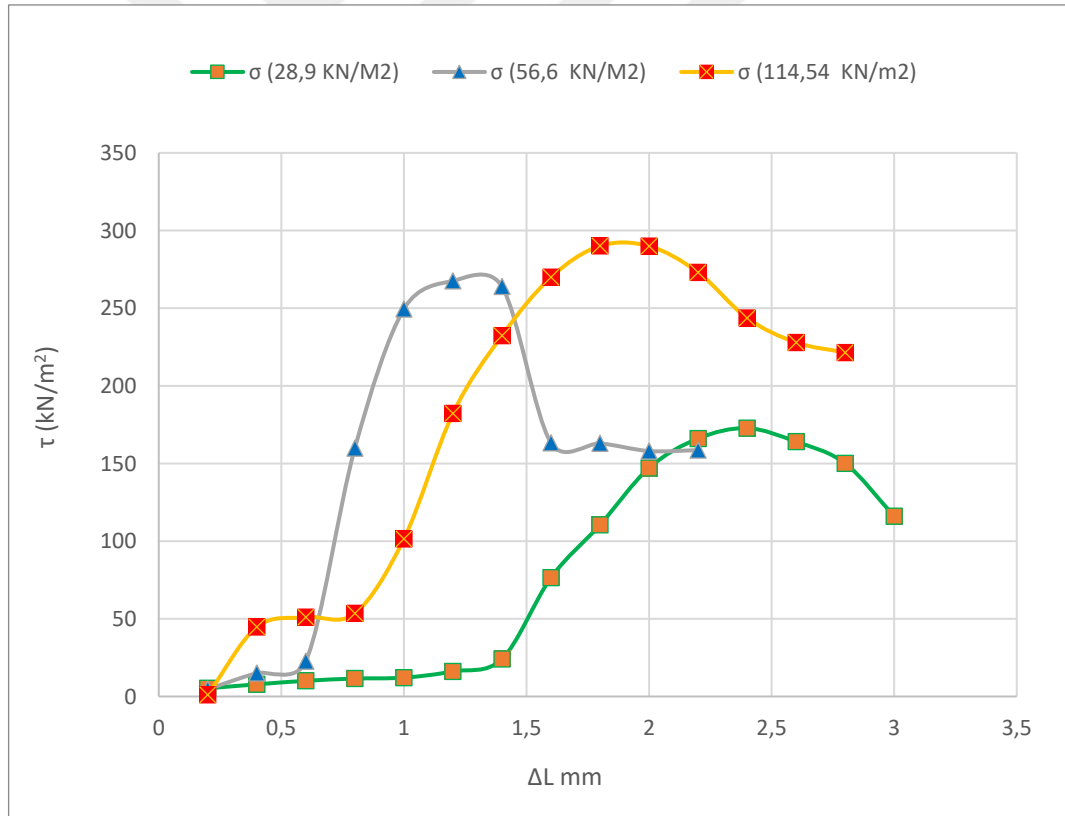
Ek Şekil 2.87. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 Çimento 7.gün)



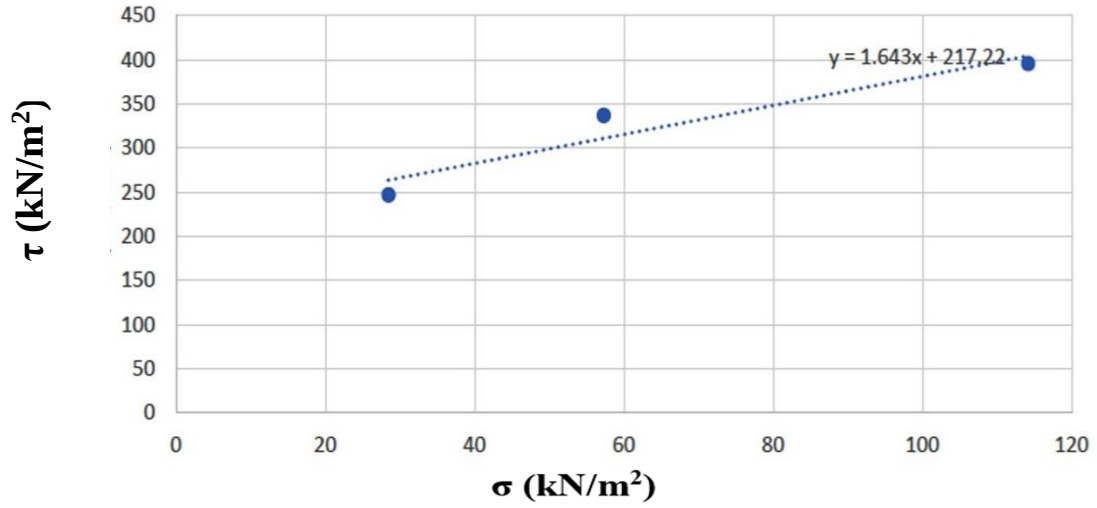
Ek Şekil 2.88. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 Çimento 7.gün)



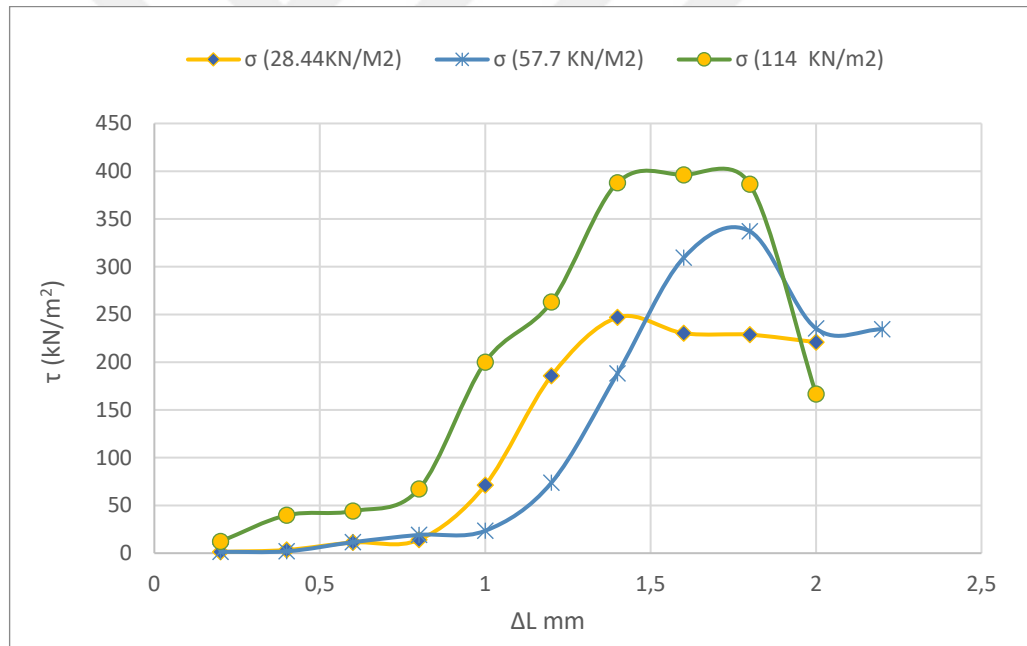
Ek Şekil 2.89. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 Çimento 15.gün)



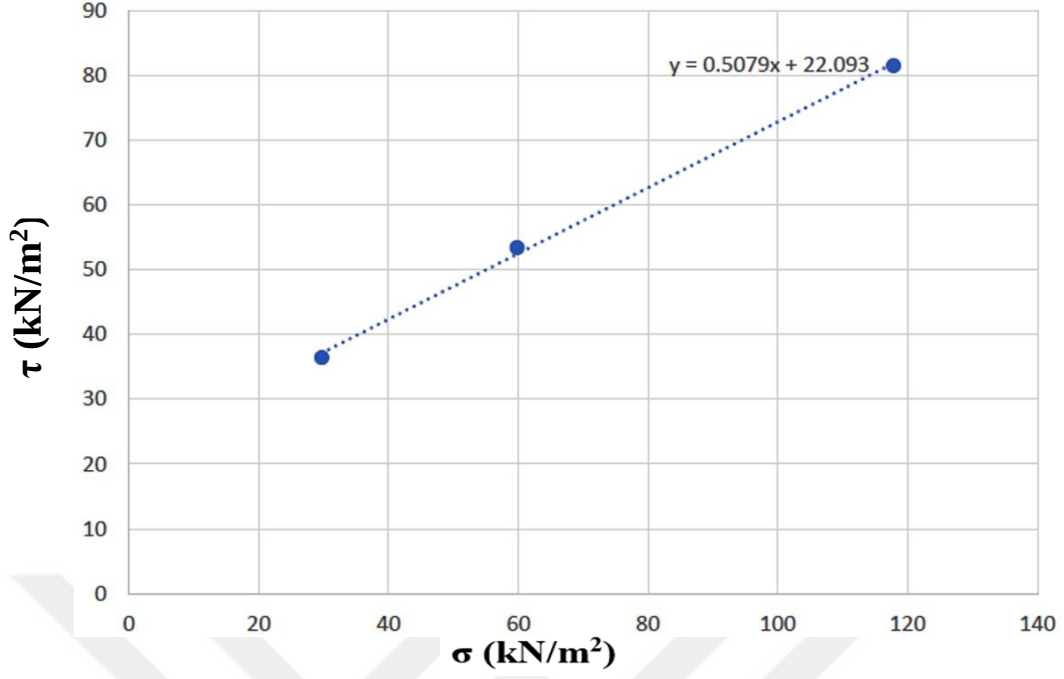
Ek Şekil 2.90. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 Çimento 15.gün)



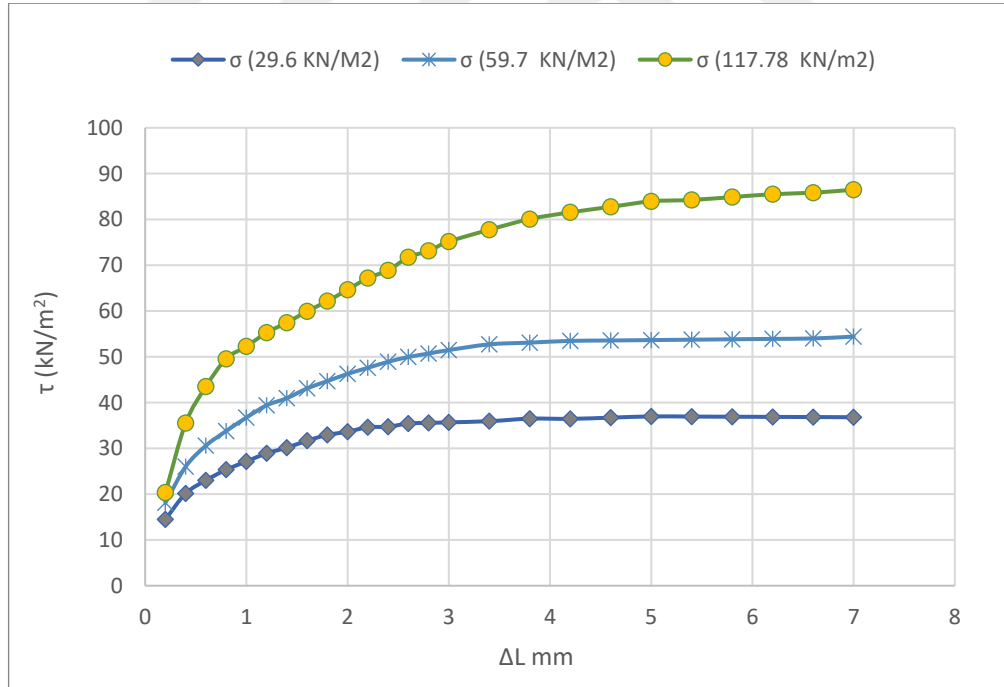
Ek Şekil 2.91. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 Çimento 28.gün)



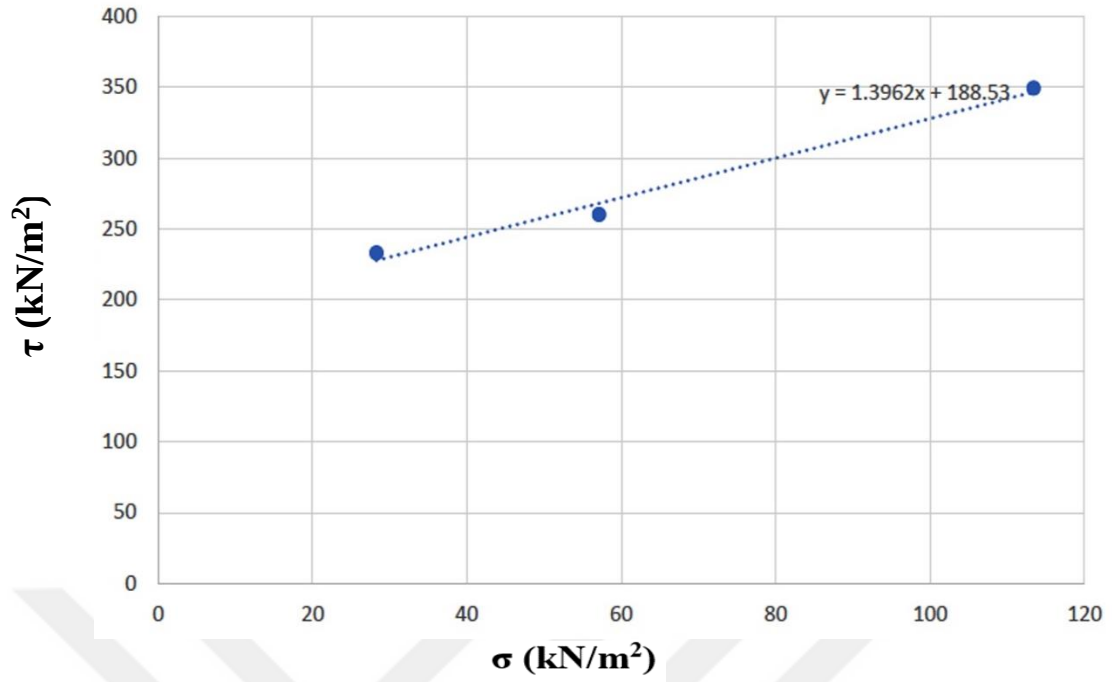
Ek Şekil 2.92. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 Çimento 28.gün)



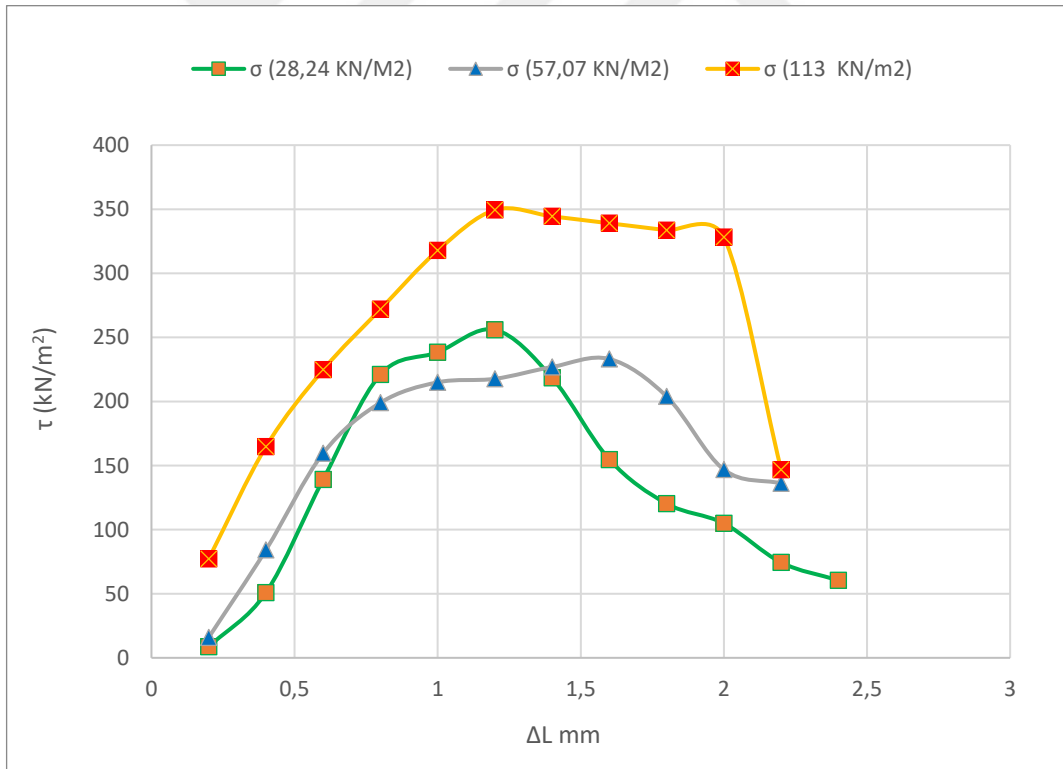
Ek Şekil 2.93. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 Çimento 0.gün)



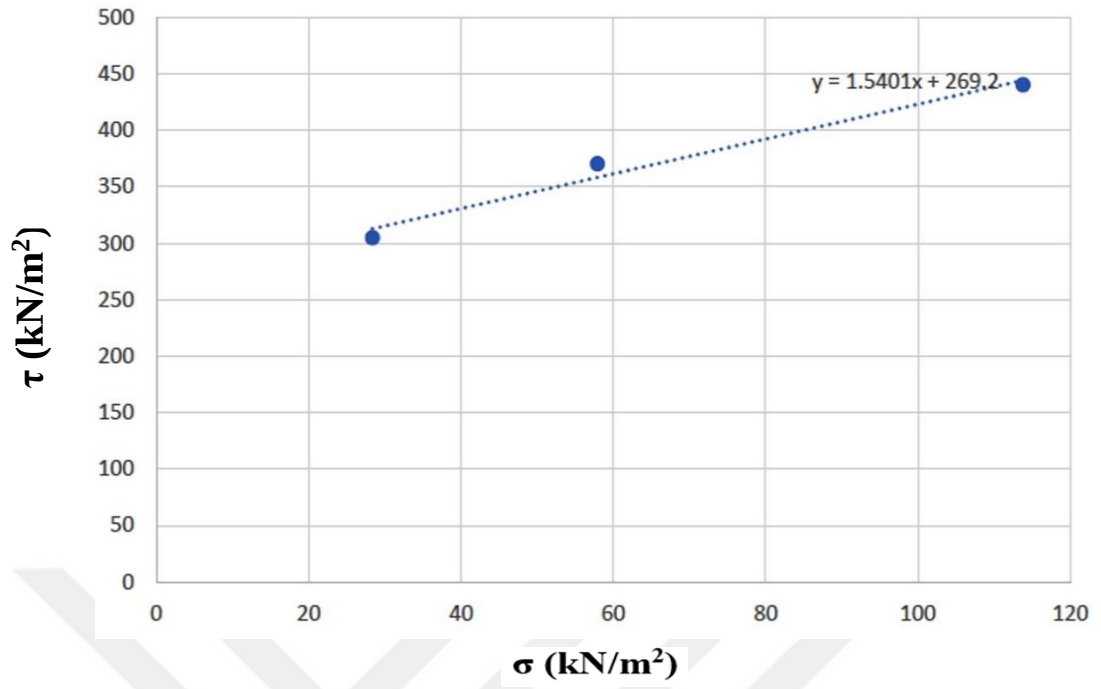
Ek Şekil 2.94. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 Çimento 0.gün)



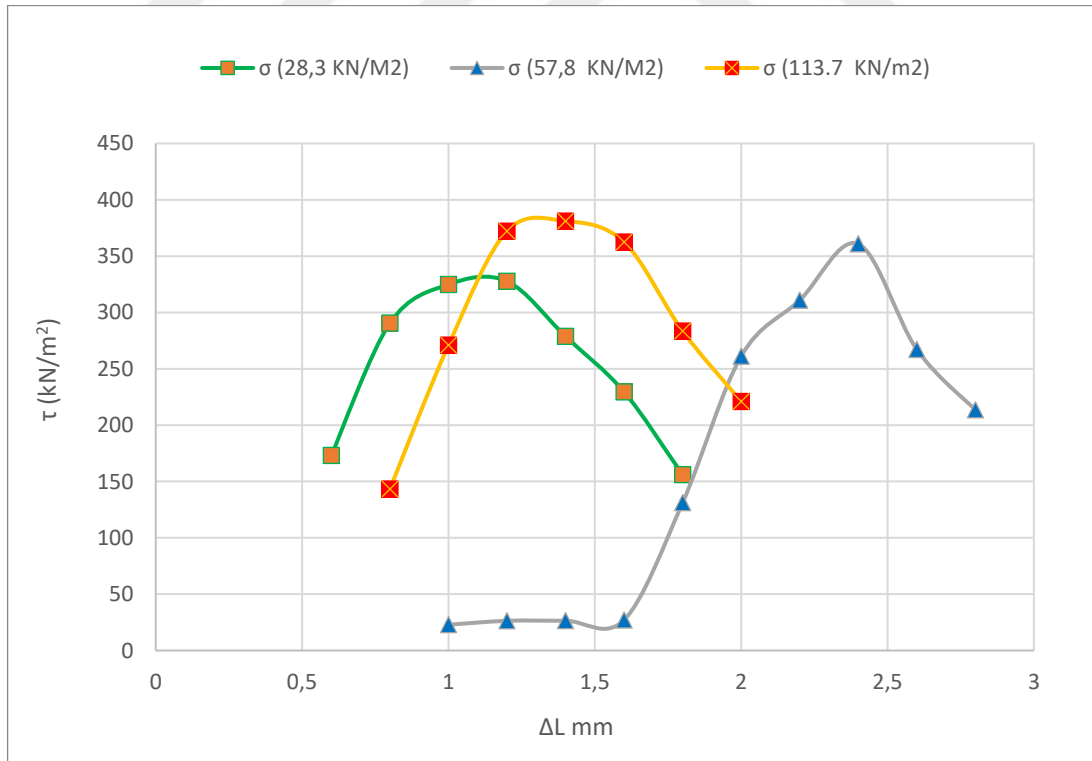
Ek Şekil 2. 95. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 Çimento 7.gün)



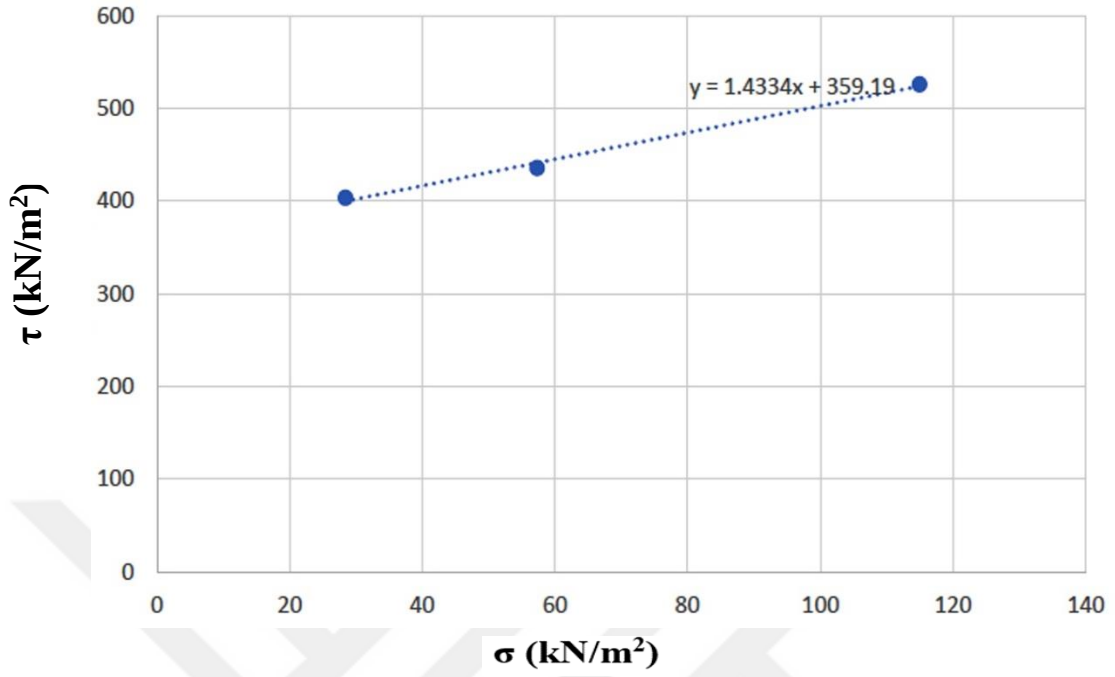
Ek Şekil 2.96. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 Çimento 7.gün)



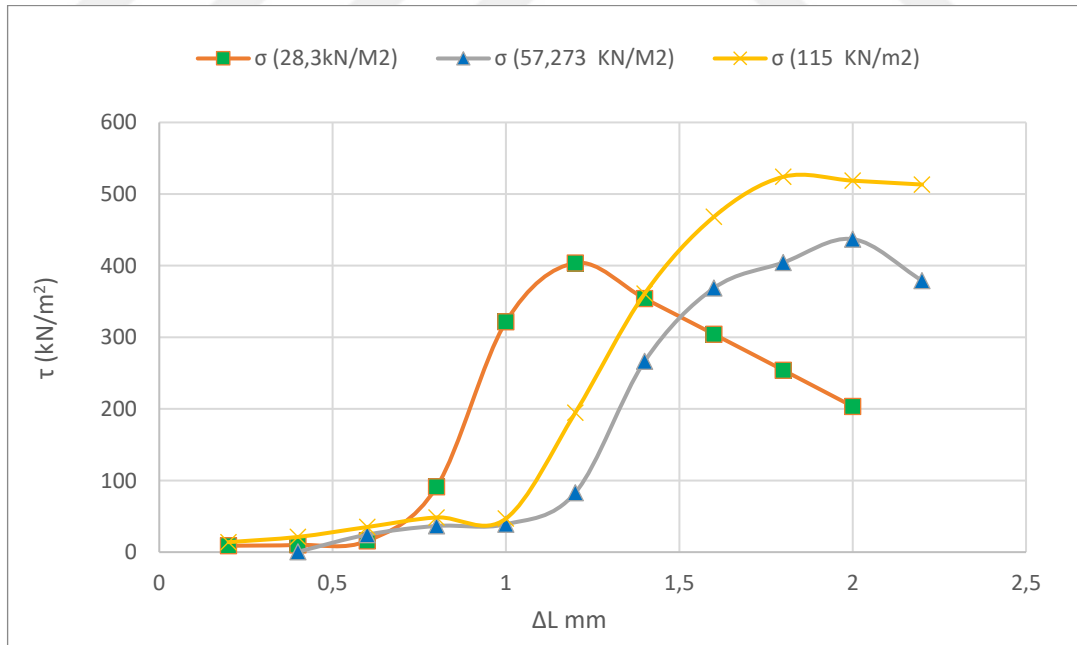
Ek Şekil 2.97. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 Çimento 15.gün)



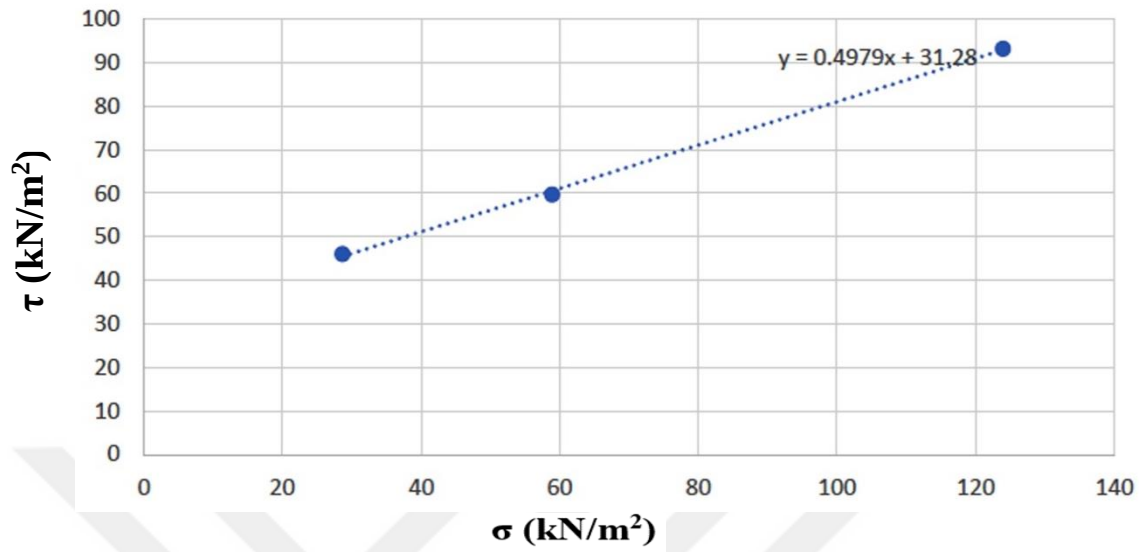
Ek Şekil 2.98. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 Çimento 15.gün)



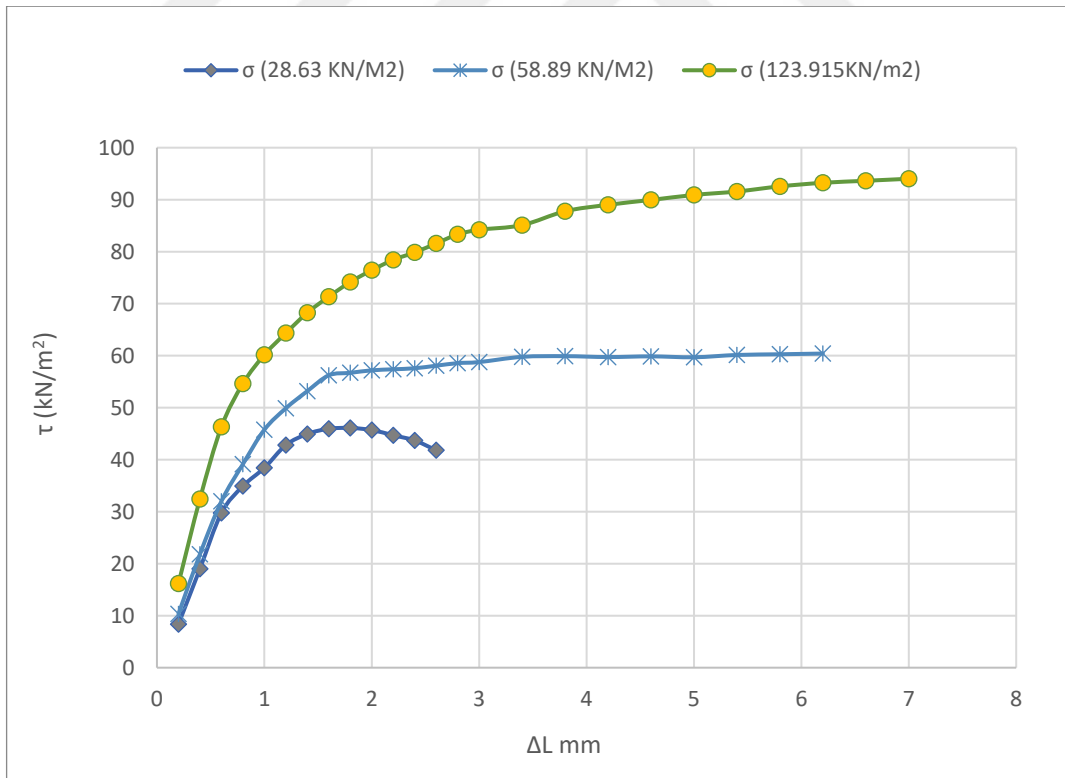
Ek Şekil 2.99. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 Çimento 28.gün)



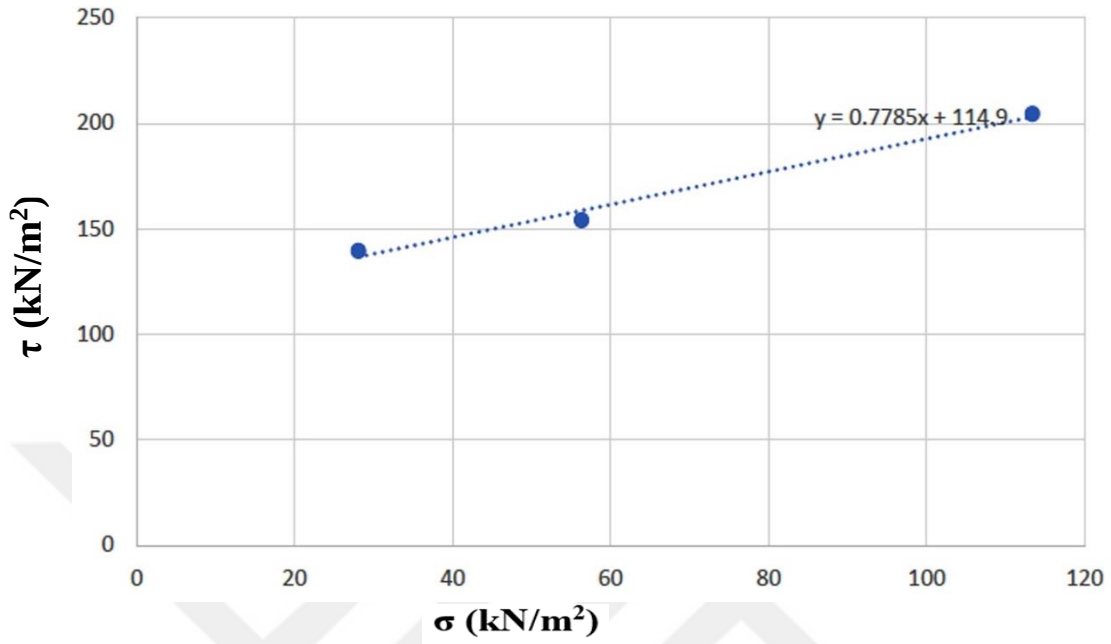
Ek Şekil 2.100. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 Çimento 28.gün)



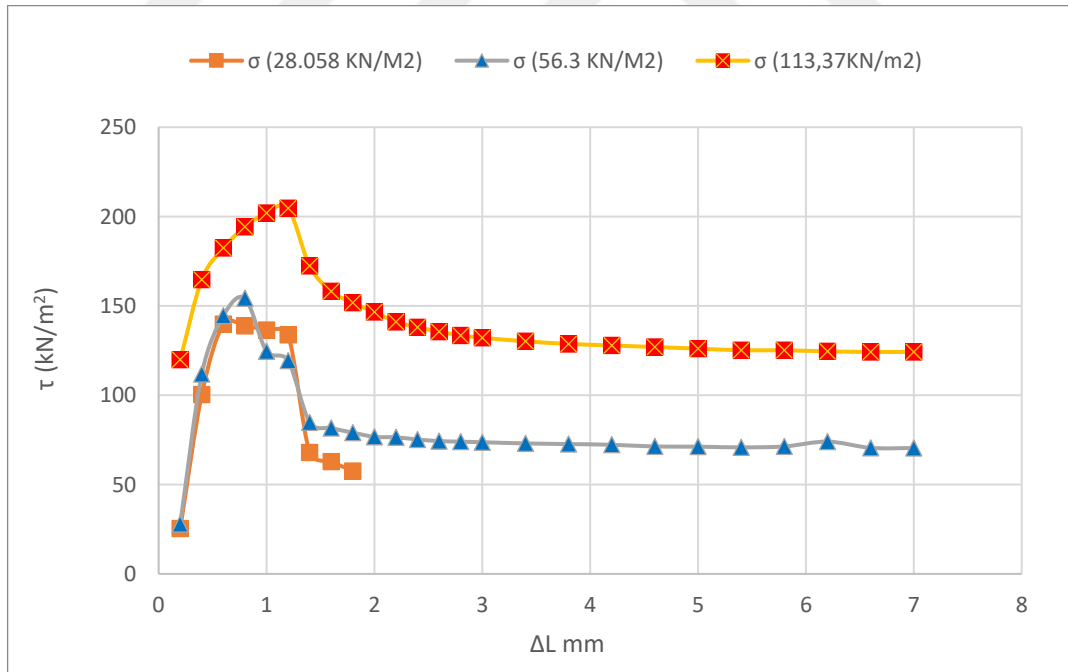
Ek Şekil 2.101. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 Kireç 0.gün)



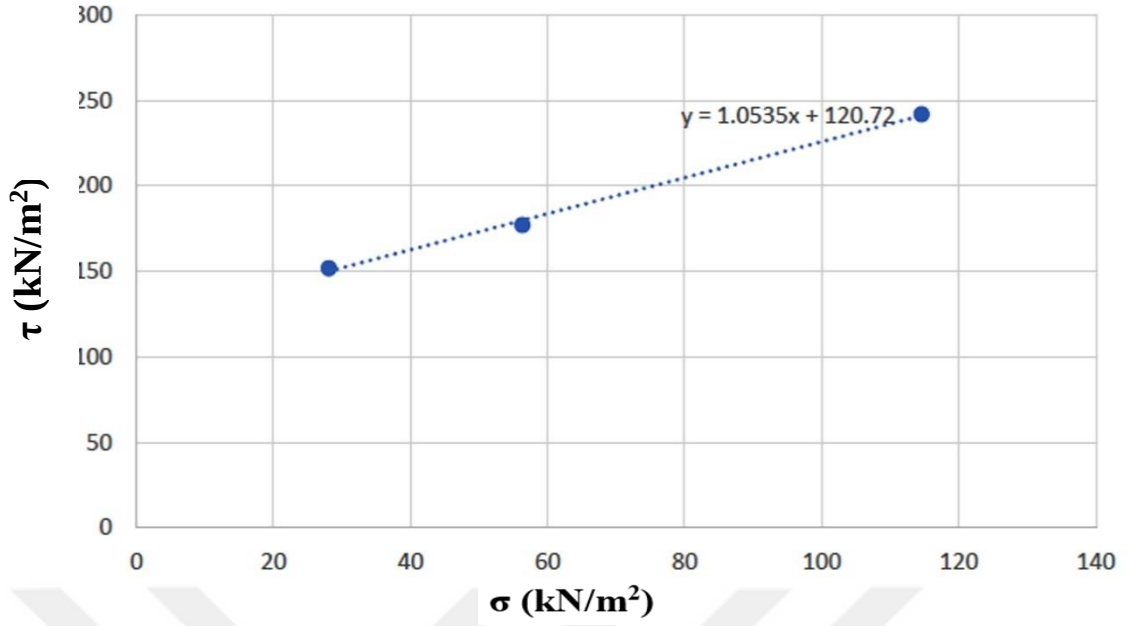
Ek Şekil 2.102. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 Kireç 0.gün)



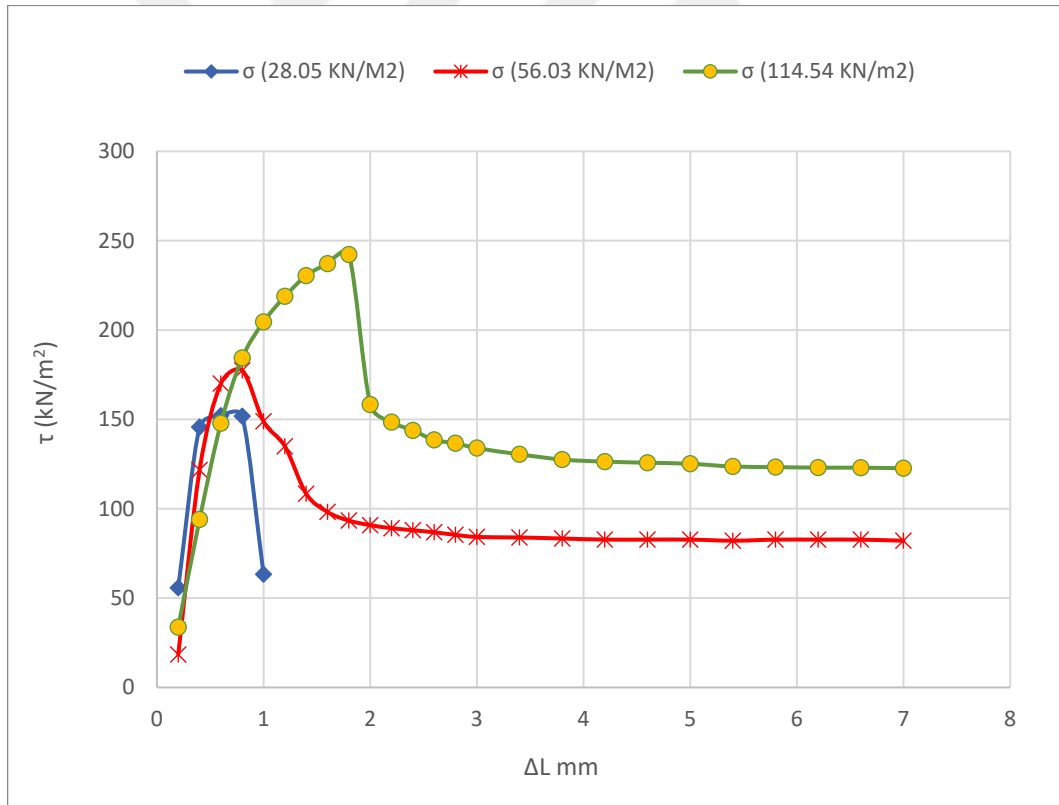
Ek Şekil 2.103. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 Kireç 7.gün)



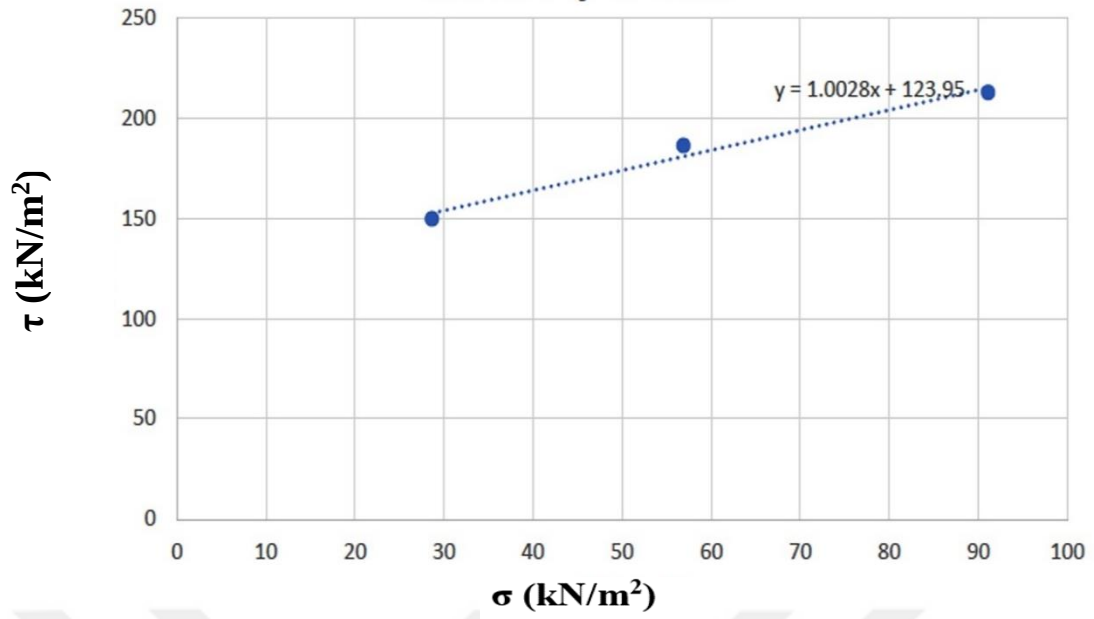
Ek Şekil 2.104. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 Kireç 7.gün)



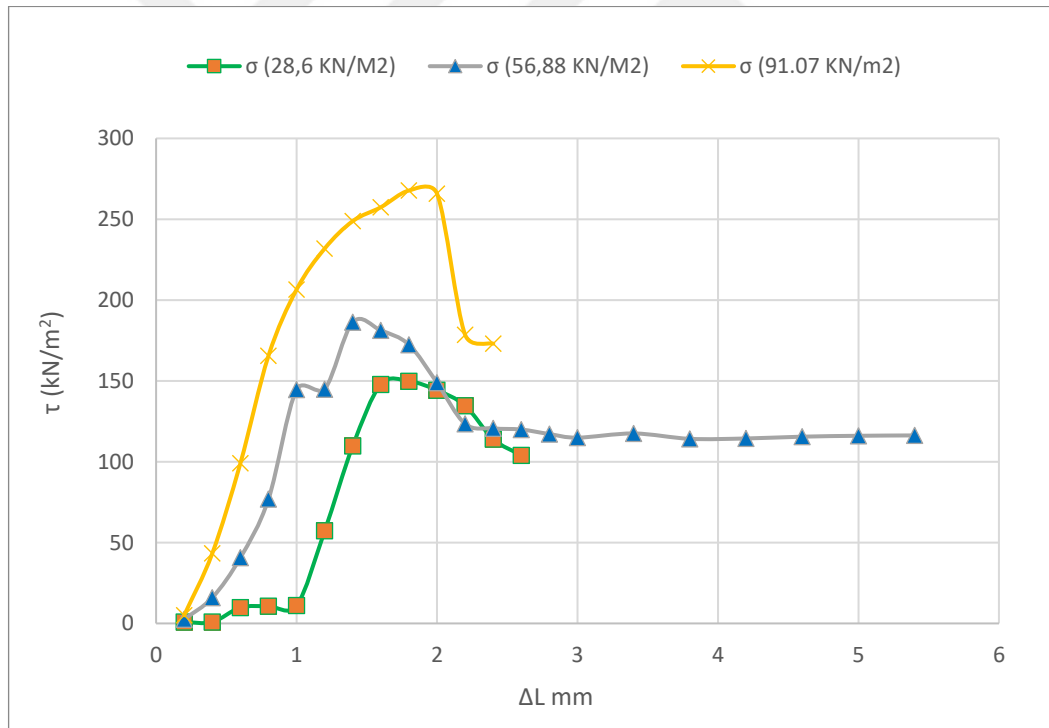
Ek Şekil 2. 105. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 Kireç 15.gün)



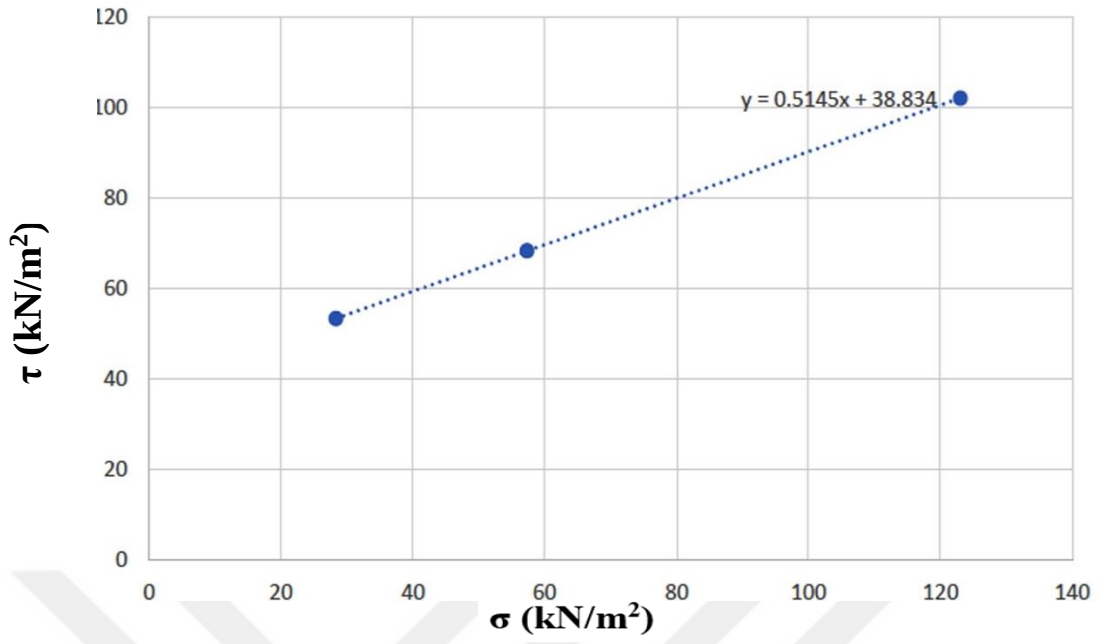
Ek Şekil 2.106. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 Kireç 15.gün)



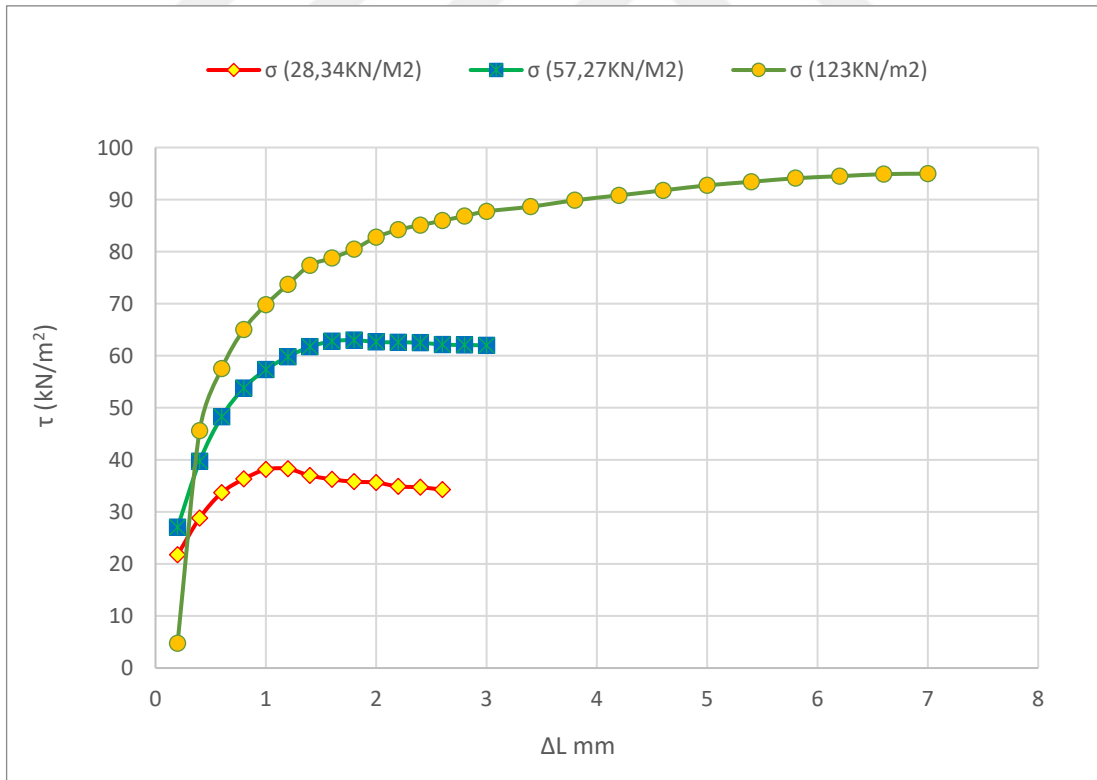
Ek Şekil 2.107. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %5 Kireç 28.gün)



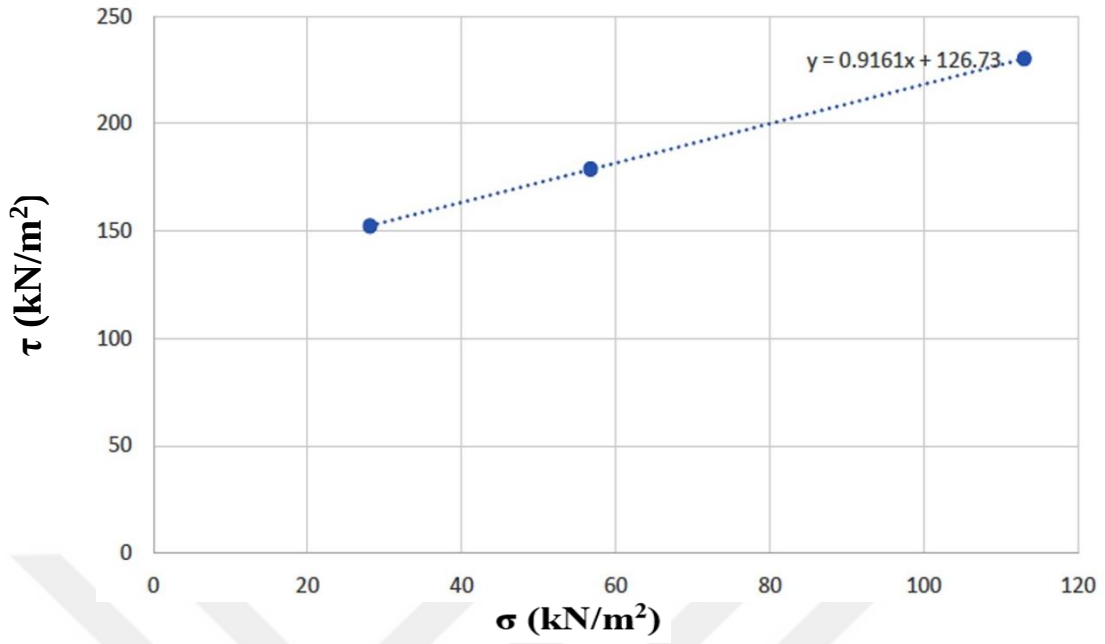
Ek Şekil 2.108. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %5 Kireç 28.gün)



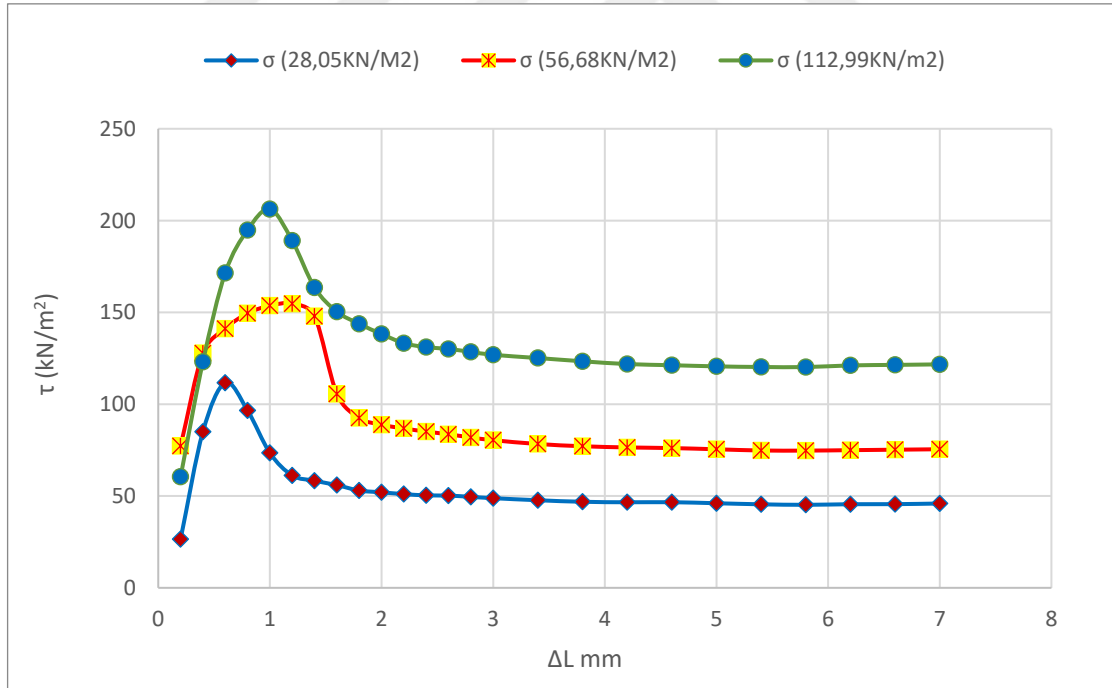
Ek Şekil 2.109. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 Kireç 0.gün)



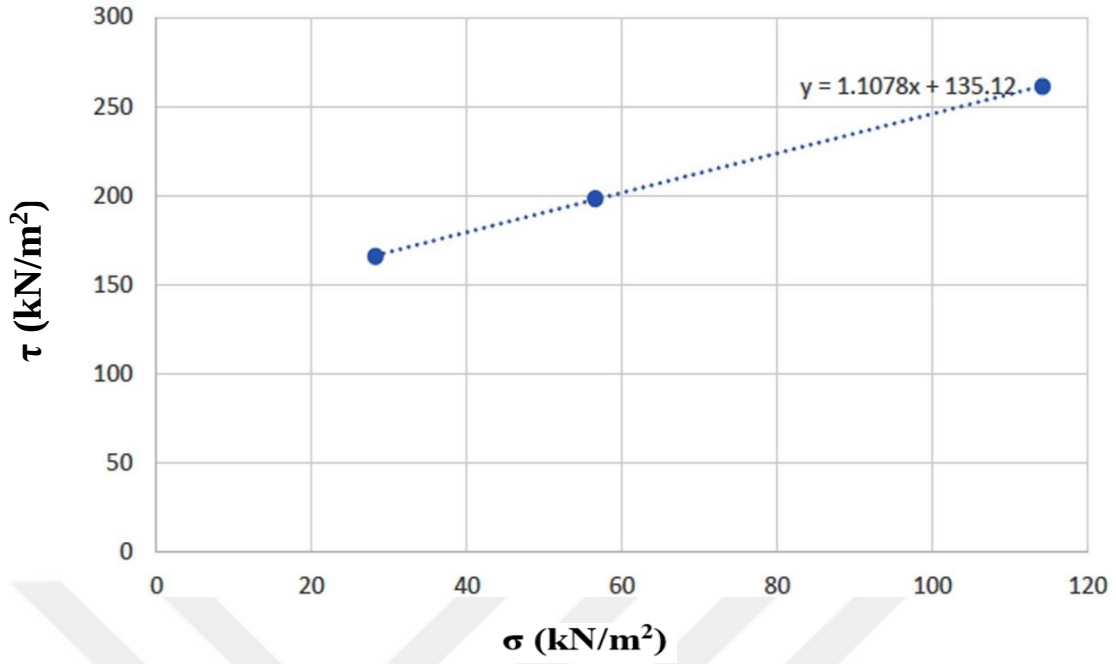
Ek Şekil 2.110. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 Kireç 0.gün)



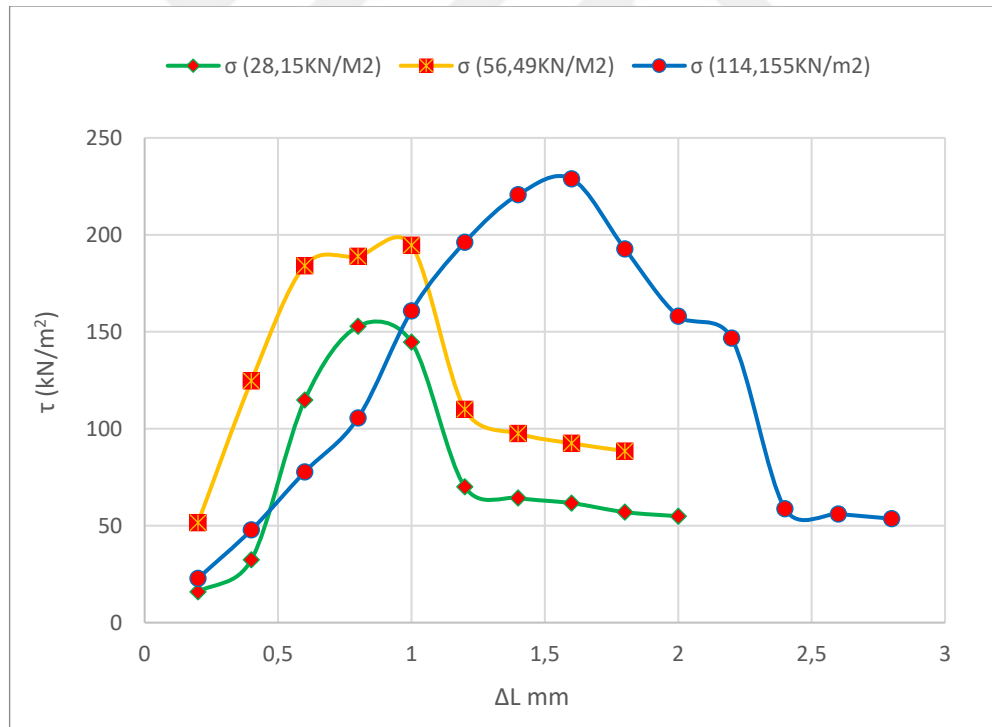
Ek Şekil 2.111. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 Kireç 7.gün)



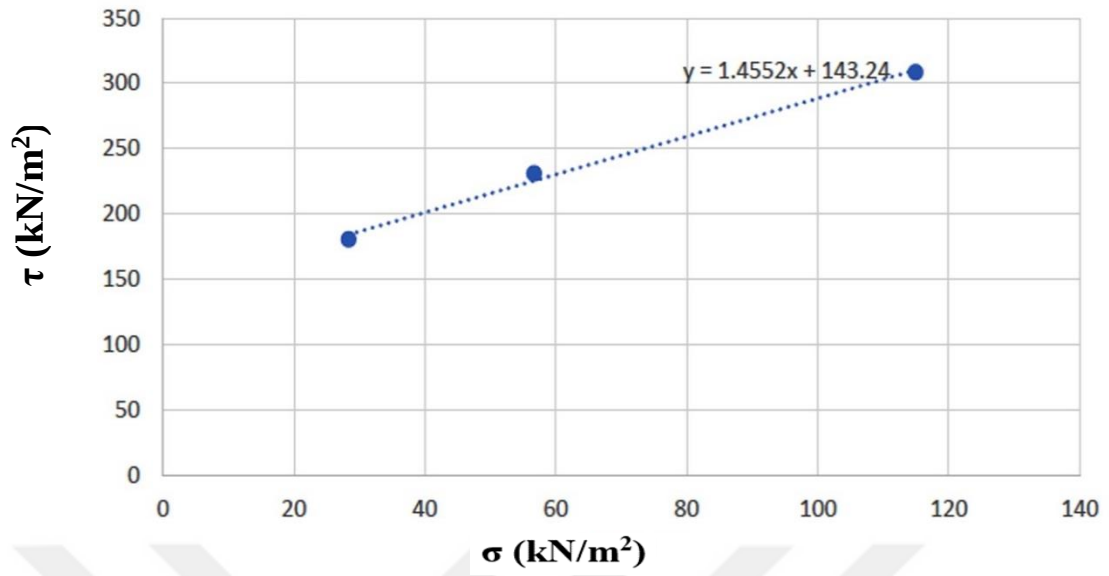
Ek Şekil 2.112. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 Kireç 7.gün)



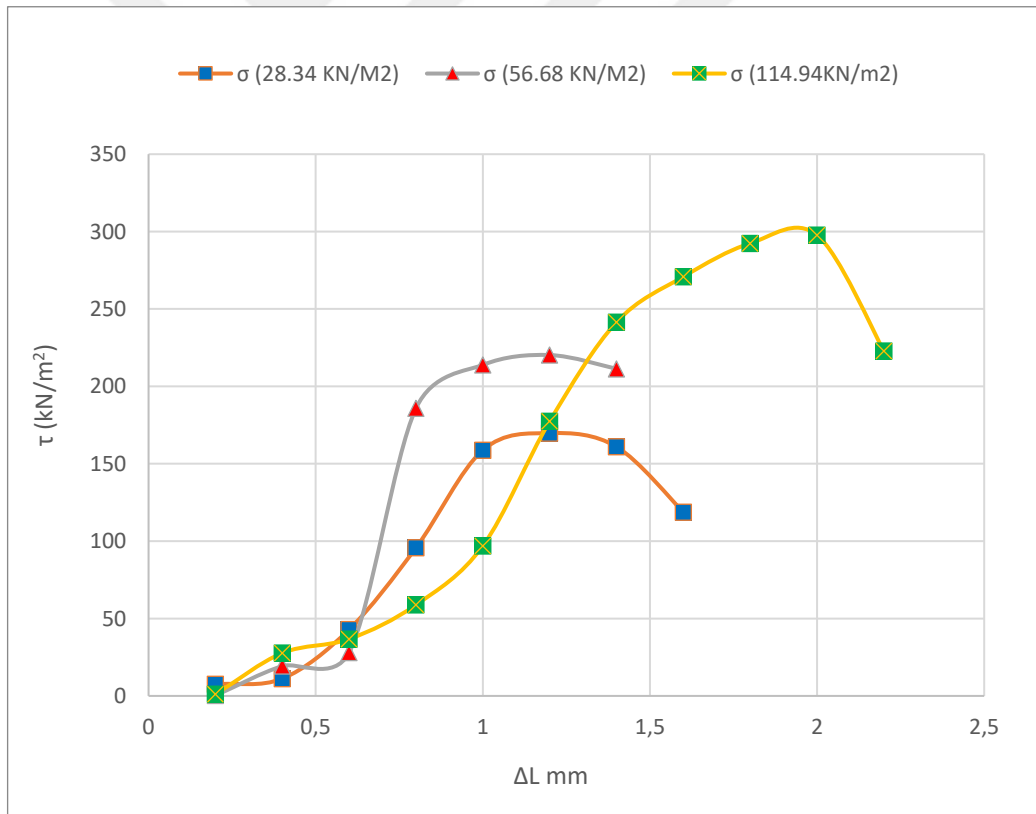
Ek Şekil 2.113. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 Kireç 15.gün)



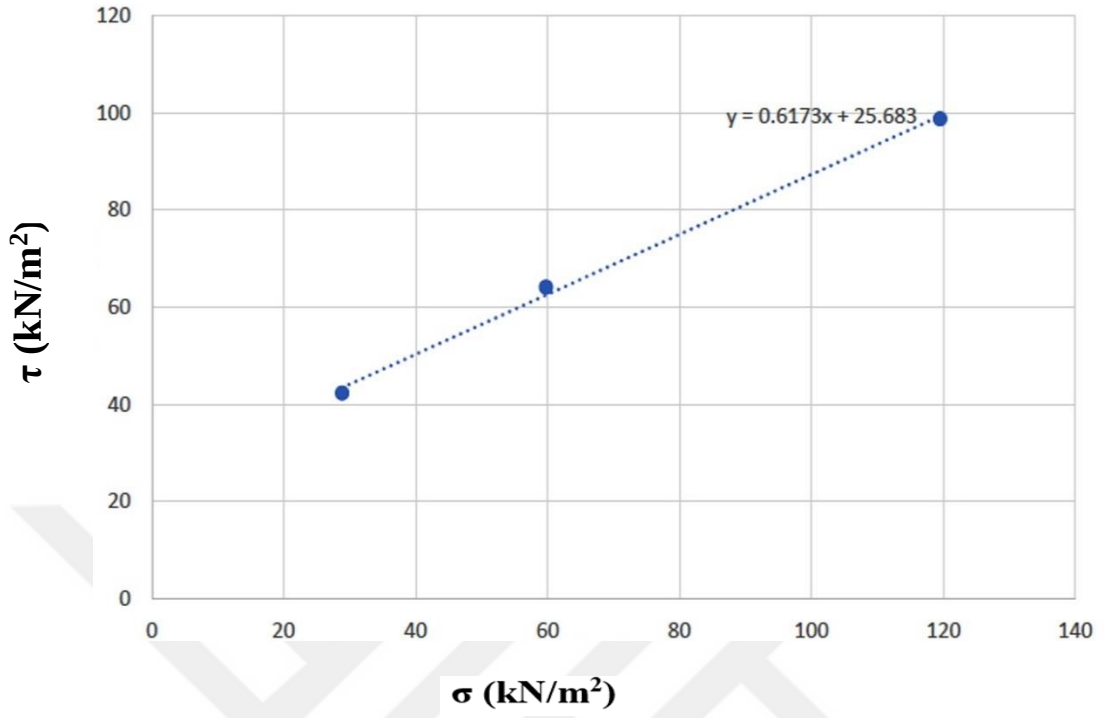
Ek Şekil 2.114. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 Kireç 15.gün)



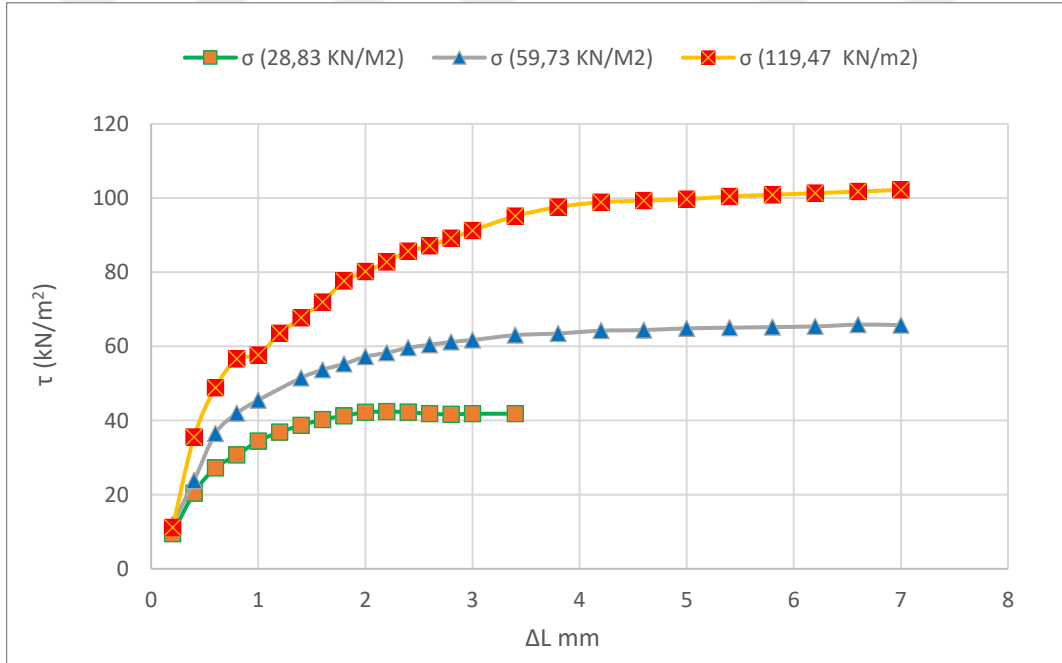
Ek Şekil 2.115. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CH %10 Kireç 28.gün)



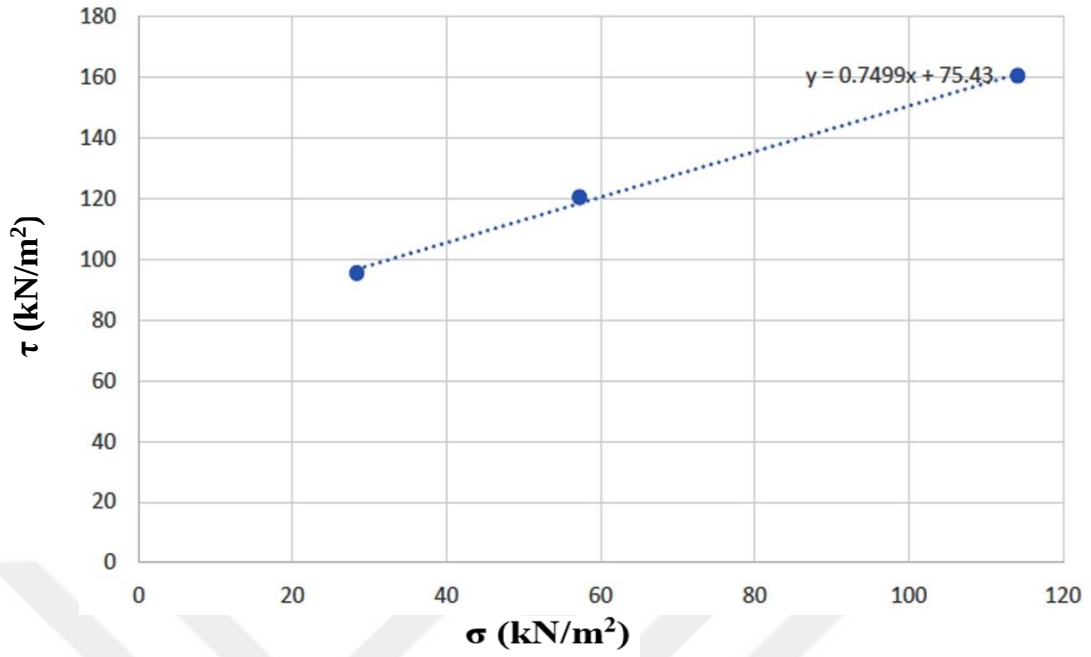
Ek Şekil 2.116. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CH %10 Kireç 28.gün)



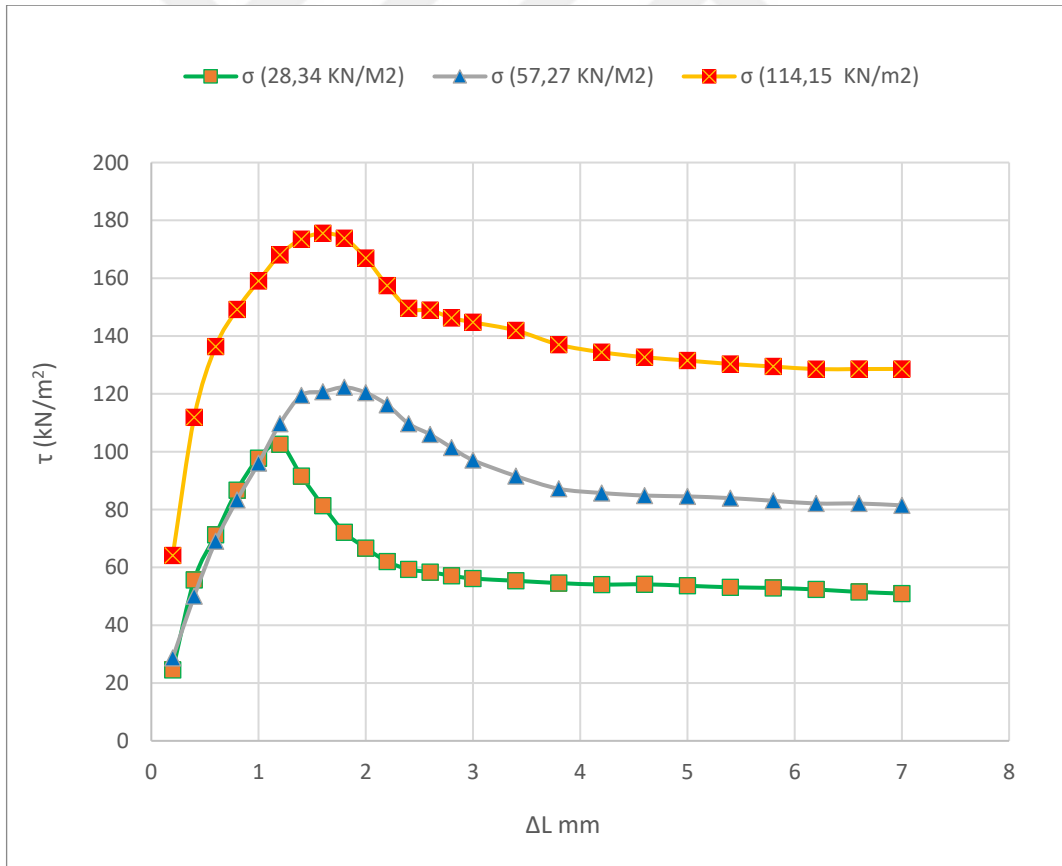
Ek Şekil 2.117. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 Kireç 0.gün)



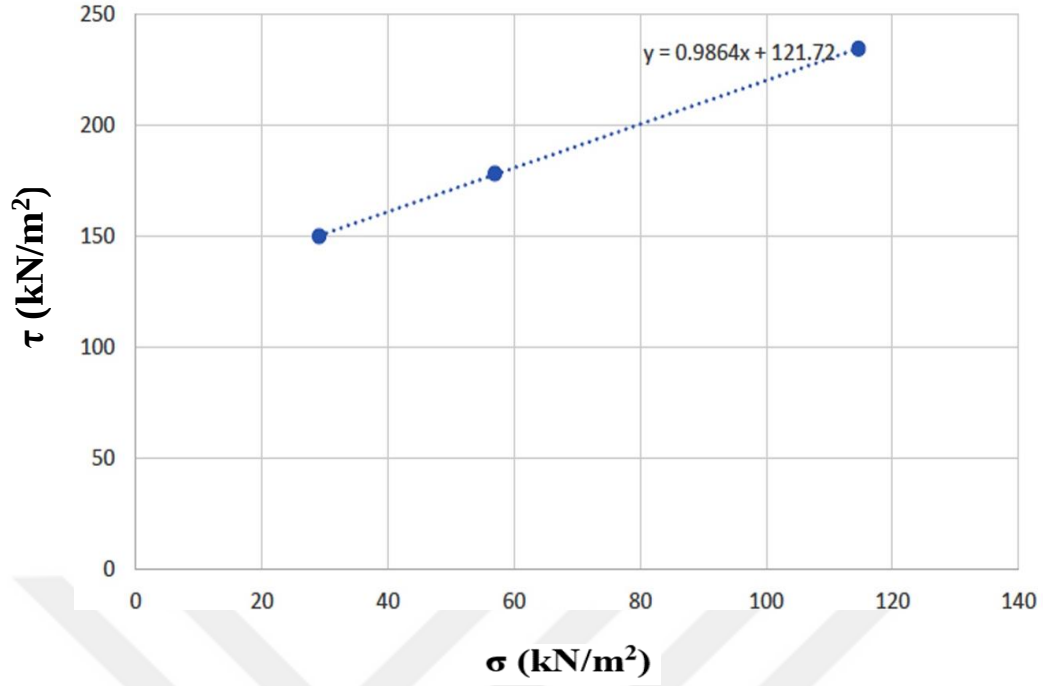
Ek Şekil 2.118. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 Kireç 0.gün)



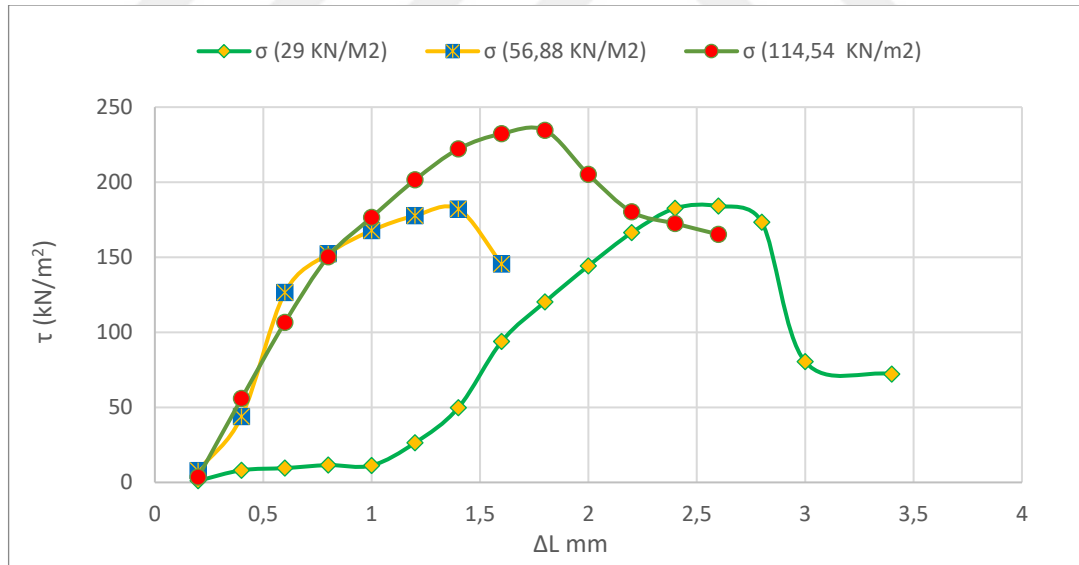
Ek Şekil 2.119. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 Kireç 7.gün)



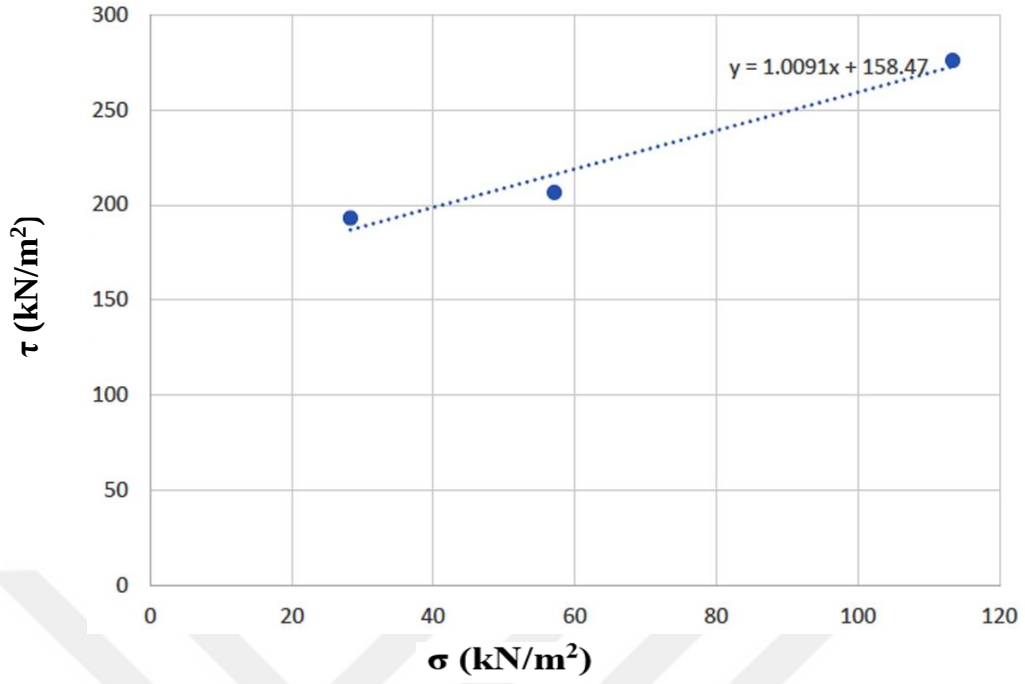
Ek Şekil 2.120. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 Kireç 7.gün)



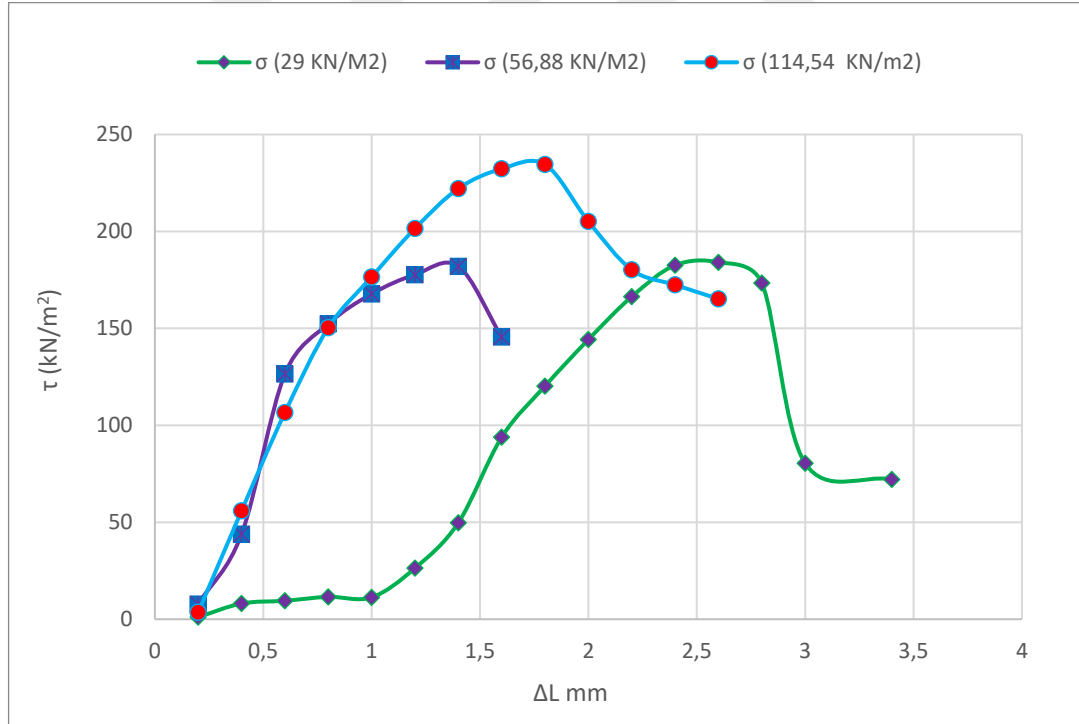
Ek Şekil 2.121. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 Kireç 15.gün)



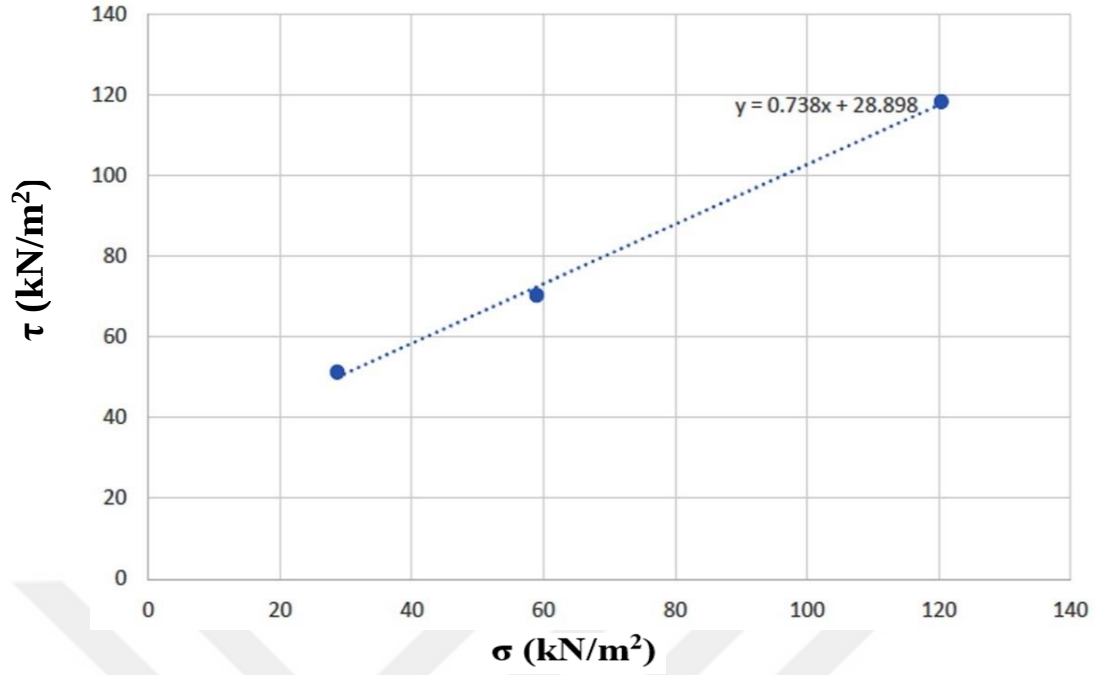
Ek Şekil 2.122. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 Kireç 15.gün)



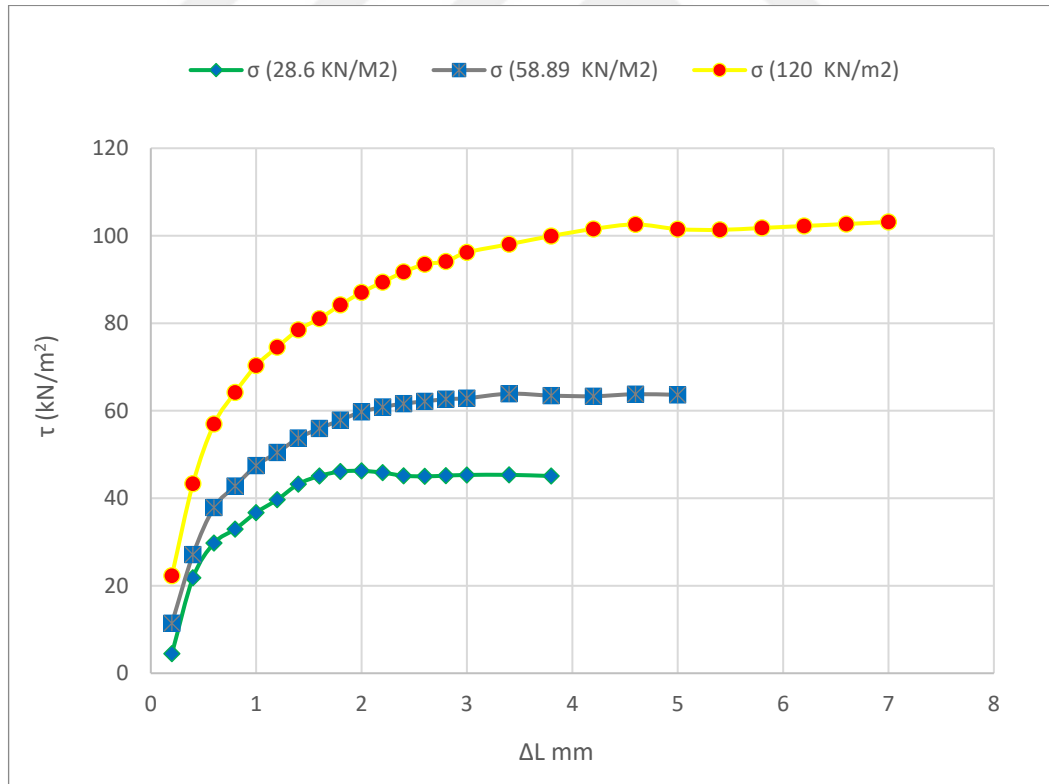
Ek Şekil 2.123. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %5 Kireç 28.gün)



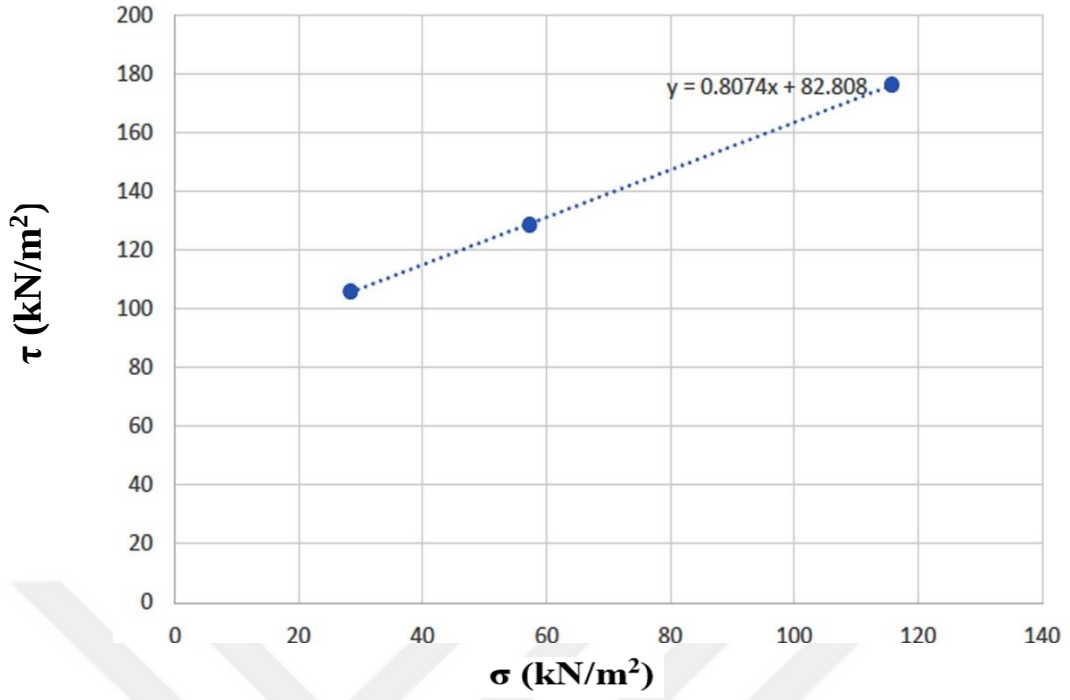
Ek Şekil 2.124. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %5 Kireç 28.gün)



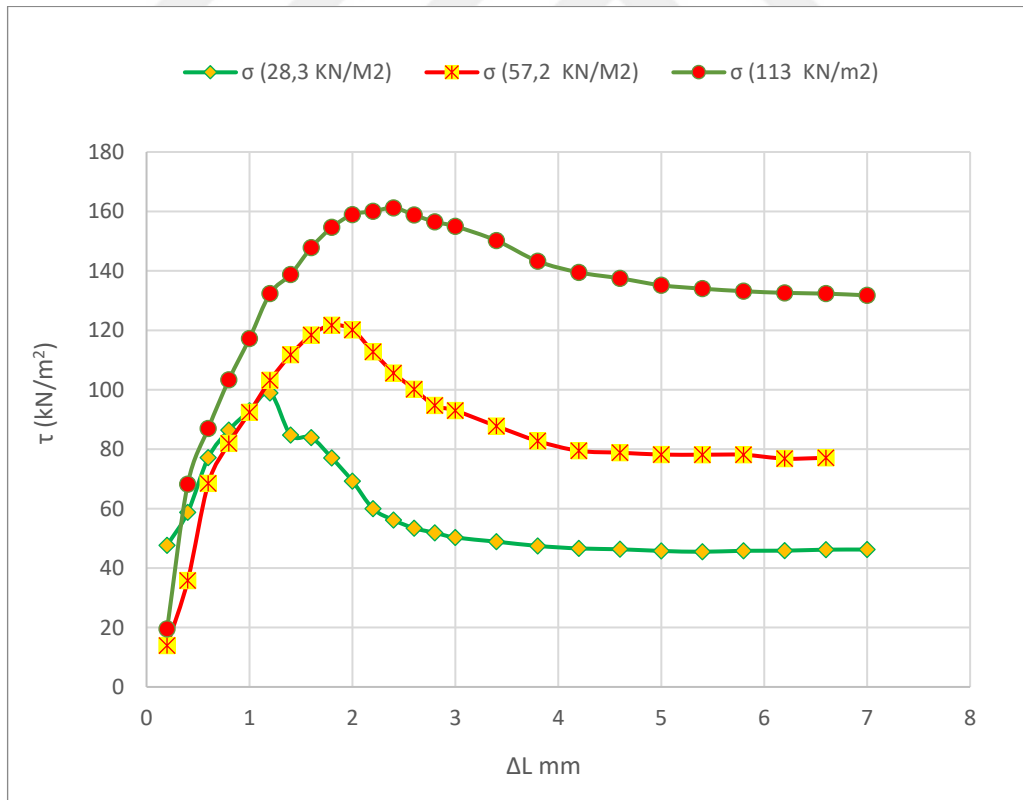
Ek Şekil 2.125. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 Kireç 0.gün)



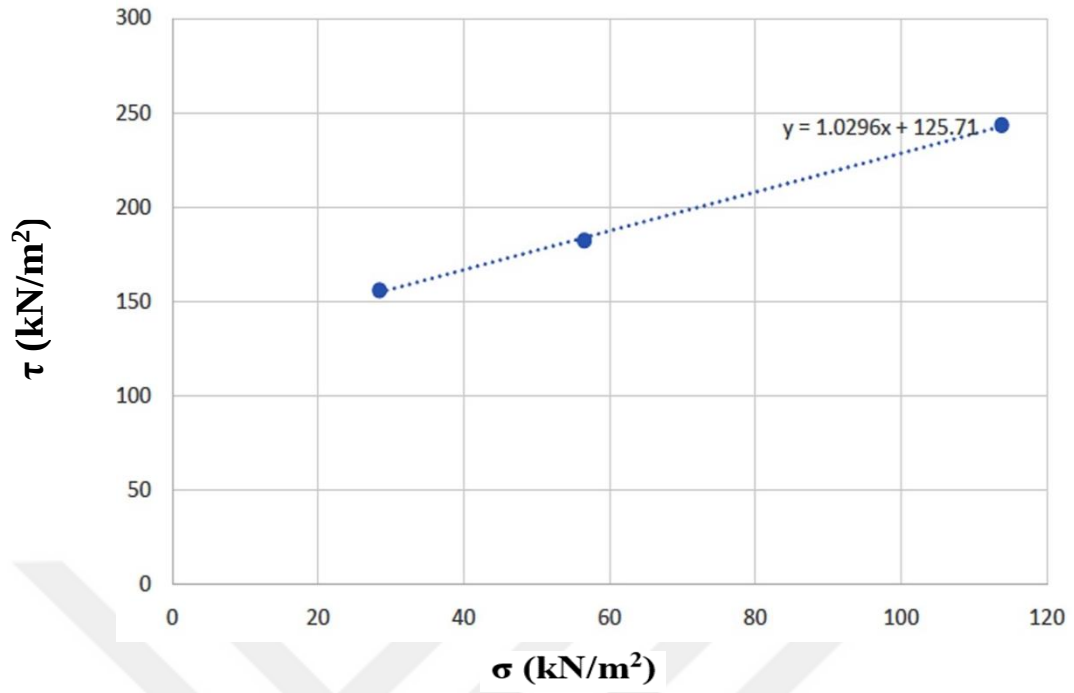
Ek Şekil 2.126. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 Kireç 0.gün)



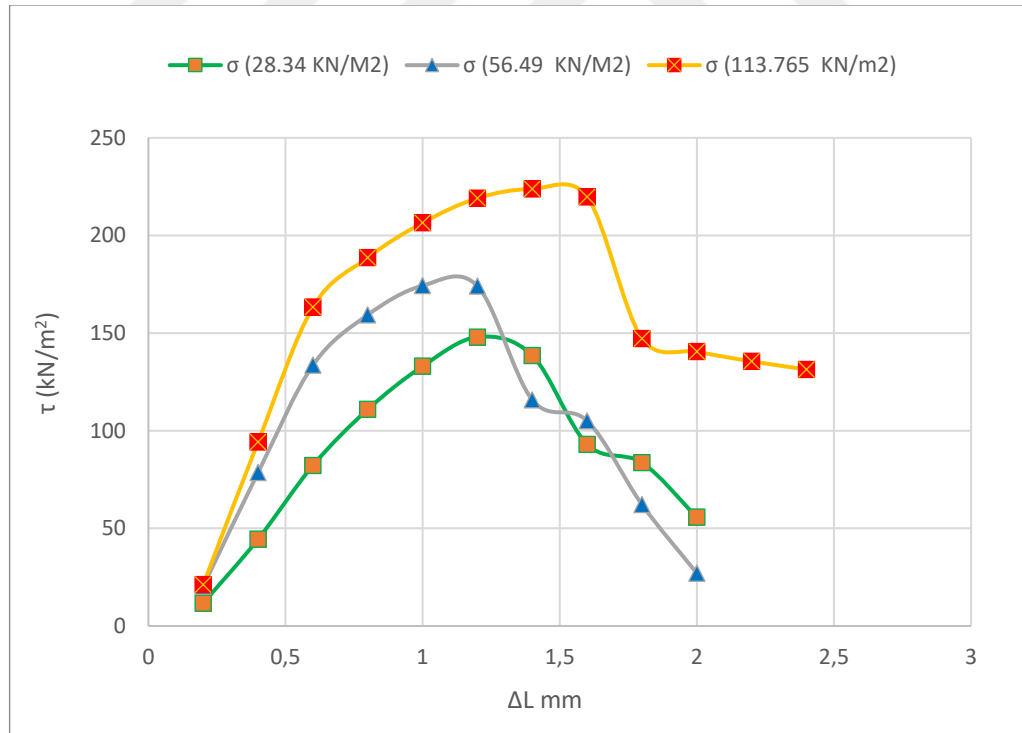
Ek Şekil 2.127. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 Kireç 7.gün)



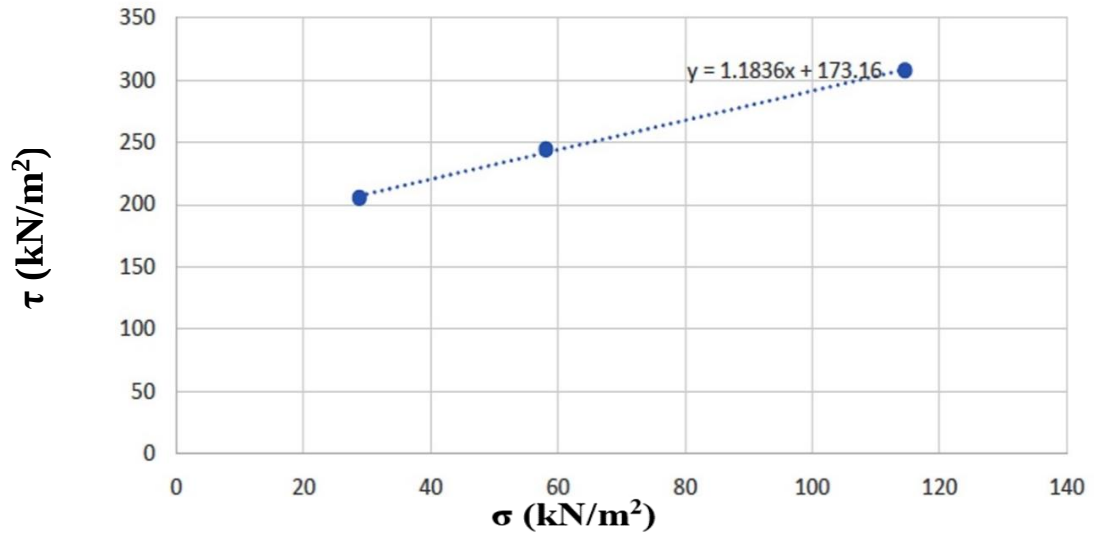
Ek Şekil 2.128. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 Kireç 7.gün)



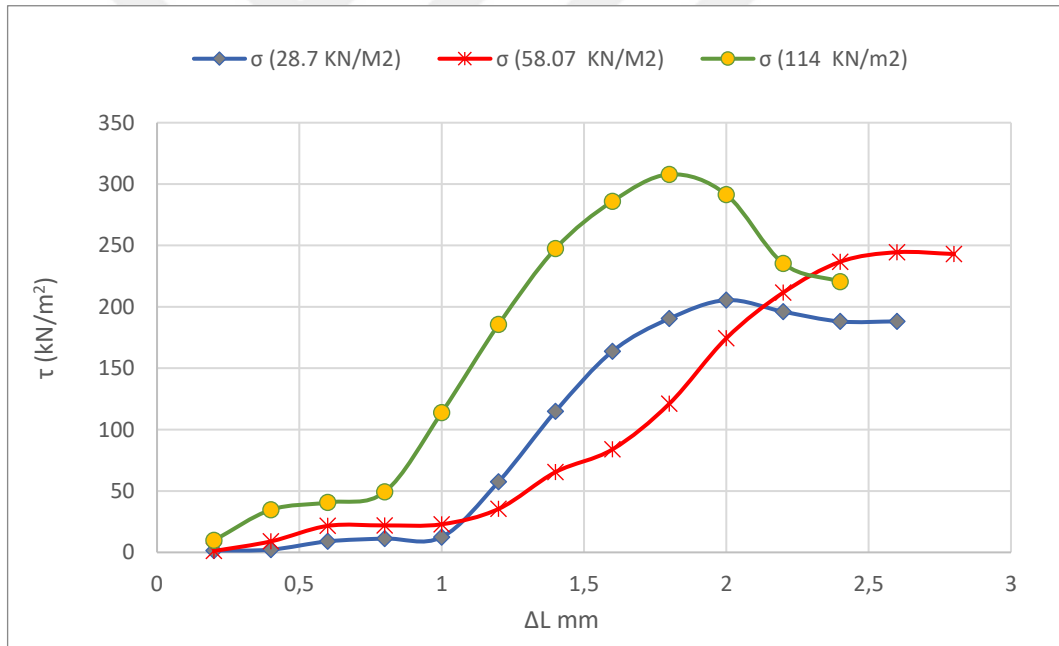
Ek Şekil 2.129. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 Kireç 15.gün)



Ek Şekil 2.130. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 Kireç 15.gün)

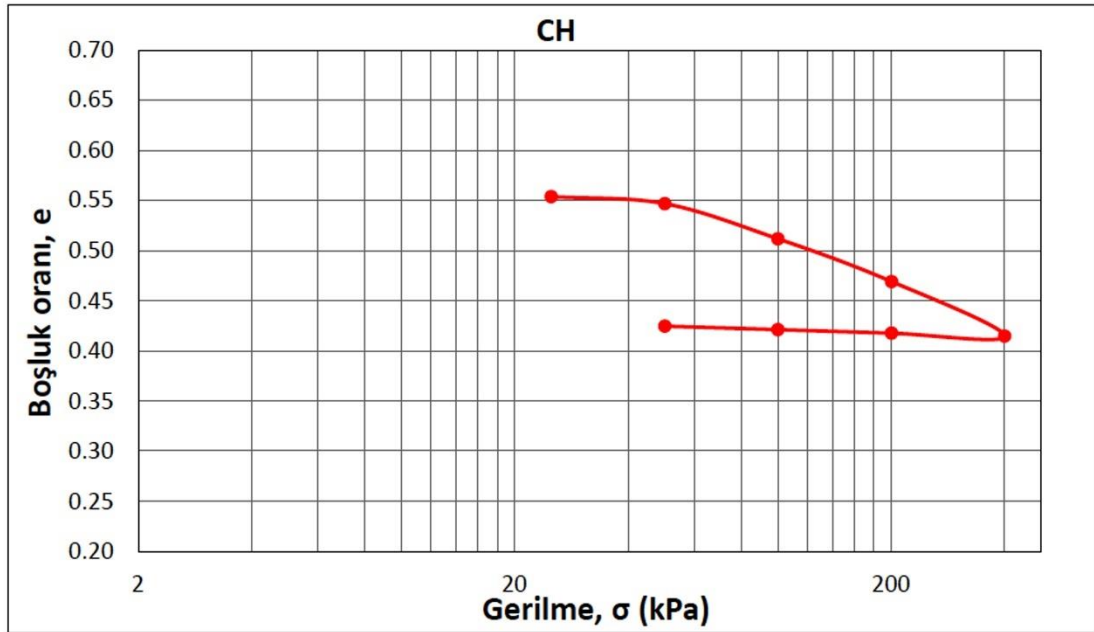


Ek Şekil 2.131. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (CL %10 Kireç 28.gün)

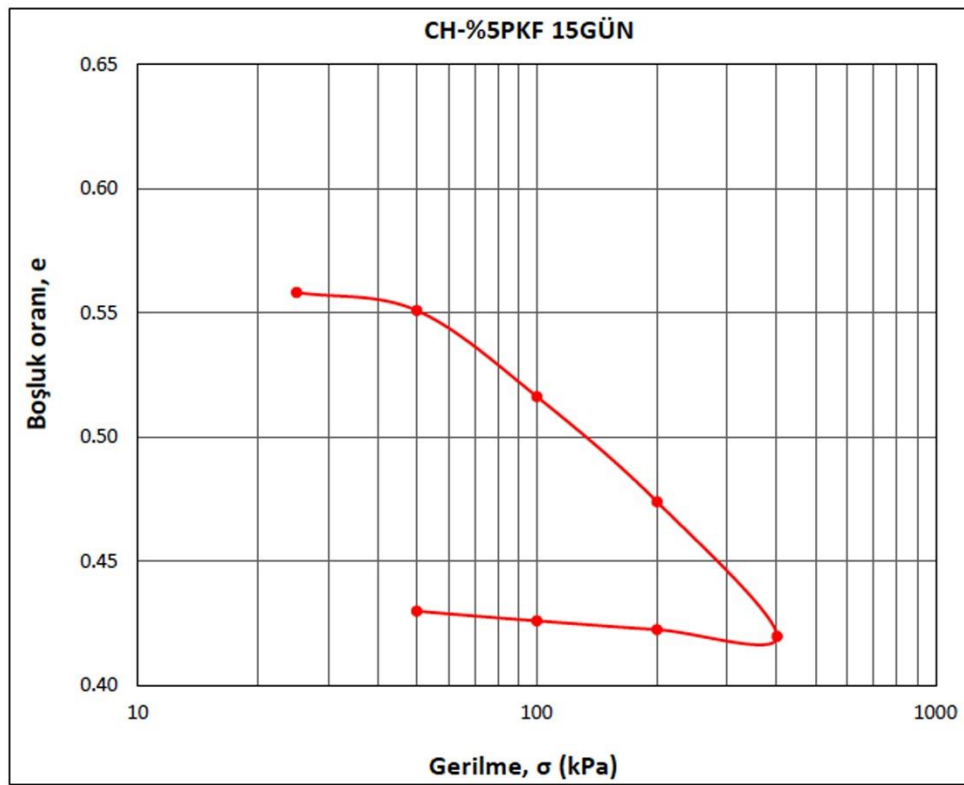


Ek Şekil 2.132. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi deformasyon grafiği (CL %10 Kireç 28.gün)

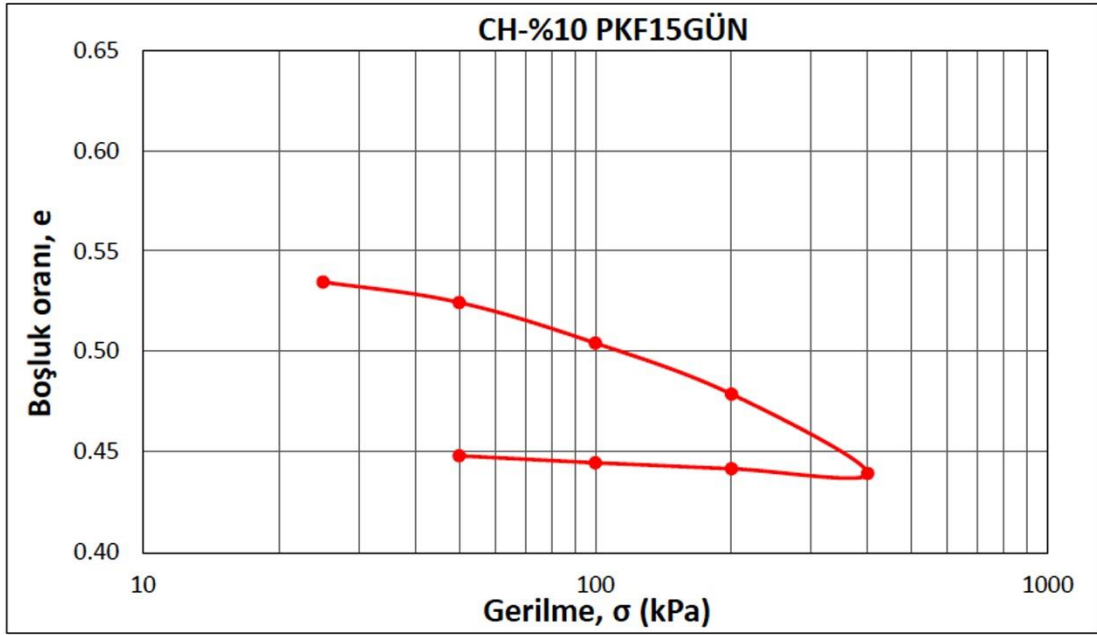
EK-3: Konsolidasyon Deneyi Sonuçları



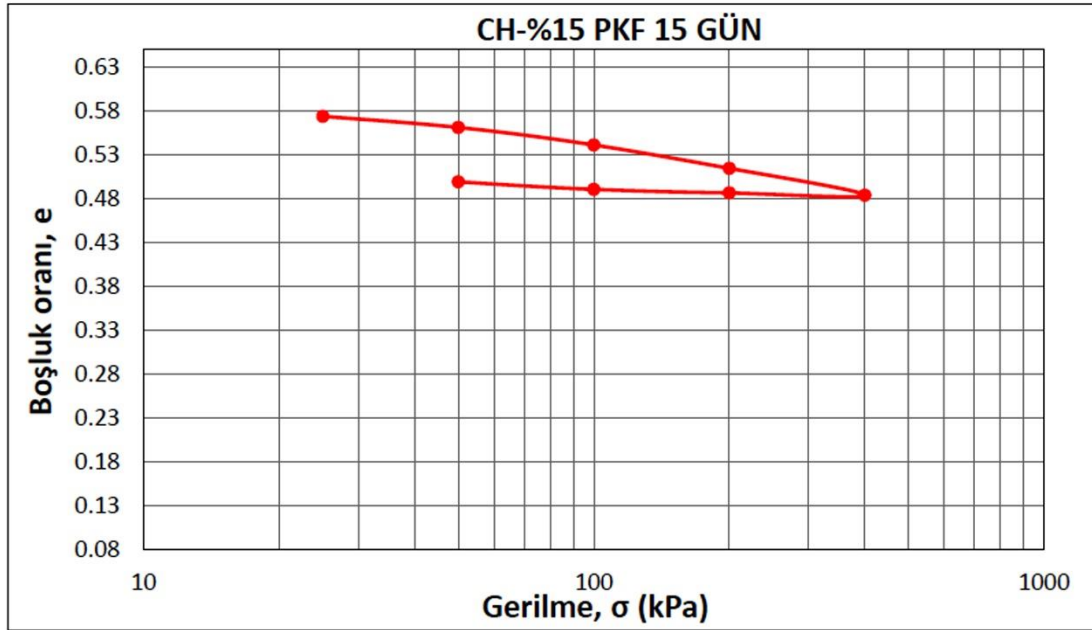
Ek Şekil 3.1. CH-Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği



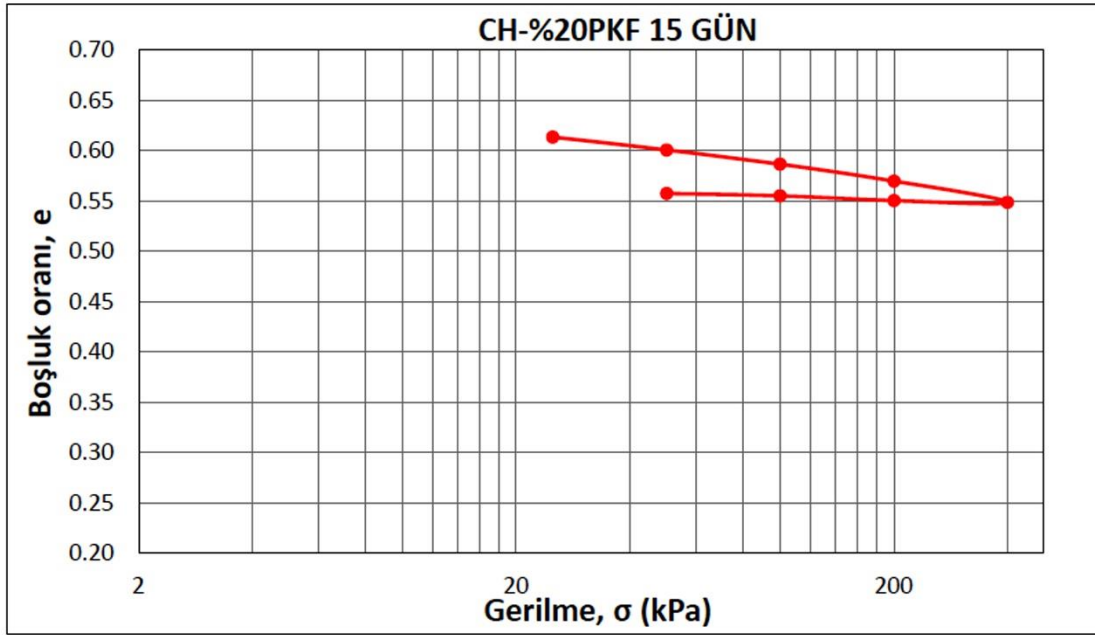
Ek Şekil 3.2. CH-%5 PKF Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği



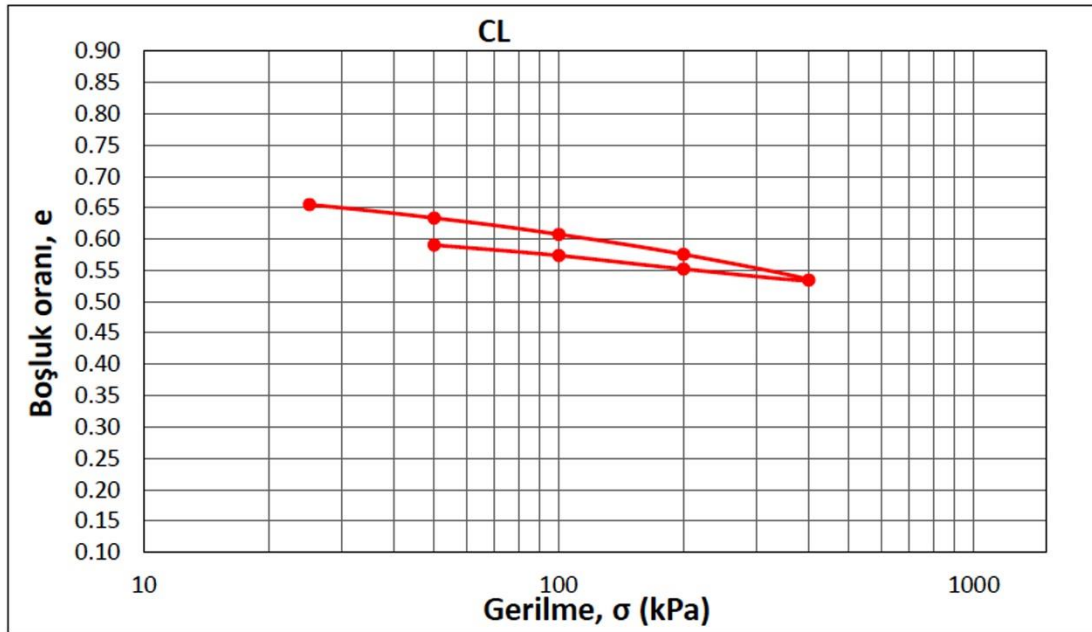
Ek Şekil 3.3. CH-%10 PKF Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği



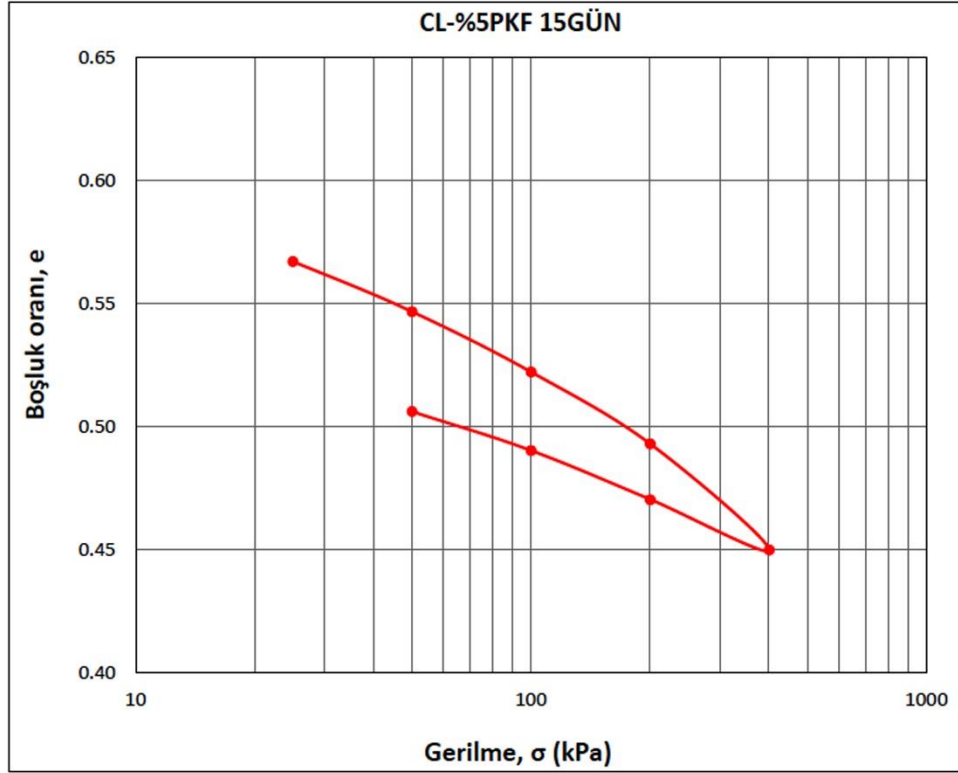
Ek Şekil 3.4. CH-%15 PKF Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği



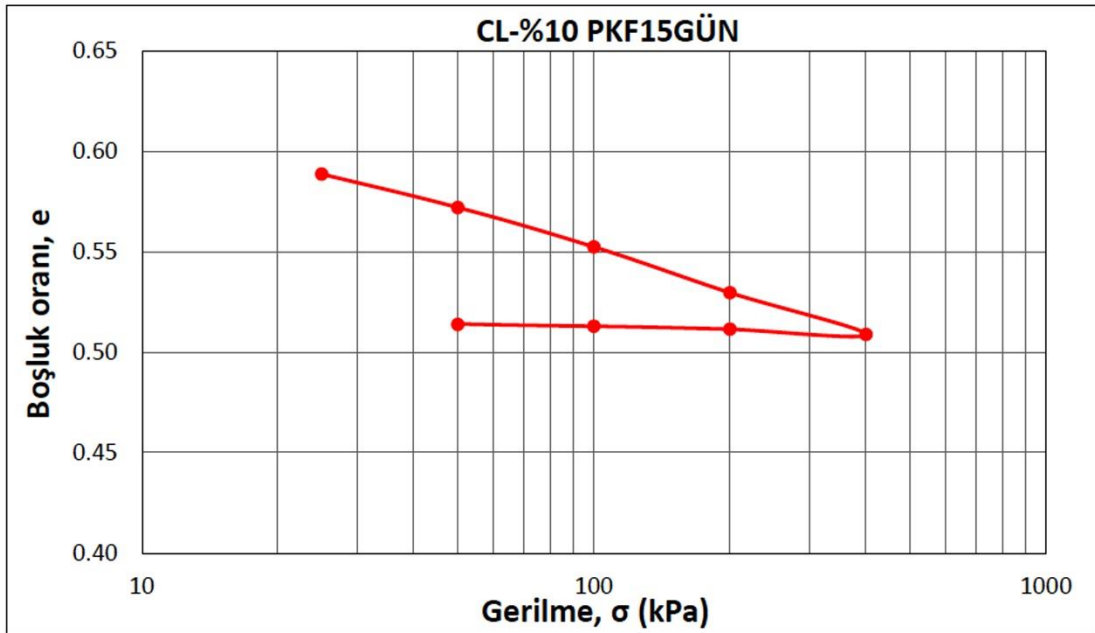
Ek Şekil 3.5. CH-%20 PKF Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği



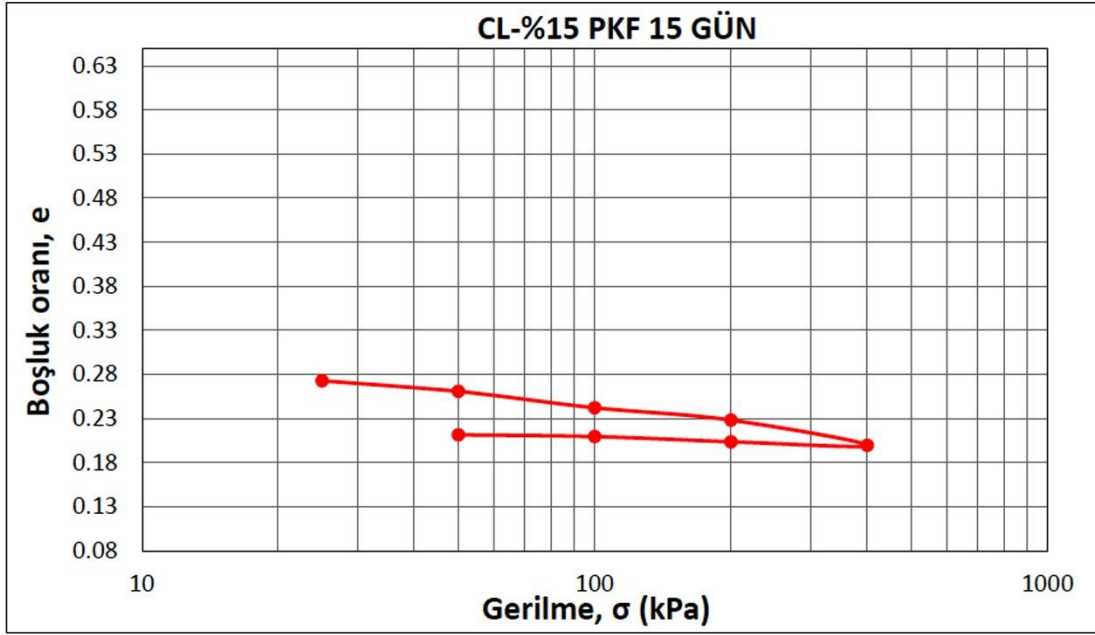
Ek Şekil 3.6. CL-Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği



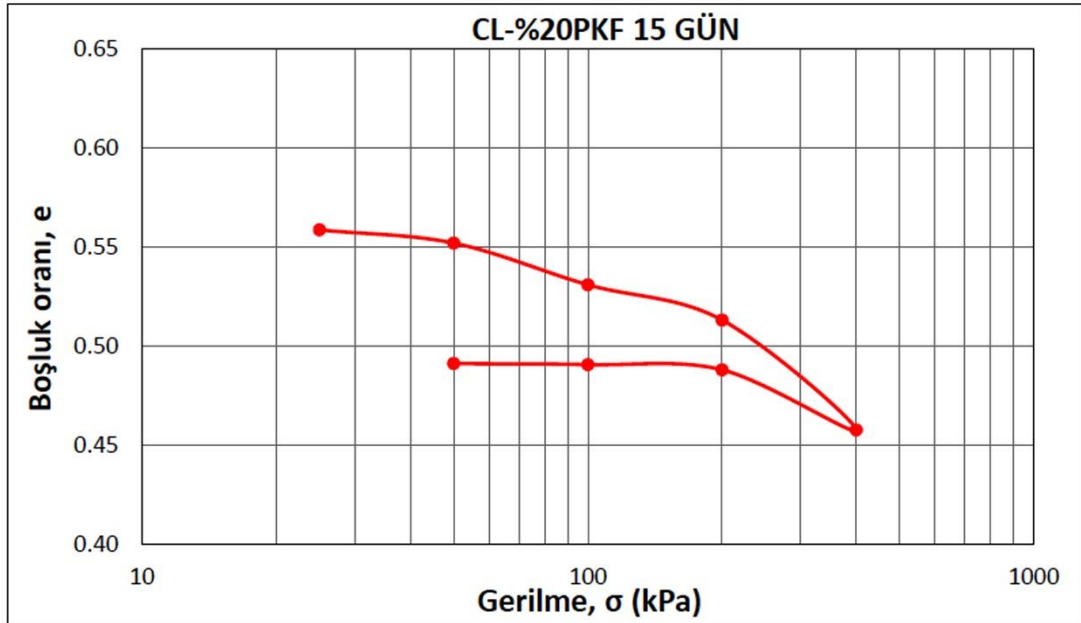
Ek Şekil 3.7. CL-%5 PKF Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği



Ek Şekil 3.8. CL-%10 PKF Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği



Ek Şekil 3.9. CL-%15 PKF Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği



Ek Şekil 3.10. CL-%20 PKF Konsolidasyon deneyi sonucu boşluk oranı Log σ grafiği