



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**YÜKSEK PLASTİSİTELİ KİL ZEMİNLERDE
CAM LİFİ KATKISININ ZEMİNİN
MUKAVEMET, PERMEABİLİTE VE
KONSOLİDASYON ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

Şehnaz AYSU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**TEMMUZ-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Şehnaz AYSU tarafından hazırlanan “Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlere Cam Lifi Katkısının Zeminin Mukavemet, Permeabilite ve Konsolidasyon Özelliklerine Etkisi” adlı tez çalışması 02/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan
Prof. Dr. Murat OLGUN

Danışman
Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

Üye
Dr. Öğr. Üyesi İsa KUL

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması BAP tarafından 191004033 nolu proje ile desteklenmiştir.

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

Şehnaz AYSU
Tarih: 02.07.2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK PLASTİSİTELİ KİL ZEMİNLERDE CAM LİFİ KATKISININ ZEMİNİN MUKAVEMET, PERMEABİLİTE VE KONSOLİDASYON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Şehnaz AYSU

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

**Danışman: Prof. Dr. Mustafa YILDIZ
2020, 120**

**Prof. Dr. Mustafa YILDIZ
Prof. Dr. Murat OLGUN
Dr. Öğr. Üyesi İsa KUL**

Yüksek plastisiteli kil zeminler su ile temas ettiğinde belirgin bir şekilde şişer ve kurduğunda büzülür. Zeminin bu şişme ve büzülme davranışından dolayı, üzerinde kurulu farklı inşaat mühendisliği yapılarında hasarlar meydana gelir. Dolayısıyla, bu tip zeminler için stabilizasyon çok önemlidir. Yüksek plastisiteli killer geçirimsizliğin sağlanması amacıyla genellikle maden üretim ve atık sahalarında, katı atık depolarında, su tutma yapılarında sıklıkla kullanılmaktadır. Yüksek plastisiteli killerin su muhtevası arttığı zaman taşıma gücü azalmakta ve oturma potansiyeli artmaktadır. Killi zeminlerin kimyasal stabilizasyonunda kullanılan başlıca katkı maddeleri kireç, çimento ve uçucu küldür. Fakat bu uygulamalar genellikle yüksek plastisiteli kilin taşıma gücünü artırıp oturma potansiyelini azaltırken, geçirimsizliğini artırmaktadır. Geçirimsizliğin önemli olduğu durumlarda, esas görevi olan fonksiyonlarını yerine getirememektedir. Yüksek plastisiteli kil zeminin cam lifi kullanılarak taşıma gücünün artırılması günümüzde yeni kullanılan bir yöntemdir.

Çalışmada, yüksek plastisiteli kil zeminlerde cam lifi katkısının zeminin mukavemet, permeabilite ve konsolidasyon özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Kil zeminin geoteknik özellikleri belirlenmiş, cam lifinin fiziksel özellikleri tanımlanmıştır. Çalışmada uzunluğu 12 mm olan cam lifi kullanılmıştır. Numunelerdeki cam lifi oranı kil zeminin belli bir yüzdesi şeklinde (0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.25 ve 1.50 oranlarında) seçilmiş, kil zemin ile birlikte rasgele karıştırılarak ve karışım örnekleri optimum su içeriği kullanılarak hazırlanmıştır. Suyu doygun hale getirilen katkılı ve katkısız kil numuneler üzerinde taşıma gücü, konsolidasyon ve geçirgenlik deneyleri yapılmış, belirli orandaki cam lifi katkısının kil zeminin taşıma gücü, oturma ve permeabilitesine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca yüksek plastisiteli kil zeminlerde cam lifi katkısının zeminin mukavemet, permeabilite ve konsolidasyon özelliklerini optimum şekilde sağlayan katkı oranını belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin stabilizasyonu, Cam lifi, Konsolidasyon, Mukavemet, Permeabilite, Yüksek plastisiteli kil.

ABSTRACT

MS THESIS

THE EFFECT OF GLASS FIBER ADMIXTURE ON THE STRENGTH, PERMEABILITY AND CONSOLIDATION PROPERTIES OF SOIL IN HIGH PLASTICITY CLAY SOILS

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

Advisor: Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

2020, 120

Jury

Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

Prof. Dr. Murat OLGUN

Asst. Prof. Dr. İsa KUL

High plasticity clay soils swell noticeably when in contact with water and shrink when dry. Due to this swelling and shrinkage behavior of the soil, damage occurs in different civil engineering structures installed on it. Therefore, stabilization is very important for such soils. High plasticity clays are often used in mine production and waste fields, solid waste tanks, water retention structures to ensure impermeability. When the water content of high plasticity clays increases, the bearing capacity decreases and the sitting potential increases. The main additives used in the chemical stabilization of clayey soils are lime, cement and fly ash. However, these applications generally increase the bearing capacity of the high plasticity clay while decreasing the sitting potential and increasing its permeability. In cases where impermeability is important, it cannot perform its essential functions. Today, increasing the bearing capacity of the high plasticity clay soil by using glass fiber is a new method.

In this study, the effect of glass fiber additive on the strength, permeability and consolidation properties of the soil was investigated in high plasticity clay soils. The geotechnical properties of the clay soils were determined and the physical properties of the glass fiber were defined. Glass fiber of 12 mm length was used in this study. The glass fiber ratio in the samples was chosen as a certain percentage of the clay soil (in the ratio of 0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.25 and 1.50), the clay was randomly mixed with the soil and the mixture samples were prepared using the optimum water content. The bearing strength, consolidation and permeability experiments have been carried out in with and without additive water saturated samples, and the effect of glass fiber additive on the bearing capacity, seating and permeability of clay soil was investigated. In addition, the optimum contribution rate of glass fiber that provides the strength, permeability and consolidation properties of the soil is determined in high plasticity clay soils.

Keywords: Soil stabilization, Consolidation, Glass Fiber, High Plasticity Clay, Permeability, Strength.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimde ders aşamasından tez aşamama kadar bana yardımcı olan, desteğini esirgemeyen ve çalışma azmimi artıran değerli hocam Prof. Dr. Mustafa YILDIZ'a teşekkür eder ve saygı ve minnet duyarım.

Lisans ve yüksek lisans dönemimde geoteknik alanında kendimi geliştirmemi sağlayan değerli hocalarım Prof. Dr. Özcan TAN, Prof. Dr. Murat OLGUN, Dr. Öğr. Üyesi Atila DEMİRÖZ'e ve tüm hocalarıma teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Deneylerin yapım aşamasında bilgi ve yardımları esirgemeyen Öğr. Gör. Alican Şenkaya'ya teşekkürlerimi borç bilirim.

Tüm eğitim hayatım boyunca bana hoşgörölü, merhametli ve sabırlı davranan ve her zaman yanımda olan anneme, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babama, biricik kardeşime sevgilerimi sunar minnettarlığımı bildiririm. Ayrıca bu süreçte yardımlarını esirgemeyen değerli eşime çok teşekkür ederim.

Şehnaz AYSU
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.2. Zemin Stabilizasyonu	13
2.2.1. Yüzeysel İyileştirme Yöntemleri	14
2.2.1.1. Katkısız Stabilizasyon.....	14
2.2.1.2. Katkılı Stabilizasyon:.....	15
2.2.2. Derin Stabilizasyon.....	18
2.3. Lifler	22
2.3.1 Lif Çeşitleri	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	33
3.1. Materyal	33
3.1.1. Kullanılan Kil Zemin	33
3.1.2. Cam lifi	34
3.1.3. Elek Analizi Deneyi.....	34
3.1.4. Hidrometre Deneyi	35
3.1.5. Piknometre Deneyi	36
3.1.6. Kıvam Limit Deneyleri	37
3.1.7. Kompaksiyon Deneyi	40
3.2. Yöntem.....	42
3.2.1. Kil-Cam Lifi Numunelerinin Hazırlanması	42
3.2.2 Serbest Basınç Deneyi	43
3.2.3. Kesme Kutusu Deneyi	46
3.2.4. Konsolidasyon Deneyi.....	47
3.2.5. Permeabilite	49
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	51
4.1. Kil-Cam Lifi Karışım Oranları	51
4.2. Serbest Basınç Deney Sonuçları.....	51
4.3. Doygun Numune Serbest Basınç Deney Sonuçları	52
4.4. Kesme Kutusu Deney Sonuçları	54
4.5. Doygun Numune Kesme Kutusu Deney Sonuçları	56
4.6. Konsolidasyon Deney Sonuçları.....	57
4.7. Permeabilite Deney Sonuçları	60
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	62

5.1. Sonuçlar	62
5.2. neriler	64
KAYNAKLAR	65
EKLER	69
ÖZGEÇMİŞ	111



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

σ :	Gerilme
τ :	Kayma gerilmesi
ϵ :	Deformasyon
ρ_s :	Dane yoğunluğu
w_{opt} :	Optimum su muhtevası
q_u :	Serbest basınç dayanımı
ρ_{kmax} :	Maksimum kuru yoğunluk
e :	Boşluk oranı
C_c :	Sıkışma indisi
C_s :	Kabarma katsayısı
M_v :	Hacimsel sıkışma katsayısı

Kısaltmalar

LL:	Likit limit
PL:	Plastik limit
PI:	Plastisite indisi
MDD:	Maksimum kuru yoğunluk
OWC:	Optimum su muhtevası

1. GİRİŞ

Yapının tasarım kısmından inşasına kadar olan aşamalarda, kullanılan malzeme cinsi ve statik hesabı önemli olsa da, yapının üzerine oturduğu zemin özellikleri de tasarım kadar önemlidir. Yapıların altında bulunan zeminler ince daneli, kaba daneli ya da kaya olarak bulunabilir. Zemin tiplerine göre her zemin tipinin olumlu ya da olumsuz özellikleri vardır. Ülkemizde ve dünyada geniş alanda bulunan killi zeminler çoğu zaman problemlili ve taşıma gücü zayıf zeminler olarak karşımıza çıkmaktadır. İnce daneli olan killi ve siltli zeminler su ile karşılaştıkları durumda hacminde artış, kurduğunda ise büzülme meydana gelmesi, zeminlerin üzerinde bulunan yapıların taşıma gücünü olumsuz etkilemektedir. Killerin bu şişme ve büzülme davranışından dolayı kaynaklanan hasarların önlenmesi için stabilizasyon çok önemlidir. Stabilizasyon zeminin katkılı ya da katkısız mühendislik özelliklerini iyileştirme işlemidir. Killi zeminlerin özelliklerinin iyileştirilmesinde en çok kullanılan katkılı yöntemler kireç, çimento ve uçucu kül ilavesi ile yapılan iyileştirmelerdir. Çimento, kireç kullanılarak yapılan zemin iyileştirme alanlarında, bunların asidik ortamla ve kimyasallarla teması halinde stabilizasyon özelliğini kaybetmektedir. Zemin iyileştirme yöntemi olarak bugüne kadar birçok farklı yöntemler uygulanmış ve son yıllarda alternatif malzemeler üzerinde çalışılmış ve uygulamalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları, sanayi ürünü veya sanayi artığı malzemelerin zemin stabilizasyonunda kullanımınıdır. Bu malzemelerin bazıları doğal yollarla elde edilirken bazıları ise endüstriyel atıklar, lifler ve polimerler olarak değerlendirilebilir. Lifler 18 ve 19. yüzyıllardan beri olan, fakat endüstriyel anlamda yakın zamanda zeminde kullanılabilirliği yaygınlaşan bir malzemelerdir. Doğal ya da yapay olarak bulunabilirler. Yüksek çekme dayanımı olan lifler, üzerine gelen çekme gerilmelerini alarak zeminin daha sünek bir özellikte olmasını sağlamaktadır.

Killer geçirimsizliği çok düşük olan zeminlerdir. Bu özelliğinden kaynaklı katı atık depolarında, maden atık sahalarında ve barajlarda geçirimsizliğin sağlanması için de kullanılmaktadır. Düzenli depolama sahalarının inşa edilmesindeki amaç; yer altı ve yüzey sularının kalitesinin korunması ve depolama işlemi bittiğinde sahanın kapatılarak tekrar kullanılmasıdır. Geçirimsizliği iyi sağlanmamış bir sahada atıklardan sızan sular, yer altı ve yüzey sularının kirlenmesine ve dolayısıyla insan sağlığına ve doğaya zarar vermektedir. Barajlarda geçirimsizliğin sağlanması için kullanılan kil zeminin şişme ve büzülme davranışı sonrası bünyesinde çatlaklar meydana gelmekte ve yapının geçirimsiz özelliğini kaybetmesine neden olmaktadır.

Altın madenciliğinde siyanürlü proses atıkları, atık barajlarında biriktirilir. Burada zararlı atıkların yeraltı suyuna sızması için atık barajlarının geçirimsizliği önemlidir. Ayrıca altın cevherinden altın elde edilmesi işleminde, tabanı geçirimsiz bir tabaka ile kaplanan bir alana bir yığın halinde serilen cevher üzerine dökülen siyanürlü suyun, yığın içinden geçirimsiz tabana doğru süzülürken içindeki siyanür tarafından liç çözeltilisine alınan altın daha sonra kimyasal işlemlerle çözeltiden alınır. Bu yöntemde üretilen cevher, tabanı kil zemin ile geçirimsizleştirilmiş, hafif eğimli (3-8°) zemin üzerine yığılır. Yığın yükseklikleri yığının perkolasyon özelliğine göre 3 ile 15 m. arasında değişir. Böyle bir durumda suya doygun kil zemin tabakasının taşıma gücünün yüksek, geçirimsizliğinin düşük olması gerekir. Bu işlem sırasında 6-30 t/m² basınca maruz kalan ve geçirimsiz tabana süzülen siyanürlü su killi zeminlerin taşıma gücünü etkilemektedir. Doygun hale gelmiş kil zemin tabakasının taşıma gücünde azalma meydana gelebilmektedir (Bayraktar, 1985).

Kil zeminin doygun hale gelmesi durumunda taşıma gücünün azalmaması, şişme ve büzülme davranışının görülmemesi, çatlakların oluşmaması ve geçirimsizliğini koruyabilmesi için çalışmada yüksek plastisiteli kil zemine cam lifi katkısının zeminin taşıma gücü, oturma ve geçirimsizlik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Doygun hale getirilen kil zeminin, optimum su muhtevasında bulunan zemine göre mukavemet ve kayma direnci oranları karşılaştırılmıştır. Deneyler Konya Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği laboratuvarında standartlara uygun bir şekilde yapılmıştır.

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Yüksek plastisiteli killerin su muhtevası arttığı zaman taşıma gücü azalmakta ve oturma potansiyeli artmaktadır. Bu tür zeminlerin iyileştirilmesi konusunda literatürde birçok çalışma vardır. Bunlardan bazıları kireç, çimento ve uçucu kül kullanarak zeminin iyileştirilmesidir. Fakat bu uygulamalar genellikle yüksek plastisiteli kilin taşıma gücünü artırıp oturma potansiyelini azaltırken, geçirimsizliğini artırmaktadır. Geçirimsizliğin önemli olduğu durumlarda, esas görevi olan fonksiyonlarını yerine getirememektedir. Çalışma kapsamında yüksek plastisiteli kil zeminlerin iyileştirilmesinde cam lifi katkısının etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, yüksek plastisiteli kil zeminlerde cam lifi katkısının zeminin mukavemet, permeabilite ve konsolidasyon özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Tezin amaçları aşağıda sıralanmıştır:

- Yüksek plastisiteli killi zeminlerde, zemin iyileştirmesi için cam lifi katkısının optimum oranlarının belirlenmesi,
- Zemin numunelerinin optimum su muhtevasını araştırmak, cam lifi katkılı yüksek plastisiteli kil numunelerin, optimum su muhtevasında ve doygun hale getirilerek, serbest basınç ve kesme kutusu deneyleri ile kayma mukavemeti parametrelerini belirlemek ve bunları karşılaştırmak,
- Cam lifi katkısının yüksek plastisiteli kil zeminlerin permeabilitesi üzerine etkisini araştırmak,
- Cam lifi katkısı kullanılarak elde edilen yüksek plastisiteli kil numunelerin konsolidasyon özelliklerini incelemek,
- Yüksek plastisiteli kil zeminlerde cam lifi katkısının zeminin mukavemet, permeabilite ve konsolidasyon özelliklerini iyileştiren optimum katkı oranını belirlemek.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Özeti

Literatürde değişik katkılarla kil zeminlerin geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Özellikle kireç çimento, ve uçucu külün katkı malzemesi ve zemin stabilizasyon malzemesi olarak kullanımı çok yaygındır. Bunun dışında çeşitli kimyasallar ve endüstriyel atık maddelerde katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Beton ve diğer yapı malzemelerinin özelliklerinin iyileştirilmesinde cam lifinin kullanılması, zeminlerin mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesinde de kullanımını gündeme getirmiştir ve bu yönde çalışmalar yapılmıştır. Literatürde cam lifi kullanılarak zeminlerin geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Abdi ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, killere rastgele lif ilavesinin konsolidasyon, şişme, hidrolik iletkenlik, büzülme sınırı ve sıkıştırılmış killerde kuruma çatlaklarının gelişimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bunun için % 75 oranında kaolinit ve % 25 oranında montmorillonit karışımından oluşan bir zemin kullanılmıştır. Zemin parametrelerini belirlemek için elek analizi ve hidrometre deneyleri yapılmıştır. Zemin likit limiti %110, plastik limiti %29, plastisite indisi %81 ve özgül ağırlığı 2.68 olarak belirlenmiştir. Zemin özelliklerini iyileştirilmesi için uzunluğunu 5, 10 ve 15 mm olan polipropilen liflerden faydalanılmıştır. Kuru zemin ağırlığının % 1, 2, 4 ve 8 oranında polipropilen lifler eklenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda lif takviyeli numunelerin konsolidasyon oturmalarını önemli ölçüde azalttığı, hidrolik iletkenliklerin ise lif içeriği ve uzunluğun artmasıyla biraz arttığını göstermiştir. Polipropilen liflerinin kil zemine dahil edilmesi, konsolidasyon ve boşaltma işleminden sonra şişme miktarının azalmasına neden olmuştur. Polipropilen lif ile güçlendirilmiş kil zeminin büzülme limiti, lif içeriği ve uzunluğunun artması sonucunda önemli ölçüde artmıştır.

Yılmaz ve Sevencan (2010) yaptıkları çalışmada kil zemine uçucu kül-polipropilen lif katkısının zeminin dayanımına etkisini araştırmışlardır. Deneylerde kullanılan kil Ankara'nın Çukurambar semtinden alınmıştır. ASTM D 2487 standardına göre kilin sınıfı yüksek plastisiteli kil olarak belirlenmiştir. ASTM D 2487 standardına göre uçucu külün sınıfı kötü derecelenmiş ve NP olarak belirlenmiştir. Ayrıca, uçucu kül-kil karışımlarına 19 mm boyunda iki farklı fiber (M ve F tipi) eklenerek serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Uçucu kül-kil karışımlarının optimum su muhtevası ve maksimum kuru ağırlığının belirlenmesi için kil zemine kuru ağırlıkça %0, %10 %20 ve % 30 oranlarında uçucu kül karıştırılarak kompaksiyon deneyi yapılmıştır.

Kompaksiyon deney sonucuna göre karışımdaki uçucu kül oranı arttıkça optimum su içeriği azalmakta maksimum kuru birim ağırlığı ise artmaktadır. Uçucu kül-kil karışımı üzerine serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Serbest basınç deney sonucuna göre en iyi sonuç 28 gün sonunda ve %30 uçucu kül oranında elde edilmiştir. Uçucu kül-kil karışımlarına %0.5 ve %1.0 polipropilen lif eklenmiştir.

Fiber-uçucu kül-kil karışımlarının 28 gün kürden sonra serbest basınç deneyi yapılmıştır. %1.0 fiber katkısının dayanım üzerindeki etkisi %0.5 fiber katkısına oranla daha çok olduğu belirlenmiştir.

Ayyappan ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, lif içerik ve uzunluklarının, lif takviyeli zemin-uçucu kül karışımlarının performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bunun için laboratuvarında takviye edilmemiş ve takviyeli zemin-uçucu kül karışımları üzerinde kompaksiyon, serbest basınç ve CBR deneyleri yapılmıştır. Takviye olarak farklı uzunluklarda (6mm, 12mm ve 24mm) polipropilen lif kullanılmıştır. Uçucu kül karışımlarında kullanılan zemin % 85 silt, % 11 ince kum ve % 4 kil içermektedir. Uçucu kül, ASTM C618 (ASTM1993) uyarınca F sınıfı uçucu kül olarak belirlenmiştir. Polipropilen lif olarak RP6, RP12 ve RP24 kullanılmıştır. Kil-uçucu kül, uçucu kül ve kil zemine lif katkısının maksimum kuru yoğunluk ve optimum su muhtevası değerlerine etkisi araştırılmıştır. Deney sonucunda lif katkısının %1 oranına kadar eklenmesi kil zeminin, uçucu külün ve kil-uçucu kül karışımının maksimum kuru yoğunluğuna etki etmediği belirlenmiştir. %1.5 oranına kadar artırılması uçucu külün kuru yoğunluğunu çok az artırdığı, kil zeminin kuru yoğunluğunu değiştirmedeği, uçucu kül-kil zemin karışımının kuru yoğunluğunu ise bir miktar azalttığı tespit edilmiştir. Lif ilavesi uçucu külün optimum su muhtevası değerini azalttığı, kil zemine %1 oranına kadar lif eklenmesiyle optimum su muhtevası değerinde değişimin görülmediği %1.5 oranına kadar lif eklenmesi bir miktar arttırdığını, uçucu kül-kil karışımına ise %0.5 oranına kadar lif eklenmesi optimum su muhtevası değerini azalttığı bu orandan sonra tekrar arttırdığı gözlenmiştir. Serbest basınç numuneleri 38 mm x 76 mm boyutundaki kalıplara maksimum kuru birim ağırlıkta üç tabaka halinde sıkıştırarak hazırlanmıştır. Zemin, zemin-uçucu kül, uçucu kül karışımlarına lif eklenmesiyle hazırlanan numuneler üzerinde yapılan serbest basınç deneyi sonucunda lif katkısının tüm karışımlarda dayanım değerini ve sünekliği artırdığı görülmüştür. 150 mm çapında ve 175 mm yüksekliğinde silindirik bir kalıp kullanılarak hazırlanan örnekler üzerinde CBR testleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre uçucu kül, kil zemin ve uçucu kül-kil karışımlarında en yüksek değerler 12 mm uzunluğunda lif ilavesinde elde edilmiştir. Çalışma sonunda lif ilavesi ile

kil zeminin, uçucu külün ve uçucu kül-kil zemin karışımlarında taşıma gücünü artırdığı sonucuna varılmıştır.

Çetin (2011) yaptığı çalışmada, İstanbul Eyüp Akpınar bölgesinden alınan yumuşak bir kilin, yüzeysel zemin iyileştirmesi kapsamında, C tipi uçucu kül, eskitilmiş kopolimer ve polipropilen fiberlerin katkısıyla taşıma gücünün arttırılmasına yönelik bir deneysel çalışma yapmıştır. Bu birleşimler, kil-uçucu kül-kopolimer, kil-uçucu kül-polipropilen ve kil-kopolimer-polipropilen karışımları olarak hazırlamıştır. Zeminin toplam ağırlığın belirli yüzdelerde polipropilen ihtiva eden 4 farklı deney seti hazırlamıştır. Araziden alınan zemin numunesi üzerinde zemin sınıflandırma deneyleri yapılmıştır. Modifiye edilmiş, minyatür Harvard kompaksiyon aleti ile farklı su muhtevalarında hazırlanan numunelerin optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. 7 günlük kür süresinden sonra numuneler üzerinde serbest basınç deneyi yapılmış ve mukavemetleri belirlenmiştir. Deneysel çalışmaların sonucunda, hazırlanan farklı birleşimlerin, yüksek plastisiteli kilin mukavemetini farklı yüzdelerde arttırdığı saptanmıştır. Polipropilen fiber katkı oranı fazlaştıkça, yoğun polipropilen birikmiş yerlerde zayıf zemin kesiti oluştuğu görülmüştür.

Chegenizadeh ve Nikraz (2011) Curtin Üniversitesi'nde yaptığı çalışmada doğal lifin, zeminin mukavemet davranışına etkisini araştırmışlardır. Deneylerde kullanılan kil zemin Batı Avusturalya'dan temin edilmiştir. Kil zeminin likit limiti %49 plastik limiti %23 olarak belirlenmiştir. Zeminin doğal liflerle karıştırılması rastgele ve el ile gerçekleştirilmiştir. Lif-zemin karışımı, karıştırma tamamlandıktan sonra 24 saat boyunca kapalı bir kaba yerleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan lif, kil zeminin % 1, % 2 ve % 4 oranlarında ve farklı lif uzunluklarında hazırlanmıştır. Numuneler üzerine doğal lifin kil zemine etkisini belirlemek için serbest basınç mukavemeti (UCS) sıkıştırma testleri yapılmıştır. Testler, 60 mm çapında ve 170 mm yüksekliğinde silindirik numuneler üzerinde yapılmıştır. Deneyler sonucunda kil-lif numunelerinde lif yüzdesinde artış, mukavemeti artırmıştır. Test sırasında, lif takviyeli zeminin süneklik davranışının lif katılımıyla arttığı görülmüştür.

Kar ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, sıkıştırılmış killerde rastgele lif ilavesinin kilin konsolidasyon özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deneyde polipropilen ve hindistan cevizi lifleri kullanılmıştır. Kullanılan zemin sınıfı CL olarak bulunmuştur. Zemine %0, %0.2 %0.4 %0.6 %0.8 %1.0 oranlarında lif ilave edilmiştir. Lifler homojen olarak karıştırılmış ve optimum su muhtevasında sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan numuneler üzerinde konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Konsolidasyon deneyi

sonucunda takviye edilmemiş zemin numunelerinin, takviyeli zemin numunelerine göre sıkışma indisi (C_c), hacim değişim katsayısı (m_v) ve kabarma indisi (C_s) değerleri karşılaştırılmıştır. Deney sonucunda zemine lif ilave edilmesiyle sıkışma indisi önce azalmış sonra tekrar artma meydana gelmiştir. Minimum C_c değeri, polipropilen ve hindistan cevizi elyafı ile güçlendirilmiş zemin için sırasıyla % 0.6 ve % 0.8 elyaf içeriğinde gözlenmiştir. Kabarma indisi (C_s) lif oranının artmasıyla artmıştır. Hacimsel değişim katsayısı (m_v) polipropilen lifler için % 0.4'e, hindistan cevizi liflerinde ise %0.6'ya kadar azalmakta daha sonra artmaktadır. Ancak, artış oranı polipropilen lifler için daha fazladır. Deney sonucunda her iki lif tipinde de benzer sonuçlar görülmüştür.

Maheshwari ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, lif değişkenlerinin (içerik ve uzunluk) lif takviyeli zemin örneklerinin performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Zemin özelliklerini belirlemek için elek analizi, kıvam limit testleri yapılmıştır. Zemin % 8 kum, % 66 silt, % 25 kil oranlarından oluşmaktadır. Likit limiti % 52.9 plastik limiti % 27.5 oranlarında bulunmuştur.

Polyester lifler, % 0, % 0.25, % 0.50, % 0.75, % 1.00 ve % 1.50 oranlarında kuru zemine homojen bir şekilde elle karıştırılmıştır. Uzunluğu 12.1mm olan, polyester lifler kullanılmıştır. Çalışmada CBR, kompaksiyon, konsolidasyon ve üç eksenli deneyler yapılmıştır. Kompaksiyon deneyi sonucunda lif içeriğinin artması kuru yoğunluğu etkilememiştir. Artan lif içeriğine birlikte optimum su muhtevası artmıştır. CBR değeri, lif içeriğinin % 0.50'ye kadar artmasıyla artmış ve daha sonra lif oranının % 0.50'in üzerinde çıkmasıyla CBR değerinin azaldığı gözlenmiştir.

Serbest basınç mukavemetinin zemine % 0.5 oranına kadar polyester lifin eklenmesi zeminin mukavemet değerini artırmıştır. Üç eksenli deney sonucunda lif içeriğinde artış ile c değerinde biraz artış olmuştur. Ancak ϕ değeri, lif içeriğinde % 0.50'a kadar olan artış ile kayda değer bir şekilde artmış, ardından % 1.00'da hem c, hem de ϕ değeri düşmüştür.

Konsolidasyon deneyi sonucunda C_c sıkışma indisi, % 0.50'a kadar olan liflerin katılımıyla azalmış ve daha sonra, liflerin % 0.50'ın üzerine ilave edilmesiyle, sıkışma indisi C_c 'de artış olmuştur.

Olgun (2013) yaptığı çalışmada, polipropilen lif katkısının, çimento ve uçucu kül ile kimyasal olarak stabilize edilen killi zeminlerin geoteknik özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için deneysel bir çalışma yapmıştır. Tüm stabilize edilmiş zeminler için sırasıyla % 8 ve % 30 oranında çimento ve uçucu kül ilave edilmiştir. Stabilize edilmiş zemin numuneleri, farklı oranlarda lif içeriğiyle ve farklı lif

uzunluğunda hazırlanmıştır. 7 ve 28 günlük kürlenme sürelerinden sonrasında basınç ve çekme dayanımı testleri yapılmıştır. Takviyeli zeminin hacim değişim özellikleri; büzülme sınırı ve çatlak azaltma değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Lif yüzeyi ile stabilize edilmiş zemin arasındaki etkileşimler taramalı elektron mikroskobu ile analiz edilmiştir. Sonuçlara göre en yüksek mukavemet değerleri, 12 mm uzunluğundaki lifler için % 0.5-0.75 içerikle elde edilmiştir. Büzülme sınırı ve çatlak azaltma değerleri artan lif içeriği ve lif uzunluğu ile artarken, hacim değişiklikleri azalmıştır.

Gümüşer ve Şenol (2013) yaptıkları çalışmada, zemine lif ve uçucu kül katkısının zeminin mukavemet ve kompaksiyon özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Deneyde kullanılan zemin Sivas Suşehri-Koyulhisar'dan temin edilmiştir. USCS sınıflandırma sistemine göre zeminde %2 oranında çakıl %8 kum, %11 silt, %79 kil bulunmaktadır. Kıvam limit testleri sonucunda zemin, yüksek plastisiteli kil (CH) olarak belirlenmiştir. Zemine kuru ağırlıkça % 0, 10 ve 15 oranında uçucu kül ve zemin-uçucu kül karışımının toplam ağırlığının % 0.5, 1.0 ve % 1.5 oranlarında Multifilament (MF) Fibrile (F) iki farklı polipropilen lif eklenmiştir. Kompaksiyon deney sonucunda kil zemine uçucu kül ilavesindeki artışla kil-uçucu kül karışımlarının maksimum kuru yoğunluğunun azaldığını ve optimum su muhtevasının arttığı görülmüştür. Bununla birlikte kil-uçucu kül karışımına lif eklenmesinde lif oranının artması kuru yoğunluğu bir miktar azaltmıştır. Uçucu kül ilavesi zeminin taşıma gücünü artırmıştır. Uçucu kül-kil karışımına lif eklenmesi taşıma gücünü artırmıştır. En yüksek CBR değeri zemin+ %15 uçucu kül + %0.5 MF karışım oranlarında görülmüştür. Lif oranının artması CBR değerinde azalma meydana getirmiştir. Polipropilen liflerinin eklenmesi, zemine süneklik kazandırmıştır. Süneklik davranışı, lif içeriğindeki artışla artmış ve lif etkisi, gerilme çatlaklarının daha da genişlemesini ve zemin deformasyonunu engellediği görülmüştür.

Mali ve Singh (2013) yaptıkları çalışmada, cam liflerle güçlendirilmiş ince bir kumun kayma dayanımı davranışını araştırmışlardır. Zeminin kayma dayanımı ve taşıma kapasitesini arttırmak, yerleşim ve yanal deformasyonların azaltılması amaçlanmıştır. Bunun için kesme kutusu testleri yapılmıştır. Kullanılan kum (SP) olarak sınıflandırılmıştır. 20 mm uzunluğunda cam lifi kullanılmıştır.

Test numuneleri hazırlamak için ilk önce gerekli miktarlarda kum ve lif kuru halde karıştırılmıştır. Karıştırma sırasında liflerin ayrışmasını önlemek için, minimum miktarda su (kuru ağırlıkça %6) eklenmiştir. Kumun kuru ağırlığına göre farklı oranlarda lif içeriği, üç farklı yoğunlukta kum ile birlikte kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde (UU)

deneyle yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, yoğunluğun artmasıyla, takviyeli kumun hem kayma dayanımının hem de rijitliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

Tiwari ve Mahiyar (2014) yaptıkları çalışmada, yumuşak killer, siyah organik killer, organik tortular ve gevşek kum gibi zayıf zeminlerin, zayıf mühendislik özelliklerinden dolayı inşaat için çoğu zaman uygun olmadığı, bu tür zeminlerde nem içeriğindeki değişiklik nedeniyle hacimlerinde değişiklik meydana geldiği belirtilmiştir. Bu tür zeminlerin iyileştirilmesi için, kıvam limit değerleri, kompaksiyon eğrisi, kaliforniya taşıma oranı, şişme basıncı, geçirgenlik, doğrudan kesme testi yapılarak, uçucu kül, hindistan cevizi lifi ve cam tozu katkısının zemine olan etkisini analiz edilmiştir. Deneysel çalışmanın birinci aşamasında, higroskopik nem içeriği, tane büyüklüğü dağılımı, özgül ağırlık, Atterberg limitleri, direkt kayma testi, Şişme basıncı, maksimum kuru yoğunluk gibi zeminin fiziksel özellikleri, optimum su muhtevası, CBR, geçirgenlik testi değerleri belirlenmiştir. İkinci aşamada, farklı oranlarda hindistan cevizi lifi ve hindistan cevizi lifinin farklı oranında uçucu kül yüzdeleri kullanılarak siyah organik kil zemin üzerinde çeşitli deneyler yapılmıştır. Siyah organik kile, uçucu kül, hindistan cevizi lifi ve cam tozunun eklenmesi ile zeminin geçirgenliğinin arttığı ve zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştiğini gözlemlemişlerdir.

Kulkarni ve Patil (2014) yaptığı çalışmada, Hindistan'da yaygın olarak bulunan siyah killi zeminlerin mevsimsel nem dalgalanmaları nedeniyle ıslanma ve kuruduktan sonra aşırı bir şişmeye ve büzülmeye uğradığı belirtilmiştir. Bu durumun yollarda ve hafif yapılarda ciddi hasarlara neden olmaktadır.

Siyah killi zeminlerin bu dezavantajlarının uygun malzeme ile stabilize edilerek aşılabileceği belirtilmiştir. Yapılan çalışmada bu tür zeminlerin iyileştirilmesi için yüksek fırın cürufu ve cam lifi kullanılmıştır. Yüksek fırın cürufu ve cam lifinin, optimum nem içeriği, maksimum kuru yoğunluk, serbest şişme ve Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) gibi belirli zemin özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yüksek fırın cürufu, 6 mm ve 12 mm cam lifi kullanılarak hazırlanan örnekler üzerinde deneyler yapılmıştır. Yapılan çalışmada, zeminin optimum cüruf yüzdesi ve değişen 6mm ve 12 mm cam lifi yüzdesiyle karıştırılması, maksimum kuru yoğunluğun artmasına ve ıslatılmış durum için CBR değerinin artmasına neden olmuş, ayrıca zeminin 12mm cam lifi ile karıştırılması durumunda 6mm cam lifi ile karşılaştırıldığından daha iyi performans verdiği ve CBR değerinin, fiber uzunluğundaki artışla arttığı sonucuna varılmıştır.

Baruah (2015) yaptığı çalışmada geleneksel yöntemlerin dışında cam lifinin zemin iyileştirilmesinde alternatif malzeme olarak kullanılmasını araştırmıştır.

Araştırmada kullanılan zemin Assam'da Jalukbari yakınlarındaki bir alandan alınmıştır. Cam lifi katkılı ve katkısız zeminin likit limiti, plastik limiti, plastisite indisi, optimum nem içeriği ve maksimum kuru yoğunluğu ve zeminin serbest basınç dayanımı üzerindeki etkilerini belirlemek için zemin deneyleri yapılmıştır. Elde edilen çeşitli sonuçlardan, zeminin likit limitinin ve plastik limitinin, liflerin eklenmesiyle artmasına rağmen, plastisite indisinin azaldığını, bu da zeminin sıkıştırılabilir yapısındaki azalmayı sağladığı görülmüştür. Fiber ilavesiyle optimum nem içeriğinin arttığı ve maksimum kuru yoğunluğun azaldığı, ancak zeminin serbest basınç dayanımının arttığı görülmüştür.

Mender (2015) yaptığı çalışmada rastgele yönlendirilmiş ve sistematik olarak yönlendirilmiş lif katkısının killi zeminlerin geoteknik davranışı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada, polietilen ve polipropilen lif gibi atık lif malzemelerin kullanımının killi zemin üzerindeki etkisi ile rastgele ve sistematik olarak dâhil edilen atık lif malzemelerle zeminlerin kayma dayanımına etkisi incelenmiştir. Zayıf killi zemin, geoteknik özellikleri belirlemek için özgül ağırlık, hidrometre, Atterberg limitleri ve proctor sıkıştırma testine tabi tutulmuştur. Sonucunda zeminin optimum nem içeriği, maksimum kuru yoğunluğu, özgül ağırlık, likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri bulunmuştur. Bununla birlikte takviye edilmiş zeminin, takviye edilmemiş zeminle ayırt etmek için serbest basınç deneyi yapılmıştır. Sonucunda liflerin killi zeminlerin mukavemet özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Polietilen ve polipropilen lifleri, killi zeminlerin iyileştirilmesi için takviye malzemesi olarak başarıyla kullanılabilir sonucuna ulaşılmıştır.

Patel ve Singh (2016) yaptıkları çalışmada, cam lifinin zeminin sıkıştırma parametreleri üzerine etkileri ve lif içeriği ile ıslanma zamanlarındaki değişimin CBR kuvvetine etkisi incelemiş ve laboratuvarında CBR testleri ile uygunluğunu araştırmışlardır. Maksimum mukavemeti verecek olan optimum bir zemin-lif karışımı belirlenmiştir. Zemin, orta plastik kil (CL) olarak sınıflandırılmıştır. Zeminin optimum nem içeriği ve maksimum kuru yoğunluğu değerleri bulunmuştur. Zemine 20 mm uzunluğunda cam lifi farklı oranlarda kullanılmıştır. Cam lifinin ortalama çapı ve özgül ağırlığı değerleri bilinmektedir. Kil zemin ve lifler belirlenen ağırlıklarına göre uygun miktarda su ile farklı aşamalarda karıştırılmış, cam lifli karıştırılmış zemin üzerinde proctor sıkıştırma testleri yapılmıştır. Sonucunda cam lifi içeren zeminin optimum nem içeriği ve maksimum kuru yoğunluğu üzerindeki etkisinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir. CBR kuvveti ve sekant zemin modülü testleri sonrasında, optimum lif katkısının önemli ölçüde zemini

iyileştirdiği ve cam lifi takviyeli zeminin, alt tabaka malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılabileceği bulunmuştur.

Tiwari ve ark. (2016) yaptığı çalışmada siyah killi zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla taş tozu ve polipropilen liflerinin iyileştirici madde olarak kullanılmasının uygunluğunu bulmak için bir çalışma yapılmıştır. Zemin örneği Road Bhopal bölgesinden alınmıştır. 12 mm uzunluğunda ve birim ağırlığı 0.91 g / cm^3 olan polipropilen lif kullanılmıştır. Kıvam limit değerlerini bulmak için katkısız zemin numunesi üzerinde testler yapılmış test sonuçlarına göre, zemin yüksek plastisiteli kil olarak sınıflandırılmıştır. Numuneler %5, %10, %15 ve %20 oranlarında taş tozu ve %0.5, %1 ve %1.5 oranlarında polipropilen liflerden oluşan 12 farklı kombinasyon hazırlanmış ve hazırlanan zemin örnekleri üzerinde CBR, UCS testleri yapılmıştır. Katkısız zeminin optimum su muhtevası ve maksimum kuru yoğunluğu sırasıyla % 20.3 ve 1.67 g / cm^3 olarak bulunmuştur. Katkılı olarak hazırlanan Standart Proctor Test sonuçlarına göre taş tozu ve polipropilen lif ilaveli zeminlerin optimum nem içeriğinin azaldığı, maksimum kuru yoğunluğun arttığı belirlenmiştir. Taş tozu ve polipropilen liflerinin ilavesinde, CBR değerinin arttığı ve maksimum CBR'nin değerinin % 10 taş tozu ve % 1.00 polipropilen lif ilavesinde ölçülmüştür. Taş tozu ve polipropilen lif ilavesiyle zeminin UCS'si artmış ve UCS'nin maksimum değerinin % 10 taş tozu ve % 1.00 polipropilen lif ilavesinde 25.92 N/cm^2 olduğu bulunmuştur. Bu testlerden elde edilen sonuçlara dayanarak, siyah killi zemine taş tozu ve polipropilen lif ilavesi ile büyük ölçüde iyileştirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Asadollahi ve Dabiri (2017) yaptığı çalışmada, cam lifinin rasgele yerleştirilmesinin, killi zeminin taşıma kapasitesi, kayma dayanımı ve permeabilite üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada düşük plastisiteli kil zemin kullanmıştır. Malzemelerin geoteknik özellikleri belirlenmiş ve cam lifinin fiziksel özellikleri tanımlanmıştır. Çalışmada, cam lifinin killi zeminin taşıma kapasitesi, kayma dayanımı ve geçirgenliği üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla uzunluğu 10 mm cam lifi seçilmiştir. Çeşitli oranlarda cam lifi kil zemin ile birlikte rastgele karıştırılmış ve karışım örnekleri optimum su içeriği kullanılarak hazırlanmıştır. Katkılı ve katkısız numuneler üzerinde taşıma gücü ve geçirgenlik deneyleri yapılmış, belirli orandaki cam lifi katkısının taşıma gücünü ve permeabiliteyi artırdığı belirtilmiştir.

Patel ve ark. (2017) yaptığı çalışmada uçucu kül ve rastgele yönlendirilmiş alkaliye dayanıklı cam lifleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyde düşük plastisiteli kil zemin kullanılmıştır. Cam lifler zemin içerisine rastgele dağıtılmış ve homojen bir

karişim oluşturana kadar elle kariştirilmiştir. Farklı oranlarda uçucu kl ve cam lifi katkısının kil zemin üzerindeki etkisini incelemek için Standart Kompaksiyon Testi, CBR ve ę eksenli basınę deneyleri yapmıştır.

ęalıřma sonucunda zeminin optimum nem iğeriği ve maksimum kuru yoğunluğunun uçucu kl ve cam lif iğeriğindeki artışla azaldığı tespit edilmiştir.

Mujaheduddin ve ark. (2018) yaptıkları araştırmada Hindistan zeminlerinin yaklaşık % 20'si olan siyah killi zeminlerin iyileştirilmesi üzerine ęalıřmıřlardır. Bu zeminler su emdiklerinde şişer ve kuruduğunda büzülürler. şişme-büzülme davranışı, üst yapının yıpranmasına neden olan hidrolik basıncı üretir. Bu araştırmada siyah killi zeminlerin cam lifi, fırın cürufu ve portland ęimentosu kullanılarak zeminin iyileştirilmesi amağlanmıştır. Deney numuneleri zemin miktarının, %25 oranında fırın cürufu, % 0.3, % 0.6, % 0.9 ve % 1.2 oranlarında Portland ęimentosu ve % 0.25, % 0.5, % 0.75 ve % 1.0 cam elyafı kullanılarak hazırlanmıştır. Toplamda 14 kombinasyon üzerinde sıkıştırma testleri yapılmıştır. Testler sonucunda maksimum kuru yoğunluğu en yüksek olan karişim numunelerini 3, 7 ve 14 günlük kürlenme sresinde bekletilerek serbest basınę testleri uygulanmıştır. UCS testleri sonucunda en yüksek dayanım 14 günlük kr sresinde ve zemin+25 %fırın cürufu+0.6 %portland ęimentosu+0.75 %cam lifi karişim oranında elde edilmiştir. UCS kuvveti, cam lifinin % 0.75'e kadar artmasıyla artmış, cam lifinin daha da artması UCS kuvvetini azalmıştır. Deneyler sonucunda cam lifinin siyah killi zeminlerin stabilizasyonunda dengeleyici katkı olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Mirzababaei ve ark. (2018) yaptıkları ęalıřmada % 0.25 ve % 0.50 katkı oranlarında 6, 10, ve 19 mm uzunluğa sahip polipropilen liflerin yumuşak kil numunelerinin kayma dayanımı ve konsolidasyon özelliklerine etkisi araştırılmışlardır. Kesme deneyi için hazırlanan numuneler 60 mm x 60 mm boyutlarında kalıplara statik sıkıştırma uygulanarak yerleştirilmiştir. Deney 50 kPa, 100 kPa ve 200 kPa gerilmelerde 0.01 mm / dak yatay ileri yer değiştirme hızında yapılmıştır. Deney sonucunda 10 mm lif içeren takviyeli numuneler en yüksek kesme dayanımı oranını göstermiştir. Liflerin zemin ortamına eklenmesi, lifler ve zemin paręacıkları arasındaki gelişmiş kenetlenme, zeminin kayma mukavemetine katkıda bulunmuştur. Lif ilavesi konsolidasyon ve kayma aşamalarında yumuşak kilin sıkışabilirliğini azaltmıştır. Deneyler sonucunda yumuşak kilin içsel sürtünme açısı lif takviyesiyle önemli lęde değişmediği boşluk oranının ise lif takviyesiyle azaldığı belirlenmiştir.

2.2. Zemin Stabilizasyonu

Zemin, üzerine yapıların oturtulduğu, yapı yükünü taşıyan taneli boşluklu doğal malzemelerdir. Zemin taneleri kayaçların fiziksel parçalanması ve kimyasal ayrışması sonucu meydana gelir. Zeminler üzerine yapılması düşünülen yapıları taşıma gücü açısından elverişsiz ise gelen yükleri güvenle taşıyamayabilir (Uzuner, 2012). Bu tür problemler zeminlerde stabilizasyon önemlidir. Stabilizasyon zeminin mühendislik özelliklerini, üzerine inşa edilmesi planlanan yapının düşünülerek çeşitli yöntemlerin uygulanmasıyla zeminin iyileştirilmesidir.

Zeminlerde meydana gelen problemler;

- Yapım esnasında ve sonrasında meydana gelen oturmalar,
- Temel kazısı ile ilgili problemler,
- Temel zeminlerinin sıvılaşma potansiyeli,
- Şev duraysızlığı,
- Kazı sonucu kabarmalar,
- Çökebilene ve şişen zeminlerin varlığı (Altun, 2010).

Problemler zeminlere ıslah yöntemlerinin uygulanması sonucu;

- Kayma mukavemeti artar,
- Kumlu zeminlerin sıkılığı, killi zeminlerin kıvamı iyileşir,
- Sıkışabilirliği azalır,
- Şişme ve büzülme potansiyeli düşer,
- Permeabilitesi azalır,
- Borulanmaya karşı mukavemeti artar,
- Sıvılaşma potansiyeli azalır (Sağlamer, 2011).

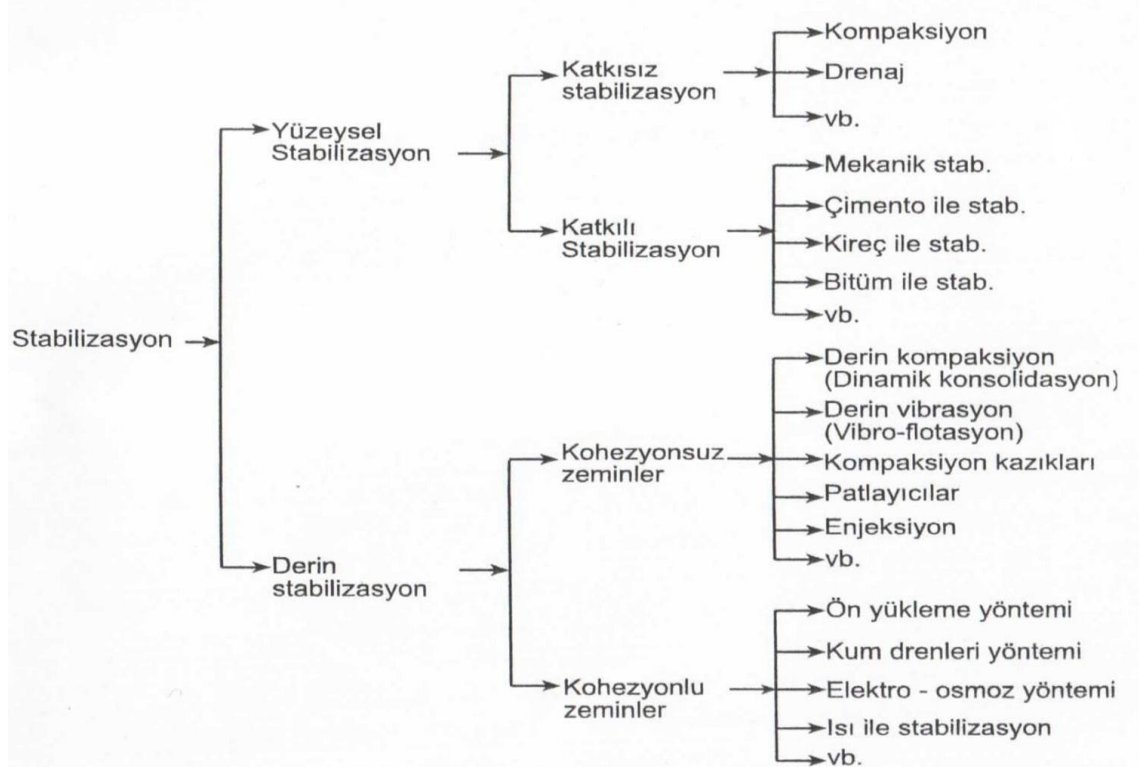
Zemin iyileştirme yöntemleri başlıca üç ana grupta toplanabilir:

- İnşaat sırasında uygulanan geçici stabilizasyon,
- Katkı malzemesi kullanmadan mekanik etkiler uygulanarak yapılan kalıcı stabilizasyon,
- Katkı malzemesi kullanılarak yapılan kalıcı stabilizasyon (Sağlamer, 2011).

Zemin iyileştirme yöntemleri, uygulama derinliğine bağlı olarak sınıflandırılabilir:

(Şekil 2.1)

- Derin iyileştirme yöntemleri
- Yüzeysel iyileştirme yöntemleri



Şekil 2.1 Zemin iyileştirme yöntemleri (Uzuner, 2012)

2.2.1. Yüzeysel İyileştirme Yöntemleri

Zeminlerin fazla derine inilmeden iyileştirilmesine yüzeysel stabilizasyon denir. Yüzeysel stabilizasyon genellikle karayolu, demiryolu gibi yol inşaatlarında veya zemin üzerine gelen yapı yükünün fazla olmadığı yapılarda kullanılırlar. Yüzeysel stabilizasyon katkılı ve katkısız olmak üzere ikiye ayrılır.

2.2.1.1. Katkısız Stabilizasyon

Mevcut zemine herhangi bir madde katmaksızın yapılan iyileştirmedir. Kompaksiyon, mekanik iyileştirme ve drenaj olmak üzere 3 gruba ayrılabilir.

Kompaksiyon

Statik, vibrasyonlu ve darbeli aletlerle zeminin tabaka tabaka serilerek mekanik olarak sıkıştırılması işlemidir. Zemin optimum su muhtevası belirlenerek sıkıştırılır (temel inşaatı). Kompaksiyon işlemi sonrasında zemin boşluklarındaki havanın çıkmasıyla

zeminin kayma mukavemeti ve borulanmaya karşı direncinin artması, permeabilite ve sıkışabilirliğinin azaltılması, sıvılaşma riskinin düşürülmesi sağlanır (Sağlamer, 2011).

Drenaj

Zemine gelen ya da zemin bünyesinde bulunan suyun uzaklaştırılması işlemidir. Yüzeysel drenaj ve sığ drenaj olarak iki türlü yapılır.

Mekanik Stabilizasyon

Fiziksel özellikleri farklı olan iki veya daha fazla zeminin belirli oranlarda karıştırılarak, dane dağılımlarının değiştirilmesi ve özelliklerini iyileştirilmesiyle istenilen fiziksel özelliklerde yeni bir zemin elde edilmesi için uygulanan bir iyileştirme yöntemidir(Aytekin, 2004). Mekanik stabilizasyon genellikle, ince taneli zeminlere belli oranda kaba taneli zemin karıştırılmasıyla yapılan bir işlem olmasından dolayı granüler iyileştirme de denir. Mekanik stabilizasyon, fiziksel olarak uygulanan işlemlerle zeminlerin mekanik, hidrolik ve mukavemet özelliklerini değiştirmeyi sağlayan yöntemleri içermektedir.

2.2.1.2. Katkılı Stabilizasyon:

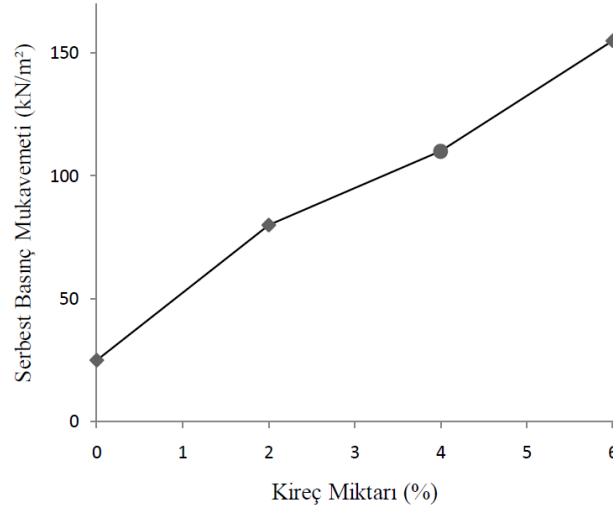
Zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmek ve fiziksel özelliklerini istenilen duruma getirmek için zemine katkı maddeleri eklenerek uygulanan iyileştirme yöntemidir. Zemin iyileştirmede çoğunlukla; kireç, uçucu kül, çimento, fırın cürufu gibi katkı maddeleri kullanılır. (Özaydın, 2000).

Kimyasal Stabilizasyon

1. Kireç ile Stabilizasyon:

Kireç, şişme potansiyeli ve kil içeriği oranı yüksek olan, yüksek plastisiteli kohezyonlu zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılan bağlayıcı bir malzemedir. Kolay temin edilebilen ve düşük maliyetli bir katkı malzemesidir. Kilin kireçle reaksiyona girmesi sonucu bağlayıcı özelliği olan ürünler ortaya çıkmakta ve kohezyonlu zeminde iyileşme meydana gelmektedir. (Aydın, 2010).

İyileştirmede kullanılan kireç genellikle kuru zemin ağırlığının % 5 - % 10 arasındadır. Kireç ilavesi, zeminin plastisite indisini düşürerek kuru birim hacim ağırlığın artmasına neden olur. Plastisite indisinin düşmesiyle zemin daha kolay karıştırılır. İlave edilecek kireç miktarı serbest basınç deneyi sonucunda elde edilebilir. Neubauer ve Thompson (1972), kireç katkılı kil üzerine yaptıkları deneyde kireç oranının artmasının dayanımı arttırdığını (Şekil 2.2), belirlemişlerdir.



Şekil 2.2 Kireç Oranının Serbest Basınç Mukavemeti Üzerindeki Etkisi (Neubauer ve Thompson, 1972)

Uygulanabilirlik açısından, kireç ile iyileştirme yöntemi oldukça kolaydır. Laboratuvar deneyleriyle uygun karışım oranları ve stabilizasyon yapılacak derinlik ölçüsü belirlenir. İş makineleri yardımıyla kireç yüzeysel olarak serilir ve sıkıştırılır.

Kirecin zemine karıştırılması 3 yöntemle yapılabilir;

- Kullanılacak kireç miktarı belirlenir, arazide zemin ile karıştırılır ve belirlenen oranda su eklenir sıkıştırılarak yerleştirilir.
- Zemin, kireç ve su, istenen oranlarda karıştırılır, sahada sıkıştırılarak yerleştirilir.
- Kireç-su karışımı basınç ile zemine enjekte edilir. Bu yöntem ile 4.00 m - 5.00 m zemine kadar karışım iletilebilir. Daha sonra çeşitli yöntemlerle zemin-kireç karışımı sıkıştırılır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 (Das, 2007)

2. Çimento ile Stabilizasyon

Çimento ile stabilizasyon, organik zeminler dışında tüm zemin tiplerinde uygulanabilir. Yüzeysel zemin iyileştirmelerinde genellikle Portland çimentosu tercih edilir. Portland Çimentosunun temininin kolay ve mukavemetinin yüksek olması olumlu, geç priz alması olumsuz özelliğidir. Çimento kullanımında zeminin cinsi ve su/çimento oranı önemli iki faktördür. (Kılıç, 2008).

Çimentonun su ile temasından sonra hızla hidrasyon reaksiyonu başlar. Hidrasyon reaksiyonu iki aşamadan meydana gelmektedir, ilk aşamada daneler arasında bağlar oluşur, ikinci aşamada ise puzzolonik reaksiyonlar meydana gelir. Meydana gelen bu kimyasal reaksiyonlarda, zemin iyileştirmesi için en önemli aşama, ikinci aşamadır. Puzzolonik reaksiyon sonuna kadar karışımının mukavemeti artmaya devam eder (Bergado ve Anderson, 1996). Stabilize edilen zeminlerin likit limiti azalır ve kullanıma daha uygun hale gelir. İyileştirme oranı zemin tipine ve eklenen çimento oranına göre değişir.

Genellikle, 3 tip zemin-çimento karışımı bulunmaktadır.

- Plastik zemin-çimento karışımları, belirli oranlarda zemin, çimento ve suyun karıştırılmasıyla sıvaya benzer biçimde oluşturulan karışımlardır. Çoğunlukla şevlerde veya erozyona maruz kalan zeminlerde kullanılır.
- Çimento katkılı zemin karışımları, zemine diğer karışımlara oranlara daha az Portland çimentosu, eklenilerek hazırlanır. Katılaşmamış ya da yarı-katı zemin çimento karışımlarıdır. Genellikle temel altı dolgularda iksa arkası ve yol dolgularında kullanılır.
- Sıkıştırılmış zemin-çimento karışımları belirli bir miktarda Portland çimentosu ile öğütülmüş zemin ve suyun karıştırılması ve sıkıştırılmasıyla oluşur. Sıkıştırılmış bu tabaka donma-çözülmeye karşı yüksek dayanım gösterir (Çetin, 2011).

Çimento katkısının arazi uygulaması için 3 yöntem vardır.

- Yerinde karıştırma yönteminde uygun miktarda çimento hazırlanan zemin tabakasına serilir, zeminle iyice karıştırılır daha sonra sıkıştırılır.
- Gezici santral yönteminde gezici santrale yüzeyden alınan zemin çimento ve su katılarak karıştırılır, hazırlanan karışım sahaya yayılır ve sıkıştırılır.
- Sabit santral yönteminde zemin sabit bir santrale taşınır burada çimento ve su katılır, karıştırılır ve tekrar yerine taşınır yayılır ve sıkıştırılır (Şekil 2.4) (Uzuner, 2000).



Şekil 2.4 Çimento ile Zemin Stabilizasyonu Uygulaması (<http://www.cement.org>)

3. Bitüm ile Stabilizasyon

Bitüm, asfalt veya petrolden meydana gelen siyah, yapışkan, sıcakken akışkan olan maddedir. Sıcak bitüm, kırma taş, çakıl, kum gibi daneli zeminlere, karıştırılıp serilerek yerleştirilir ve kompaksiyon uygulanarak sıkıştırılır. Bitümle stabilizasyon, genellikle zemin üzerine asfaltın püskürtülmesi veya yolda karışımından sonra hemen sıkıştırılması ile yapılır. Bitüm katkısı zemin daneleri arasında bağlayıcılık ile geçirimsizlik sağlar ve mukavemeti önemli ölçüde artırır. Bitüm katkılı zeminlerin, kil ve organik maddelerden yıkanmış olması gerekir. Bitüm katkısı yapılacak zeminde, bitüm oranı zeminin %5-10'u kadar olmalıdır (Tumluer, 2006).

Kireç ve çimento katkılı zemin stabilizasyonları pozzolanik reaksiyon sonucu zemin dayanımına etki ederken bitüm suyun zemine verdiği zararlı etkilerinden korunması ve danelerin ayrışmasını önleyerek birleştirici yönde etkilidir. Asfalt ince daneli zeminlerin yüzeyine gelerek bu zeminlerin suda yumuşamasını önler. İri daneli zeminlere ise kohezyon kazandırır. Asfalt stabilizasyonu yaygın olarak yollarda yüzey kaplamalarında kullanıldığı bilinmektedir (Özaydın, 2000). Bitümle stabilizasyon yöntemi kireç ve çimento katkılı zeminlerin iyileştirilmesine göre daha pahalı bir yöntemdir. (Demiröz ve Karaduman, 2009).

2.2.2. Derin Stabilizasyon

Derin stabilizasyonda, satabilizasyon yapılacak zemin kalınlığı birkaç metreden 10 metreye kadar değişebilir. Derin stabilizasyonda sıkıştırmanın kalitesi çalışma yapılan alanda sıkıştırma öncesi ve sonrasında alanda seçilen bazı noktalardan alınan numuneler

üzerinde yapılan standart penetrasyon koni penetrasyon ve presiyometre deneyleri ile kontrol edilebilir.

2.2.2.1 Kohezyonsuz Zeminler

1. Derin Kompaksiyon (Dinamik konsolidasyon)

Ağırlığı 50 ile 400 kN arasında değişebilen bir tokmağın zemine belli bir yükseklikten düşürülmesiyle uygulanan bir yöntemdir. Daha çok taneli zeminlerin iyileştirilmesinde uygulanmasına rağmen kohezyonlu zeminlerde de uygulanır.

2. Derin Vibrasyon (Vibro-flotasyon)

Bu yöntemde vibroflot denilen silindirik bir vibratör kullanılmaktadır. Vincin ucuna asılı olan vibroflot istenilen noktaya yerleştirilir. Vibroflotun ucunda bulunan su jeti kendi ağırlığıyla bir miktar titreşimle zemine sokulur. İstenilen derinliğe ulaşıldığında kuyu kum çakıl gibi daneli zeminle doldurularak vibratör çalıştırılır. Bu şekilde sıkıştırılmış bir bölge oluşturulur. Aşağıdan yukarı uygulama devam eder ve iyileştirme yapılır.

3. Kompaksiyon Kazıkları

İri taneli zeminlerde zemine ucu kapalı bir borunun zemine belirlenen bir noktaya kadar indirilmesi sonucu ucun zemine bırakılmasıyla borunun yukarı çekilerek zeminin sıkıştırılması işlemidir. Boru yukarı çekilirken içine kırmataş tokmaklanarak yerleştirilir. Zemin kaplama borusu hacmi kadar sıkışır ve kaplama borusunun zemine çakılması sırasında oluşan titreşimlerde zeminin sıkışmasında etkilidir (Uzuner,2013).

4. Patlayıcılar

Sıkıştırılmak istenen zemin tabakaları arasına belirli derinlikte ve aralıkta yerleştirilen patlayıcılarla şok dalgaları meydana getirerek daneli zemini, daha sıkı hale getirme işlemidir (Uzuner,2013).

5. Enjeksiyon

Granüler zeminlerde taneler arası boşlukların doldurulmasıyla zeminin iyileştirilmesi işlemidir. Enjeksiyon sıvısının basınçlı uygulamayla zemine enjekte edilmesiyle boşluklar dolar. Bu sıvı zamanla katılaşır ve sertleşir. Zemine uygulanan enjekte işlemi zeminin dayanımını artırır ve geçirimsizliğini azaltır. Genellikle baraj gövdeleri, granüler zeminlerin bulunduğu tünel inşaatlarında kendini tutabilen bir zemin yapısı oluşturmak için yapılır. Süspansiyon sıvıları genellikle çimento şerbeti, kil-su karışımı veya silikatlı madde-su karışımlarından tercih edilebilir (Uzuner,2013).

2.2.2.2. Kohezyonlu Zeminler

1. Ön Yükleme Yöntemi

Kohezyonlu suya doygun zemine kum, çakıl dolgu kullanarak ön yükleme yapılması işlemidir. Zemin dayanımını artırıp meydana gelecek oturmalarını azaltmak için uygulanan bir iyileştirme yöntemidir. Önyükleme yöntemi yapı inşa edilmeden önce yapının zemine aktaracağı yükten daha fazla yük uygulanması sonucu zeminde meydana gelen gerilmeler ve oturmalar öngörülür. Nihai oturma sağlandığında zemin üzerine konulan kum dolgu, çakıl dolgu kaldırılarak yapı inşa edilebilir hale gelmektedir (Uzuner,2013).

2. Kum Drenler Yöntemi

Ön yüklemesi uzun sürecek olan ince taneli zeminlerde konsolidasyonu hızlandırmak amacıyla, zeminde belirli aralıklarla kum drenleri yapılır. Kum drenleri genellikle 0,3-0,6 m çaptadır. Kum drenlerini son zamanlarda daha hızlı ve pratik yapabilmek için hazır drenler olan plastik veya kağıt drenler uygulanmaya başlanmıştır. Üzerinde dolgu bulunan zeminin içindeki suyun bir kısmı düşey yönde atılırken bir kısmı da yatay yönde ilerleyerek drenlerden dışarıya atılmaktadır. Böylelikle zemin ön konsolide yöntemine kıyasla birkaç kat daha erken konsolide olmaktadır (Uzuner,2013).

3. Elektro-Osmoz Yöntemi

İnce taneli kohezyonlu zeminlerin oturma, mukavemet ve deformasyon özelliklerini iyileştirilmek için zemine doğru akım uygulayarak yer altı su seviyesi aşağı çekilerek konsolidasyon işleminin hızlandırılmasıdır. Bunun için zemine katot ve anot işlevini gören metal çubuklar yerleştirilir ve bunlar arasında doğru akım oluşturularak zemindeki kuyulardan su drene edilir (Uzuner,2013).

4. Isı ile Stabilizasyon

Isı ile zemin stabilizasyonunda zeminlerin; plastisite indisi azaltılarak, kabarma mukavemet, sıkışabilirlik ve taşıma gücü gibi özelliklerinde iyileştirmeler sağlanabilir. Özellikle ince taneli kohezyonlu zeminlerde açılan kuyularda yüksek sıcaklıklar elde edilerek zemin mineralojik yapısının değiştirilmesiyle kuyu etrafında zeminler 2-3 metre çaplarında sertleşen kristaller görülür (Uzuner,2013).

5. Taş Kolonlar

Zemin içine belirlenen derinliğe kadar vibroflot veya burgu gibi delgi aletleri ile yaklaşık 0.60 -1.0 m çaplarında kuyu açılır. Açılan kuyulara kuyu tabanından başlayarak kuyu içine kademeler halinde kırma taş, kaba çakıl veya kum-çakıl karışımları yerleştirilir

ve sıkıştırılır. Taş kolonlar düşey dren gibi çalışır. Taş kolon uygulaması sonucunda zeminin oturma miktarı azalır, taşıma kapasitesi artar.

6. Jet Grout

Jet-grout yöntemi, sondaj yardımıyla iyileştirme yapılacak derinlik boyunca zemine indirilen bir tij takımının, özel ekipmanlar kullanılarak, belirli bir çekme ve dönme hızıyla zemin yüzeyine çekilmesi esnasında, tijin ucunda bulunan nozul/nozullardan değişik karışım oranlarında hazırlanan çimento esaslı enjeksiyon malzemesinin yüksek basınçla zemine enjekte edilmesidir. Jet grout yöntemi iki aşamadan meydana gelmektedir (Demiral, 2017).

Delme aşaması: jet grout uygulanacak derinliğe kadar delme borusunun indirilmesi sağlanır. Bunun için delme borusunun bitiminde kesici uç ve boru eksenine dik püskürtme valfi (nozzle) vardır.

Püskürtme aşaması: boru bir yandan yukarı çekilirken bir yandan döndürülür ve içinde bulunan çimento harcı yüksek bir hızla püskürtülür. Bu işlem sonunda istenilen derinlikte ve çapta jet grout kolonları oluşturulur.

7. Derin Karıştırma

Zeminin içine çimento, kireç, uçucu kül çeşitli katkıları veya bunların kombinasyonlarının bağlayıcı madde olarak kullanılması ile yapılan yerinde karıştırılma işlemidir. Özel karıştırma aletlerle, Gevşek kumların veya yumuşak killi zeminlerin yerinde yaklaşık 30 m derinliğe kadar kireç veya çimento şerbeti ile karıştırılması sonucu rijit kolonlar oluşturulur. Kullanılan bağlayıcı miktarı, zemin cinsine bağlı olarak değişir ve genellikle iyileştirme yapılan zemin hacminin yaklaşık %20-30'u kadar olmalıdır. Derin karıştırma işlemi: içi boş auger borusunun istenilen derinliğe indirildikten sonra boru içinden bağlayıcı madde pompalanarak boru ucundaki paletler yardımı ile zemin ile karıştırılır (Bildik, 2017).

8. Geotekstiller

Geotekstiller, yumuşak killer üzerine oturan dolguların takviyesinde ve zemin iyileştirmesinde kullanılmaktadır. Zeminin düşey ve dik kenarlarını desteklemek, geçici ve kalıcı yollar ve otobanlar için sağlam tabanlar inşa etmek, zemin kanalları döşemek için kullanılmaktadır. Geotekstillerin, donatı, ayırma, filtrasyon, drenaj, yalıtım ve koruma fonksiyonları vardır.

Ayırma Fonksiyonu

Geotekstil, ince daneli zemin ile kaba daneli zemin ara yüzeyine yerleştirildiğinde ayırma fonksiyonu görür ve Böylece, üst yapıdan gelen yükü malzeme karışımını önlemiş olur.

Filtrasyon Fonksiyonu

Geotekstil, bir filtre gibi davranarak, suyun geçişine izin verir ama buna karşın belirlenmiş en küçük dane çaplı zemini tutar ve sürüklenmesine izin vermez. Eğer bu ince daneler geotekstil bünyesinde tutulursa, az geçirimli bir tabaka oluşur ve suyun akışı engellenir.

Drenaj Fonksiyonu

Geotekstiller zemine nazaran, çok geçirgendir. Drenaj amacı ile kullanılacak geotekstiller, kendi düzleminde yüksek geçirgenlik, basınca karşı yüksek dayanım ve iyi filtre özelliklerine sahip olmalıdır.

Koruma Fonksiyonu

Deformasyonu ve gerilmeyi azaltarak ya da yayarak istenilen malzemeyi korur.

Yalıtım fonksiyonu

Geotekstil, geçirimsiz bir tabaka oluşturmak için bitüm veya plastik yalıtım malzemeleriyle doygun hale getirilir. Bir çeşit membran görevi görür (Töremiş, 2003).

2.3. Lifler

Lif, doğal kaynaklardan elde edilen ya da insan eliyle üretilen, uzunluğu, bükülgenliği, esnekliği ve dayanıklılığı olan maddedir. Genel olarak doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Hayvan, bitki, mineral gibi doğal kaynaklardan elde edildiği biçimi ile doğrudan kullanılabilen maddeler doğal liflerdir. Yapay lif, aranan belirli özellikleri taşıyacak biçimde özel olarak geliştirilen ve bu amaçla insan yapısı olarak üretilen maddedir (Türker ve Balanlı, 1992).

Lif dayanımları ve elastisite modülleri genellikle aynı malzemenin büyük hacimli formuna göre çok büyüktür. Doğada lif formunda birçok malzeme vardır. Lifler geçmişten günümüze kadar uzun zamandır kullanılmaktadır. Örneğin kerpiçle yapılan evlerde kil hamuruna samanın karıştırılması bitkisel lif kullanımı, keten ve kenevir liflerinin alçı sıva yapımında, keçi kılı gibi hayvansal liflerin kullanıldığı görülmüştür (Acun, 2000).

Yapay lifler 19. yüzyılın sonlarında ortaya çıkmış olmasına rağmen, son 60 yıldır daha sık kullanılmaktadır. Liflerin çapları genellikle boylarına oranla küçüktür. Lif ilave

edilen malzemelere genellikle gevreklikten uzaklaştırarak sünekliği artırır ve donatı gibi hareket eder (Kurt, 2006).

2.3.1 Lif Çeşitleri

A-Doğal Lifler

A.1.Bitkisel Lifler

- Akwara
- Bambu
- Hindistan cevizi kabuğu
- Ketan, Kenevir
- Jüt
- Ahşap

A.2.Hayvansal Lifler

- Yün
- İpek
- Kıl

A.3.Madensal Lifler

- Asbest
- Metal Lifler
- Karbon

B-Yapay Lifler

B.1.Cam Lifi

B.2.Polimer Lifler

- Akrilik
- Aramid
- Naylon
- Polyester
- Polietilen
- Polipropilen
- Poliüretan (Kurt 2006).

2.3.1.1. Doğal Lifler

Bilinen en eski doğal lifler; saman keçi kılı ve at yelesidir. Doğal liflerin en önemli özelliği, kolay temin edilebilmesi, doğaya zarar vermemesi ve maliyetinin düşük olmasıdır. Olumlu özelliğinin yanı sıra lifler alkali ortamda özelliklerini yitirme eğilimindedirler (Kurt, 2006).

Doğal Liflerin Özellikleri:

- Su ile temaslarında suyu emerler.
- Sıcaklık etkisine duyarsızdırlar ve boyları değişmez.
- Donmaya karşı dayanıklıdır.

Bitkisel Lifler

Bitkilerden elde edilen doğal liflerdir. Birçok çeşidi vardır.

Akwara: Bitki sapından elde edilir. Nijerya'da bol miktarda bulunur. Akwara lifi alkali ortamdaki fazla etkilenmezler nemli ve kuru ortamda daha dayanıklı olurlar. Olumsuz özelliği ise elastisite modülünün düşük olmasıdır (Shah, 1995).

Bambu Lifleri: Tropikal iklimin olduğu yerlerde yetişirler. 15 m. yüksekliğe kadar büyüyebilirler. Bambu lifleri zeminde donatı gibi davranıp çekme dayanımı verir. elastisite modülü düşüktür. Bambu liflerin suyu çekme özelliğinden dolayı dayanımı düşük olur (Shah, 1995).

Hindistan Cevizi Lifleri: Olgunlaşmış hindistan cevizinin kabuk kısmı sert, lifli bir yapıdadır, lifler kabuktan suda bekletilerek ya da mekanik etkilerle ayrılır. Lifler yaklaşık 5-35 cm uzunluğundadır. Hindistan cevizi lifleri yüksek lignin içeriği nedeniyle, sudaki bozulması diğer doğal liflerden çok daha yavaş gerçekleşir. Lif ıslandığında da çekme dayanımının çoğunu korur. Hindistan cevizi lifleri düşük elastisite modülüne sahiptir ve sıcaklık-nem değişikliklerine karşı duyarlıdır (Shah, 1995).

Keten ve Bitki Lifleri: Çekme dayanımları ve elastisite modülleri yüksektir. Keten lifler çoğunlukla bitki saplarından çıkarılırlar (Shah, 1995).

Jüt Lifleri: Sadece kendir kabuğundan elde edilir. Çin, Hindistan ve Tayland bölgelerinde sık görülür. Bu kabuk suda bekletildiğinde suyu içine çeker ve lifler gevşer, gevşeyen lifler el ile ayrılır ve kurutulur. Jüt bitkileri çekmeye karşı diğer doğal liflere kıyasla daha dayanıklıdır (Shah, 1995).

Ahşap lifleri: En çok kullanılan doğal lif türüdür. Temini kolaydır ve çekme dayanımı yüksektir. Alkali ortamda yapısının bozulması dezavantajdır. Ahşap liflerin

yapısında selüloz, ve lignin vardır. Yapısında sadece selüloz bulunan liflere göre selülozun yanında lignin varlığı lifin elastisite modülünü artırmaktadır (Shah, 1995).

Madensel Lifler

Asbest: İnorganik yapılı doğal liftir. Asbest su ve gazları geçirmez (Türker ve Balanlı 1992).

Metal Lifleri: Metal lifler karbon çeliği ya da paslanmaz çelikten yapılırlar; Metal liflerin elastisite modülleri yüksektir. En uzun olanı 75 mm'yi geçmemektedir (Shah, 1995).

Karbon Lifler: Karbon lifinin özellikleri kullanılan hammadde, üretim aşamaları ve işlem sıcaklığı ile belirlenmektedir. Karbon lifleri, 40 yıllık bir gelişim süreci ve özel kullanım alanı bulmaları sayesinde ticari olarak üretilmeye başlamıştır. Poliakrilnitril lifleri, bitkisel esaslı hammaddeler, katran tortusu ve zift, polivinildenklorür veya polivinildenklorür kopolimerlerinden elde edilen karbon liflerinin özellikleri, hammadde ve işlem koşullarına bağlı olmaktadır (Yaman, 2006).

2.3.1.2. Yapay Lifler

Cam Lifi

Camdan iplik üretimi eski zamanlara dayanır. Rene Ferchault de Reaumur 18. Yüzyılda cam lifi üretmiş olsada fabrikasyon yapımı cam lifleri 19. Yüzyılın başlarında başlamıştır(Özdemir, 2006). Cam lifi hammaddesi cam olan, sert, korozyona dayanıklı ve fazla tepkimeye girmeyen hafif ve ucuz bir malzemedir. Cam lifinin bu özellikleri birçok alanda fazlaca kullanılıp tercih edilmiştir. Cam lifi yüksek dayanıma sahip bir malzemedir ve birçok çeşidi vardır. Farklı cam liflerinin elastisite modelleri farklıdır fakat genelinin dayanımı yüksektir (Barbero, 1999).

Cam liflerinin fiziksel özellikleri genel olarak aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Yüzeyleri şeffaf ve düzdür. Yuvarlak kesitlidirler.
- Çapları 0.002-0.013 mm arasında değişmektedir.
- Mukavemetleri yüksektir
- Yaklaşık 2.5-2.7 g/cm³ yoğunluğundadır (Harmancıoğlu, 1981).
- Yapısında %0.13-0.8 oranlarında nem bulunur (Seventekin, 2001).
- Yanmazlar, yaklaşık 1150 °C'de erirler.
- Hidroklorik asit ve fosforik asit dışında asitlerden etkilenmeyip, baz çözeltileri ve derişik bazlar yapısını bozabilir.
- Elektrik iletkenlikleri yoktur (Yüksek, 2011).

Cam lifi çeşitleri:

A-Tipi Cam Lifi: Bor ilaveli veya ilavesiz alkali-kireç camlarıdır. Mukavemet, stabilite ve iyi elektriksel dayanımın gerekli olmadığı durumlarda soda kireç silikat camlarının kullanımıyla üretilmektedir.

C- Tipi Cam Lifi: Korozyon asidik koşullara karşı kimyasal stabilite sağlayan kalsiyum borosilikat camlarından oluşmaktadır. Hem asitler hem de alkaliler olmak üzere kimyasallara karşı dayanımları oldukça iyidir.

D- Tipi Cam Lifi: Elektriksel uygulamalar için düşük dielektrik sabitli borosilikat camlarından oluşmaktadır.

E- Tipi Cam Lifi: Sentetik liflerin takviyesinde ve yüksek mukavemet ve elektrik dayanımı gereken durumlarda kullanılmaktadır. Asitlere, alkalilere ve diğer kimyasal maddelere karşı dayanıklı olduklarından kimya sanayinde filtre yapımında geniş oranda kullanılmaktadırlar.

ADVANTEK Tipi Cam Lifi: E- Tipi cam lifi maliyetinde, ECRGLAS türünün sahip olduğu avantajların çoğunu sağlayan kalsiyum alüminosilikat camından oluşmaktadır.

ECRGLASS Tipi Cam Lifi: Mukavemet, elektriksel dayanım ve asidik korozyon dayanımı için tasarlanmış max. %2 alkali içeren kalsiyum alüminosilikat camlarından oluşmaktadır.

AR-GLASS Tipi Cam Lifi: Alkali zirkonyum silikatların alkali dayanımlı camların karışımı kullanılmaktadır.

R Tipi Cam Lifi: Asidik korozyon dayanımı ve mukavemet istendiği durumlarda kalsiyum alüminosilikat camlarının kullanılmasıyla oluşan türdür.

S-2 Tipi Cam Lifi: S-2 tipi yüksek dayanımlı cam lifleri alüminyum silikatların yüksek sıcaklıktaki karışımlarından oluşan, incelikleri 5-27 µm arasında değişen liflerdir. Silikat cam liflerinin birçoğu tekstil ve kompozit endüstrisi için üretilmektedir (Advanced, 2003).

M-tipi Cam lifleri: Elastisite modülleri yüksek berilyum içeren camlardır.

Z-tipi Cam lifleri: Betonların takviyesinde kullanılan, çimento ile birlikte kullanılabilen cam lifleridir (Seventekin, 2001).

Üretim Aşaması

Cam lifi üretim aşaması aşağıdaki gibi gerçekleşir.

- Hammaddelerin oranları doğrultusunda karıştırılması,
- Camın ergitilmesi,

- Liflerin çekilmesi,
- Bağlayıcı madde konulması,
- Proses sonrası işlemler.

Hammaddelerin homojen olarak karıştırılması:

Cam lifi üretme aşamasında ilk olarak cam lifi yapımında kullanılan hammaddeleri temin edilmelidir. Bu maddeler genellikle kalker, silis kumu, soda külü, feldispat boraks, kalsine, manyezit alümina, siyenit, ve kaolin kil içerebilir. Daha sonra istenilen lif tipine göre tasarlanan oranlarda bu karışım maddeleri öğütülerek homojen bir karışım sağlanır. Bu işlemler harmanlama makinelerinde uygun şekilde yapılmaktadır.

Camın Ergitilmesi:

Ergitme işlemi 3 aşamadan oluşur. İlk aşamada, gelen maddeler sıvı hale geçirilir. İkinci aşama yapısında bulunan CO₂ ve SO₂ gazlarının buhar verilerek çıkarılması ve saflaştırılmasıdır. Eğer bu gazlar uçurulmadan camın içinde kalmasına izin verilirse, çekilen elyaflarda boşluk oluşmasına neden olur. Üçüncü aşama ise camda üniform bir kompozisyon sağlanması için Homojenizasyon uygulanır.

Lif Çekilmesi:

Lifler bushing makinesi kullanılarak çekilir. Bushingden makinesini çapları 5-20 mm boyutları arasında olacak şekilde lif çekebilmek için bushing makinesinde en az 300, en fazla 4800 delik vardır. Deliklerin çapı küçük olursa yüzey gerilimi azalır ve böylece daha küçük çaplarda elyaf çekilebilir. Bushinglerden elyaf çekilebilmesi için akan camın belli bir viskoziteye sahip olması gerekir. Lif çekilebilmesi için fırındaki cam yüksekliği, lifin sarılma hızı, delik çapları, sıcaklık gibi özellikler çok önemlidir.

Bağlayıcı Uygulaması:

Çekilen lifler önce suya konularak soğutulur. Bunun nedeni bağlayıcı maddenin elyafla daha kolay etkileşim gösterebilmesidir. Bağlayıcı madde, cam lifinin fiziksel özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Cam lifi ve bağlayıcı ne kadar uyumlu olursa kadar yüksek performans alınır. Lif tipleri bu aşamada farklı bağlayıcıların kullanılmasıyla belirlenir. Bağlayıcı uygulamasının ardından lifler sarılır ve kurutulur.

Proses Sonrası İşlemler:

Sarma işleminden sonra elde edilen direk sarma bobinleri herhangi bir proses sonrası işlem uygulanmadan paketlenerek kullanıma hazır hale gelir (SUK).

Kullanım Alanları

Cam lifinin genel kullanım alanları aşağıdaki gibidir.

- Uçak ve uzay sanayi
- Çeşitli alet ve ekipmanlar
- Konstrüksiyon
- Korozyona dayanıklı ürünler
- Fiber optik kablolar

Polimer Lifler

Petrokimya ve tekstil endüstrisinde yapılan araştırmalar ve gelişmeler sonucu sentetik polimer lifleri üretilmiştir. Sentetik polimerik liflerin başlıcaları; akrilik, polipropilen, naylon, polietilen, aramid, polyester ve perlondur. Hepsinin de çok yüksek çekme dayanımları vardır. Fakat bu liflerin çoğu (aramid hariç) düşük elastiklik modülüne sahiptirler. Polimer liflerin kalitesi, çap ve uzunluk oranlarına bağlıdır. Çapları mikron düzeyindedir.

Akrilik: Lifler, %85 oranında akronilit özellik gösterirler. diğer polimer liflere göre (aramid hariç) daha yüksek elastiklik modülüne sahiptirler.

Aramid: elastisite modülü yüksek çekme ve eğilme davranışı gösterirler. Maliyeti yüksek olan bir lif türüdür.

Naylon: Naylon 6'dan üretilirler 19 mm uzunluğunda ve çapları küçüktür.

Polyester: lif yapısı etil asetat monomerlerinden oluşur. Üretim aşamasında olan farklılıklar fiziksel ve kimyasal özelliklerinin farklı olmasını sağlar. Elastisite modülleri yüksektir.

Polietilen: lifler uzunlukları genellikle 12-50 mm arası değişir, Lif hamuru formunda bulunurlar

Polipropilen: Hem tekil hem de hamur biçiminde bulunurlar. Uzunlukları 3-50 mm arası değişir (Shah, 1995).

2.4. Kil Zeminler

Killer kayaların aşınmasıyla oluşan, gözle görülemeyecek kadar küçük çapta olan kristalimsi yapıda malzemelerdir. Kil minerali yapısında temel olarak iki kristal yapı vardır. Bunlardan birincisi silika tetrahedron ikincisi ise alümina oktahedron'dur. Merkezde silisyum köşelerde ise oksijen iyonlarından oluşan silika tetrahedron düzgün dörtyüzlüdür. Alümina oktahedronun merkezinde alüminyum iyonu köşelerde ise oksijen iyonu bulunmaktadır. Oktahedron yapısındaki katyonların yer değiştirmesiyle farklı kil

mineralleri oluşur, fakat kristal yapı değişmez. Kil yapısında, feldspat kuvars ve kalsit gibi maddeler ek olarak bulunabilir.

Alümina veya magnezyum oktahedron yapı ise, merkezinde alüminyum iyonu, köşelerde oksijen ya da hidroksil iyonları bulunan düzgün sekizyüzlü şeklindedir. Düzgün sekizyüzlülerin birer yüzeyleri aynı düzlem üzerinde kalacak şekilde köşelerinden birleşmesiyle “oktahedron tabakası” ya da diğer adıyla “alümina tabakası oluşmuştur. Kristal yapılarının farklı olmasından ötürü kil mineralini 4 gruba ayırmak mümkündür.

1. Kaolinit kil minerali

Kaolinit kili dane büyüklüğü illit ve montmorillonit kiline göre daha büyüktür. Kohezyon plastiklik ve şişme özellikleri diğer kil kristallerine göre daha azdır. Dane çapının büyük olmasından ötürü diğerlerine oranla içsel sürtünme açısı daha büyüktür. Özgül yüzeyleri yaklaşık $10 \text{ m}^2/\text{gr}$, özgül ağırlıkları $2.60\text{-}2.68 \text{ gr}/\text{cm}^3$ arasındadır. (Çetin, 2003).

2. Montmorillonit kil minerali

Montmorillonit kil daneleri alt ve üst katmanda iki silis ortada gibsit tabakalarından oluşan ve bu tabakaların birbirine oksijen bağlarıyla bağlanmış olan bir kristal yapıdır. Kil zeminin dane çapları $0,00001\text{-}0,002 \text{ mm}$ arasında değişkenlik gösteren likit limit değeri $110\text{-}700$ arasında olan özgül yüzeyi $800\text{m}^2/\text{g}$ 'a kadar ulaşabilen geniş şişme potansiyelli bir kil türüdür. Zemin tanelerinin çok küçük olmasından ötürü içsel sürtünme çok düşüktür (Vural, 2012).

3. İllit grubu

Yapısı bakımından montmorillonit kiline benzemesine rağmen çapları daha büyük yüzey alanı montmorillonite göre daha küçüktür. Likit limiti $60\text{-}120$ arasında olan ve montmorillonit kil grubuna göre daha az şişme ve büzülme davranışı gösteren illit kili pul biçimindedir (Vural, 2012).

4. Klorit kil minerali

Kloritlerin yapısı brusit ve mika katmanlarının oksijen bağlarıyla bağlanması sonucu oluşmuştur. Genellikle aktüel zeminler sedimenter kayaların ayrışması sonucunda meydana gelirler (Ünver, 2015).

2.4.1. Zeminlerin Şişme Potansiyeli

Şişme potansiyeli laboratuvarında belli şartlarda sıkıştırılmış veya örselenmemiş bir zemin numunesinin belirli sabit ve küçük bir sürsaj yükü altında sıfır yanal deformasyon durumunda ödometre aletinde suya doymuş hale gelinceye kadar maruz kaldığı düşey şişme miktarının, numunenin ilk kalınlığına oranının yüzdesi olarak ifadesidir. Bu değer sıfır yanal deformasyon şartlarında aynı zamanda hacimsel artış yüzdesidir.

2.4.2 Şişme Basıncı

Şişme basıncı deneyi şişme potansiyeli deneylerinde kullanılan aletlerle yapılır. Hazırlanan numune kalıbına su konulur. Su konulmasından kaynaklanan hacimsel değişime engel olmak için numune üzerine basınç uygulanır. Şişmeyi önlemek için uygulanan bu basınca şişme basıncı denir. Zeminlerin kendilerine özgü şişme basıncı değerleri vardır ve bu değer kil zeminin kuru birim hacim ağırlığına bağlıdır.

Şişme basıncının bulunması için ikinci bir yöntemde zeminin tamamen şişmesine izin verilip şişmenin tamamlanmasının ardından zemini tekrar eski hacmine getirebilmek için uygulanan basınçtır. Bu işlem sırasında zemine 25 kPa civarında yük uygulanır. Şişme basıncı önceden belirlenerek zeminlerin şişmesinden kaynaklanan yapı hasarlarının engel olunabilir.

2.5. Zeminlerin şişme davranışı ve buna etkiyen faktörler

İnce daneli kohezyonlu zeminler dünyanın pek çok yerinde geniş yer kaplar. Suya doymuş olmayan bu zeminler su ile temas ettiğinde zeminlerde şişme meydana gelir. Meydana gelen şişme davranışı yapılar da hasar meydana getirir. Bu hasarların meydana gelmemesi için zeminin şişme potansiyeli, şişme basıncı ve bunlara etkiyen faktörlerin önceden bilinmesi önem taşımaktadır.

2.5.1. Zeminin ihtiva ettiği kil yüzdesi ve mineralojik yapısı

Zeminde bulunan çapları 0,002 mm ve daha küçük danelerin tüm zeminde bulunma miktarı kil yüzdesi olarak ifade edilir. Kil yüzdesi fazla olan zeminler yüzey alanı-hacim ilişkisinden kaynaklı daha çok suyu tutma eğilimine sahiptir.

Zeminlerin mineralojik yapısı zeminlerin şişme özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Kil mineralleri anyon ve katyonları çekme ve onları değişebilir bir durumda tutma özelliğine sahiptir. Değişebilir iyonlar, silica-alumina kil mineralinin dış yüzeyinde tutulur ve değişme reaksiyonu gerçekleşir. Kil mineralinde en çok değişebilme

özelliğine sahip katyonlar Ca^{++} , Mg^{++} , H^+ , K^+ , NH_4^+ , Na^+ 'dir. Bu tür yüklerin varlığı, kilin çözültiden iyonları çekebilme yeteneği olduğunu gösterir. Kil minerali yapısı gereği katyonları anyonlara göre daha fazla çeker bu yüzden kil mineral yüzeyinde negatif yüklerin daha fazla olduğu düşünülür (Genç, 2009).

5.5.2. Başlangıç su muhtevası ve doygunluk derecesi

Zeminlerin şişmesi için zemin içinde bulunan suyun miktarında artış olmalıdır. Plastik limit durumunda ya da daha yüksek su muhtevası olan zeminler kuru zeminlere oranla daha az şişer.

Kassiff (1971) yaptığı çalışmada zeminin başlangıç su muhtevasında meydana gelen artışın zeminin şişmesinde ve şişme basıncında düşme olduğunu gözlemlemiştir. Chen (1975) ise yaptığı deneyler çalışmada sabit birim hacim ağırlığında sıkıştırılmış zeminlerin hacimsel şişmelerinin su muhtevasının artması ile azaldığını belirtmiş ama şişme basıncını etkilemediği sonucuna ulaşmıştır.

2.5.3. Kuru birim hacim ağırlığı ve dane yerleşimi

Kuru birim hacim ağırlığın büyük olması ve taneler arası kapalılığın açılması geniş şişmeye neden olur. Toplu halde bulunan zemin daneleri yayılmış halde bulunan danelere göre daha fazla şişer. O halde fazla sıkışmış zeminlerin daha fazla şiştiğini söylemek mümkündür. Su muhtevasını sabit tuttuğumuzdan kuru birim hacim ağırlığın artması şişmenin ve şişme basıncının artmasına neden olur.

2.5.4. Sürsaj Basıncı

Sürsaj zemine gelen ilave yüküdür. Sürsaj basıncının artması şişme miktarını azaltır. Ağır ve rijit çerçeveli olmayan hafif yapılar şişme deformasyonlarından daha fazla etkilenir.

2.5.5. Kompaksiyon etkisi

Sıkıştırılmış zeminlerde zemine uygulanan enerji, yöntem, zeminde bulunan su miktarı (su muhtevası) zeminin şişme miktarını etkiler. Yüksek şişme potansiyeline sahip zeminlerin optimum su oranından daha yüksek bir oranda ya da daha düşük bir kuru birim hacim ağırlıkta sıkıştırılırsa zemin fazla şişme göstermemektedir.

2.5.6. Şişen zemin tabakasının kalınlığı ve derinliği

Şişen zeminin derinliği ne kadar fazla olursa şişme miktarı o kadar artar. Fakat derinlere inildikçe su muhtevası değişimi azalacağı için şişme miktarı daha az olacaktır.

2.5.7. Permeabilite

Zeminlerin Permeabilitesi ve süresi şişme potansiyelini etkileyen önemli faktördür.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kullanılan Kil Zemin

Deney sürecinde kullanılan kil zemin Ticari bir firmadan temin edilmiştir. %100 oranında ince taneli zemin bulunan doğal su muhtevasında numuneler 25 kg'lık çuvallarda öğütülmemiş bir biçimde gelmiştir. Doğal su muhtevasında bulunan kil zeminler etüvde 60 °C sıcaklıkta 1 gün boyunca bekletilerek kurutulmuştur (Şekil 3.1). Kurutulan numuneler kil öğütme makinesinde öğütülerek küçük daneler haline getirilmiştir (Şekil 3.2). Deneylerde kullanılan kil zeminin, zemin sınıflandırmasını belirlemek için zeminde elek analizi, hidrometre ve kıvam limit deneyleri yapılmıştır. Kil zemin üzerinde yapılan deneylerin tümü Konya Teknik Üniversitesi Müh. ve Doğa Bil. Fak. İnş. Müh. Böl. Geoteknik Laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 3.1. Etüvde kurutulmuş doğal kil zemin



Şekil 3.2. Öğütülmüş kil zemin

3.1.2. Cam lifi

Deneylerde kullanılan cam lifi bir firmadan temin edilmiştir. Cam lifi hammaddesi cam olan, sert, korozyona dayanıklı ve fazla tepkimeye girmeyen hafif ve ucuz bir malzemedir. Farklı uzunluklarda cam lifleri üretilir. Deneyde kullandığımız cam lifinin uzunluğu 12 mm olarak seçilmiştir (Şekil 3.3).

Kullandığımız cam lifinin teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

Cam lifinin teknik özellikleri:

Çekme dayanımı 3400 Mpa

Elastisite modülü: 77 Gpa

Uygulanabilir sıcaklık değerleri -60°C - +650 °C

Ergime sıcaklığı: 1120 °C

Özgül ağırlık 2.60 gr/cm³

Elyaf çapı 13-15 mikron



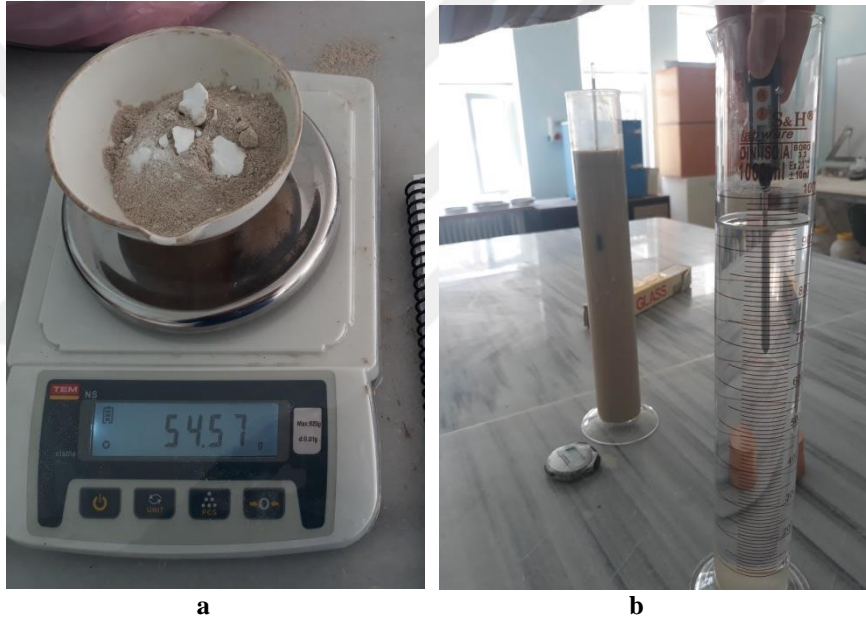
Şekil 3.3. Deneyde kullanılan cam lifi

3.1.3. Elek Analizi Deneyi

Kil zemin sınıfının belirlenmesi için ilk olarak elek analizi deneyi yapılmıştır. Deney ASTM D6913 standardına göre yapılmıştır. Elek analizi deneyinde elekler yukarıdan aşağı sırasıyla 4 no'lu elekten başlanarak 200 no'lu eleğe kadar yerleştirilmiştir. Yıkamalı analiz ile 500 gr kil zemin 4,76 mm çapındaki elekten elenerek sırasıyla bütün eleklerde kalan ve geçen yüzdelere hesaplanmıştır. Deney sonucunda grafikte görüldüğü gibi zeminin %100'ü 200 no'lu elekten geçmiştir. 200 No'lu elekten geçen zeminin tane çapını belirlemek için ıslak analiz deneyi yapılmıştır. Islak analiz deneyinde hidrometre yöntemi kullanılmıştır.

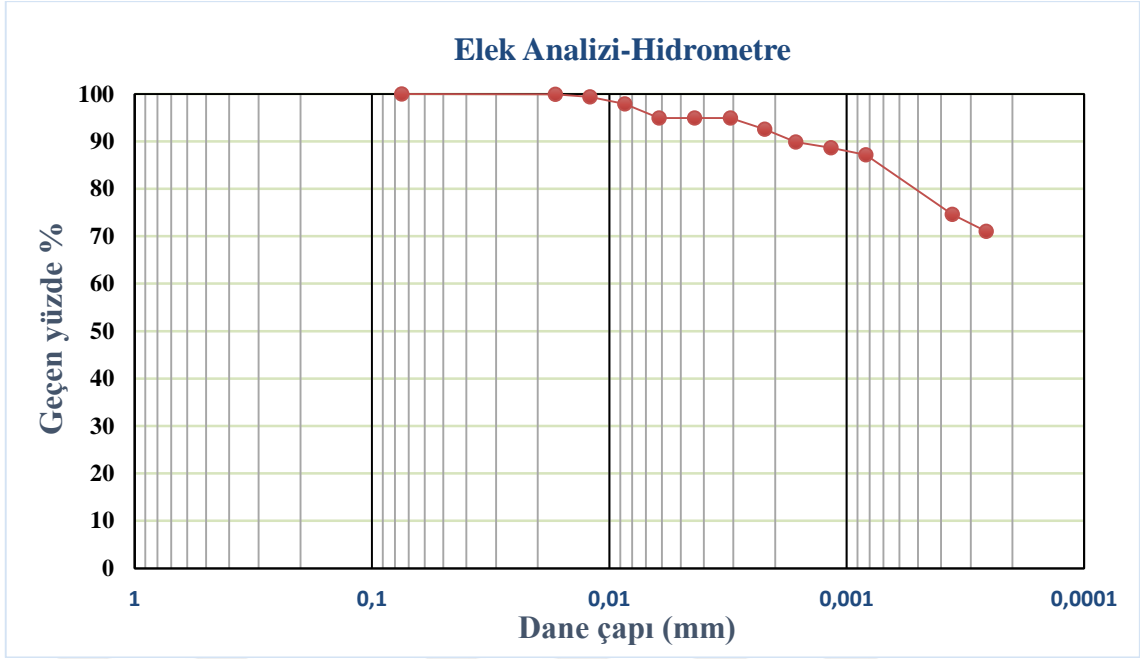
3.1.4. Hidrometre Deneyi

0,074 mm çaplı elekten geçen kurutulmuş zeminden 50 gram alınmıştır. 50 gram kil zemin içine 5 gram sodyum heksametafosfat dağıtıcı madde ilave edilerek 1000 ml'lik bir süspansiyon hazırlanmıştır (Şekil 3.4.a). Hazırlanan süspansiyon oda sıcaklığında bekletilerek belirli sürelerde hidrometre okumaları yapılmıştır (Şekil 3.4.b). Deneyin ortam şartlarının sabit kalmadığı düşünülerek deneyde bazı düzeltmeler yapılır. Örneğin kullanılan hidrometreler belirli bir sıcaklıkta kalibre edilirler, ortamın sıcaklığı bu sıcaklıkla aynı olmadığı durumlarda sıcaklık düzeltmesi, zemine dağıtıcı madde ilavesi süspansiyonun yoğunluğunu artırır, süspansiyon yoğunluğu değişiminden kaynaklanan etkiden dolayı dağıtıcı madde düzeltmesi ve meniskus düzelmesi yapılmıştır.



Şekil 3.4 (a) Kil zemine sodyum heksametafosfat eklenmesi
(b) Hidrometre deneyi

Hidrometre okuması sonucu deney sonuçları şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Elek analizi ve hidrometre deney sonuçları

3.1.5. Piknometre Deneyi

Zeminin tane yoğunluğunun (ρ_s) belirlenmesi için piknometre kabı kullanılır. Kabın darası (M_1) tartılır. Kaba bir miktar kuru zemin ekleyerek kap ve zemin (M_2) tartılır. Kil bulunan kaba bir miktar su eklenip karıştırılıp çözelti elde edilir. Elde edilen çözeltinin içindeki havayı çekebilmek için vakumlama işlemi uygulanır (Şekil 3.6). Kap tamamen su ile doldurulduktan sonra kap + zemin + su karışımı (M_3) tartılıp yazılır. Son işlem olarak çözelti piknometre kabından tamamen boşaltılarak kabın içine su doldurulup tartılır ve denklem 3.1’de yerine koyarak gerekli işlemler yapılır ve zeminin tane yoğunluğu belirlenir. Piknometre deney sonucu çizelge 3.1’ de verilmiştir.

$$\rho_s = (M_2 - M_1) / [(M_4 - M_1) - (M_3 - M_2)] / \rho_{su} \quad (3.1)$$

Çizelge 3.1 Piknometre deney sonuçları

M1=şişe (g)	M2=şişe+kuru zemin (g)	M3=şişe+kuru zemin+su (g)	M4=şişe+su (g)	ρ_s (g/cm ³)
38,31	52,68	148,34	139,49	2,60



Şekil 3.6. Piknometre deneyinde vakumlama işlemi

3.1.6. Kıvam Limit Deneyleri

Kıvam, ince taneli zeminlerin yapısında bulunan farklı su içeriklerine göre farklı fiziksel özellik göstermesini anlatan bir ifadedir. İnce taneli kohezyonlu zeminler yapısında bulunan su miktarına göre sert, yumuşak ya da viskoz durumlarda olabilir. İnce taneli zeminlerin su içeriğindeki farklılığa göre gösterdiği şekil davranışlar bazı kavramlarla anlatılır.

Bu kavramlar;

Rötre limiti: Zeminin suya tam doygun olduğu en düşük su içeriğidir. Veya zemin su kaybetmeye devam ettiğinde büzülme davranışında artık bir değişikliğin olmadığı su içeriğidir.

Plastik limit özelliği: Zemine su ilave edilmesiyle zeminin kopmadan şekil alabileceği değer plastik limit olarak ifade edilir. Plastik limit deneyi zemine farklı miktarlarda su ilave edilerek birden fazla numune hazırlanıp pürüzsüz bir yüzeyde elimizin iç kısmını kullanarak 3 mm inceliğine geldiğinde kopmaların ve çatlamların olduğu su içeriğidir. Deney ASTM D 4318-98 standardına uygun bir şekilde laboratuvarında yapılmıştır.

Likit limit: Likit limit zeminin kendi ağırlığı altında akmaya başladığı en düşük su içeriğidir. Deney ASTM D 4318-98 standardına uygun laboratuvarında iki farklı yöntemle yapılmıştır. Bunlardan birincisi Casagrande yöntemi, ikincisi Koni penetrasyon yöntemidir.

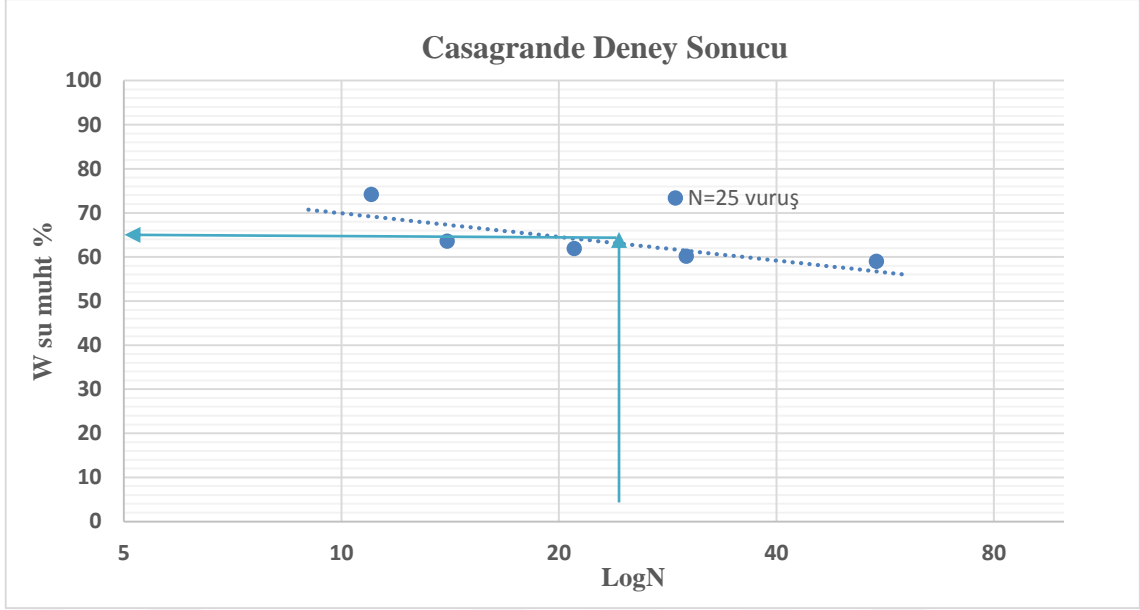
Casagrande Deneyi:

Deney ASTM D 4318-98 standardına göre yapılmıştır. 600 gram 0.425 mm'den elenmiş kil üzerine farklı miktarlarda su ilave edilerek karıştırılıp yoğrulmuştur. Yoğrulan karışımlarda her yeni su ilavesinden önce bir miktar zemin alınarak yani her parçanın su miktarının farklı olması sağlanarak karışım 5 parçaya ayrılmıştır. Ayrılan zeminler 1 gün boyunca desikatörde muhafaza edilmiştir. Bir gün bekletildikten sonra zeminler üzerinde Casagrande deneyleri yapılmıştır.

Casagrande yönteminde likit limit, yarım küre biçiminde pirinç bir kap içine zemin boşluk kalmayacak biçimde yerleştirilmiş ve orta kısmına bir oyuk açılmıştır. Pirinç kabın 10 mm yükseklikten belli bir hızla düşürülmesiyle vuruşlar yapılmıştır. Yapılan vuruşlar sonrasında pirinç kabın ortasında bulunan boşluğun yaklaşık 10 mm birleşmesiyle deney sonlandırılmıştır (Şekil 3.7.a- Şekil 3.7.b). Daha sonra kabın içinden bir miktar zemin alınıp tartılıp 100 °C etüvde bir gün bekletilmiştir. Deney bu şekilde su muhtevası farklı 5 farklı numune üzerine uygulanarak tekrar edilmiştir. Etüvden çıkarılan kuru numunenin ağırlığı tartılıp su muhtevası belirlenmiştir. Su muhtevası- logaritmik eksenli vuruş sayısı grafiği çizilmiştir. Çizilen grafikte 25 vuruşa karşılık gelen su muhtevası zeminin likit limitini belirlenmiştir (Şekil 3.8).



a **b**
Şekil 3.7.(a)- (b) Casagrande deneyi ile likit limitin belirlenmesi



Şekil 3.8. Likit limitin belirlenmesi (25 vuruşa denk gelen su muhtevası değeri)(N: vuruş sayısı)

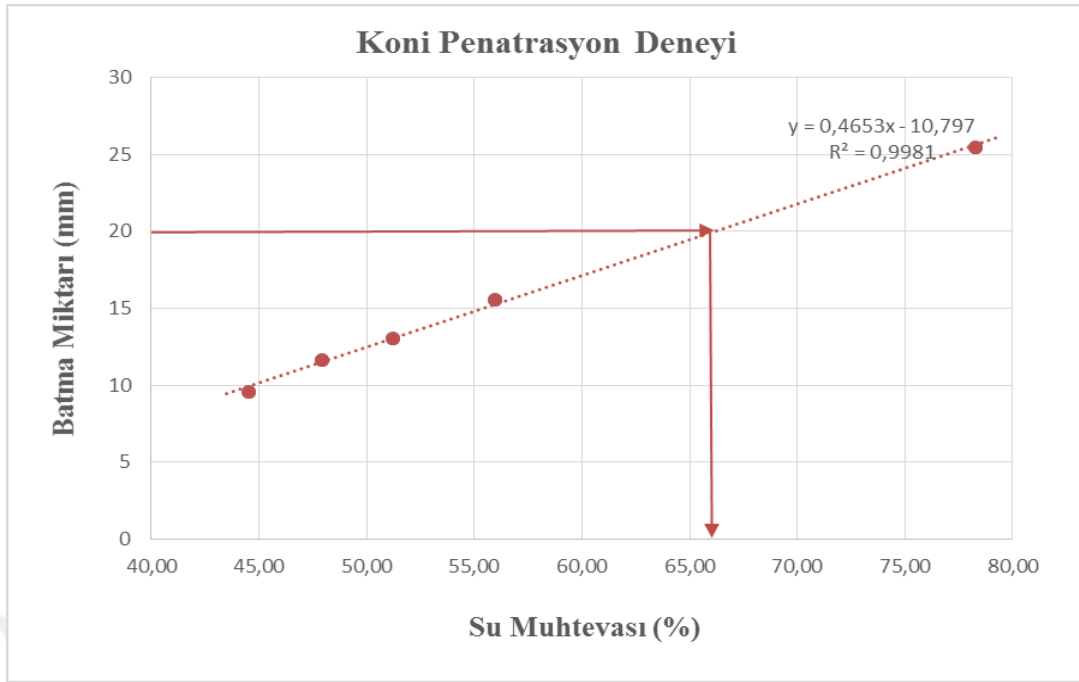
Koni Penetrasyon Deneyi:

Koni penetrasyon deneyinde bir miktar zemin alınmıştır ve 5 farklı su içeriklerinde numuneler hazırlanıp desikatörde 1 gün bekletilip deneye tabi tutulmuştur. Hazırlanan numuneler küçük silindir kaplara boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Yerleştirilen numuneler 80 gram ağırlığında konik bir ucun zemin üzerine düşürülüp 5 saniye süre ile batma miktarları not edilmiştir (Şekil 3.9). Deneye tabi tutulan kaplardan bir miktar zemin numunesi alınarak etüvde 1 gün boyunca kurutulup daha sonra tartılmıştır.

Deney sonucunda 20 mm'lik batma miktarına karşılık gelen su muhtevası zeminin likit limit değeri olmuştur. Sonuçlar şekil 3.10'de verilmiştir.



Şekil 3.9. Koni penetrasyon deneyi



Şekil 3.10 Koni penetrasyon deney ile likit limitin belirlenmesi

Yapılan deneyler sonucunda kil zeminin kıvam limit değerleri ve zemin sınıfı Çizelge 3.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Zemin özellikleri

Likit limiti (LL)	%66
Plastik limit (PL)	%28
Plastisite indisi (PI)	%38
Zemin sınıfı	CH
Zemin cinsi	%100 kil

3.1.7. Kompaksiyon Deneyi

Nemli zemin tabakasının içinde bulunan boşlukların çeşitli yöntemler kullanılarak azaltılması işlemidir. Kompaksiyon deneyinde zemin sıkıştırılarak içindeki havanın dışarı çıkarılması sağlanır. Kompaksiyon deneyi farklı su muhtevalarında kompaksiyon uygulanarak yapılır, sonucunda zeminin optimum su muhtevası ve maksimum kuru yoğunluğu belirlenir. Kompaksiyon deneyinde optimum su muhtevasına kadar olan kısımda su miktarının az olmasından kaynaklı zemin daha az boşluklu olmaktadır fakat zemin taneleri arasında bulunan içsel sürtünmeden kaynaklı zemin yeterince iyi yerleşmemektedir. Optimum su muhtevasından sonraki kısımda ise zeminde bulunan su miktarının fazla olması zeminin daha az sıkışmasına neden olur. Zemin optimum durumda daha sıkıdır ve dayanımı daha yüksek olur.

Kompaksiyon deneyi standart proktor deney aleti kullanılarak yapılmıştır. Standart proktor deney aleti iki kısımdan oluşur. Birinci kısım metal kap, ikincisi ise tokmaktır. Metal kap 115 mm yüksekliğinde, 105 mm çapında ve yaklaşık 1000 ml hacmindedir. Tokmak; 2.5 kg ağırlığında 305 mm yüksekliğinde ve yaklaşık 6058.00 (g \cdot cm/cm³) Enerji kapasitesine sahiptir.

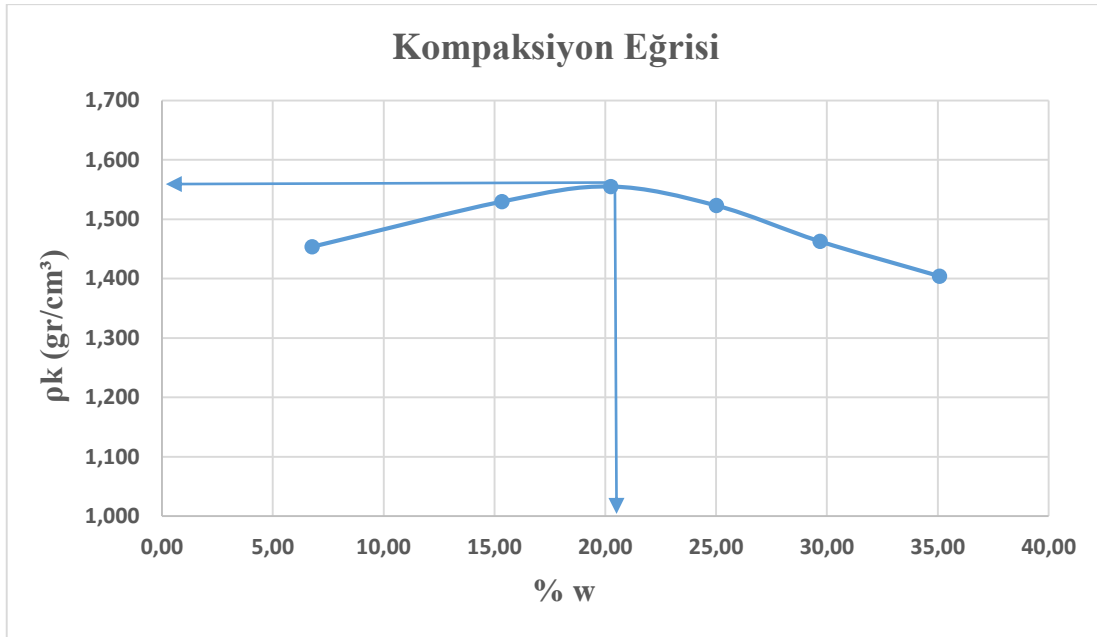
Kompaksiyon işlemine başlamadan metal kabın ağırlığı belirlenir. Metal kaba zemin 3 tabaka halinde her tabakada 25 vuruş yapılarak sıkıştırılır (Şekil 3.11.a). Sıkıştırma işleminden sonra metal kap içinde bulunan zeminle birlikte tartılır (Şekil 3.11.b). Daha sonra sıkıştırılan zeminden bir miktar alınıp etüvde kurutulup tartılır. Tüm bu işlemler sonucunda örneklerin su içeriği belirlenerek zeminin optimum su muhtevası değeri belirlenmiştir (Şekil 3.12).



a

b

Şekil 3.11.(a) Kompaksiyon deneyi
(b) Kompaksiyon kalıbının tartılması işlemi



Şekil 3.12 Kompaksiyon deney sonucu su muhtevası yüzdesi-kuru yoğunluk grafiği

Kil zeminin optimum su muhtevası ve maksimum kuru yoğunluk değerleri çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Zemin özellikleri

Tane özgül yoğunluğu (Gs)	2.60
Maksimum kuru birim hacim ağırlığı	1.57 (gr/cm ³)
Optimum su muhtevası (%)	21

3.2. Yöntem

3.2.1. Kil-Cam Lifi Numunelerinin Hazırlanması

Etüvde kurutup öğüttüğümüz kil zemine, zemin kuru ağırlığının %0, %0.25, %0.5, %0.75, %1.0, %1.25, %1.5 oranlarında cam lifi eklendi. Kullanılan cam lifinin uzunluğu 12 mm'dir. Cam lifi zemine homojen olarak dağıtılarak karıştırılmıştır (Şekil 3.13.a- Şekil 3.13.b). Cam lifinin zemine ilavesinden sonra eklenecek su miktarı, kompaksiyon deneyi sonucu elde edilen optimum su muhtevası değerine göre belirlenmiştir. Optimum su muhtevasında hazırlanan bu karışım standart proktor deneyi yapılarak sıkıştırılmıştır.

Serbest basınç ve kesme kutusu deneyleri iki durum için değerlendirilmiştir.

Birinci durumda zeminler belirlenen oranlarda karışımlarda optimum su muhtevasında sıkıştırılıp, deney numuneleri 38 mm çapında ve 76 mm yüksekliğinde silindir kapların sıkıştırılmış zemine çakılmasıyla numuneler alınmıştır.

İkincide ise, belirlenen oranlardaki karışımlarda optimum su muhtevasında sıkıştırılan zeminin suya koyularak doygun hale gelmesi sağlanmış ve doygun zeminden 38 mm çapında ve 76 mm yüksekliğinde silindir numuneler alınmıştır.

Kısacası, deney numuneleri standart kapların sıkıştırılmış zemine çakılıp çıkarılmasıyla elde edilmiştir. Konsolidasyon deney numuneleri optimum su muhtevasında sıkıştırılan zeminin ödometre deneyinde kullanılan ringlere alınması ile ASTM D2435 standardına göre deneyler yapılmıştır.

Permeabilite deneyinde ise optimum su muhtevasında sıkıştırılan zeminin suda bekletilerek doygun hale gelmesi sağlanmış ve permeabilite deneyi yapılmıştır.



Şekil 3.13.(a) Kil zemine cam lifi eklenmesi
(b) Cam lifinin kil zemine karıştırılması

3.2.2 Serbest Basınç Deneyi

Serbest basınç deneyi üç eksenli deneyin özel halidir. Deneyde yanal basınç olmadığı için genellikle kendini tutabilen kohezyonlu zemin tiplerinde kullanılır. Serbest basınç deneyi ASTM D 2166-00 (2003) standardına göre yapılmıştır. Optimum su muhtevası belirlenen kil zemine %0, %0.25, %0.5, %0.75, %1.0, %1.25, %1.5 oranlarında cam lifinin eklenmesiyle karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışım kompaksiyon kalıplarına standart proktor deneyi yapılarak optimum su muhtevasında sıkıştırılmıştır. Ayrıca, Modifiye edilmiş, minyatür Harvard kompaksiyon aleti (şekil 14) kullanılarak farklı su muhtevalarında hazırlanan numunelerin optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirlenerek, cam lifi ile güçlendirilmiş zeminler üzerinde serbest basınç deneyi yapılmıştır.



Şekil 3.14. Modifiye edilmiş, minyatür Harvard kompaksiyon aleti

Hazırlanan numuneler iki durum için incelenmiştir. İlk durumda, zemin optimum su oranında hazırlanıp ve sıkıştırılmış ve sıkıştırılan zemine 38 mm çapında 76 mm yüksekliğinde silindir tüpler iç kısımları yağlanarak çakılmıştır (Şekil 3.14). Çakılan silindir tüpler içine zemin alındıktan sonra tüpler kriko yardımıyla kompaksiyon kalıplarından çıkarılmıştır. Her cam lifi oranı için kompaksiyon kalıbına 3 tüp çakılıp numune alınmıştır. Alınan numuneler 1 gün desikatörde bekletilip bir sonraki gün hidrolik kriko (pres) makinesi kullanılarak zemin numuneleri çıkarılmıştır. Çıkarılan numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır.

İkinci durumda ise belirli oranlarında cam lifinin eklenmesiyle hazırlanan karışım yine optimum su muhtevasında hazırlanıp sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan bu karışım doymuş hale gelmesi için 5 gün boyunca suda bekletilmiştir. Kil zemin şişmesini engellemek için üzerine suyun zemin içerisine girişine izin veren delikli kapaklar sıkıştırılarak kapatılmıştır. Kompaksiyon kalıplarında doymuş hale gelen sıkıştırılmış zemine 38 mm çapında 76 mm yüksekliğinde silindir tüpler çakılarak serbest basınç deneyi için numuneler hazırlanmıştır.

Deney iki plaka arasına yerleştirilen silindir numunelerin alt plakanın yukarı hareket ederek numuneyi 0.5 mm / dk yükleme hızıyla sıkıştırmasıyla eksenel boy kısılmalarına karşılık gelen yük değerleri okunmasıyla gerçekleştirilmiştir. Eksenel boy kısılmasının ilk boya bölünmesiyle birim boy deformasyonları elde edilmiştir. Kırılma anındaki yükün numunenin A_f en kesit alanına bölünmesiyle gerilme değerleri elde edilmiştir. Birim boy kısılmasına karşılık deformasyon-gerilme grafikleri çizilmiş, çizilen eğrinin tepe noktası numunenin serbest basınç mukavemeti değerini vermiştir. Eğer zeminde ilk boyunun %15-%20 oranına kadar deformasyonda göçme meydana gelmiyorsa % 15-%20 boy kısılması anındaki gerilme değeri numunenin serbest basınç mukavemeti olarak alınmıştır. Serbest basınç deneyinde zemin numunesinin toplam hacminde değişiklik olmamaktadır. Hesaplamalar aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

$$q_u = \sigma_1 = P_{\max} / A_f \quad (3.2)$$

$$\epsilon = \Delta H / H_o \quad (3.3)$$

$$A_f = A_o / (1 - \epsilon) \quad (3.4)$$

$$\sigma_1 = P_{\max} / A_f \quad (3.5)$$

$$q_u = \sigma_1 \quad (3.6)$$

$$c = q_u / 2 \quad (3.7)$$



a
b
Şekil 3.15.(a) Sıkıştırılan zeminden serbest basınç deneyi için numune alınması
 (b) Numune alınan silindir tüpler

3.2.3. Kesme Kutusu Deneyi

Kesme kutusu deneyi kohezyonlu ve kohezyonsuz her iki zemin tipinde de uygulanmaktadır. Kesme kutusu sabit yük altında zemin numunesinin ortadan kesilmesine dayanır. Kil zeminlerin kayma mukavemeti değerlerinin belirlenmesi kumlu zeminlere oranla daha zordur. Zeminde bulunan su miktarı, kil danelerinin yüzdesi, daneler arası itme ve çekme kuvveti, kil zeminin mineralojisi zeminin kayma mukavemeti değerlerini önemli ölçüde etkilemektedir (Ürkmez, 2009). Kesme kutusu deneyi ASTM D 3080-98 standardına göre yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kesme kutusu kalıpları 60×60 mm kesitli ve 20 mm yüksekliğe sahiptir. Kesme kutusu deney aleti ise birbiri üzerine oturan 60×60 mm kesitli içinde zemin numunesi üzerine yerleştirilen poroz taşları, üzerinde vidaları olan bir kalıptır. Hazırlanan kalıp yük hücresine koyulur ve deney başlatılır. Deney numuneleri serbest basınç deneyinde olduğu gibi optimum su muhtevasında %0, %0.25, %0.5, %0.75, %1.0, %1.25, %1.5 oranlarında hazırlanan kil-cam lifi karışımlarının standart proktor deneyiyle sıkıştırılıp, kesme kutusu kalıplarının çakılıp alınmasıyla elde edilmiştir.

Aynı şekilde belirlenen oranlarında hazırlanan kil-cam lifi karışımlarının standart proktor deneyiyle sıkıştırılıp doygun duruma getirilen zemine kesme kutusu kalıpların çakılmasıyla numuneler alınmıştır (Şekil 3.16.a). Kalıplarda olan numuneler deney yapılmak üzere kesme kutusu deney aletine yerleştirilir (Şekil 3.16.b). Yerleştirilen kalıbın vidaları iyice sıkıştırılıp yük hücresine konulmuştur. Hücreye yerleştirilen kalıp alt kısmının hareketinin engellenmesi için vidalar sıkıştırılmış daha sonra alt ve üst parçalarının birbirinden ayrılmasını engelleyen vidalar çıkarılmıştır. Yükleme kolu ayarlanmış ve yük koyulmuştur. Deneyde 100, 200 ve 400 N'luk yük değerleri uygulanmıştır. Deformasyon saatinin ayarı yapıldıktan sonra yük kolunun altını boşa çıkararak deneye başlanmıştır. Deney 1 mm/dk hızla gerçekleştirilmiş. Deneyde yatay deformasyonlara karşılık gelen yük değerleri okunmuş ve kırılma anındaki kayma mukavemeti değerleri elde edilmiştir. Kırılmanın meydana geldiğinde yükte düşme meydana gelmiş ve deney sonlandırılmıştır. Gerekli boşaltma işlemi yapıldıktan sonra kalıp yük hücresinden çıkarılmış. Aynı işlem 100 N, 200 N ve 400 N yüklerinin hepsinde uygulanarak zeminin kohezyon değeri (c) ve ϕ açısı bulunmuştur.

Kesme kutusu deney denklemleri 3.8 ve 3.9'da verilmiştir.

$$\sigma_N = \frac{N}{A} \quad (3.8)$$

$$\tau_{max} = \frac{T_{max}}{A} \quad (3.9)$$



a **b**
Şekil 3.16.(a) Sıkıştırılan zeminden kesme kutusu deneyi için numune alınması
(b) kesme kutusu hücresi

3.2.4. Konsolidasyon Deneyi

Yapı yüklerinin zeminde meydana getirdiği gerilmeler zamanla zemin içinde bulunan suyun dışarı çıkmasıyla boşlukların oluşmasına neden olur. Yük altında bulunan zemin danelerinin sıkışması ve yer değiştirmesi sonucu zeminde oturma meydana gelir. Buna konsolidasyon denir. Deney suya doymun örselenmemiş zemin numunesinin yanıl deformasyonu engellenerek düşey yönde basınç etkisiyle drenaj olması sonucu zemindeki boşluk miktarının azalma miktarının ödometre aleti kullanılarak ölçülmesiyle yapılır. Tek eksenli ödometre deneyi ilk olarak Terzaghi tarafından ortaya çıkarılmıştır.

Konsolidasyon deney aleti; konsolidasyon hücresi, konsolidasyon halkası, 2 adet poroz taşı, deformasyon okuyucu, yük kolu kısımlarından oluşmaktadır.

Deney ASTM D2435 standardına göre deneyler yapılmıştır.

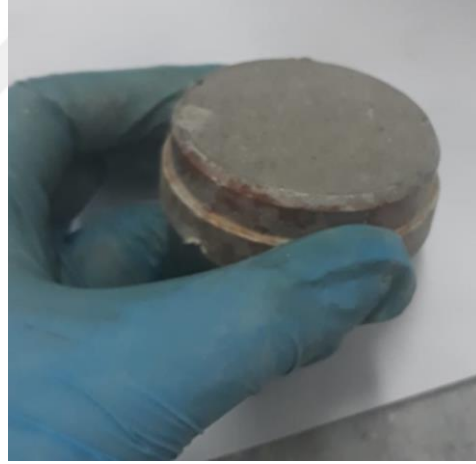
Deneyde 50 mm çapında ve 20 mm yüksekliğine sahip halkalar kullanılmıştır.

Zemin numunesi, kil zemine optimum su muhtevasında %0, %0.25, %0.5, %0.75, %1.0, %1.25, %1.5 oranlarında cam lifi eklenerek hazırlanmıştır.

Sıkıştırılan zemin numunesine konsolidasyon halkaları numunenin üst yüzeyinden başlayarak sırasıyla üst1-üst2-üst3-üst4 numaraları verilerek yerleştirilmiş, kriko yardımıyla numuneler çıkarılmıştır. En üstten çıkarılan numune üst1, en alttan çıkarılan numune üst4 olarak numaralandırılmıştır. Çıkarılan numunelerin alt ve üst yüzeyi sıkıştırma yapılmadan düzeltilmiş, pürüzsüz hale getirilmiştir (Şekil 3.17.a, Şekil 3.18).



Şekil 3.17.(a) Sıkıştırılan zeminden konsolidasyon deneyi için numune alınması
(b) Konsolidasyon hücresi



Şekil 3.18 Konsolidasyon deney numunesi

Yüzeyi düzleştirilen halkalar konsolidasyon hücresine alt ve üst yüzeyine poroz taşı koyularak yerleştirilmiş, halkanın konsolidasyon hücresinde yatay yönlü hareketini önlemek için sabitlenmiştir. Ödometre aletine yerleştirilen konsolidasyon hücresinin deformasyon okuma saati ayarlanmış ve içine bir miktar su koyularak deneye hazır bir hale getirilmiş ve 25, 50, 100, 200, 400 kPa gerilmeler uygulanarak konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Deney sonucunda boşluk oranı (e)-konsolidasyon basıncı (σ) grafiği çizilmiştir. Grafiğin logaritmik eksenindeki değerlerine göre zeminin sıkışma indisi (C_c), kabarma indisi (C_s), gibi parametreleri belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kil yüksek

plastisiteli (CH) kil olduğundan, konsolidasyon deney numunelerin şişme basıncı ve şişme yüzdeleri belirlenmiştir.

Şişme Testi Deneyi farklı iki yöntem kullanılarak yapılmıştır:

1. Iso Testi (Şişme Testi)

Optimum su muhtevasında hazırlanan numuneler konsolidasyon hücresine yerleştirilmiştir. Daha sonra numuneye 5 kPa sürsaj yükü altında su ilave edilip şişmeye bırakılmıştır. Belirli saatlerde okuma alınarak grafiğin yatay olması beklenmiştir. Yaklaşık 2 gün boyunca şişmenin devam ettiği görülmüş, şişme tamamlandıktan sonra kademeli yüklemeler yapıp zemin tekrar başlangıç konumuna getirilmeye çalışılmıştır. Numunenin ilk konumuna gelmesi için uygulanan toplam yük bize zeminin şişme basıncını vermiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen nihai şişme miktarı ile zeminin şişme basıncı belirlenmiştir. Başlangıç duruma getirilen zemin numuneleri üzerinde konsolidasyon deneyleri yapılmış, 25, 50, 100, 200, 400 kPa yük değerleri altında oturma değerleri belirlenmiştir.

2. Cvs Testi (Şişme Testi)

Optimum su muhtevasında hazırlanan numuneler ödometre aletine yerleştirilmiştir. Yerleştirilen numuneler üzerine bir miktar su ilave edilmiştir. Su alan numunenin şişmesini engellemek için belirli aralıklarla yük uygulanmıştır. Bu şekilde zemin başlangıç seviyesinde yani sıfırda tutulmaya çalışılmıştır. Uygulanan yükler sonrasında şişmenin sabit kaldığı görülen yük miktarı zeminin şişme basıncını belirlemiştir. Başlangıç seviyesinde tutulan zemin numuneleri 25, 50, 100, 200, 400 kPa yük değerleri altında oturma değerleri belirlenmiştir.

3.2.5. Permeabilite

Geçirimsizlik zeminin içerisinde suyun akışını ifade eden bir zemin özelliği olup hız boyutundadır. Zeminde bulunan boşluklar birbirleri ile kılcal bir boru gibi bağlantılıdır. Zemin içerisinde bulunan su, bu boşluklardan hareket ederek yüksek enerjili bir noktadan daha düşük bir noktaya akmaktadır. Doygun zemin içindeki suyun bu hareketi zeminin geçirimsizliğiyle ilgilidir. Geçirimsizlik zemin cinsine göre farklılık göstermektedir. Geçirimsizliğin belirlenmesinde Darcy (1856) yasasından faydalanılır.

Geçirimsizlik akım koşulları yanında zeminin mekanik özelliklerini de etkiler.

Zeminlerin geçirimsizliğini etkileyen başlıca faktörler:

- Dane boyutları
- Dane yapısı
- Dane dağılımı
- Boşluk oranı
- Zeminin suya doygunluk derecesidir (Uzuner,2012).

Zeminlerin geçirimsizliği laboratuvarında farklı yöntemler kullanılarak araştırılabilir. Kil zeminlerin geçirimsizliği genellikle düşen düzeyli geçirimsizlik yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Deneyin uzun sürmesi durumunda üç eksenli ya da konsolidasyon deneyleri de tercih edilebilir. Düşen düzeyli geçirimsizlik deneyi ASTM D-5084 standartlarına uygun bir şekilde yapılmıştır. Deneyde 10.5 cm çapında 11 cm yüksekliğinde kompaksiyon kalıpları kullanılmıştır. Optimum su muhtevasında sıkıştırılan zemin numuneleri alt ve üst yüzeyinde su girişi olacak biçimde 7 gün boyunca suda bekletilerek doygun hale getirilmiştir. Zeminin şişmesini önlemek için zemin alt ve üst kısmı plakalarla vidalanmış ve hareketi engellenmiştir. Doygun hale gelen numuneler permeabilite deneyi için hazırlanmıştır. Kompaksiyon kalıbında hazırlanan numuneler, alt kısımda suyun çıkışını sağlayan üst kısımda ise su girişi olan kalıbın içine yerleştirilmiştir. Deneyde kullanılan aletler su haznesi, değişen su miktarını belirlemek için 4 mm çapında su borusu su geçişini sağlamak için hortumlar bulunmaktadır. Düzenek ayarı yapıldıktan sonra deney başlatılmış ve belirli saat aralıklarında düşme miktarları okunmuştur. Deney sonunda değişen su miktarına ve süresine bağlı olarak geçirimsizlik katsayı denklem 3.11 ile belirlenmiştir.

$$a \left(\ln \frac{h_1}{h_2} \right) = \frac{A*k}{L} * t \quad (3.10)$$

$$k = \frac{a*L}{A*t} * \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (3.11)$$

A= numunenin enkesit alanı
a= cam borunun enkesit alanı
L=numunenin boyu
k= geçirimsizlik katsayısı
t= zaman

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Kil-Cam Lifi Karışım Oranları

Çalışmada kullanılan kil-cam lifi karışım oranları Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Kil-cam lifi karışım oranları

Tasarım No	Kil yüzdesi	Cam lifi oranı	Optimum su muhtevası
1	%100	%0	%21
2	%100	%0.25	%21
3	%100	%0.50	%21
4	%100	%0.75	%21
5	%100	%1.00	%21
6	%100	%1.25	%21
7	%100	%1.50	%21

4.2. Serbest Basınç Deney Sonuçları

Kil zemine katkısız ve cam lifi katkılı serbest basınç deneyleri iki durum için yapılmıştır. Birinci durum optimum su muhtevasında hazırlanan numuneler ile ikinci durum ise optimum su muhtevasında hazırlanıp suya doymun hale getirilen numunelerden, 38 mm çapında 76 mm yüksekliğinde hazırlanan numunelerin serbest basınç deney sonuçları **Çizelge 4.2'**de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Serbest basınç deney sonuçları (Optimum su muhtevasında)

Tasarım No	Kil yüzdesi	Cam lifi oranı	Serbest basınç mukavemeti (kN/m ²)	Serbest basınç mukavemeti % artış miktarı
1	%100	%0	340	-
2	%100	%0.25	370	%8.8
3	%100	%0.50	380	%11.7
4	%100	%0.75	415	%22.5
5	%100	%1.00	390	%14.7
6	%100	%1.25	380	%11.76
7	%100	%1.50	360	%5.9

Çizelge 4.2'te verilen optimum su muhtevasında hazırlanan numunelerin serbest basınç deney sonuç grafikleri **Şekil EK 1.1- Şekil EK 1.8.** de verilmiştir. Serbest basınç deneyi sonucu kırılan numuneler şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Serbest basınç deney sonrası kırılan numuneler

Deney sonucuna göre zemin numunesinin mukavemeti %0.75 cam lifi katkısında en yüksek değere ulaşılmıştır. Bu değerden sonra düşmeye başladığı görülmüştür.

Maheshwari ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada polyester liflerin zeminin serbest basınç mukavemetine olan etkisini araştırmıştır. Çalışmada kuru zeminin %0, % 0.25, % 0.50, % 0.75, % 1.00 ve % 1.50 oranlarında polyester lif ilave edilmiştir. Çalışma sonucunda polyester lifin %0.5 oranına kadar artırılması zeminin mukavemetini artırdığı belirtilmiştir. Lif oranı %0.5'in üzerine çıkıldığında mukavemette azalma görülmüştür.

Çetin (2011) tarafından yapılan çalışmada, yüksek plastisiteli kil zemine % 0.25, % 0.50, % 0.75, % 1.00 oranlarında polipropilen lif ilave etmiş ve karışım üzerinde serbest basınç deneyi yapmıştır. Yaptığı deneyler sonucunda lif ilavesinin %0.75'e kadar artırılması zeminin mukavemetini artırdığı %0.75'in üzerine çıkıldığında azalmaya başladığı gözlenmiştir. Deney sonuçları literatürde olan çalışmalarla benzerlik göstermiştir. Lif ilavesi, literatür çalışmalarının çoğunda belirli bir orana kadar mukavemeti artırmış, daha sonra mukavemette düşme meydana getirmiştir.

4.3. Doygun Numune Serbest Basınç Deney Sonuçları

Kil zemin katkısız ve cam lifi katkılı olarak, optimum su muhtevasında sıkıştırılan numuneler, doygun hale getirilerek serbest basınç mukavemetleri ölçülmüştür (Çizelge 4.3). Doygun halde bulunan numunelerin serbest basınç mukavemet değerleri, optimum su muhtevası durumunda bulunan numunelere kıyasla daha az olduğu belirlenmiştir. Mukavemet değerleri tüm cam lifi oranlarda yaklaşık olarak %25-%35 arasında azalmıştır (Çizelge 4.4). Doygun durumda olan zemin numunelerinde sünme meydana gelmiştir. Kil zeminlerde deformasyonun arttığı durumlarda kırılma mukavemeti değeri, numune boyunun %15-%20 deformasyon değerine karşılık gelen gerilme değeri dikkate alınmıştır (Şekil 4.2).

Çizelge 4.3 Serbest basınç deney sonuçları (Suya doymun durumda)

Tasarım No	Kil yüzdesi	Cam lifi oranı	Serbest basınç mukavemeti (kN/m ²)	Serbest basınç mukavemeti % artış miktarı
1	%100	%0	245	-
2	%100	%0.25	269	%9.8
3	%100	%0.50	298	%21.6
4	%100	%0.75	320	%30.6
5	%100	%1.00	276	%12.6
6	%100	%1.25	246	%0.4
7	%100	%1.50	237	-%3.3

Çizelge 4.3'te verilen doymun numunelerin serbest basınç deney sonuçları grafikleri **Şekil EK 2.1- Şekil EK 2.8.** de verilmiştir.

**Şekil 4.2** Suya doymun numune serbest basınç deney sonucu eksenel boy kısalması

Uygulamada genelde optimum su muhtevasında hazırlanan zemin örneklerinin taşıma gücü değeri alınmaktadır. Fakat su tutan yapılarda numune doymun hale gelmekte ve taşıma gücünde azalma meydana gelmektedir.

Çizelge 4.4 Optimum su muhtevasında bulunan numunelerin doygun hale gelmesiyle mukavemetinde meydana gelen azalma yüzdeleri

Tasarım No	Cam Lifi Oranı	Serbest Basınç Mukavemeti (kN/m ²)		Serbest Basınç Mukavemetinde Azalma (%)
		Optimum Su Muhtevasında	Suya Doygun Durumda	
1	%0	340	245	28
2	%0.25	370	269	27.3
3	%0.50	380	298	21.6
4	%0.75	415	320	22.9
5	%1.00	390	276	29.2
6	%1.25	380	246	35.3
7	%1.50	360	237	34.2

4.4. Kesme Kutusu Deney Sonuçları

Cam lifi eklenen ve optimum su muhtevasında hazırlanan kil zeminin kayma dayanımında belirli miktarlarda artışlar meydana gelmiştir. Zeminin yatay yönde deformasyon miktarını artırarak daha sünek davranmasını sağlamıştır. Cam lifi katkısı killi zeminde bir nevi donatı işlevi görmüştür. En yüksek kayma dayanımı %0.75 katkı oranında elde edilmiştir. Bu orana göre yaklaşık %25-%30 oranında iyileştirme meydana geldiği söylenebilir (Çizelge 4.5). Cam lifi katkısı kil zeminde donatı görevi yaptığı için zeminin kohezyonunu ve içsel sürtünme açısını da artmıştır (Şekil 4.3).

Çizelge 4.5. Kesme kutusu deney sonuçları (Optimum su muhtevasında)

Tasarım No	Kil yüzdesi	Cam lifi oranı	Kohezyon (c)	Kohezyon (c) % artış	ϕ	ϕ % artış
1	%100	%0	51	-	34	-
2	%100	%0.25	56	%9.8	35	%2.9
3	%100	%0.50	67	%31.4	40	%17.6
4	%100	%0.75	68	%33.3	41	%20.6
5	%100	%1.00	62	%21.6	41	%20.6
6	%100	%1.25	58	%13.7	41	%20.6
7	%100	%1.50	50	-%2	36	%5.8

Çizelge 4.5'te verilen optimum su muhtevasında hazırlanan numunelerin kesme kutusu deney sonuçları grafikleri **Şekil EK 3.1- Şekil EK 3.14.** de verilmiştir.



a

b

Şekil 4.3.(a) Kesme kutusu deneyi
(b) Kesilen numune

Asadollahia ve Dabiri (2017)'de yaptıkları çalışmada cam lifi yüzdesinin % 0.8'e ulaşırken kayma mukavemeti arttığını genel olarak cam lifi arttıkça yatay yer değiştirme artma eğiliminde olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bununla beraber hem iç sürtünme açısının (ϕ°) hem de örneklerin kohezyonunun % 0.8 lif oranına kadar artma eğiliminde olduğu belirtilmiştir. Bundan sonra, cam lifi eklemeye devam edildiğinde söz konusu parametrelerin her ikisinin de azaldığı gözlemlenmiştir.

Attom ve Al-Tamimi (2010) yaptıkları çalışmada farklı lif tipleri kullanmışlardır. Çalışma sonucunda Her iki tür lifin yüzdelерinin artması, kumlu zeminin içsel sürtünme açısının artmasına ve kayma mukavemetinin artışını sağlamıştır.

Ayrıca lif katkısının kumlu zeminin sünekliğini arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Farklı oranlarda farklı yöntemler uygulanarak yapılan araştırmaların çoğu lif katkısının zemini gevrek olması durumundan uzaklaştırıp daha sünek olmasını sağladığı görülmüştür.

Mirzababaei ve ark. (2018) yaptıkları araştırmada kil zeminlere lif takviyesinin kayma dayanımını artırdığını göstermiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Maheshwari ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada killi silt zeminlere polyester liflerin eklenmesinin zeminin kayma mukavemetine olan etkisini araştırmıştır. %0, % 0.25, % 0.50, % 0.75, % 1.00 ve % 1.50 oranlarında eklenen polyester liflerin %0.5 oranına kadar eklenmesi zeminin kohezyonunu ve içsel sürtünme açısını bir miktar artırmıştır. Lif miktarının artmasıyla kohezyon ve içsel sürtünme açısında azalma meydana gelmiştir.

Literatürde yapılan çalışmaların sonuçları, bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

4.5. Doygun Numuneler İçin Kesme Kutusu Deney Sonuçları

Optimum su muhtevasında sıkıştırılan kil-cam lifi numunelerinin suya doygun hale getirilmesi sonrasında, alınan numuneler üzerinde kesme kutusu deneyi yapılmıştır. 100 N, 200 N ve 400 N yük altında kesme kuvveti uygulanan numunelerin sonuçları Çizelge 4.6 gösterilmiştir.

Doygun durumda olan numunelerin yatay deformasyon yapma miktarı artmıştır. Kayma mukavemeti değerleri optimum su muhtevasında olan numunelere göre daha düşük çıkmıştır.

Çizelge 4.6. Kesme kutusu deney sonuçları (Suya doygun durumda)

Tasarım No	Kil yüzdesi	Cam lifi oranı	Kohezyon (c)	Kohezyon (c) % artış	ϕ	ϕ % artış
1	%100	%0	38	-	27	-
2	%100	%0.25	50	%31.6	28	%3.7
3	%100	%0.50	55	%44.7	34	%25.9
4	%100	%0.75	56	%47.36	33	%22.2
5	%100	%1.00	51	%34.2	32	%18.5
6	%100	%1.25	50	%31.6	32	%18.5
7	%100	%1.50	48	%26.3	30	%11.1

Çizelge 4.6'da verilen doygun zemin kesme kutusu deney sonuçları grafikleri **Şekil EK 4.1- Şekil EK 4.14.** de verilmiştir.

Çizelge 4.7'de ve Çizelge 4.8'de doygun numunelerin optimum durumda olan numunelere kıyasla kohezyon ve içsel sürtünme açısından meydana gelen azalma yüzdeleri verilmiştir. Doygun halde bulunan numunelerin kohezyonunda meydana gelen en düşük azalma yüzdesi %1.5 cam lifi oranında görülmüştür. Cam lifi katkısı genel olarak doygun numunelerin kohezyonlarında ve içsel sürtünme açıları meydana gelen azalma miktarını düşürmüştür. Katkısız zemin numunelerinin kohezyonunda yaklaşık %25 azalma meydana gelirken katkılı numunelerde bu azalma %18-%4 oran aralığında görülmüştür.

Çizelge 4.7 Doygun durumda bulunan numunelerin kohezyonlarında meydana gelen azalma yüzdesi
Kesme Kutusu Deneyi

Tasarım No	Cam Lifi Oranı	Optimum Su Muhtevası	Suya Doygun Durumda	Kohezyonda Azalma (%)
		Kohezyon (c)	Kohezyon (c)	
1	%0	51	38	25.5
2	%0.25	56	50	10.7
3	%0.50	67	55	17.9
4	%0.75	68	56	17.6
5	%1.00	62	51	17.7
6	%1.25	58	50	13.8
7	%1.50	50	48	4

Çizelge 4.8 Doygun durumda bulunan numunelerin içsel sürtünme açısında meydana gelen azalma yüzdesi

Kesme Kutusu Deneyi				
Tasarım No	Cam Lifi Oranı	Optimum Su Muhtevası	Suya Doygun Durumda	İçsel Sürtünme Açısında Azalma (%)
		İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)	
1	%0	34	27	20.6
2	%0.25	35	28	20
3	%0.50	40	34	15
4	%0.75	41	33	19.5
5	%1.00	41	32	21.9
6	%1.25	41	32	21.9
7	%1.50	36	30	16.6

4.6. Konsolidasyon Deney Sonuçları

Konsolidasyon numuneleri optimum su muhtevasında hazırlanan numunelerin standart proctor deney kalıplarında sıkıştırılan zemin içine 50 mm çapında ve 20 mm yüksekliğinde ringlerin çakılmasıyla alınmıştır. Her bir cam lifi karışım oranından 4 adet numune alınmıştır. Alınan numunelere, kalıbın üst kısmından başlayarak alta doğru sırasıyla üst1-üst2-üst3-üst4 numaraları verilmiştir. Bu durumda üst1 en üst kısımdan alınan üst4 en alt kısımda alınan numune olmaktadır. Verilen bu numaralandırma sistemine göre üst1 ve üst3 numunelerine Iso Testi (Şişme Testi) uygulayarak 2 gün boyunca şişmeye bırakılmıştır. Şişme tamamlandıktan sonra üzerine yükler uygulanıp şişme sıfırlanmaya çalışılmıştır. İkinci yöntemde ise Cvs Testi (Şişme Testi) uygulanmıştır. Bu yöntemde numune konsolidasyon hücresine yerleştirilmiş şişmesi engellenerek deformasyon miktarı sıfırda tutulmaya çalışılmıştır. Numunenin şişme

miktarını önlemek için ne kadar yük uygulanması gerektiği belirlenmiştir. Iso ve Cvs test yöntemleri sonucunda numunenin şişmesini engellemek ya da şişen numunenin şişmesini sıfırlamak için uygulanan yük değerleri ve şişme basıncı değerleri elde edilmiştir Çizelge 4.9. Uygulanan yük altında şişmesi engellenen ya da şişmesi sıfırlanan numuneler için 25-50-100-200-400 kPa yükleri altında konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Konsolidasyon deneyleri sonunda Cc (sıkışma indisi) ve Cs (kabarma indisi) değerleri Çizelge 4.10 verilmiştir.

Çizelge 4.9. Konsolidasyon deneyinde ISO VE CVS yöntemine göre şişme basıncı değerleri (kN/m²)

Cam lifi oranı	ISO	ISO	CVS	CVS
	Üst1	Üst3	Üst2	Üst4
0	122.2	152.7	53.4	56.0
0.25	117.1	142.6	53.4	53.4
0.50	112.0	134.9	48.3	50.9
0.75	127.3	142.6	43.2	56
1.00	152.7	152.7	50.9	61.1
1.25	168.0	168.0	53.4	71.3
1.50	213.9	183.3	61.1	91.6

Uygulanan Iso ve Cvs yöntemlerine göre elde edilen şişme basıncı değerleri sonucunda en düşük şişme basıncı %0.5 cam lifi değerlerinde elde edilmiştir. Aynı lif oranlarında iki farklı yöntem kullanarak bulunan şişme basıncı değerleri birbirinden farklı çıkmıştır. Iso yöntemine göre şişme basıncı değerleri Cvs yöntemine göre daha büyük çıkmıştır. Iso yöntemine göre şişen zemin taneleri arasındaki boşluklara suyun dolmasına izin verildiği için şişen numunenin başlangıç noktasına dönmesi için daha fazla yük uygulandığı düşünülebilir.

Cvs yönteminde ise numunenin şişmesi engellenerek sıfır noktasında tutulmaya çalışıldığı için tanecikler arasında boşluk oranının artması engellenmiş olup dolayısıyla daha az yük kullanılmıştır.

Çizelge 4.10. Konsolidasyon deneyinde sıkışma indisi ve kabarma indisi değerleri

Cam lifi oranı	Üst1		Üst3		Üst2		Üst4	
	(Iso Yöntemi)		(Iso Yöntemi)		(Cvs Yöntemi)		(Cvs Yöntemi)	
	Cc	Cs	Cc	Cs	Cc	Cs	Cc	Cs
0	0.141	0.027	0.138	0.032	0.169	0.038	0.164	0.046
0.25	0.139	0.024	0.130	0.030	0.158	0.035	0.154	0.042
0.50	0.131	0.020	0.124	0.027	0.151	0.034	0.141	0.038
0.75	0.138	0.025	0.139	0.031	0.163	0.032	0.151	0.041
1.00	0.143	0.032	0.143	0.032	0.169	0.039	0.167	0.047
1.25	0.164	0.035	0.160	0.034	0.178	0.042	0.181	0.049
1.50	0.170	0.037	0.167	0.035	0.184	0.046	0.183	0.054

Çizelge 4.10'de verilen konsolidasyon deney sonuçlarının grafikleri **Şekil EK 5.1.- Şekil EK 5.30. de** verilmiştir.

Yapılan konsolidasyon deneyleri sonucunda en düşük sıkışma ve kabarma indisi değerleri %0.5 cam lifi oranında görülmüştür. Bu orandan sonra sıkışma ve kabarma indisi değerleri artmıştır. Deney sonuçlarına göre %0.5 cam lifi ilavesinde boşluk oranının en az ve sıkışmanın en fazla olduğu durum olduğu düşünülmektedir. Oranın artmasıyla beraber zeminde bulunan lif yüzey alanının artması boşluk oranını arttırdığı düşünülmektedir.

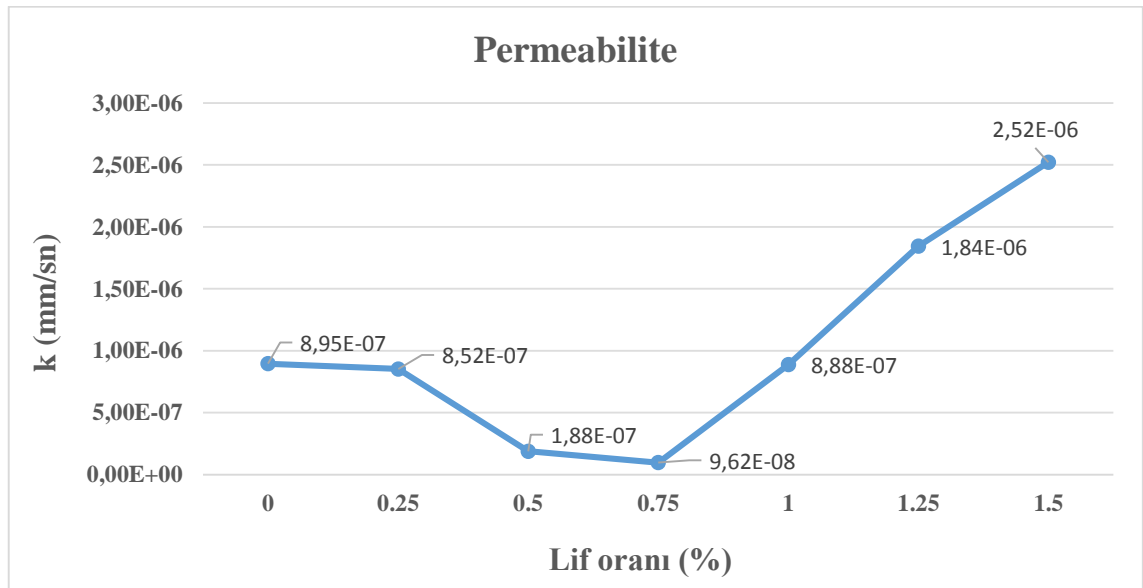
Literatürde yapılan çalışmalarda benzer çalışmalar görüldüğü gibi farklı sonuçlarda görülmüştür. Maheshwari ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada kil zeminlere lif ilavesinin zeminin konsolidasyon özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda zemine %0.5 oranına kadar lif eklenmesinin sıkışma indisi değerini azalttığı, bu oranın üzerine çıkıldığında sıkışma indisi değerinde artma meydana geldiği sonucunu elde etmişlerdir. Abdi ve arkadaşları (2008) tarafından yapılan çalışmada kil zemine %1-%2-%4-%8 oranlarında lif eklenmesinin zeminin oturma özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda zeminde lif oranının artmasıyla zeminde meydana gelen oturma miktarlarının azaltıldığını belirlemişlerdir. Oturma miktarının azalma nedeni olarak, zemine lif eklenmesiyle zeminin sertleştiğini ileri sürerek zeminde meydana gelen oturmaların azaldığı sonucuna ulaşmışlardır. Kar ve arkadaşları (2012) yaptıkları çalışmada düşük plastisiteli zemine %0, %0.2 %0.4 %0.6 %0.8 %1 oranlarında polipropilen ve hindistan cevizi lifleri ilave edilmiş ve konsolidasyon deneyi yapmışlardır. Deney sonucunda zemine % 0.6 polipropilen lif, % 0.8 hindistan cevizi lif

ilavesiyle zeminin sıkışma indisi değerinde azalma meydana geldiği belirtilmiştir. Lif oranının bu değerlerin üzerine çıktığında sıkışma indisi değerlerinde artma meydana getirmiştir. Her iki lif tipinde de lif oranının artması zeminin kabarma indisi değerini artırmıştır.

Bu tez çalışması sonucunda Maheshwari (2013) ve Kar (2012) ayrı ayrı yaptıkları çalışmada olduğu gibi lif oranının belirli bir orana kadar artması sıkışma indisi oranını azaltmıştır. Lif oranı artmaya devam ettikçe sıkışma indisi değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Abdi ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma ile ayrılan kısımlar olmuştur. Abdi ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada lif oranının artması zeminin oturma miktarını sürekli olarak azaltmıştır.

4.7. Permeabilite Deney Sonuçları

Permeabilite deneyi, optimum su muhtevasında sıkıştırılan kil-cam lifi numunelerinin kompaksiyon kalıplarında şişmesi engellenerek 7 gün boyunca su da bekletilen numunelerde düşen düzeyli geçirimsizlik deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 4.4'te verilmiştir. Permeabilite deneyi sonucunda kil zemine %0.75 oranına kadar lif eklenmesinin zeminin geçirimsizliğini azalttığı belirlenmiştir. %0.75 oranının üzerine çıkılması durumunda geçirimsizlik artmıştır. Bu sonuca göre artan lif oranının zeminin boşluk miktarının artırdığı, liflerin zeminde drenaj kanalları gibi özellik gösterdiği düşünülmüştür.



Şekil 4.4. Kil-cam lifi numunelerinin permeabilite deney sonuçları

Liflerin kil zemine ilavesiyle ilgili literatürde yapılan çalışmalarda, zemine lif ilavesinin zeminin geçirimliliğini artırdığı görülmüştür. Asadollahia ve Dabiri (2017) tarafından yapılan çalışmada kil zemine cam lifi eklenmesinin zeminin geçirgenliği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda lif oranının artmasının zeminin geçirgenliğini artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Abdi ve ark. (2008) tarafından çalışmada eklenen lif uzunluğu ve oranının zeminin geçirimliliğe etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda hidrolik geçirgenliğin, lif uzunluğunun ve oranının artmasıyla arttığı belirlenmiş olmasına rağmen önemli ölçüde bir artış gözlenmediği için önemli bir etki olmadığı yorumunu yapmışlardır. Bu sonuç Miller ve Rifai, (2004) tarafından yapılan çalışma sonucuyla farklılık göstermektedir. Miller ve Rifai, lif oranının %1'in üzerine çıkılmasıyla zeminin geçirgenliğinde önemli bir artış olduğu sonucuna ulaşmışlar.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Killi zeminlerde, yük nedeniyle oluşabilecek taşıma gücü ve oturma problemi diğer zemin cinslerine göre daha yüksektir. Yüksek plastisiteli kil zeminler su ile temas ettiğinde belirgin bir şekilde şişer ve kurduğunda büzülür. Dolayısıyla, bu tip zeminler için stabilizasyon çok önemlidir. Yüksek plastisiteli killer geçirimsizliğin sağlanması amacıyla genellikle maden üretim ve atık sahalarında, katı atık depolarında, su tutma yapılarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tür killerin su muhtevası arttığı zaman taşıma gücü azalmakta ve oturma potansiyeli artmaktadır. Yüksek plastisiteli kil zeminin cam lifi kullanılarak taşıma gücünün artırılması yöntemi çok yeni değildir, ancak hala üzerinde çalışma yapılan bir yöntemdir.

Cam lifler; sertlik, korozyona dayanıklılık, kimyasallarla fazla tepkimeye girmeme gibi tipik cam özelliklerini sergiler. Ayrıca, esnek, hafif ve pahalı olmayan bir malzemedir. Çalışmada, zemin stabilizasyonunda (iyileştirilmesinde) cam lifi kullanımı araştırılmıştır. Yapılan araştırmada cam lifi katkısının kil zeminin serbest basınç, kayma dayanımı, konsolidasyon ve permeabilite özelliklerine etkisi araştırılmış ve optimum katkı oranları belirlenmeye çalışılmıştır. Doygun hale getirilen kil zeminin, optimum su muhtevasında bulunan zemine göre mukavemet ve kayma direnci oranları karşılaştırılmıştır.

1. Optimum su muhtevasında sıkıştırılan kil-cam lifi numunelerin en yüksek dayanımı %0.75 cam lifi katkılı numunelerde elde edildiği görülmüştür. Bu artış katkısız zemine göre yaklaşık %25 oranında olmuştur. Cam lifi katkısının zeminin deformasyon yapma özelliğini artırıp gevrek kırılmayı azalttığı sonucu elde edilmiştir.
2. Optimum su muhtevasında sıkıştırılan zeminin doygun hale getirilmesi sonucu yapılan serbest basınç deneylerinde tüm cam lifi katkı oranlarda zeminin mukavemetinde yaklaşık %25-%35 oranlarında azalma meydana getirmiştir.
3. Cam lifi katkısı zeminin kayma mukavemetinde, katkısız zemine göre yaklaşık %20 oranında bir artış meydana getirmiştir. Cam lifi zeminde mukavemetin yanı sıra zeminin deformasyon yapabilme özelliğini artırmıştır. Zemin maksimum kayma mukavemeti değerine ulaştığında hemen bir kırılmanın meydana gelmesini önleyerek daha sünek bir duruma gelmesini sağlamıştır.

4. Cam lifi katkısı zeminle-lif yüzeyi arasında kenetlenme meydana getirerek içsel sürtünme açısını bir miktar artırmıştır.
5. Zemine cam lifi ilavesi kohezyonu artırmıştır. En yüksek kayma mukavemeti değeri %0.75 lif ilavesinde elde edilmiştir. %0.5 oranındaki kohezyon değeri, içsel sürtünme açısı ve kayma dayanımı %0.75 oranındaki değere çok yakındır. Kohezyon değeri %0.75'ten sonra bir miktar azalmıştır. İçsel sürtünme açısında değişme görülmemiştir. Lif oranının %0.75'in üzerine çıkması zeminin boşluk miktarını arttırdığı için kohezyon ve mukavemeti azaltmıştır.
6. Suyu doymuş zeminlerin kayma mukavemetinde, optimum numunelere göre azalma meydana gelmiştir. Doymuş numunelerin kayma dayanımı azalmış, cam lifi katkısı doymuş zeminlerde de dayanımın artmasını sağlamıştır.
7. Numuneler kompaksiyon kalıplarından çıkarıldığı için çıkarılan numunenin kompaksiyon kalıbının alt, orta ya da üst kısımlarından alınarak deneyin yapılmasını, zeminin dayanım, kohezyon ve içsel sürtünme açısını etkilediği düşünülebilir. Kabın altında olan zemin daha fazla sıkıştığı için daha yüksek dayanımlar elde edilmektedir.
8. Yapılan konsolidasyon deneyinde, Iso ve Cvs yöntemlerine göre aynı lif oranlarında farklı şişme basıncı değerleri bulunmuştur. Şişen zeminin şişme miktarını sıfırlamak, sıfır noktasında tutmak için verilen yükten daha fazla olduğu belirlenmiştir.
9. Daha fazla sıkıştırılan numunelerin şişme basınç değerleri iki yöntemde de yüksek çıkmıştır.
10. Permeabilite deneyinde %0.75 oranına kadar lif eklenmesi zemini daha geçirimsiz hale getirmiştir. %0.75 oranının üzerine çıkıldığında geçirimsizlik artmıştır. Bu sonuca göre artan lif oranındaki artışın zeminin boşluk miktarını artırdığı, liflerin zeminde drenaj kanalları gibi özellik gösterdiği düşünülmüştür.
11. Konsolidasyon deneyinde, zeminin sıkışma indisi değeri %0.5 cam lifi oranında minimum olmuştur. Lif oranının artmasıyla sıkışma indisi değeri artma eğilimi göstermiştir.
12. Konsolidasyon deneyinde, lif oranının %0.5 üzerine çıkması kabarma indisi değerini artırmıştır.
13. Cvs yöntemine tabi tutulan numunelerin daha sonra üzerinde yapılan konsolidasyon deneyi sonuçlarına göre oturma miktarı, Iso yöntemine tabi tutulan numunelerin üzerinde yapılan konsolidasyon deneyi sonuçlarına göre bulunan

oturma değerlerinden daha büyük çıkmıştır. Cvs yönteminde zeminin şişmesini engellemek için uygulanan yükün az olması konsolidasyon deneylerinde verilen yüklemelerle numuneler daha fazla sıkışma eğilimi göstermiştir. Boşluk oranı değişim miktarı daha fazla olmuştur.

14. Katkılı veya katkısız sıkıştırılmış kil zeminlerde taşıma gücü hesabında zeminin mukavemet parametreleri optimum su muhtevsındaki değerlere göre belirlenmektedir. Hâlbuki kil zemin suya doygun hale geldiğinde zeminin mukavemetinde yaklaşık %25-%30 oranlarında azalma meydana gelmektedir. Uygulamada bu durumun dikkate alınması gerekir.

5.2. Öneriler

Tez çalışma kapsamında cam lifinin zeminin mukavemet, permeabilite ve konsolidasyon özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sıkıştırılmış zeminden alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Optimum su muhtevsında sıkıştırılan zemin numunelerinin, doygun durumda olması halinde kayma dayanımı ve mukavemet özelliklerinde meydana gelen azalma miktarı belirlenmiştir. Cam lifi zeminin deformasyon kapasitesini artırarak daha sünek davranış göstermesine sebep olmaktadır. Konsolidasyon deneyleri sıkıştırılan zeminden alınan numunelerin yerinin (alt, orta ve üst) önemine dikkat edilerek yapılmış farklı iki yöntemle şişme basıncı belirlenmiştir. Daha sonra oturma değerleri bulunmuştur. Deneyler sonucunda %0.5 oranına kadar lif eklenmesi zeminin sıkışma indisi değerlerini azaltmıştır. Lif oranının artmasıyla sıkışma ve kabarma indisi değerleri artmıştır. Cam lifinin %0.75 oranına kadar ilave edilmesi zemini daha geçirimsiz hale getirirken lif oranının %0.75'in üzerine çıkması geçirimsizliği artırmıştır. Kil zemine cam lifi ilave edilmesi bu çalışma kapsamında %0.5-%0.75 lif oranlarında eklenmesi mukavemet konsolidasyon ve permeabilite özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir. Diğer tez ve makalelere göre belirgin bir optimum oran belirlenmese de genel olarak kil zemine belirli bir orana kadar lif eklenmesi zeminin mukavemet değerini artışı olup, bu lif oranının üzerine çıkılmasıyla birlikte mukavemet değerlerinde azalma meydana geldiği görülmüştür.

Cam lifi genel olarak korozyona dayanıklı olması, kimyasallarla tepkimeye girmemesi ve belirli bir orana kadar zeminle iyi bir etkileşim göstermesi gibi olumlu özelliklerinin olmasından ötürü korozyon olma ihtimali olan yerlerde iyileştirici malzeme olarak tercih edilebilir. Sonuç olarak cam lifi zeminlerde alternatif katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği daha fazla uygulama ve araştırmalar sonucu belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- ASTM D3080/D3080M-11** Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D2166/D2166M-16** Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D5856 - 95(2007)** Standard Test Method for Measurement of Hydraulic Conductivity of Porous Material Using a Rigid-Wall, Compaction-Mold Permeameter American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D2435/D2435M-11** Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D4318-17e1** Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D6913/D6913M-17** Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D7928-17** Standard Test Method for Particle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis American Society for Testing and Materials, USA.
- Abdi, M., R., P, A., Arjomand, M., A.,** Effects of Random Fiber Inclusion on Consolidation, Hydraulic Conductivity, Swelling, Shrinkage Limit and Desiccation Cracking of Clays, *International Journal of Civil Engineering*, 6 (4), 284-292.
- Advanced** Glassfiber Yarns LLC, Technical Paper, “High Strength Glass Fibers, p. 2-11, March 2003. www.agy.com Erişim Tarihi: 10.01.2011
- Acun, S.,** 2000, Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Altun, S.,** 2010, Zemin İyileştirme Yöntemleri, *Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü*, İzmir.
- Asadollahia, F., Dabiri, R.,** 2017, Effects Of Glass Fiber Reinforced Polymer On Geotechnical Properties Of Clayey Soil, *Journal Of Structural Engineering And Geotechnics*, 7 (2), 73-83.
- Attom, M., F., Al-Tamimi, A.,K.** 2010, Effects of Polypropylene Fibers on the Shear Strength of Sandy Soil *International Journal of Geosciences*, 44-50.

- Ayyappan, S., Sundaram, M., Hemalatha, K., 2010, Investigation of Engineering Behavior of Soil, Polypropylene Fibers and Fly Ash -Mixtures for Road Construction, *International Journal of Environmental Science and Development*, 1 (2), 171-175.**
- Aytekin, M., 2004. Deneysel Zemin Mekaniği. Teknik Yayınevi, Mühendislik & Mimarlık Yayınları, Ankara.**
- Aydın, S., 2010, Yenikent Yerleşim Alanı Killerinin Kireç Ve Uçucu Külle Geoteknik Özelliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.**
- Barbero, E.J., 1999, Introduction to Composite Materials Design, Edwards Brothers, Ann Arbor, MI, U.S.A.**
- Baruah, H., 2015, Effect Of Glass Fibers On Red Soil, *International Journal Of Advanced Technology In Engineering And Science*, 3 (01), 217-223.**
- Bayraktar, İ., Yarar, B., 1985, Altın Cevherlerinin Zenginleştirilmesi ve Altının Ekstraksiyonu, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 9. Kongresi, TMMOB Maden Müh. Odası Yayını, 6-10 Mayıs Ankara, 75-96.**
- Bergado, D. T. And Anderson, L. R., 1996, Soft Ground Improvement In Low Land And Other Environments, Asce Press Systems, Ny, Usa.**
- Bildik, S., 2017, Zemin iyileştirme Yöntemleri, *Nişantaşı Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü*, İstanbul.**
- Chegenizadeh, A., Nikraz, H., 2011, Study on Strength of Fiber Reinforced Clayey sand, *International Conference on Science and Engineering*, 356-359.**
- Chen, F.H., 1975, Foundation on Expansive Soils, New York, Elsevier Publications.**
- Çetin, A., Y., 2011, Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerin Alternatif Malzemeler İle Yüzeysel Zemin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.**
- DAS, B. 2007, Principles of Foundation Engineering, 6th Edition, Thomson Learning.**
- Demiral, T. Ö., 2017, Sülfatlı Su İçerikli Kum Zeminlerde Portland Çimentosu Ve Sülfata Dayanıklı Çimento Kullanılarak Oluşturulan Jet-Grout Kolonlarının Taşıma Gücüne Sülfatın Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.**

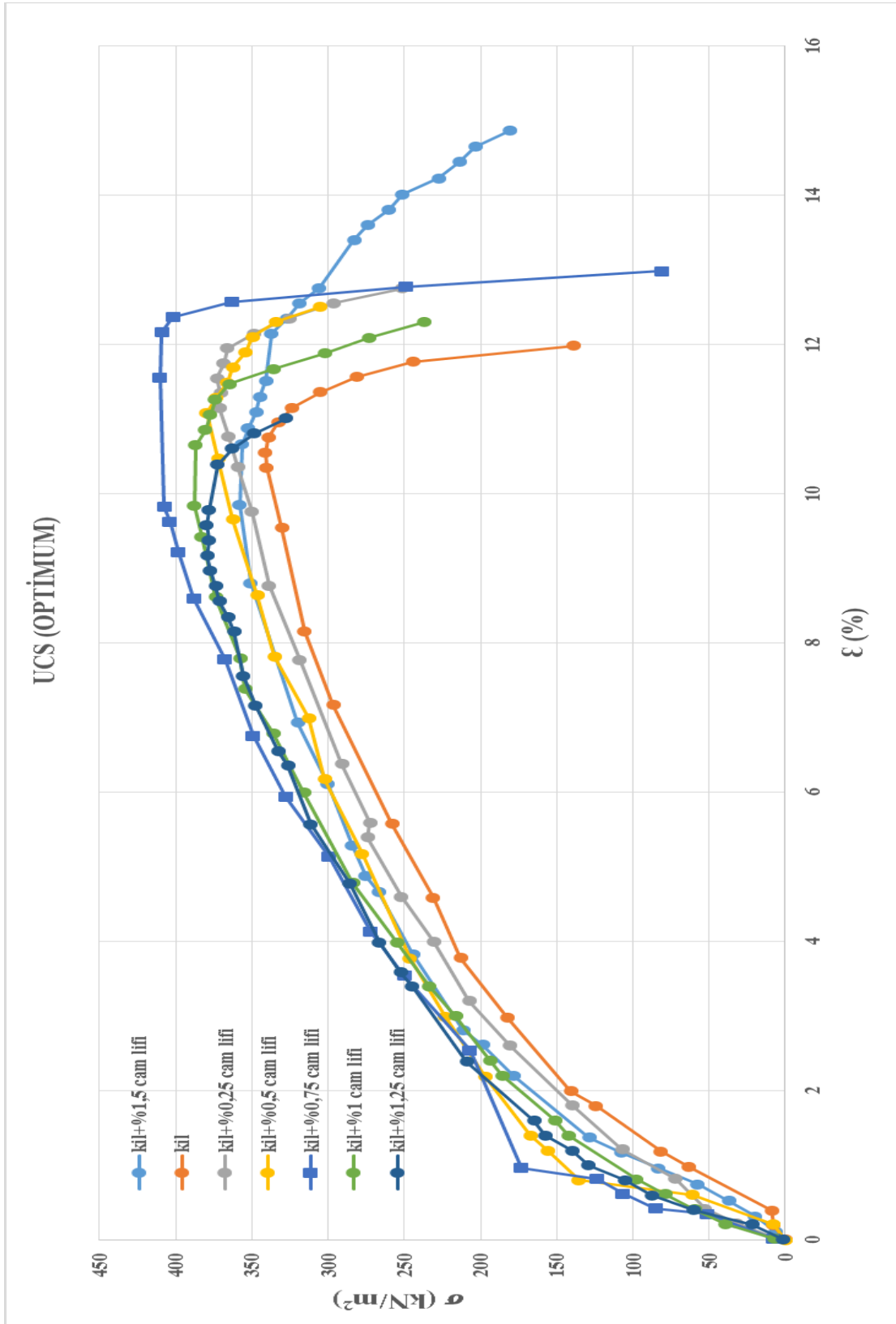
- Demiröz A.**, Karaduman, M., 2009, Zemin İyileştirme Metotları, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 8 (3), 176-192.
- Ersoy, H. Y.**, 2001, Kompozit malzeme, Literatür Yayınları, 66, İstanbul.
- Genç, S.**, 2009, Şişen Zeminler Ve Bentonit – Kaolin Karışımlarının Şişme Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Gümüşer, C.**, Şenol, A., 2014, Effect of fly ash and different lengths of polypropylene fibers content on the soft soils, *International Journal of Civil Engineering*, 12 (2), 134-145.
- Harmancıoğlu, M.**, 1981, Tekstil Maddeleri 2, Rejenere Ve Sentetik Lifler, 338-347.
- Kar, R. K.**, Kumar, P., Naik, P. A., 2012, Consolidation Characteristics of Fiber Reinforced Cohesive Soil, *Ejge*, 17 (Z), 3861-3874.
- Kassif, G.**, 1971, Swelling Potential of Compacted Clay, ASCE, Vol.97.
- Kılıç, G.**, 2008, Çimento ile zemin stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Kulkarni, V. R.**, Patil, G., K., 2014, Experimental Study Of Stabilization Of B.C. Soil By Using Slag And Glass Fibers, *Journal Of Civil Engineering And Environmental Technology*, 1 (2), 107-112.
- Kurt, G.**, 2006, Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Mali, S.**, Singh, B., 2013, A Study On Shear Strength Of Sand Reinforced With Glass Fibres, *International Journal Of Scientific & Engineering Research*, 4 (5), 285-288.
- Maheshwari, K.**, ve ark., 2013, Effect of Polyester Fibers on Strength Properties of Clayey Soil of High Plasticity, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4 (6), 486-491.
- Mender, F. N. B.**, 2015, Stabilization Of Clayey Soil Using Polyethylene And Polypropylene, Faculty Of Civil Engineering And Earth Resources *Universiti Malaysia Pahang*, 1-13.
- Miller, C. J.**, Rifai, S. M., 2004, Fiber Reinforcement For Waste Containment Soil Liners, *Journal Of Environmental Engineering*, 130 (8).

- Mirzababaei, M.**, Arulrajah, A., Haque, A., Nimbalkar S., Mohajerani A., 2018, Effect Of Fiber Reinforcement On Shear Strength And Void Ratio Of Soft Clay, *Geosynthetics International*.
- Mujaheduddin, Mathada, V., S., Moinuddin, K., Kotagi, P., M.**, 2018, Stabilization Of Black Cotton Soil Using GGBS, Glass Fiber And Ordinary Portland Cement, *International Journal For Innovative Research In Science & Technology* 5 (1), 104-108.
- Neubauer, C. H. And Thompson, M. R.** 1972, Stability Properties Of Uncured Lime-Treated Fine-Grained Soil, Highway Research Record No.381, Highway Research Board, Pp. 20-26, USA.
- Özaydın, K.** 2000, Zemin Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Özdemir, D., Mecit, D., H., N., Seventekin, T., Öktem,** 2006, Cam Lifleri, Ege Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü, 281-286, İzmir.
- 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.
- Patel, P., A., Dave, M., Balar, T.**, 2017, Experimental Evaluation Of Modification In Expansive Soil Using AR Glass Fibre With Fly Ash Under Compaction Characteristics, *Scientific Journal Of Impact Factor*, 4 (3) 617-622.
- Patel, S., C., Singh, B.**, 2016, Investigation Of Glass Fiber Reinforcement Effect on the CBR Strength Of Cohesive Soil, *Indian Geotechnical Conference, India*.
- Sağlamer, A.**, 2011, Zemin İyileştirme Yöntemleri, *Zm 11 Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon*.
- Seventekin N.**, 2001, Kimyasal Lifler, E.Ü. Teks. ve Konf. Araş. Uyg. Merk., 128134.
- Sektörel Uygulama Kılavuzu (Taslak)**, Cam Üretimi, *Sanayiden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Belirlenmesi Ve Azaltılmasına Yönelik Uygulamanın Kolaylaştırılmasının Sağlanması Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*.
- Shah, B.**, 1995, Fiber Reinforced Composites, *American Concrete Institute, Detroit, USA*.
- Tiwari, A., Mahiyar, H., K.**, 2014, Experimental Study On Stabilization Of Black Cotton Soil By Fly Ash, Coconut Coir Fiber & Crushed Glass, *International Journal Of Emerging Technology And Advanced Engineering*, 4 (11), 330-333.

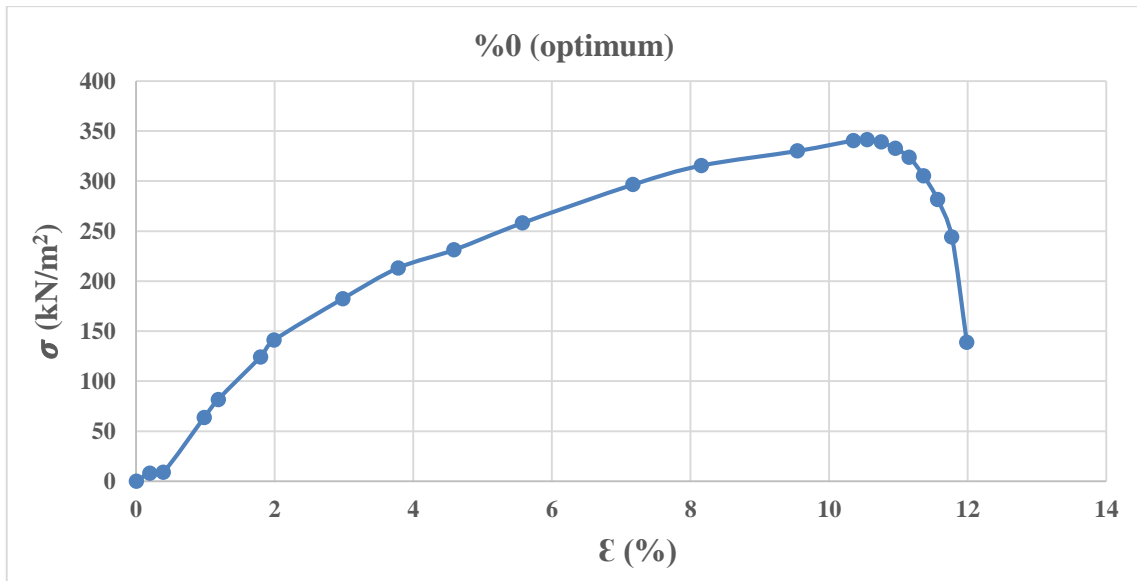
- Tiwari, D., K., Dixit, R.,K., Roy, S.,** 2016, Study on Stabilization of Black Cotton Soil by Using Stone Dust & Polypropylene Fibers, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5 (9), 16872-16876.
- Töremiş, E., İl.,** 2003, Geotekstiller Ve Plaxıs Sonlu Elemanlar Programı, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Tumluer, G.,** 2006, Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- Türker, S., Balanlı, A.,** 1992, Yapı Malzemeleri, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Uzuner, B., A.,** 2012, *Temel Zemin Mekaniği*, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Uzuner, B., A.,** 2013, *Temel Zemin Mekaniği*, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Ürkmez, A. R.,** 2009, Kalıcı Kayma Mukavemetinin Tekrarlı Kesme Kutusu Deney Yöntemi İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Ünver, E.,** 2015, Problemlili Kil Zeminlerin Uçucu Kül İle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Vural, P.,** 2012, Şişme ve Dispersif Karakteristikteki Kil Zeminlerin Mühendislik Özelliklerine Çimento ve Zeolitin (Doğal Puzolan) Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Yaman, N., Öktem, T., Seventekin, N.,** 2006, Karbon Liflerinin Üretimi Ege Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Yılmaz, Y., Sevensan, Ü.,** 2010, PoliPropilen Fiber Ve Uçucu Kül Katkılı Ankara Kilinin Bazı Geoteknik Özelliklerinin Araştırılması, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi*, 133-142.
- Yüksek, M.,** 2011, Cam Lifi Esaslı Poliester Reçineli Çok Eksenli Çözümlü Örne Kompozit Yapıların Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

EKLER

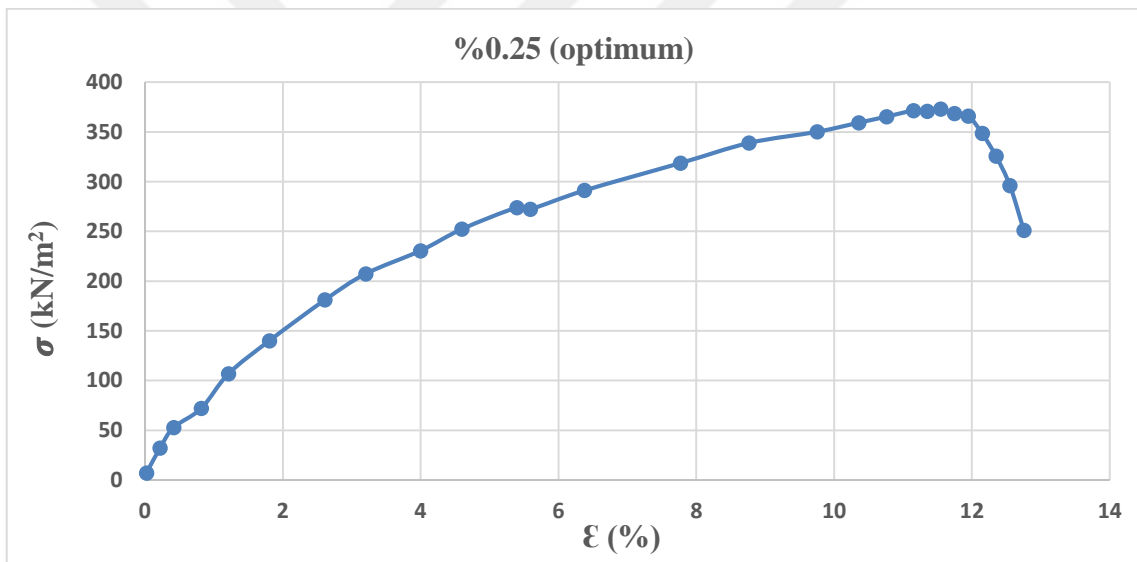
EK-1 Serbest basınç deney sonuçları (Optimum su muhtevası)



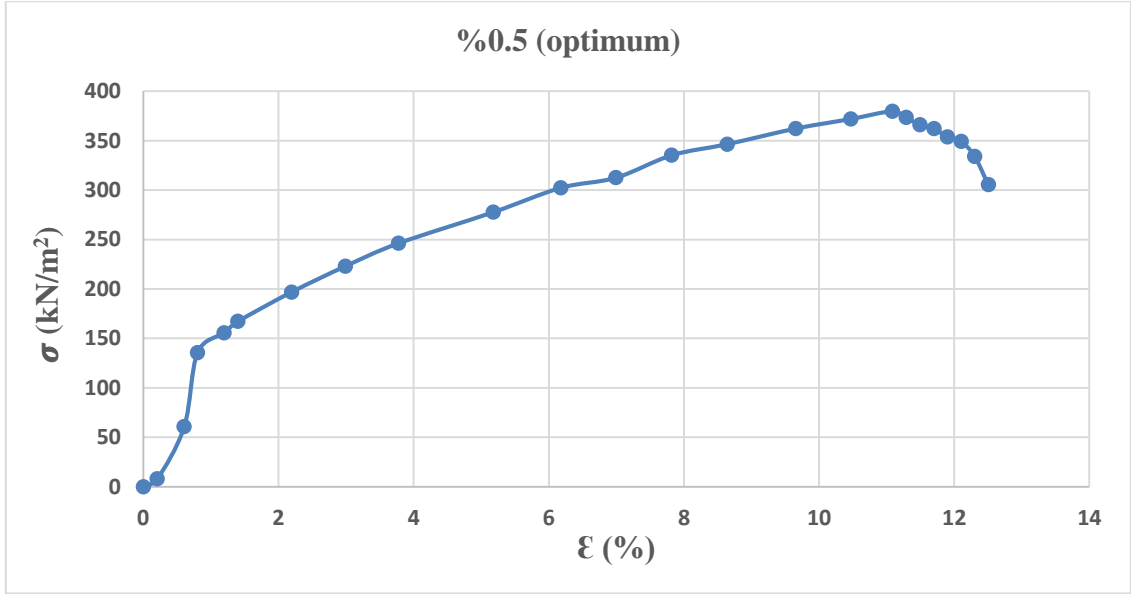
Şekil EK 1.1. Serbest basınç deney sonuçları (optimum su muhtevası)



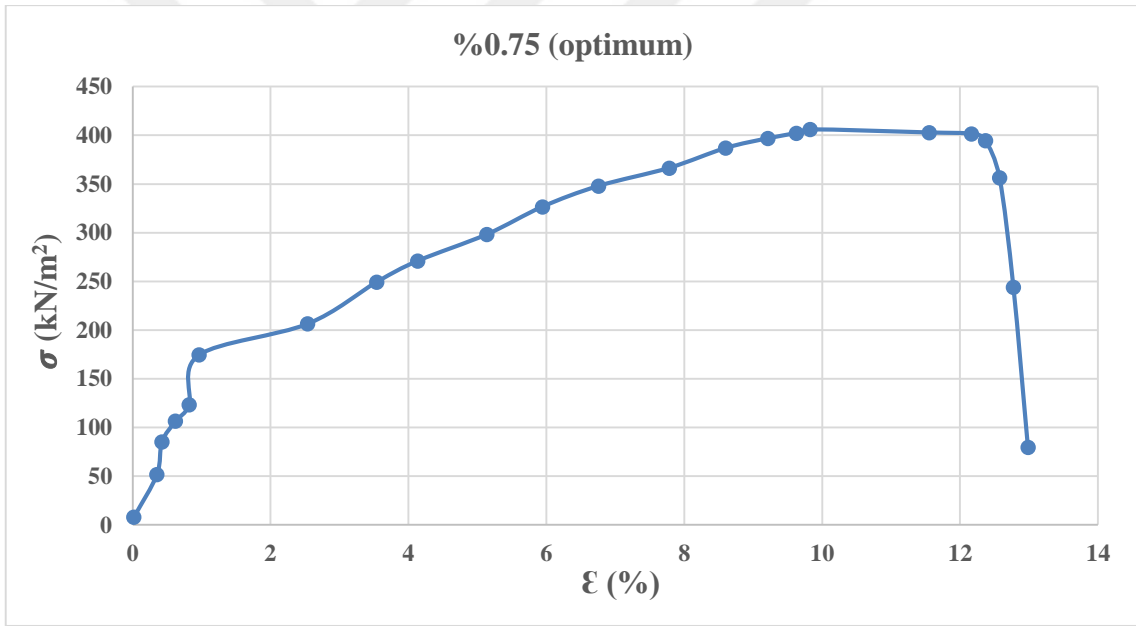
Şekil EK 1.2. Serbest basınç deney sonuçları (optimum su muh.)



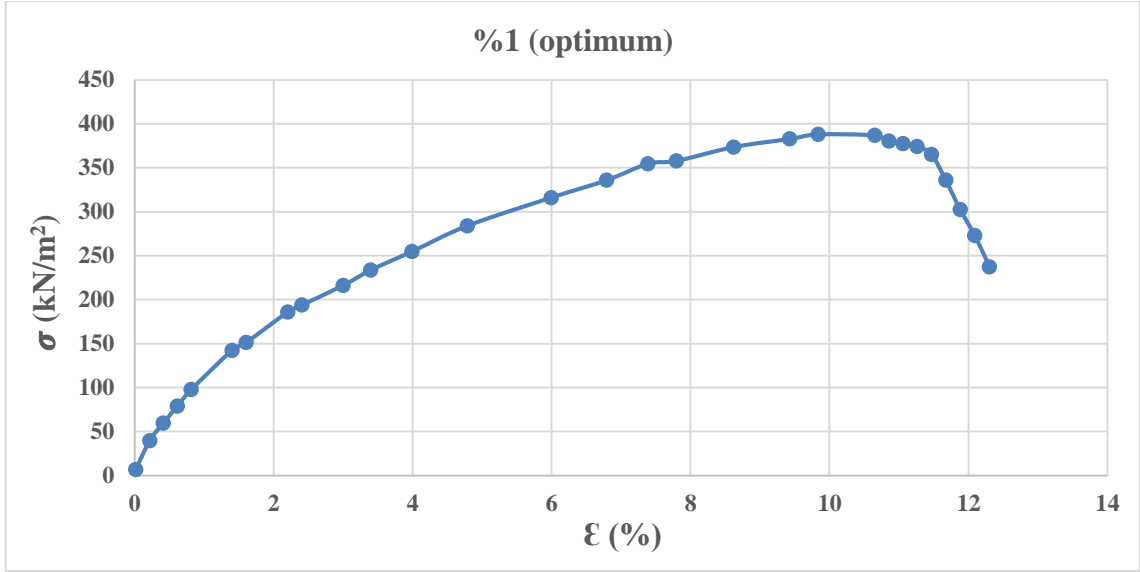
Şekil EK 1.3. Serbest basınç deney sonuçları (% 0.25 cam lifi katkılı-optimum su muh.)



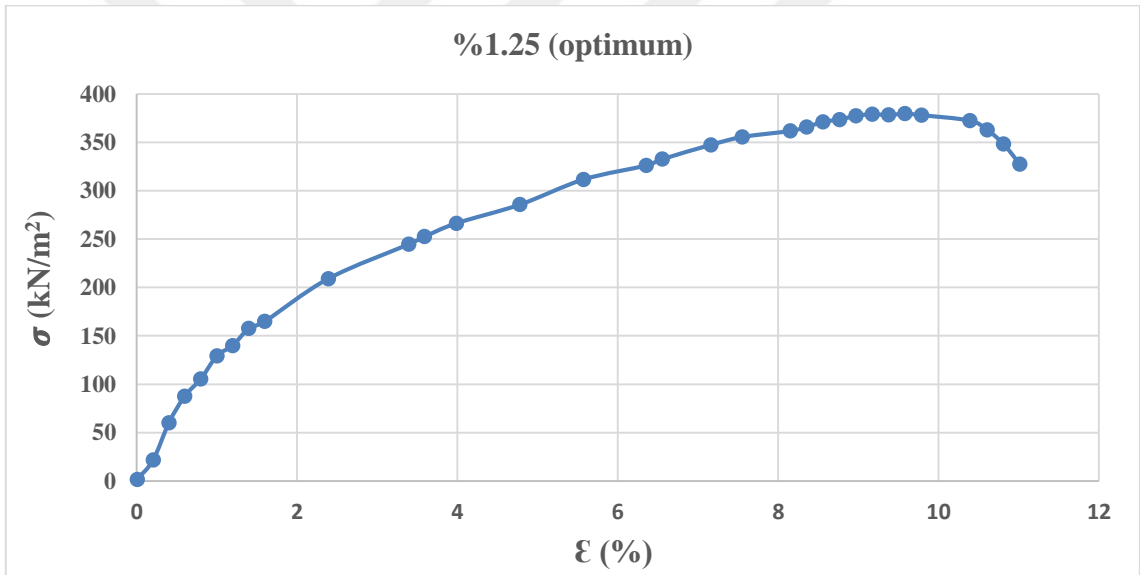
Şekil EK 1.4. Serbest basınç deney sonuçları (% 0.5 cam lifi katkılı-optimum su muh.)



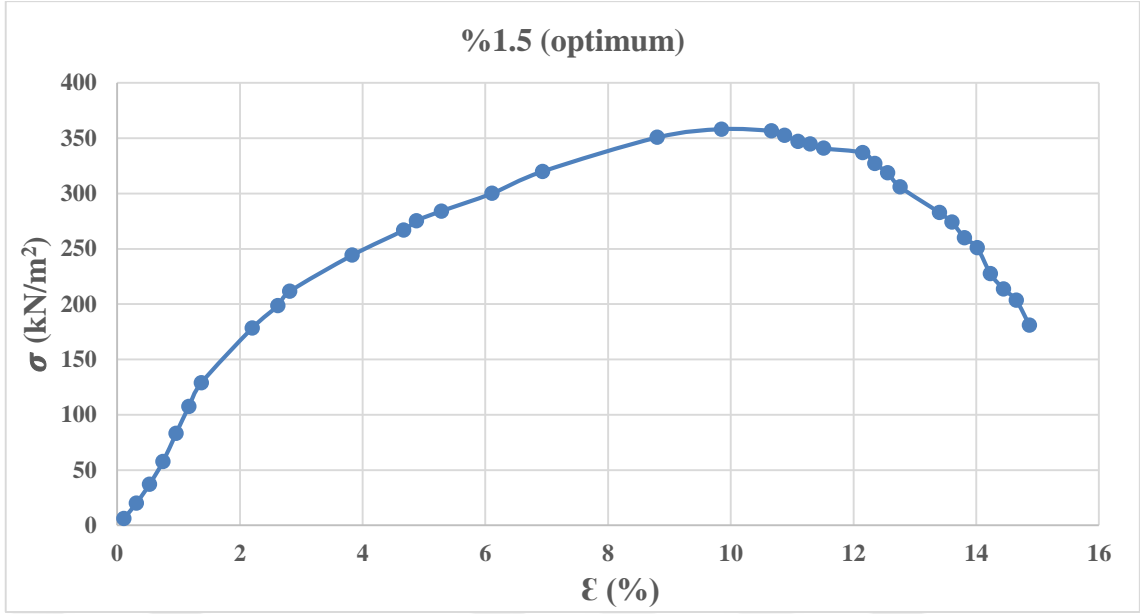
Şekil EK 1.5. Serbest basınç deney sonuçları (% 0.75 cam lifi katkılı-optimum su muh.)



Şekil EK 1.6. Serbest basınç deney sonuçları (% 1 cam lifi katkıli-optimum su muh.)

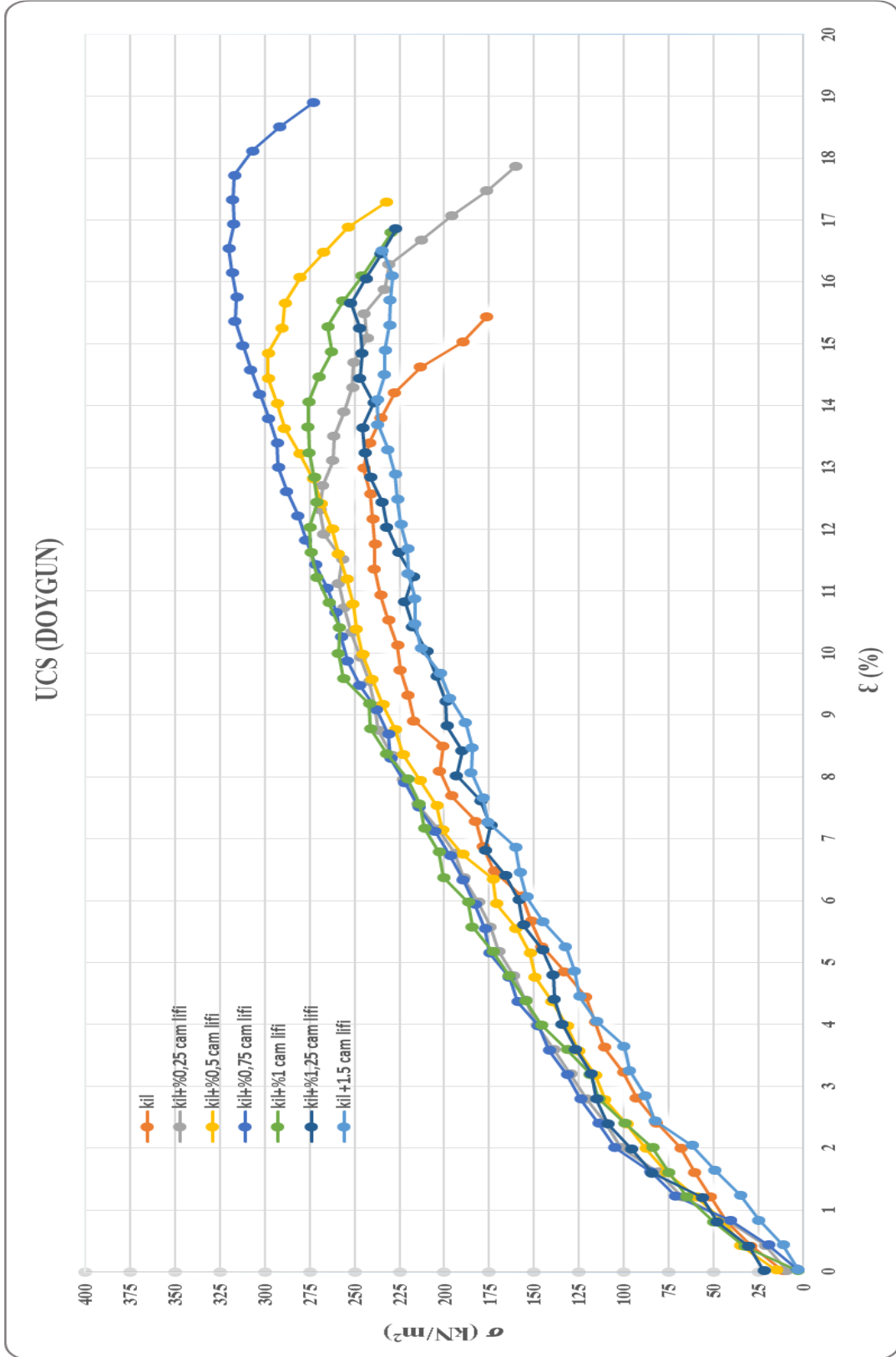


Şekil EK 1.7. Serbest basınç deney sonuçları (% 1.25 cam lifi katkıli-optimum su muh.)

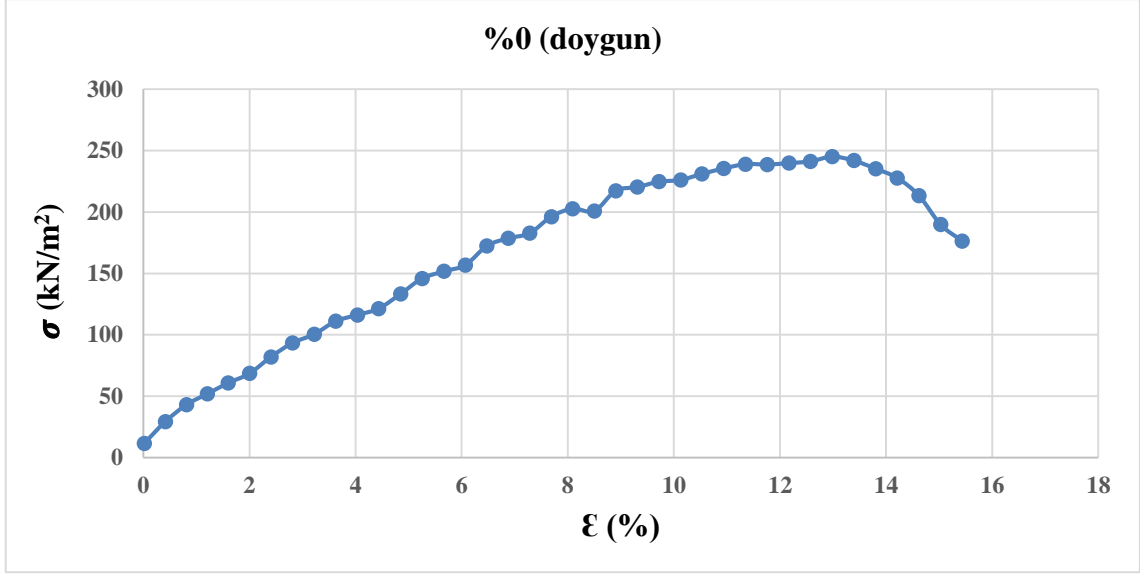


Şekil EK 1.8. Serbest basınç deney sonuçları (% 1.5 cam lifi katkılı-optimum su muh.)

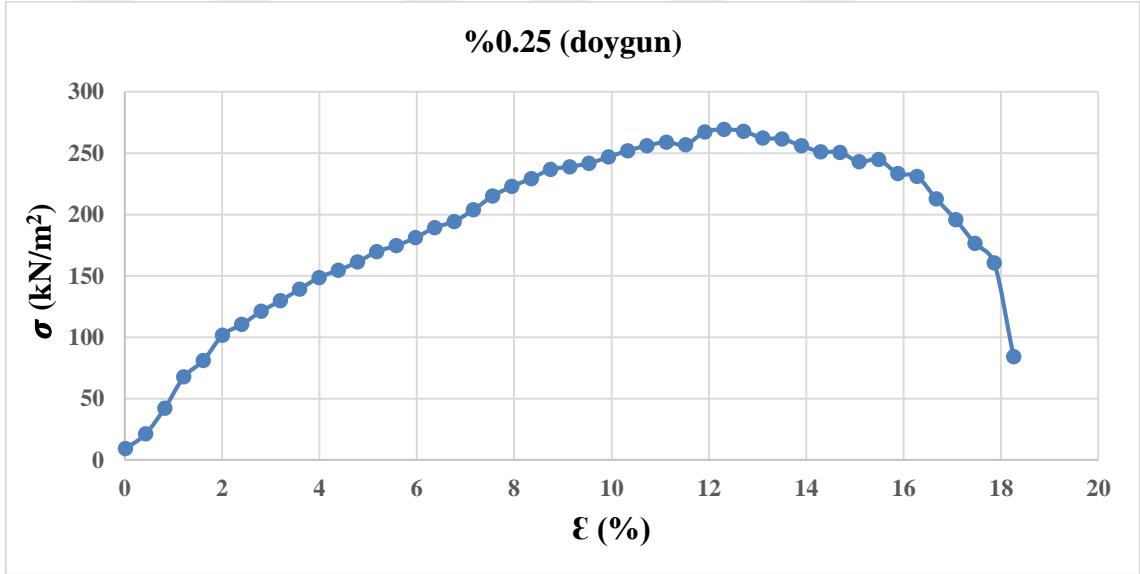
EK-2 Serbest basınç deney sonuçları (Suya doymun numune)



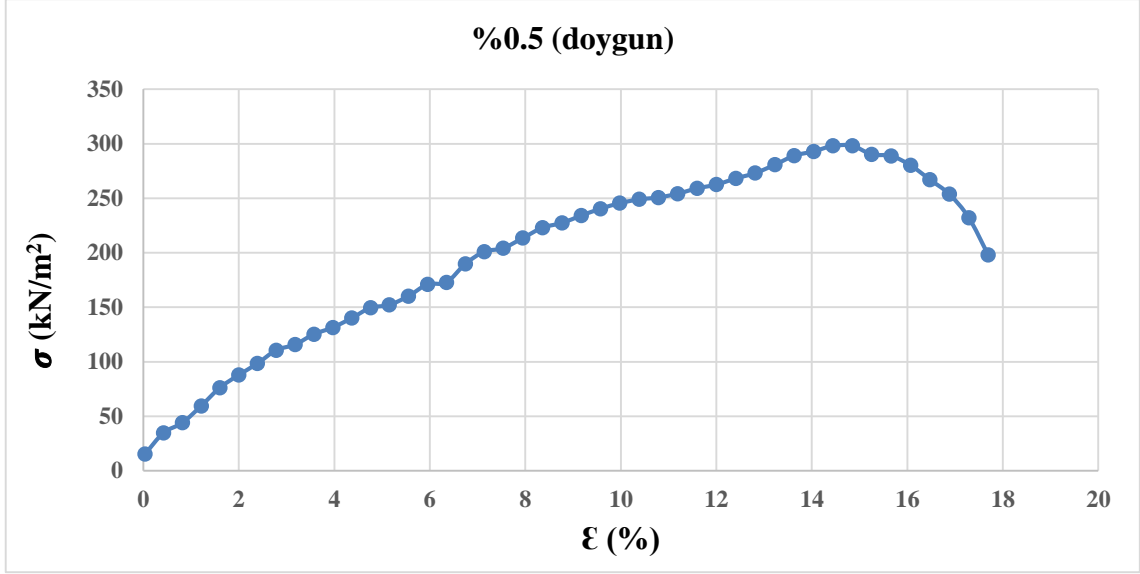
Şekil EK 2.1. Serbest basınç deney sonuçları (suya doymun)



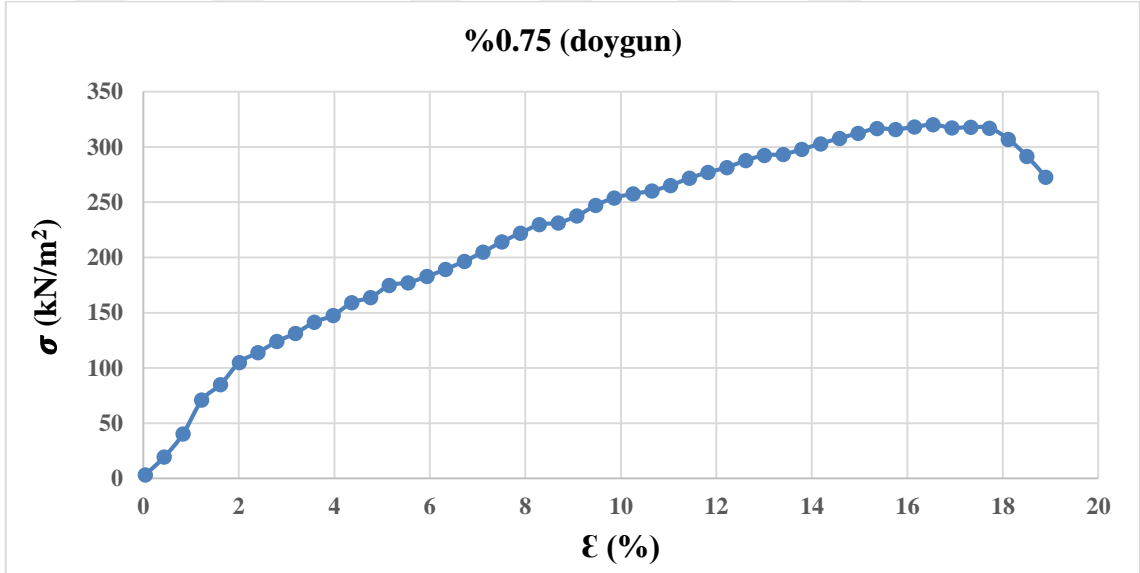
Şekil EK 2.2. Serbest basınç deney sonuçları (suya doygun)



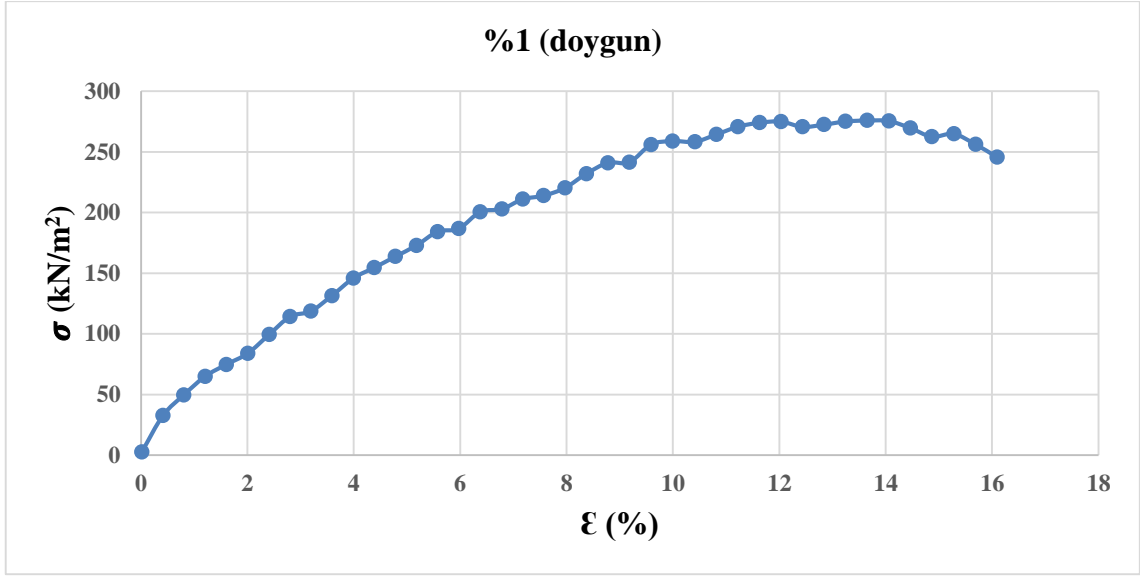
Şekil EK 2.3. Serbest basınç deney sonuçları (% 0.25 cam lifi katkılı -suya doygun)



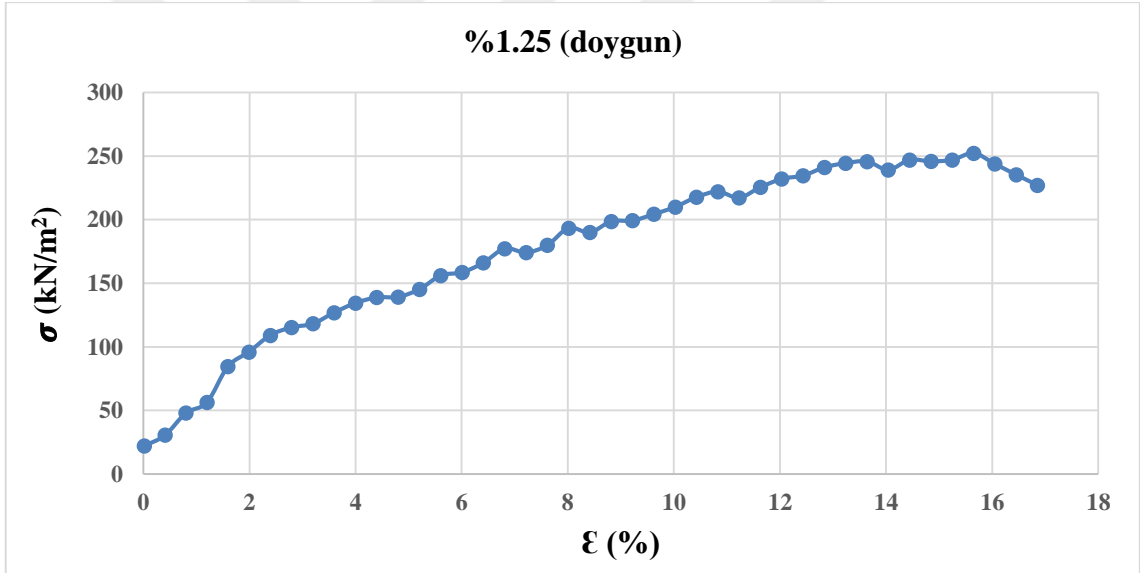
Şekil EK 2.4. Serbest basınç deney sonuçları (% 0.5 cam lifi katkı -suya doygun)



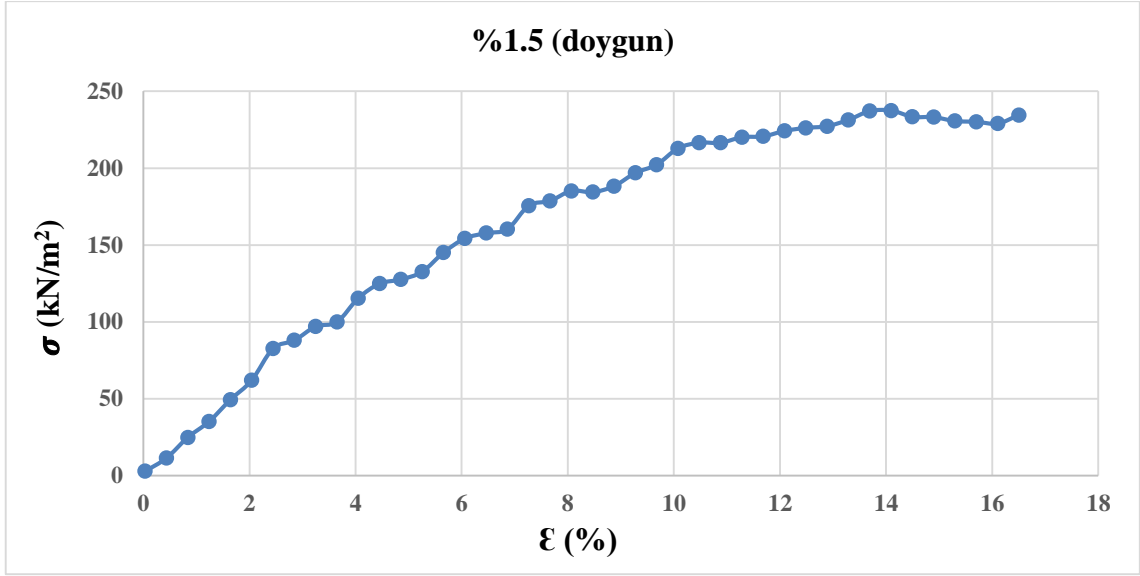
Şekil EK 2.5. Serbest basınç deney sonuçları (% 0.75 cam lifi katkı -suya doygun)



Şekil EK 2.6. Serbest basınç deney sonuçları (% 1 cam lifi katkılı -suya doygun)

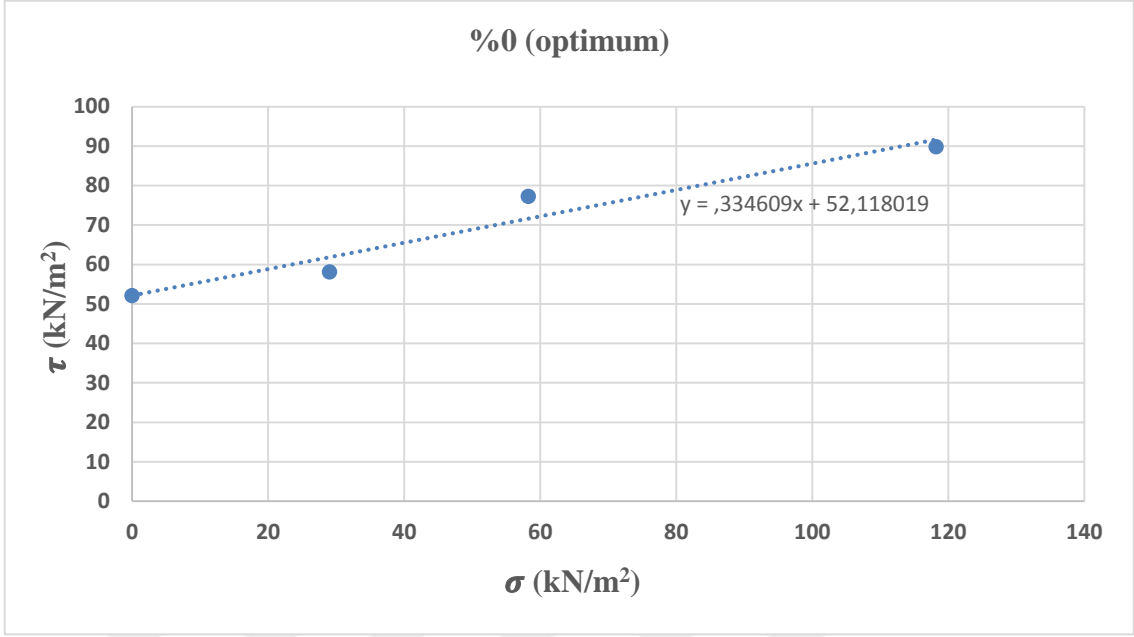


Şekil EK 2.7. Serbest basınç deney sonuçları (% 1.25 cam lifi katkılı -suya doygun)

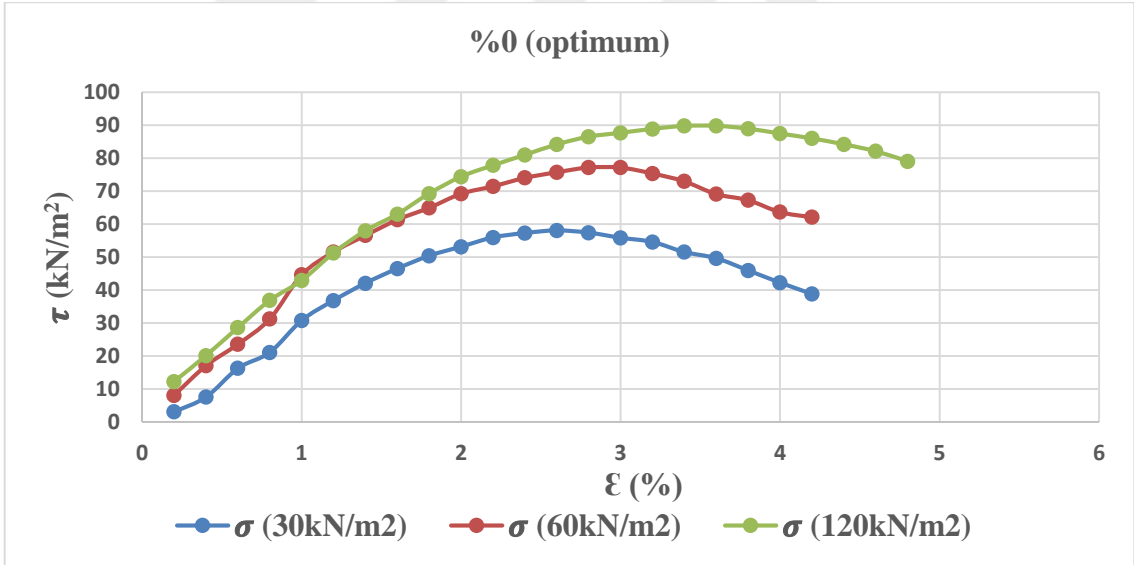


Şekil EK 2.8. Serbest basınç deney sonuçları (% 1.5 cam lifi katkı -suya doygun)

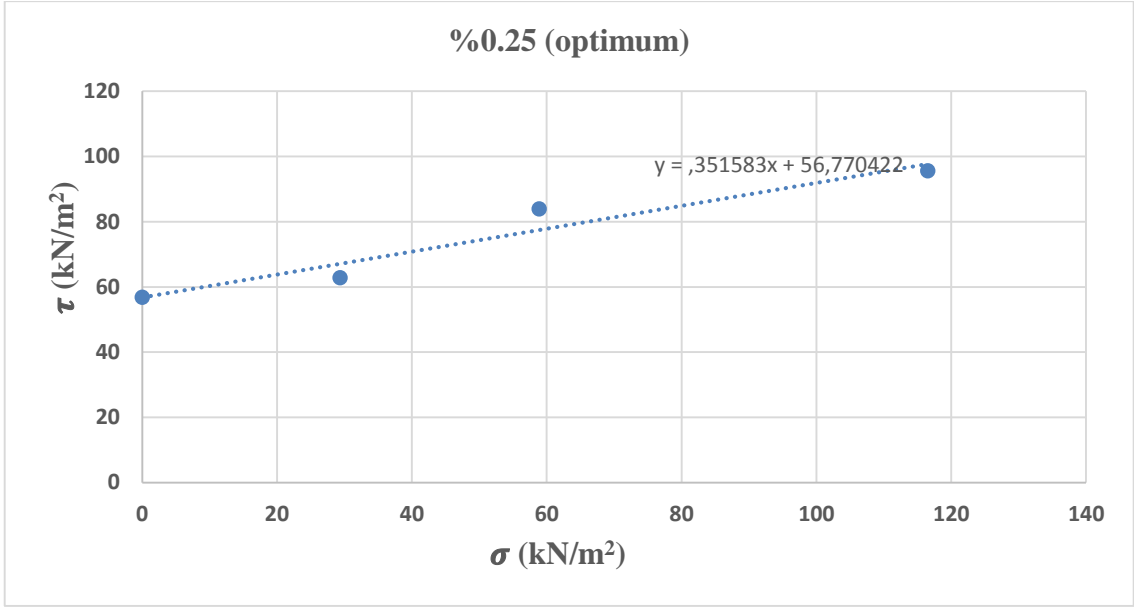
EK-3 Kesme kutusu deney sonuçları (Optimum su muhtevası)



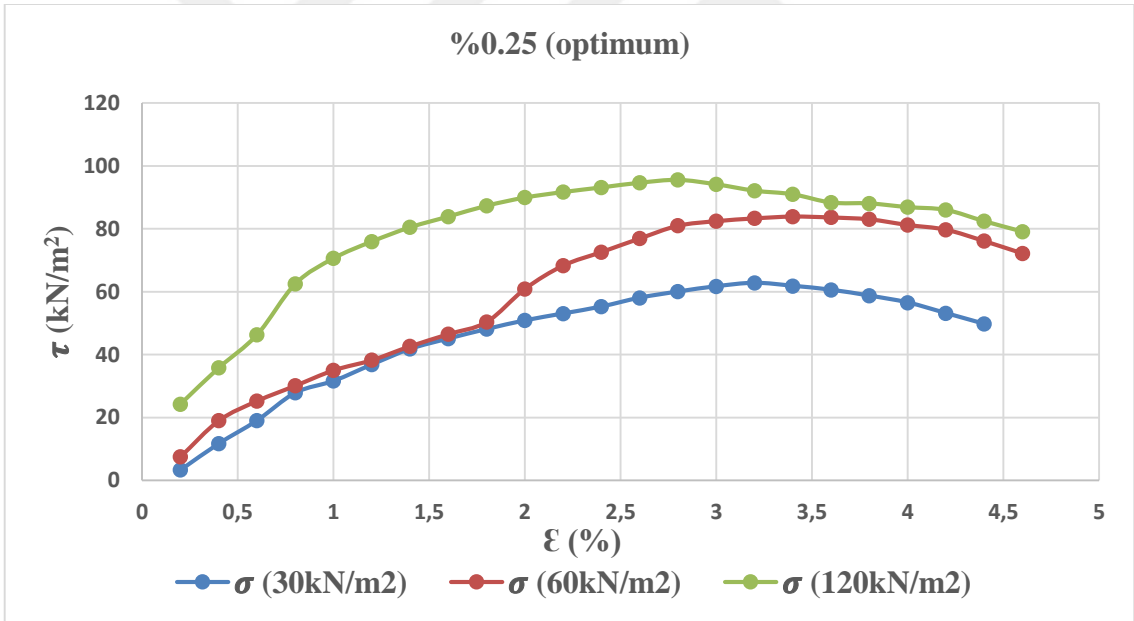
Şekil EK 3.1. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği(optimum su muh.)



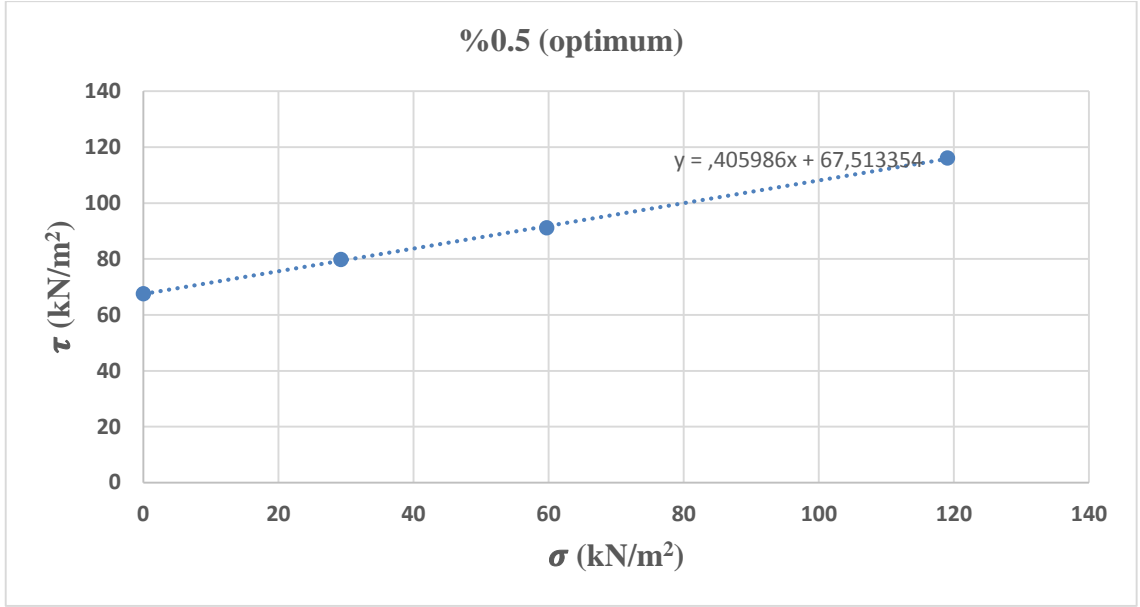
Şekil EK 3.2. Kesme kutusu deney sonuçları kayma gerilmesi-deformasyon grafiği(optimum su muh.)



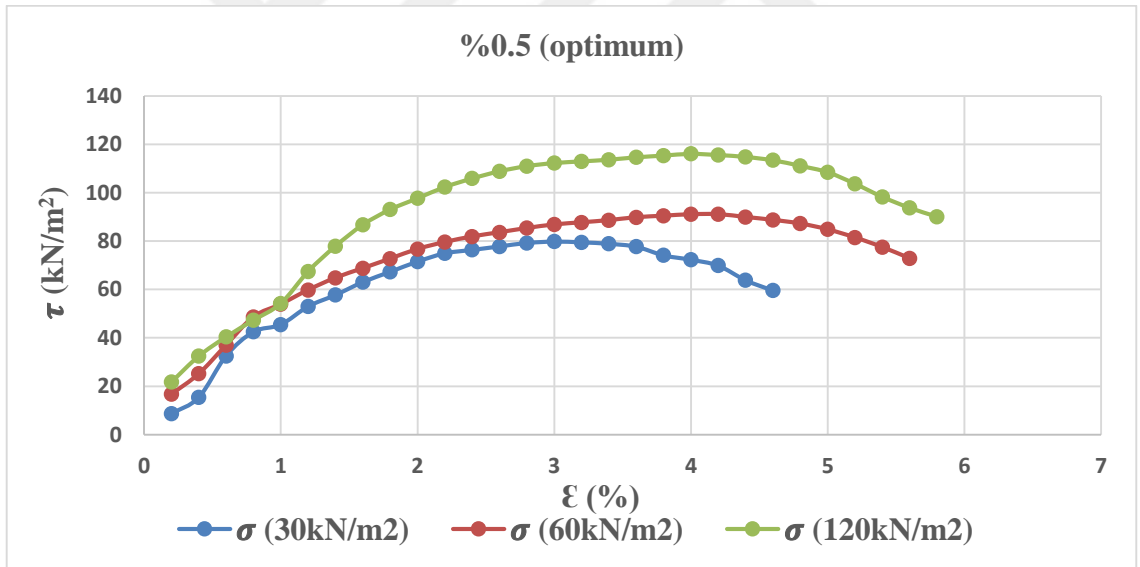
Şekil EK 3.3. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (% 0.25 cam lifli katkı- optimum su muh.)



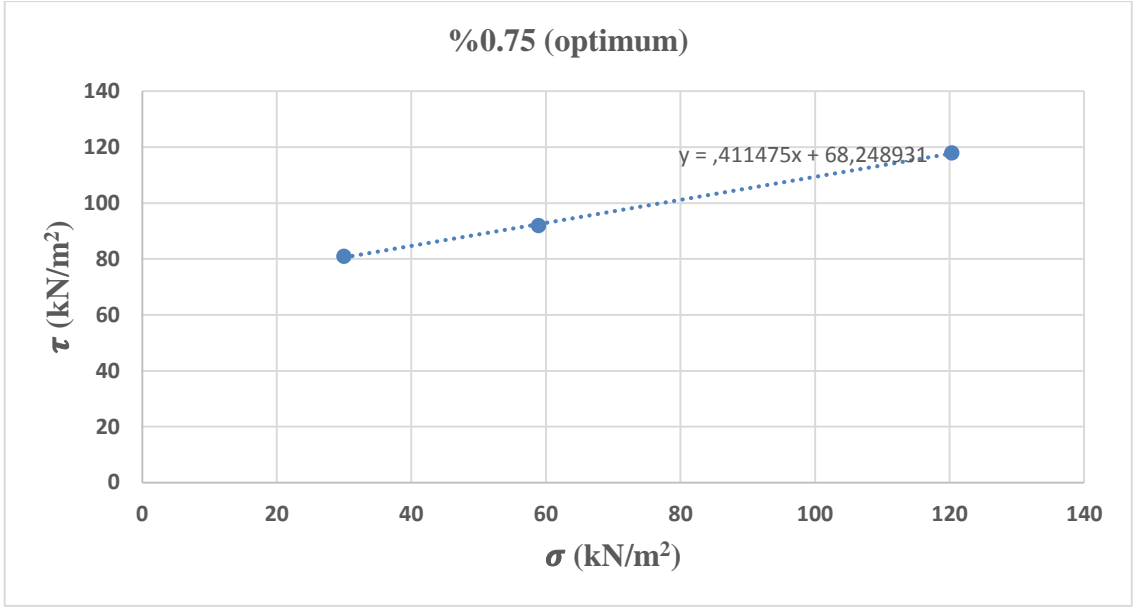
Şekil EK 3.4. Kesme kutusu deney sonuçları kayma gerilmesi-deformasyon grafiği(% 0.25 cam lifli katkı- optimum su muh.)



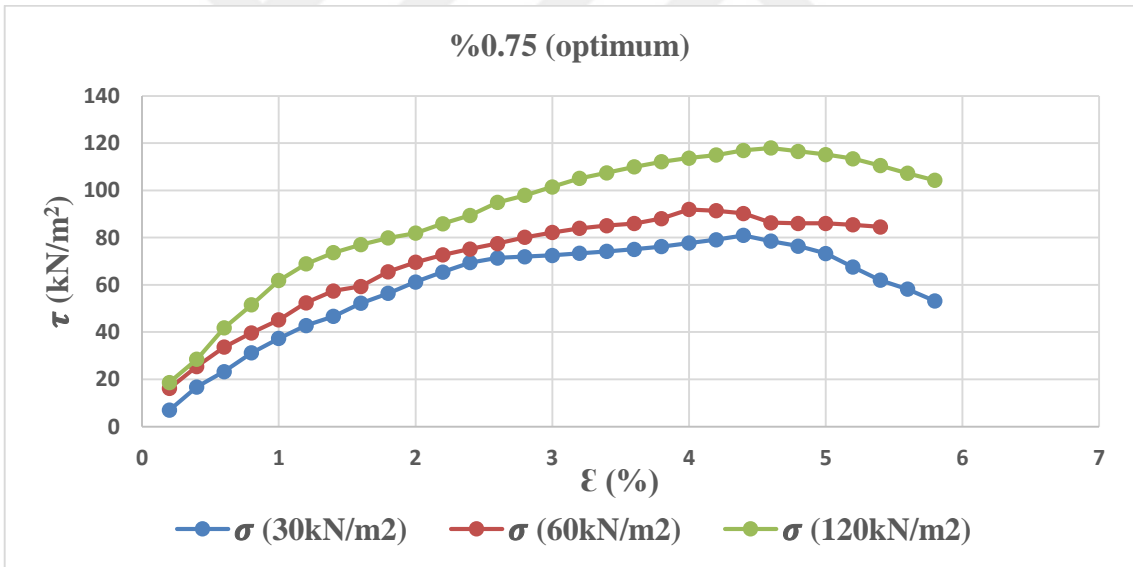
Şekil EK 3.5. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği(% 0.5 cam lifli katkı-optimum su muh.)



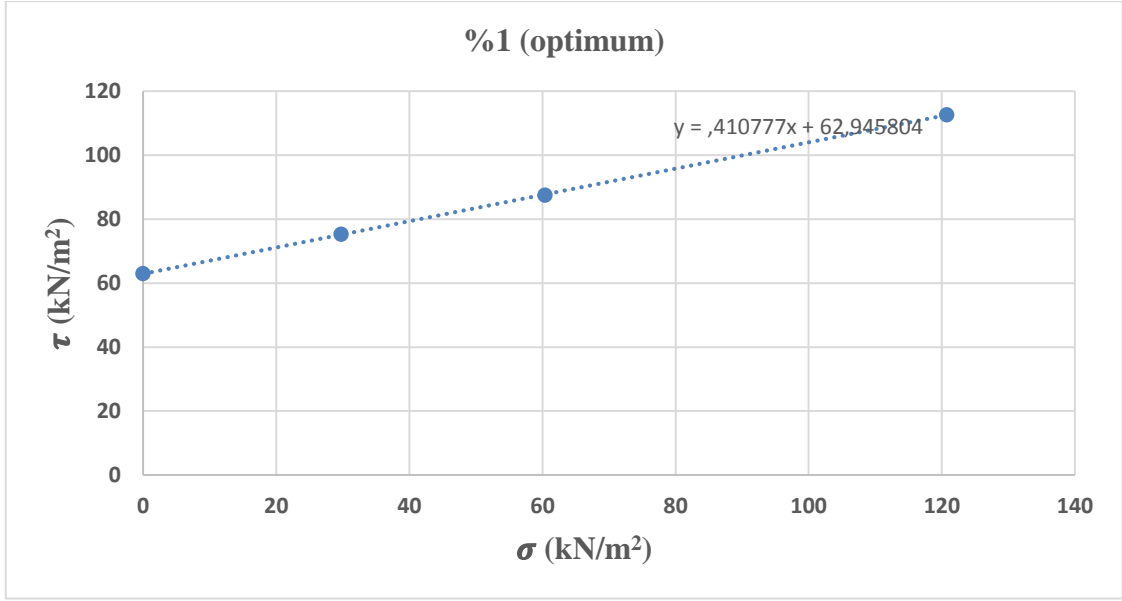
Şekil EK 3.6. Kesme kutusu deney sonuçları kayma gerilmesi-deformasyon grafiği (% 0.5 cam lifli katkı-optimum su muh.)



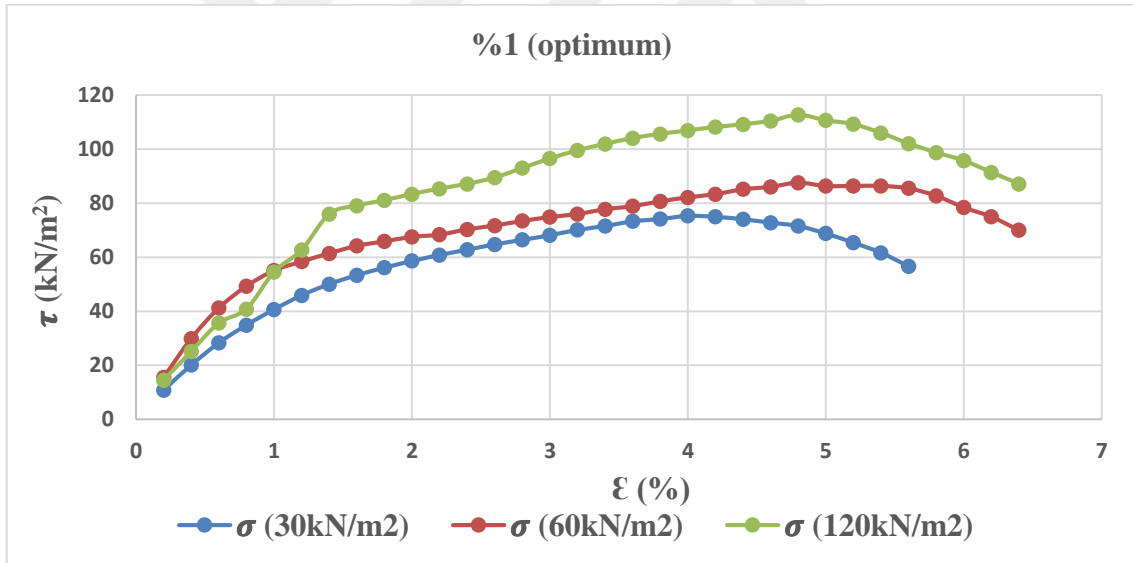
Şekil EK 3.7. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (% 0.75 cam lifli katkı- optimum su muh.)



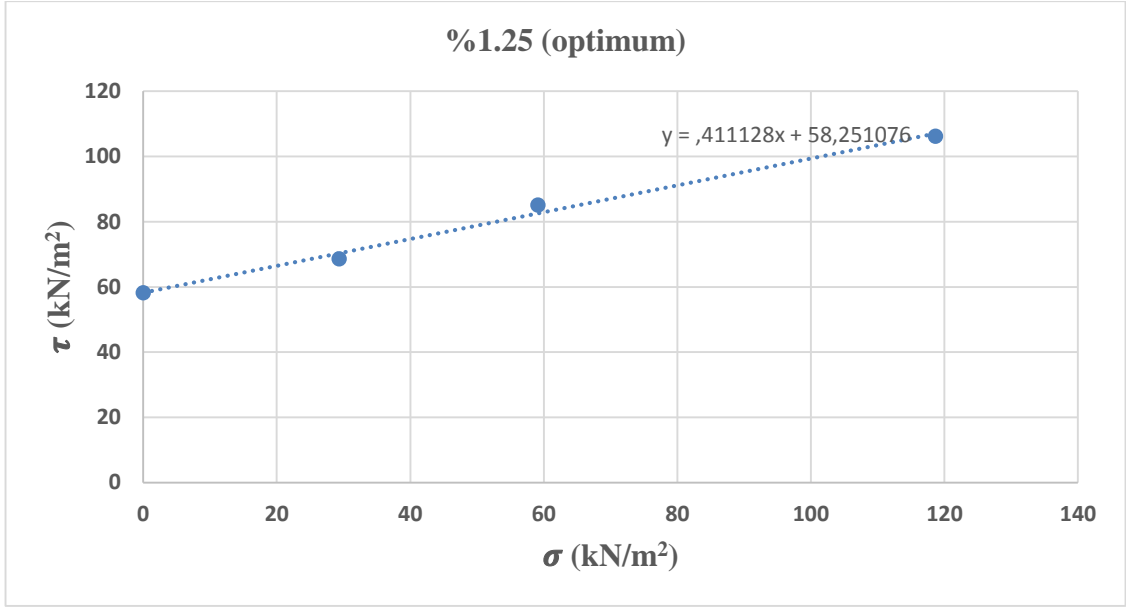
Şekil EK 3.8. Kesme kutusu deney sonuçları kayma gerilmesi-deformasyon grafiği (% 0.75 cam lifli katkı- optimum su muh.)



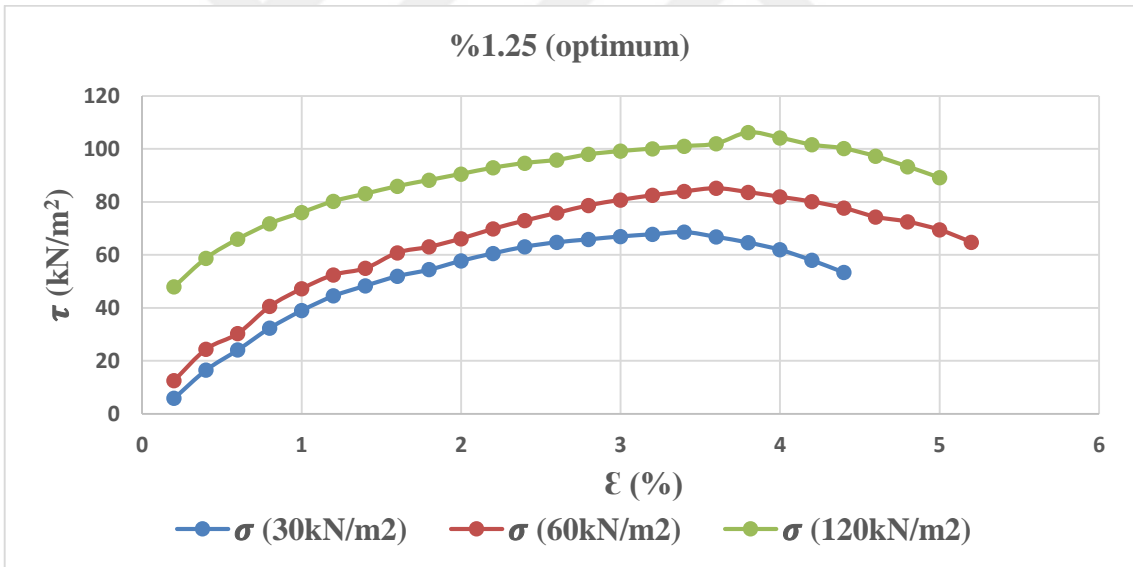
Şekil EK 3.9. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği(% 1 cam lifli katkı-optimum su muh.)



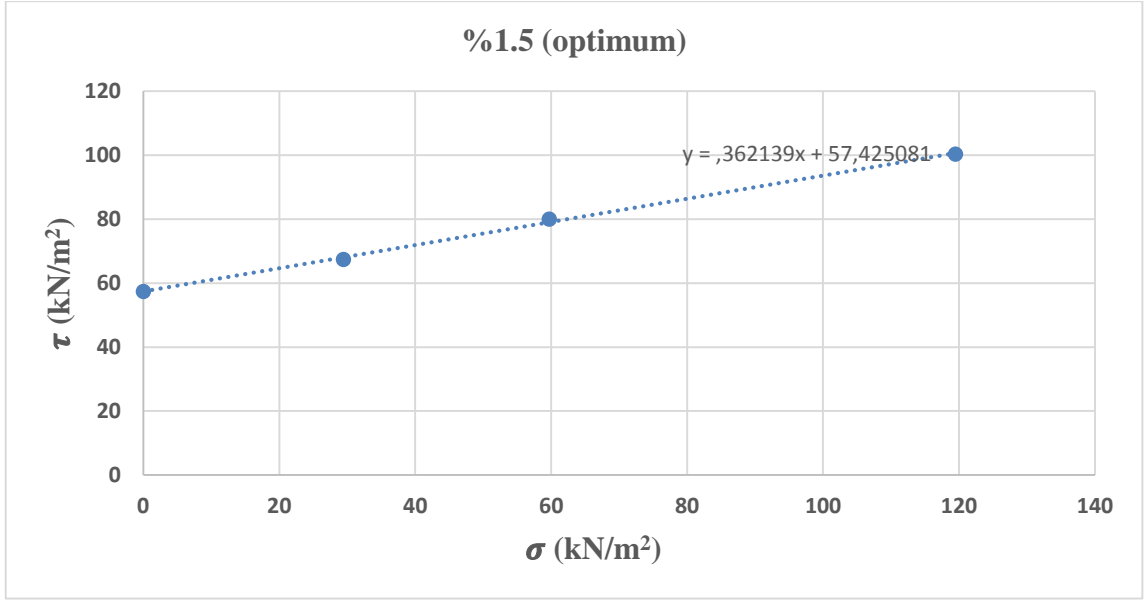
Şekil EK 3.10. Kesme kutusu deney sonuçları kayma gerilmesi-deformasyon grafiği(%1 cam lifli katkı-optimum su muh.)



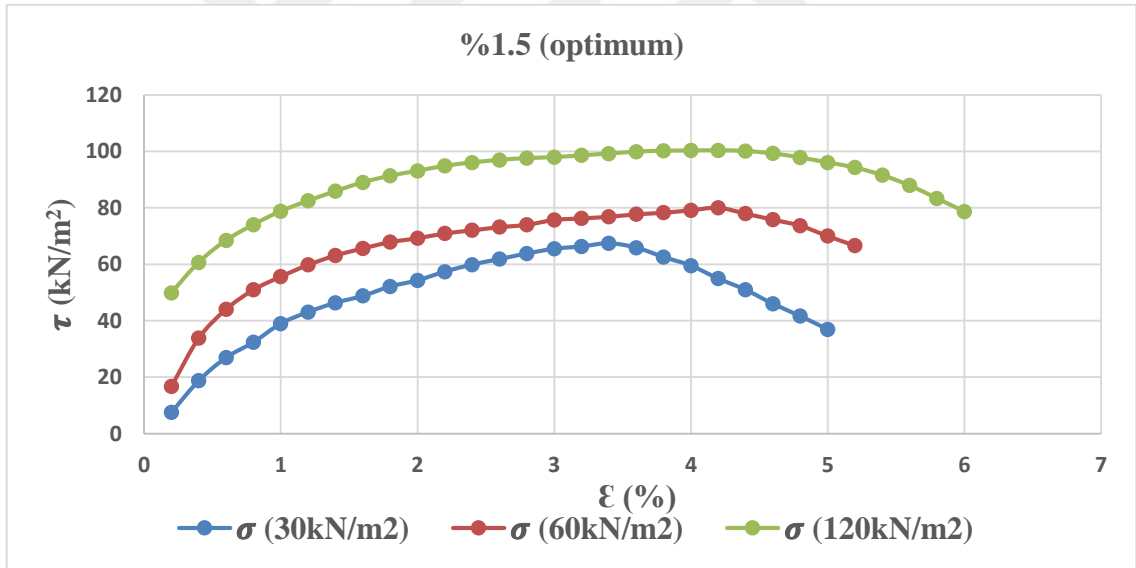
Şekil EK 3.11. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği(% 1.25 cam lifi katkı-optimum su muh.)



Şekil EK 3.12. Kesme kutusu deney sonuçları kayma gerilmesi-deformasyon grafiği(% 1.25 cam lifi katkı-optimum su muh.)

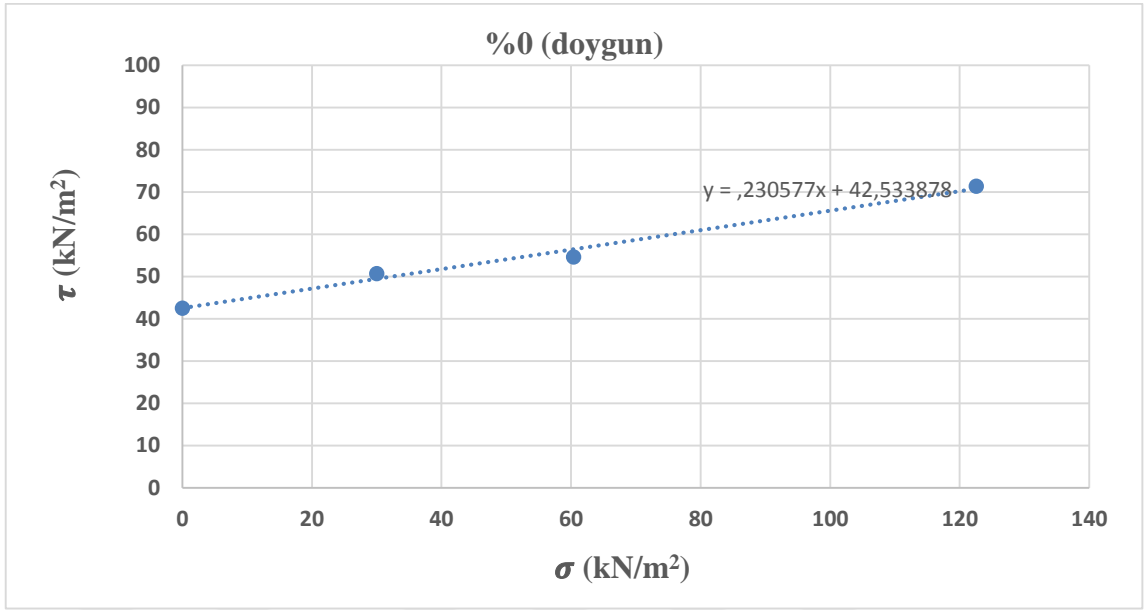


Şekil EK 3.13. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği(%1.5 cam lifli katkı-optimum su muh.)

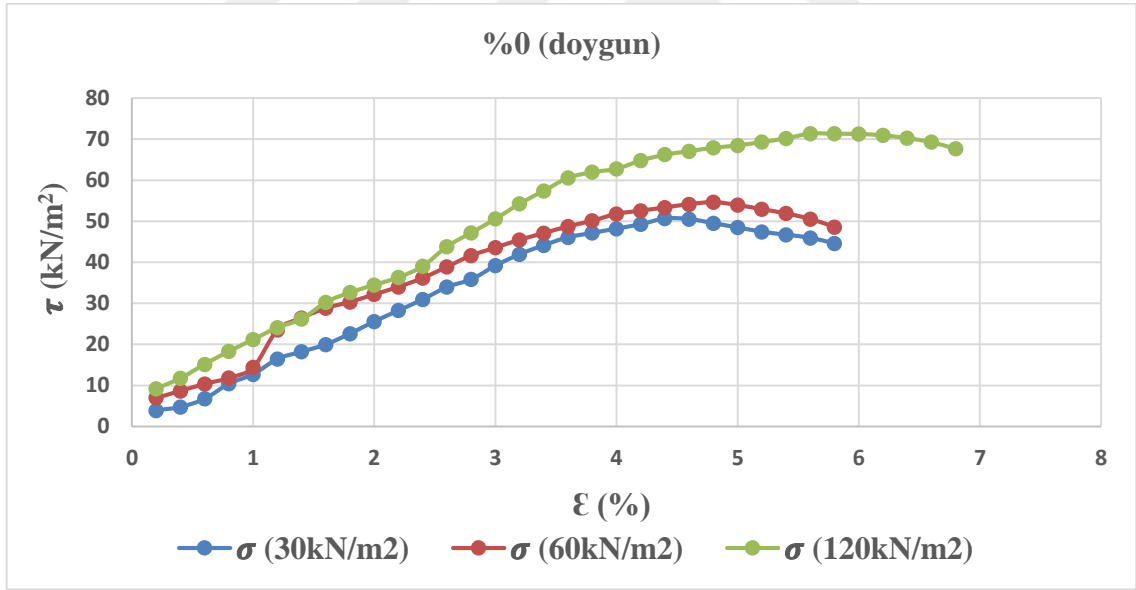


Şekil EK 3.14. Kesme kutusu deney sonuçları kayma gerilmesi-deformasyon grafiği(%1.5 cam lifli katkı-optimum su muh.)

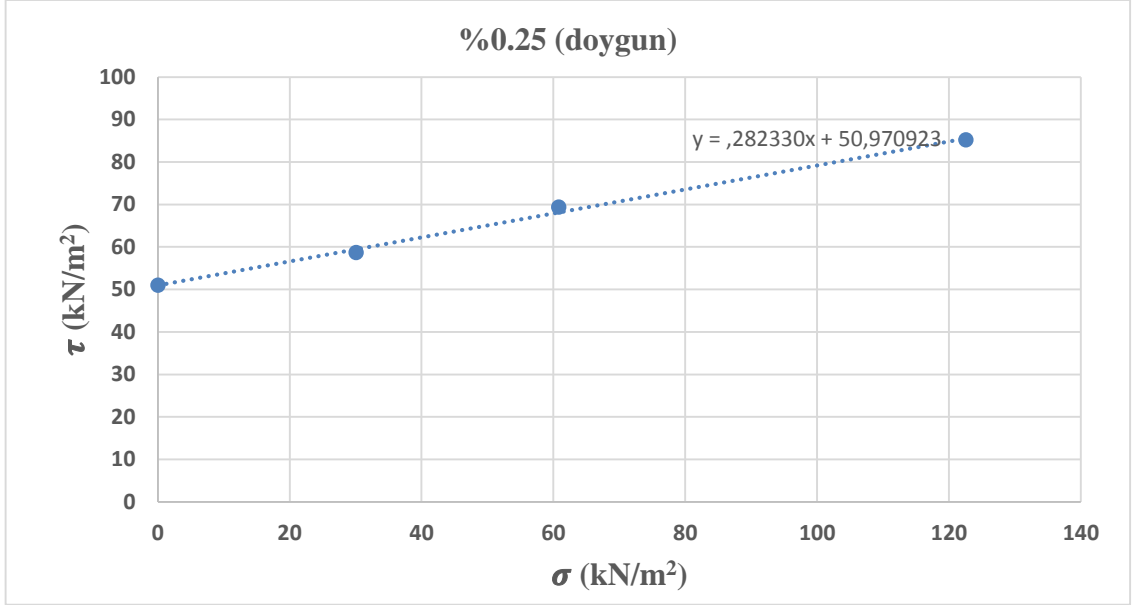
EK-4 Kesme kutusu deney sonuçları (Doymun su muhtevası)



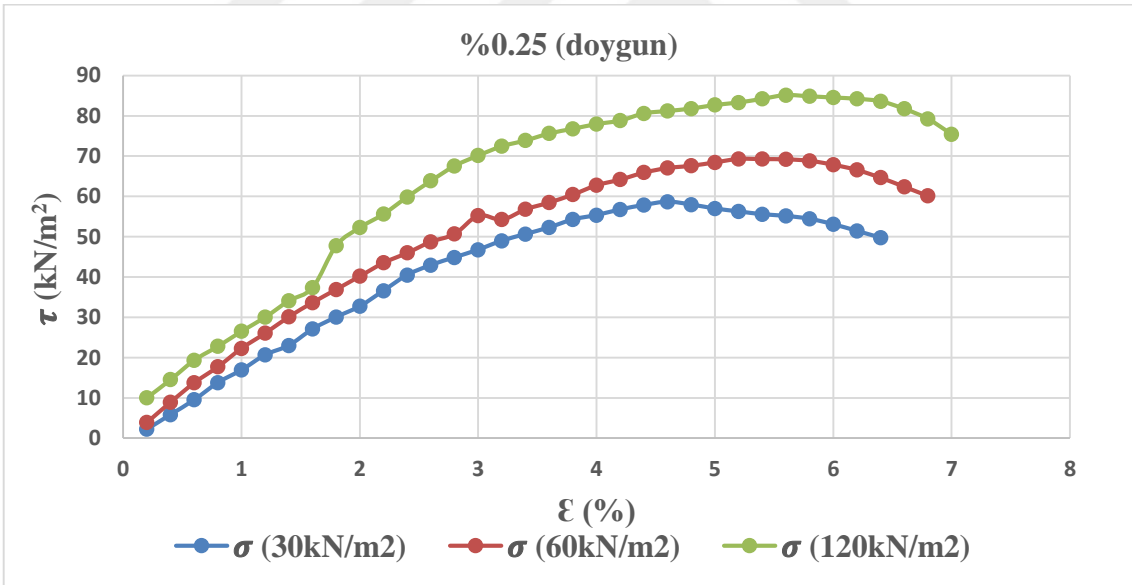
Şekil EK 4.1. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği (suya doymun)



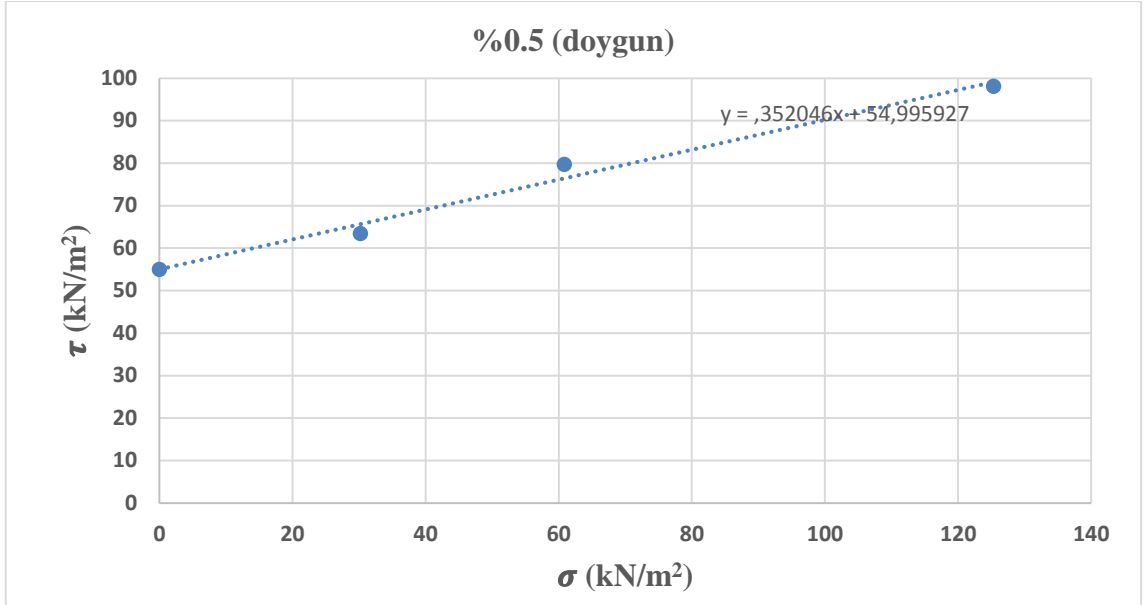
Şekil EK 4.2. Kesme kutusu deney sonuçları kayma gerilmesi-deformasyon grafiği (suya doymun)



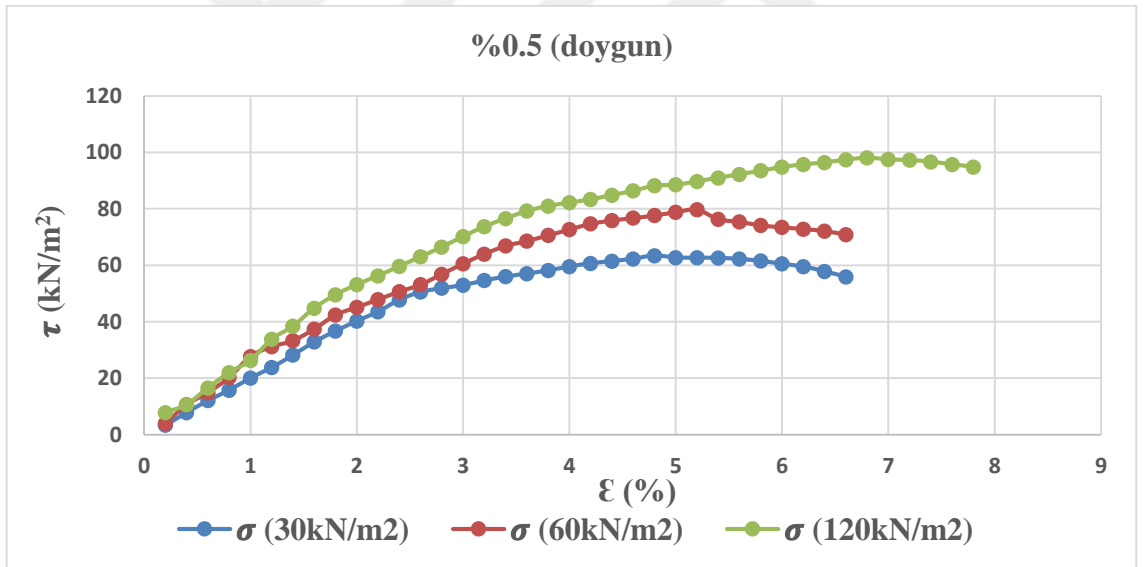
Şekil EK 4.3. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği(% 0.25 cam lifli katkı - suya doygun)



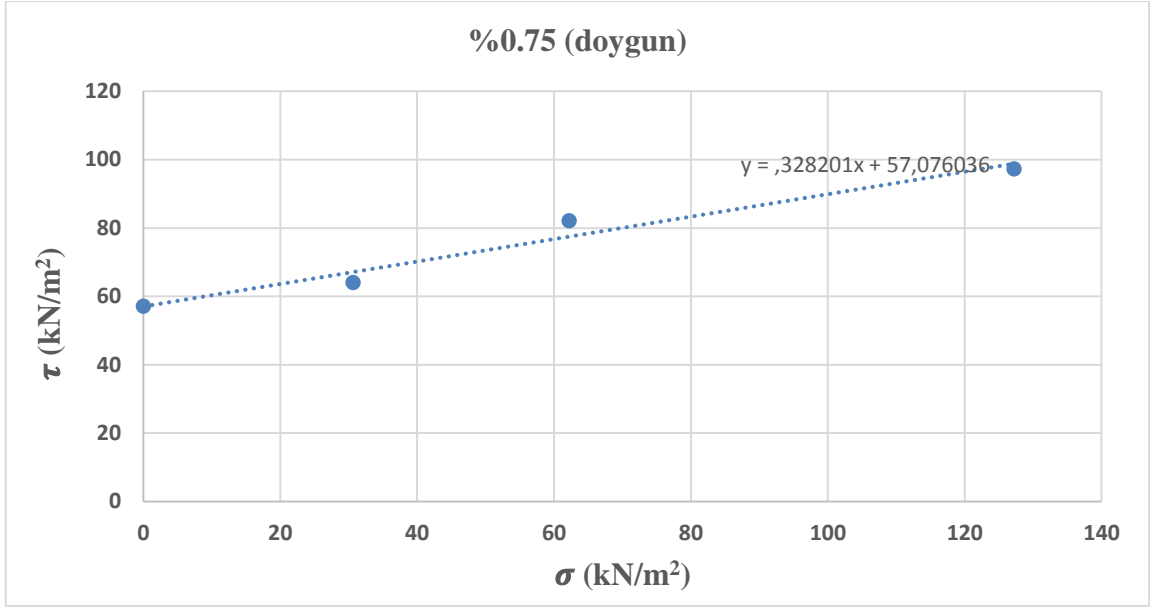
Şekil EK 4.4. Kesme kutusu deney sonuçları kayma gerilmesi-deformasyon grafiği(% 0.25 cam lifli katkı - suya doygun)



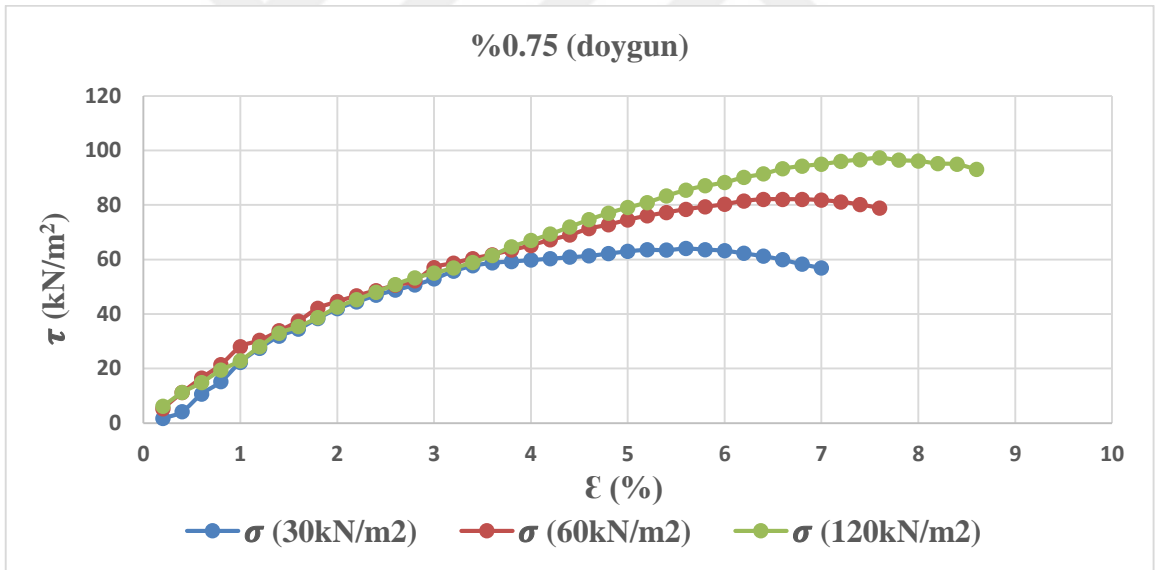
Şekil EK 4.5. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği(% 0.5 cam lifi katkı -suya doğun)



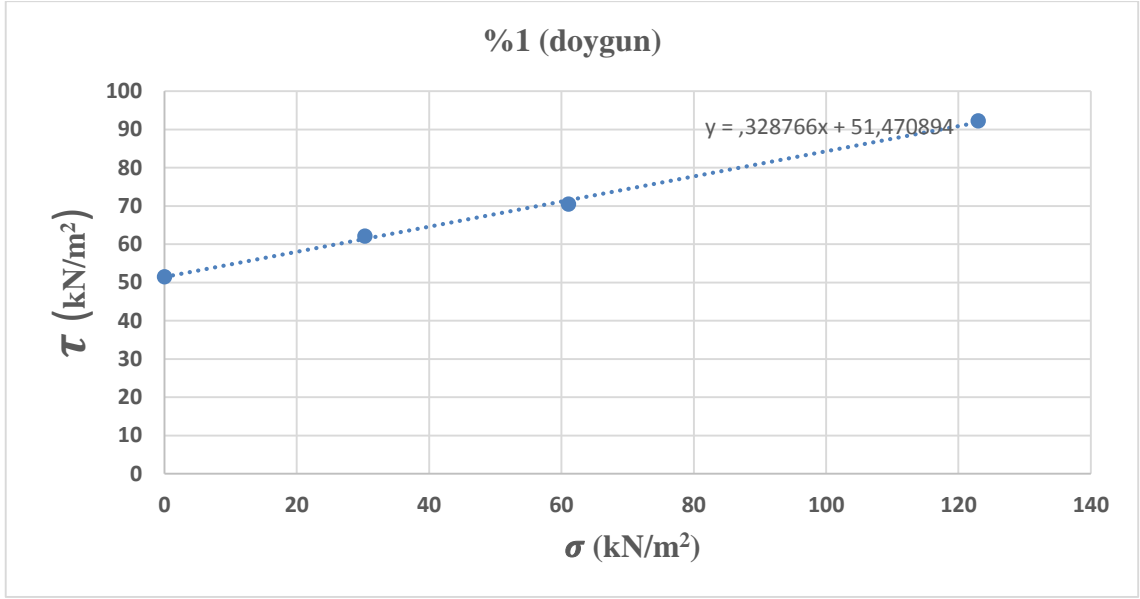
Şekil EK 4.6. Kesme kutusu deney sonuçları kayma gerilmesi-deformasyon grafiği(% 0.5 cam lifi katkı -suya doğun)



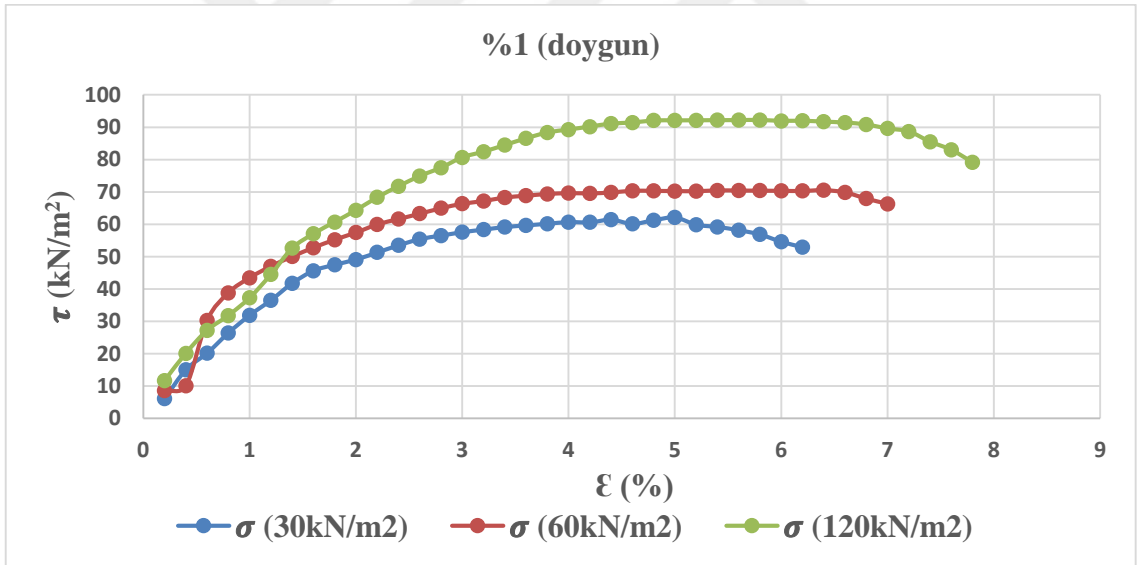
Şekil EK 4.7. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği(% 0.75 cam lifi katkılı -suya doygun)



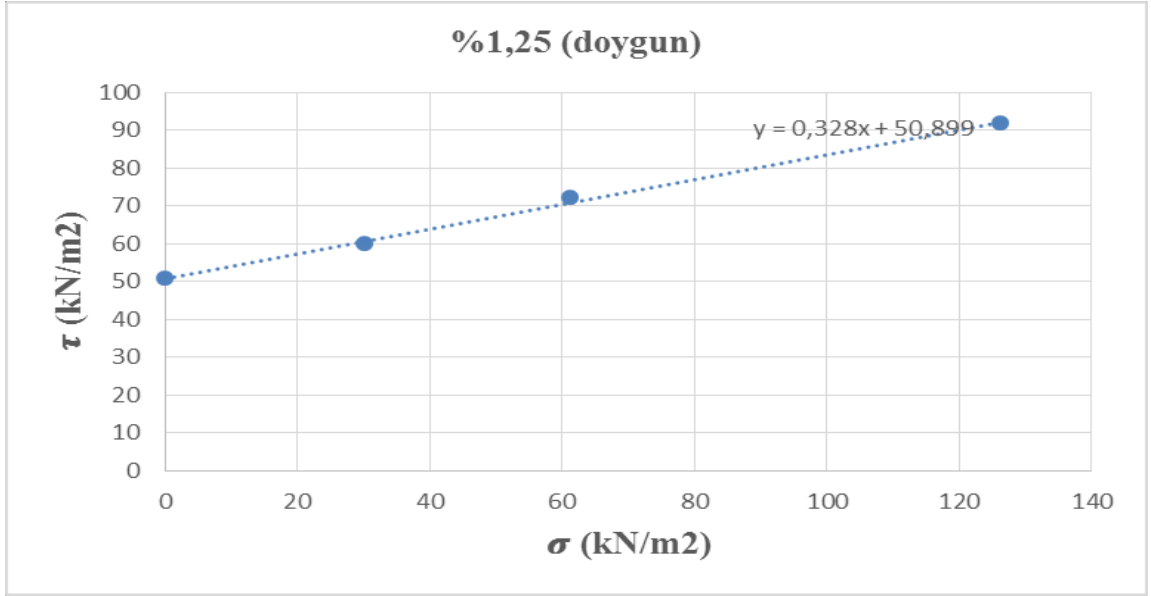
Şekil EK 4.8. Kesme kutusu deney sonuçları kayma gerilmesi-deformasyon grafiği(% 0.75 cam lifi katkılı -suya doygun)



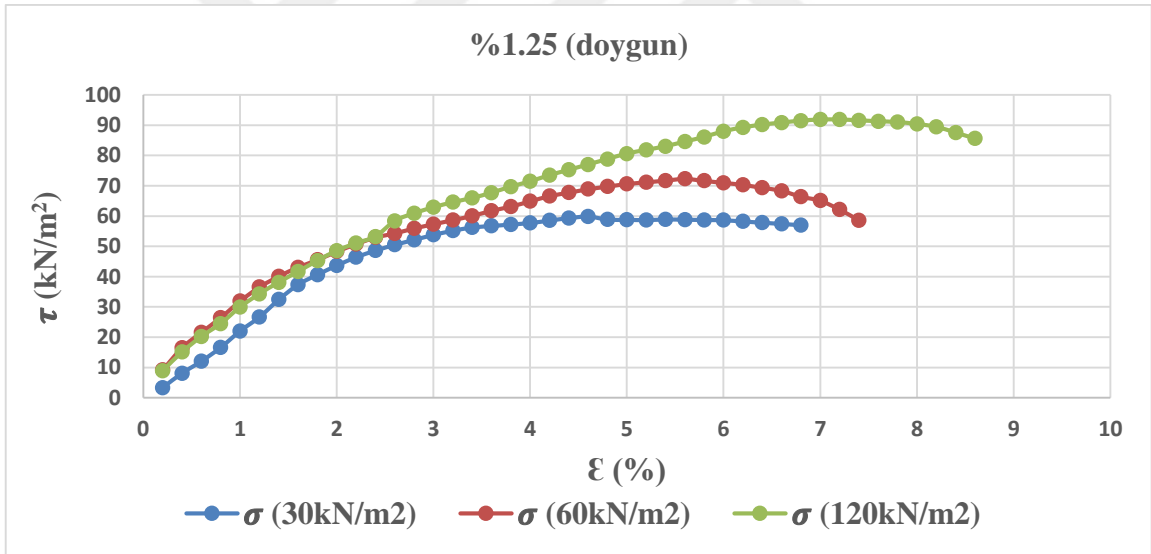
Şekil EK 4.9. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği(%1 cam lifi katkılı -suya doygun)



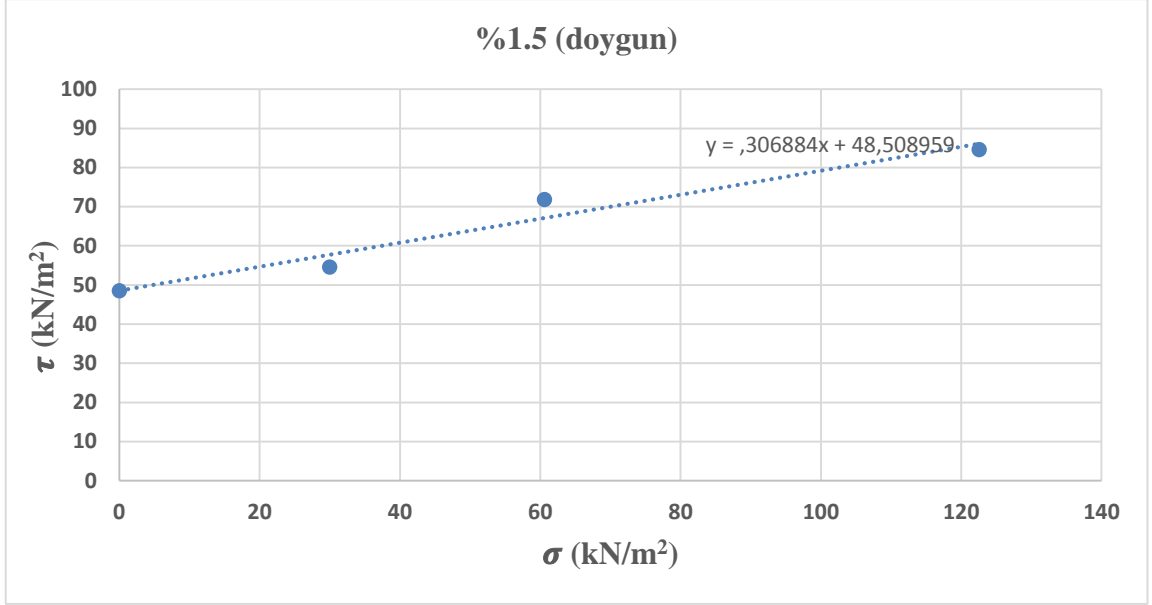
Şekil EK 4.10. Kesme kutusu deney sonuçları kayma gerilmesi-deformasyon grafiği(%1 cam lifi katkılı -suya doygun)



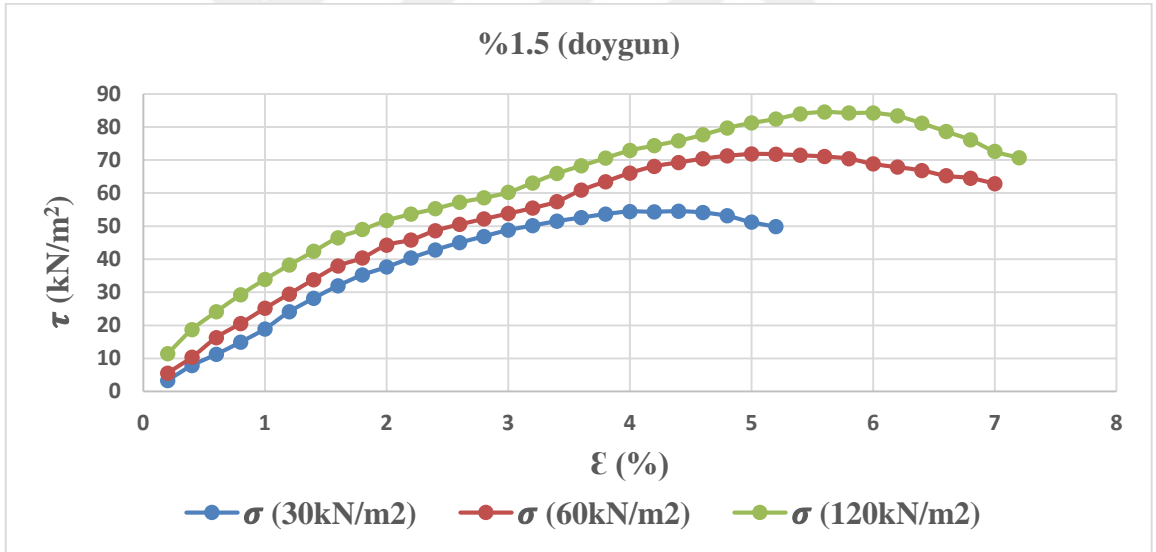
Şekil EK 4.11. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği(% 1.25 cam lifi katkı - suya doygun)



Şekil EK 4.12. Kesme kutusu deney sonuçları kayma gerilmesi-deformasyon grafiği(% 1.25 cam lifi katkı - suya doygun)

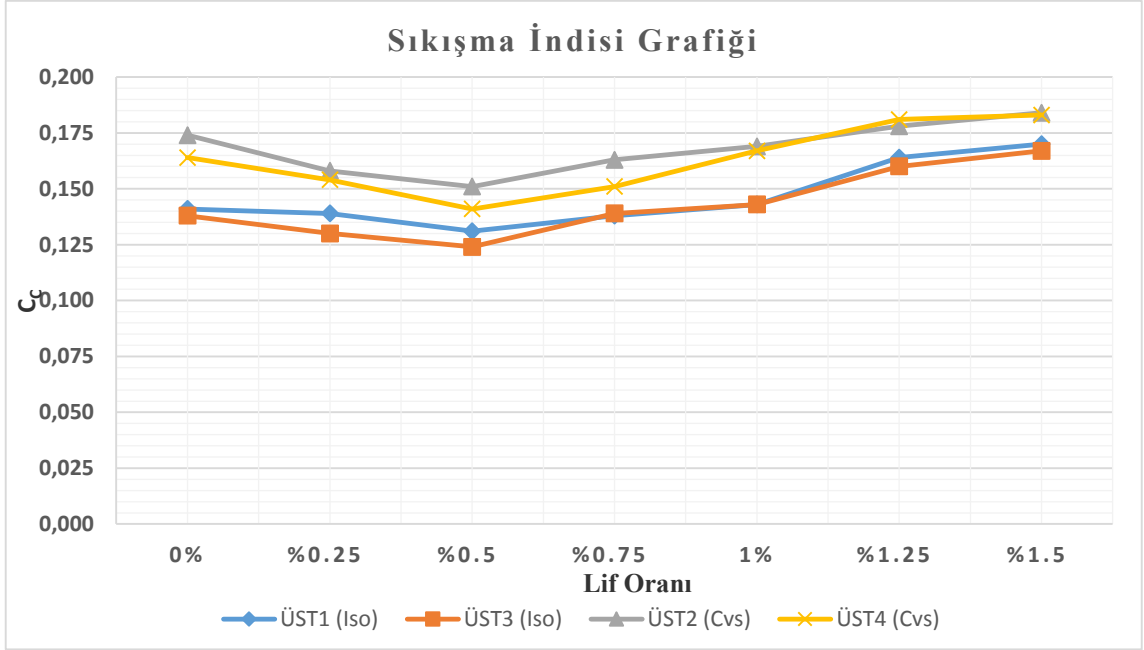


Şekil EK 4.13. Kesme kutusu deney sonuçları gerilme-kayma gerilmesi grafiği(%1.5 cam lifli katkı - suya doygun)

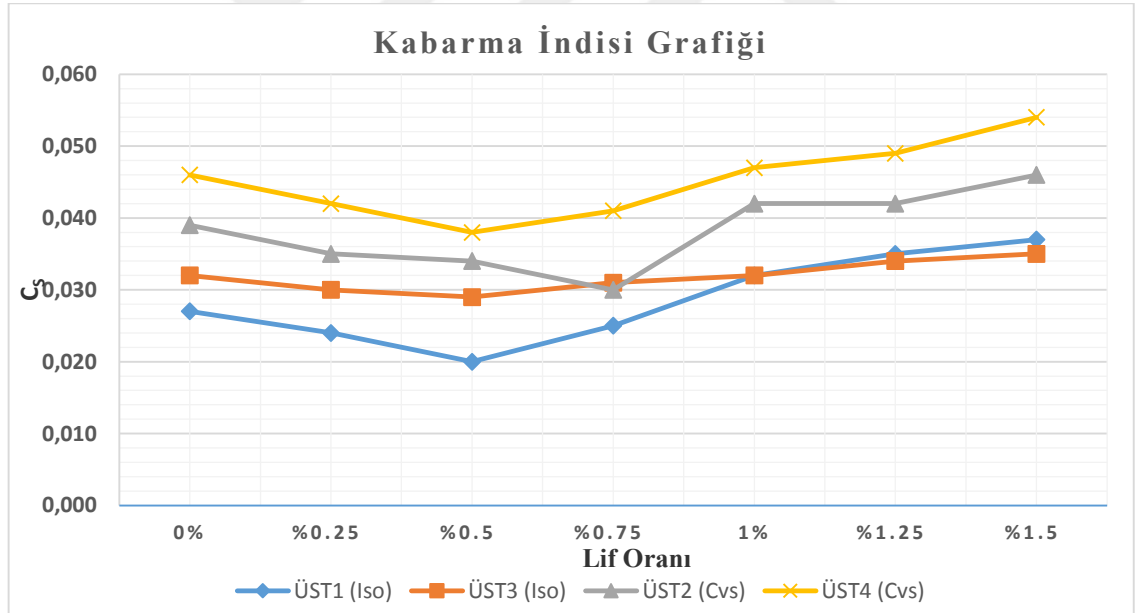


Şekil EK 4.14. Kesme kutusu deney sonuçları kayma gerilmesi-deformasyon grafiği(% 1.5 cam lifli katkı - suya doygun)

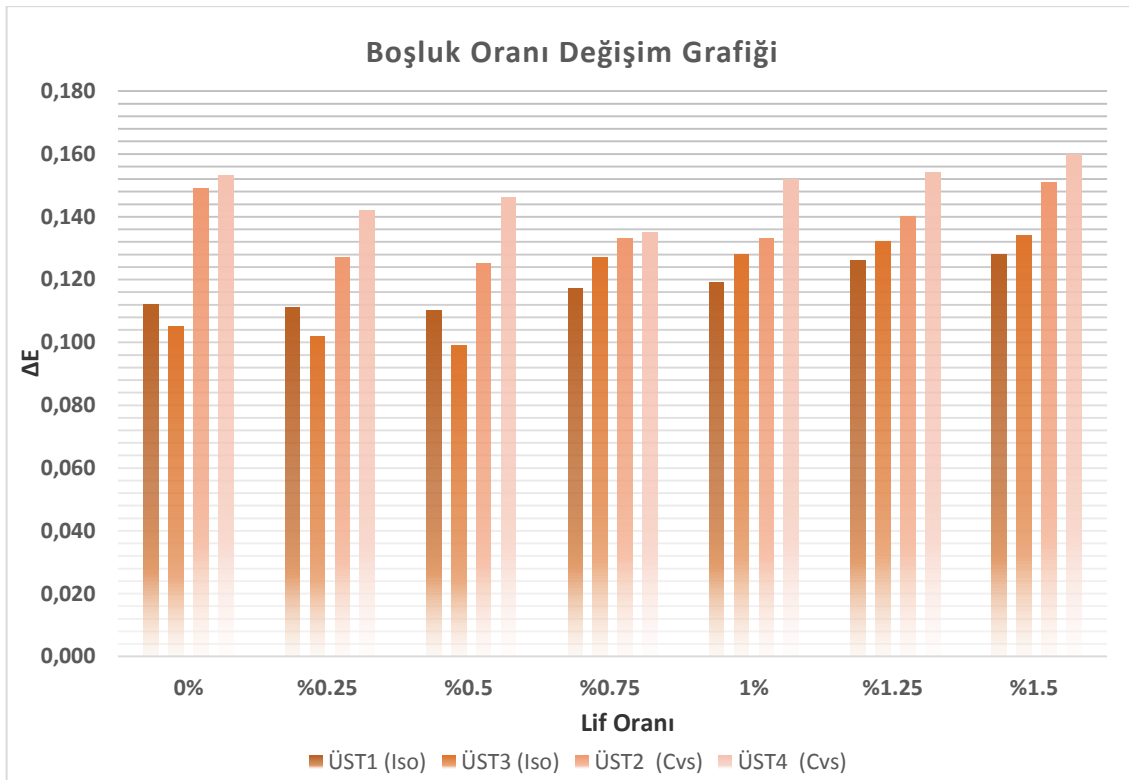
EK-5 Konsolidasyon Deney Sonuçları



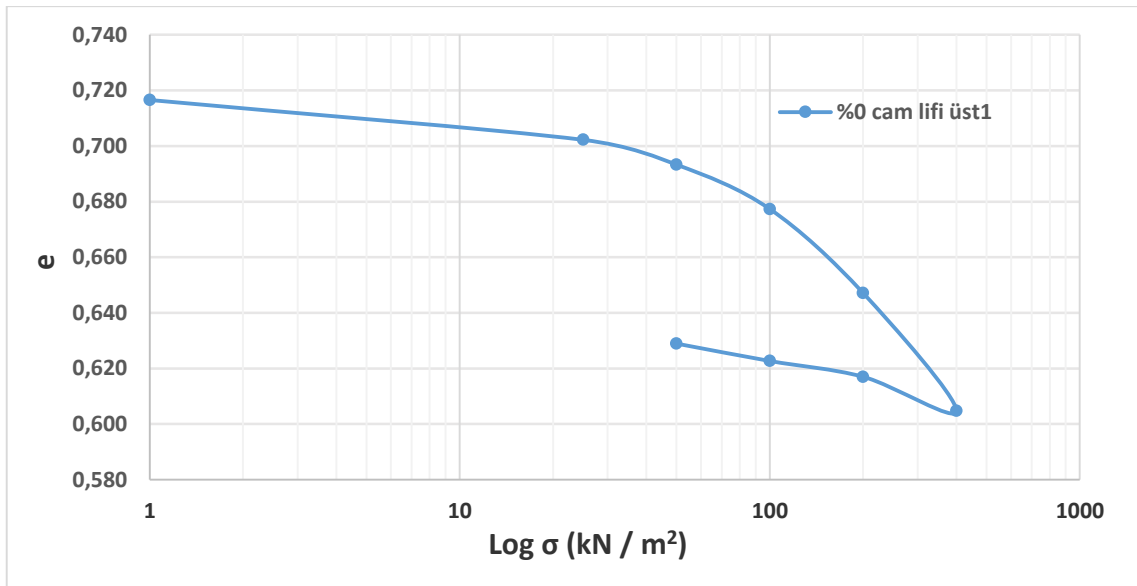
Şekil EK 5.1. Konsolidasyon deney sonucu sıkışma indisi grafiği



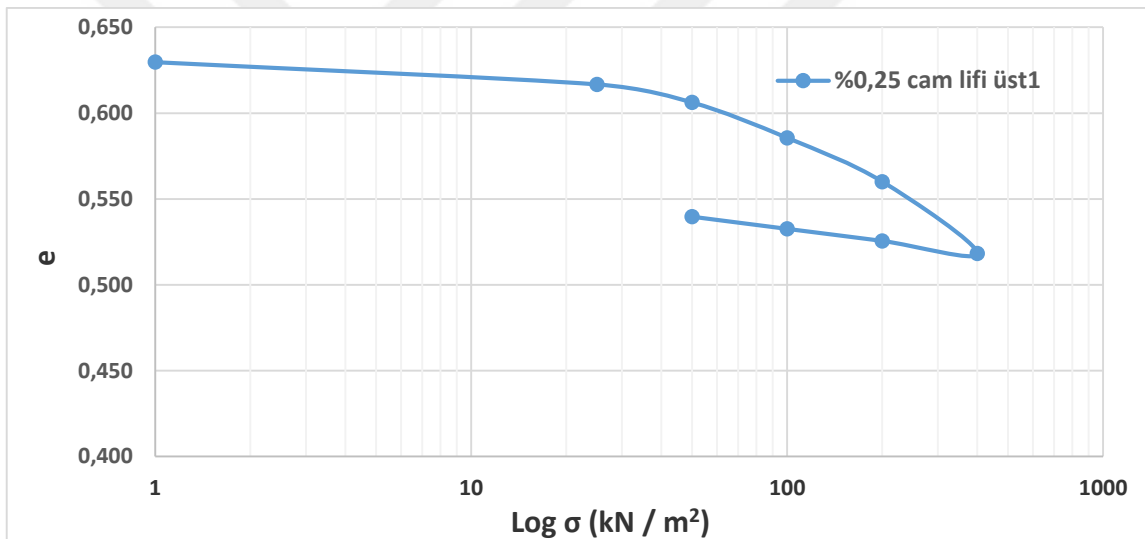
Şekil EK 5.2. Konsolidasyon deney sonucu kabarma indisi grafiği



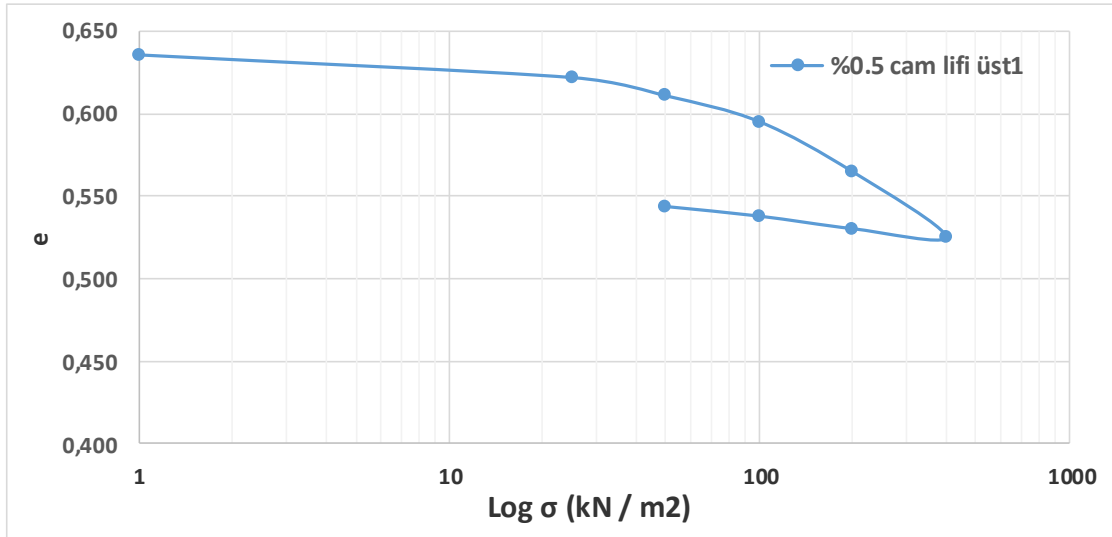
Şekil EK 5.3. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı değişim grafiği



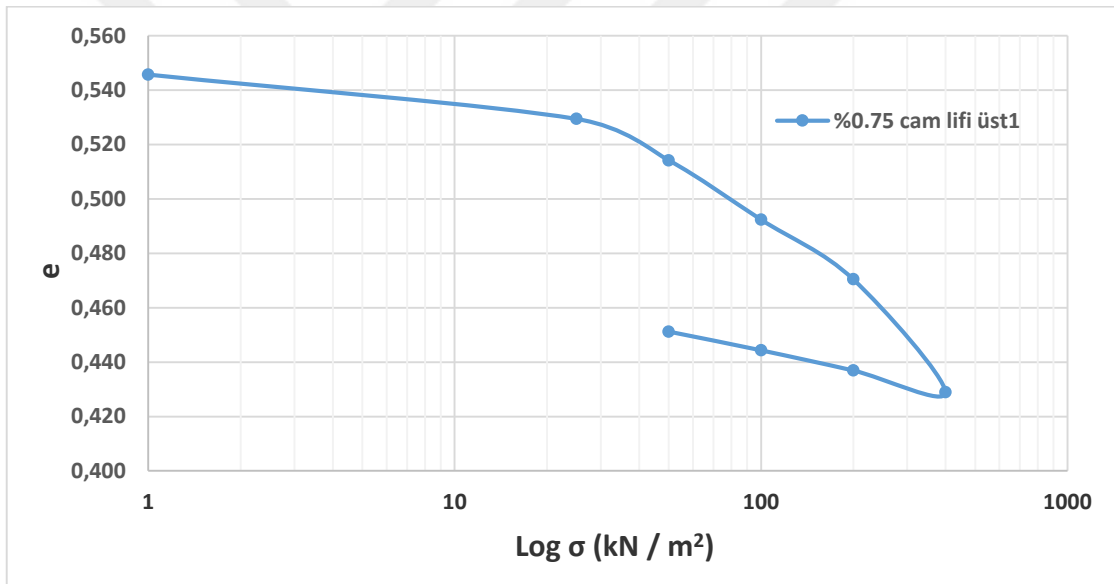
Şekil EK 5.4. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



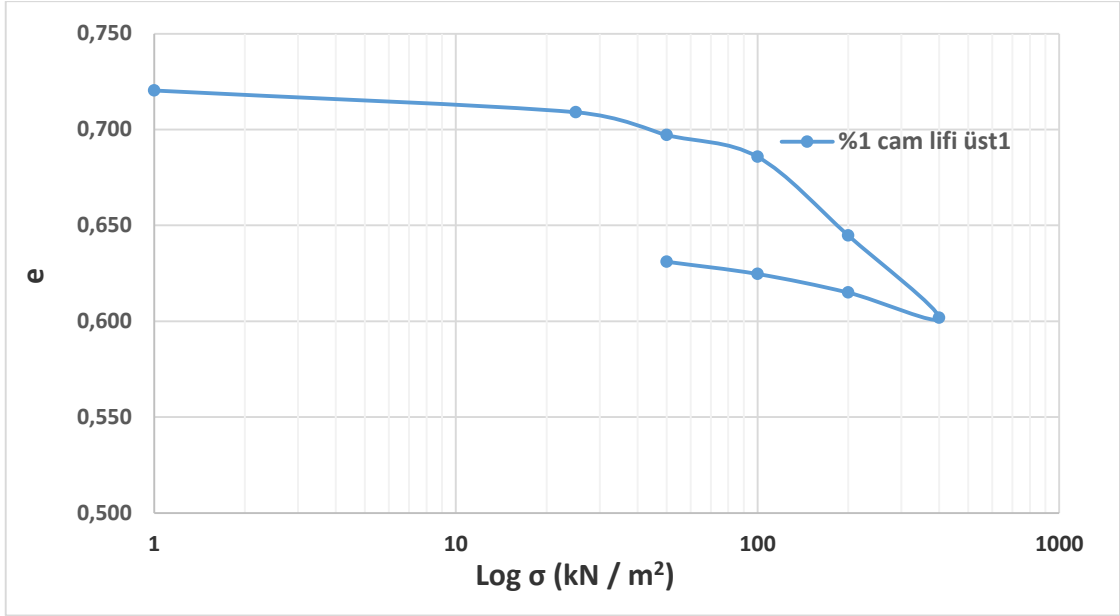
Şekil EK 5.5. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



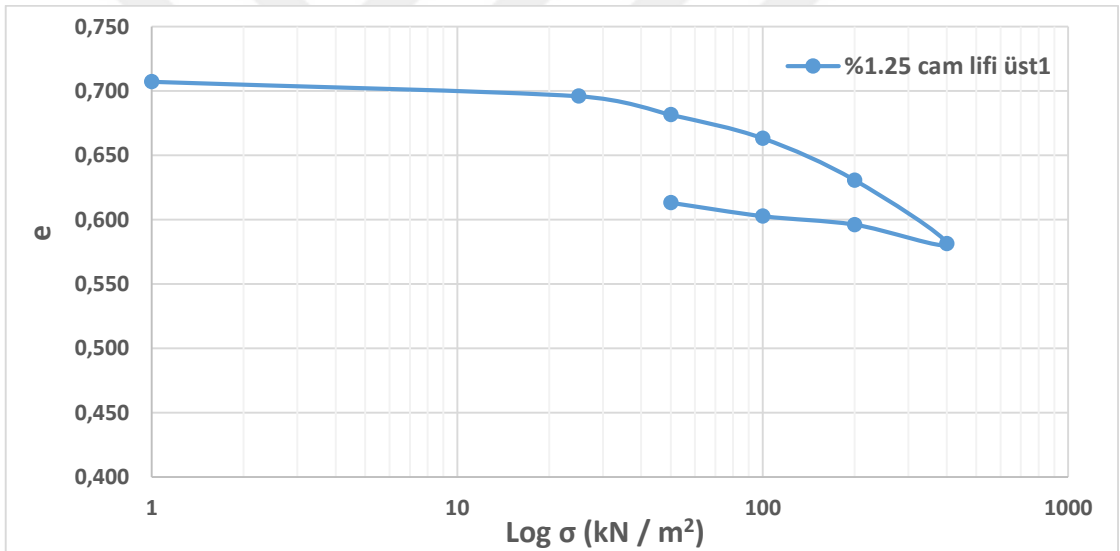
Şekil EK 5.4. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



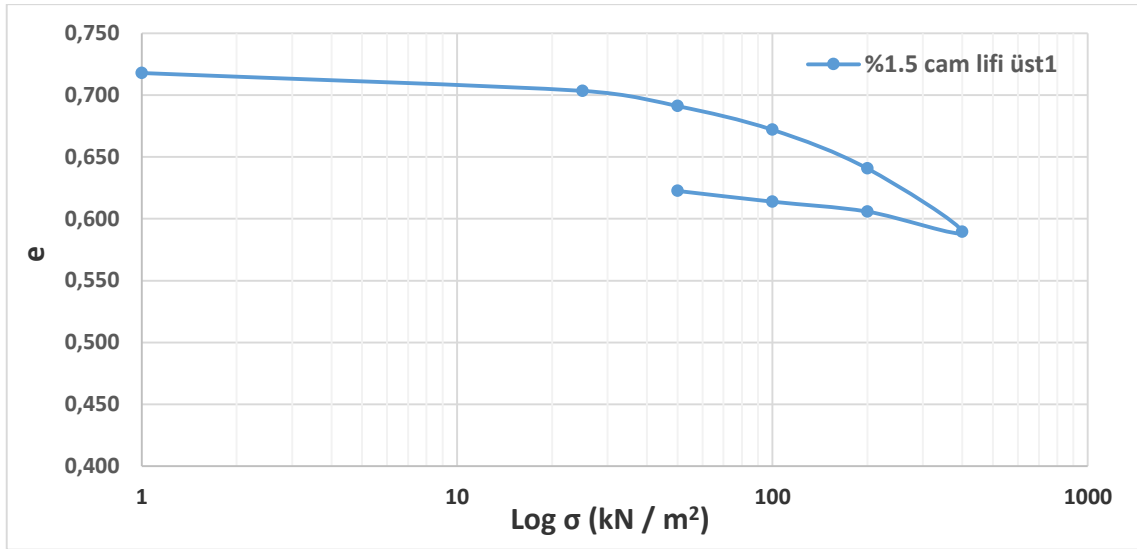
Şekil EK 5.6. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



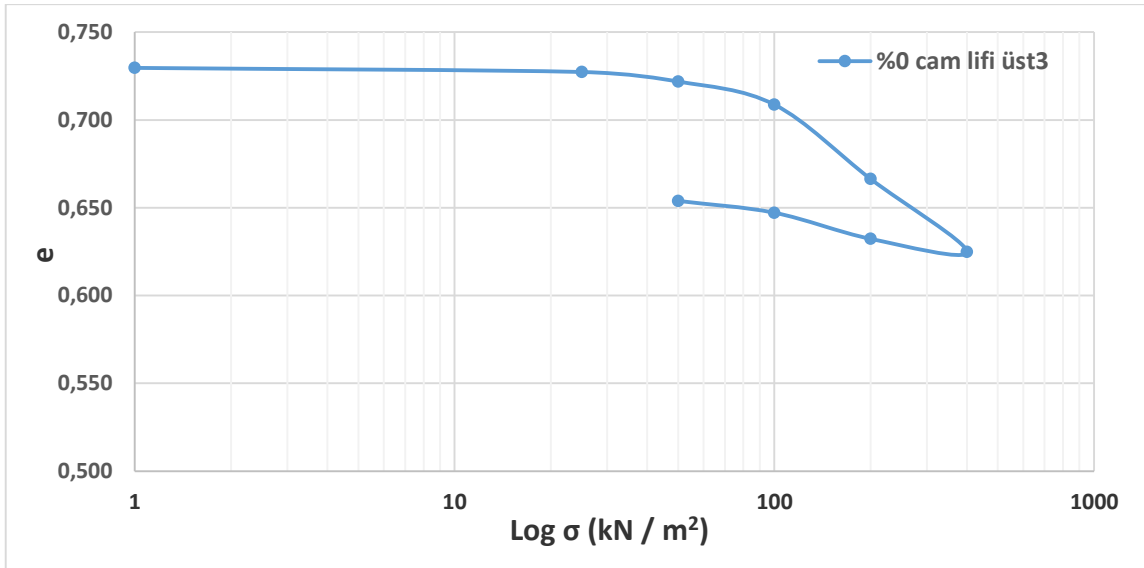
Şekil EK 5.7. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



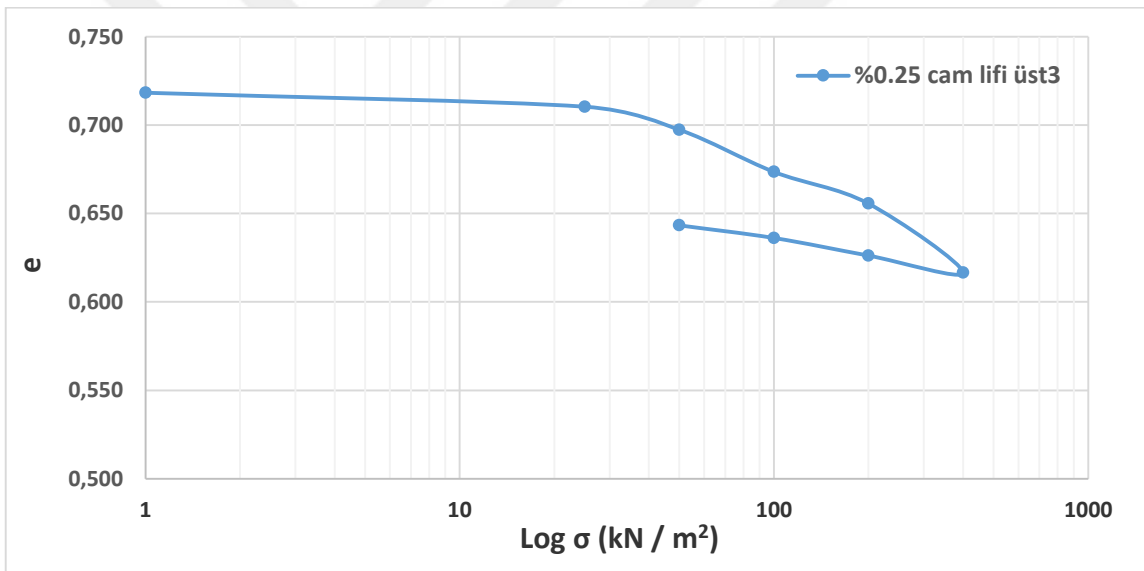
Şekil EK 5.8. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



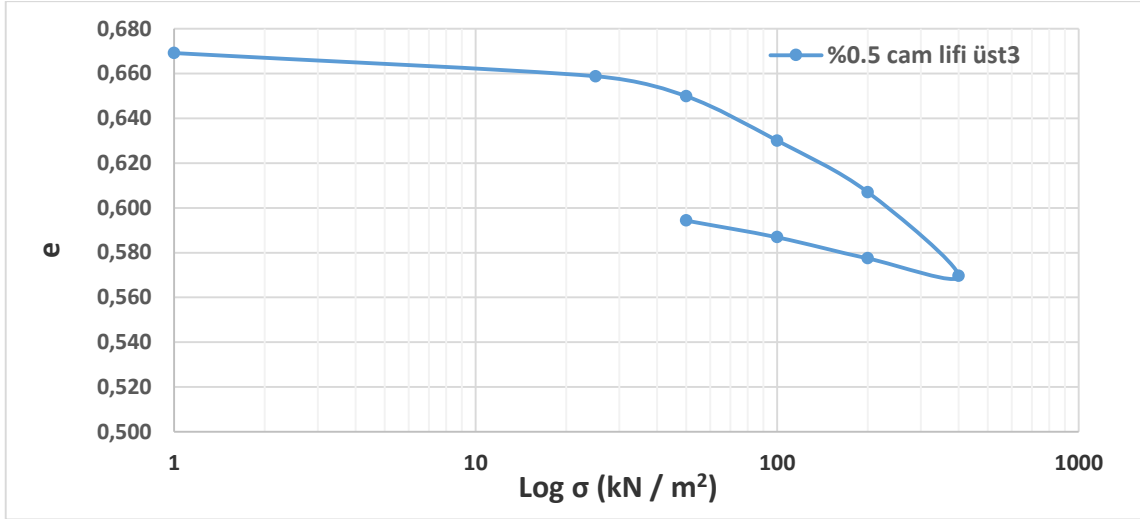
Şekil EK 5.9. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- $\text{Log } \sigma$ grafiği



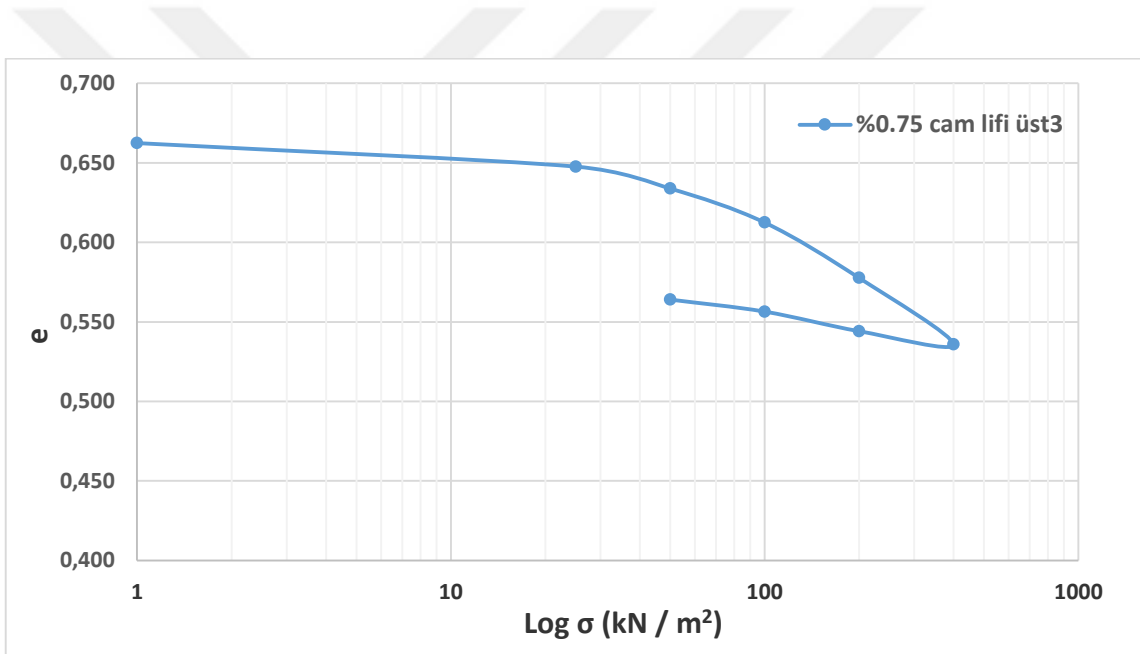
Şekil EK 5.10. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



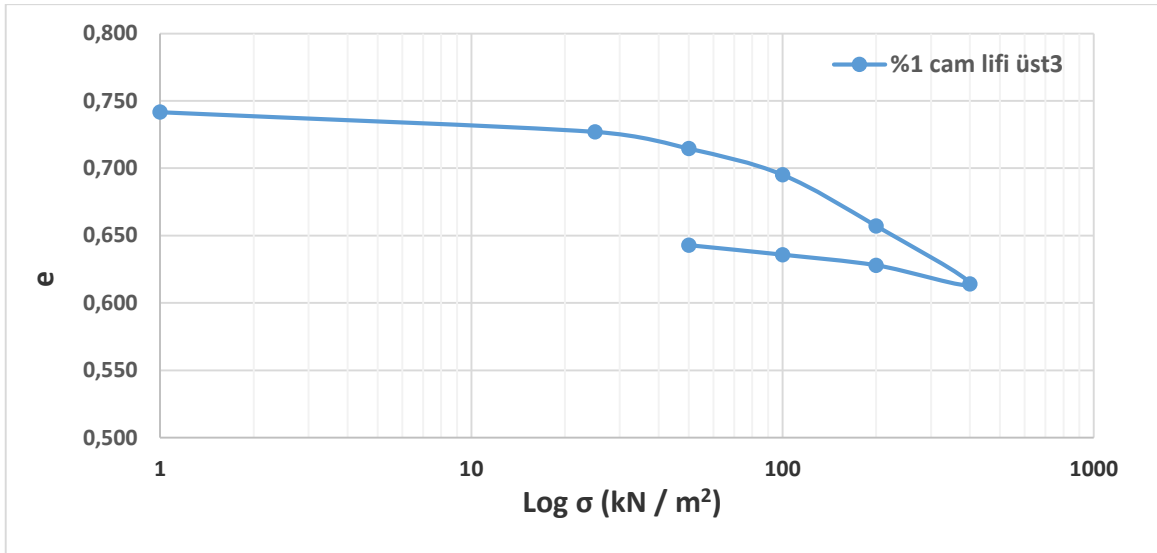
Şekil EK 5.11. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



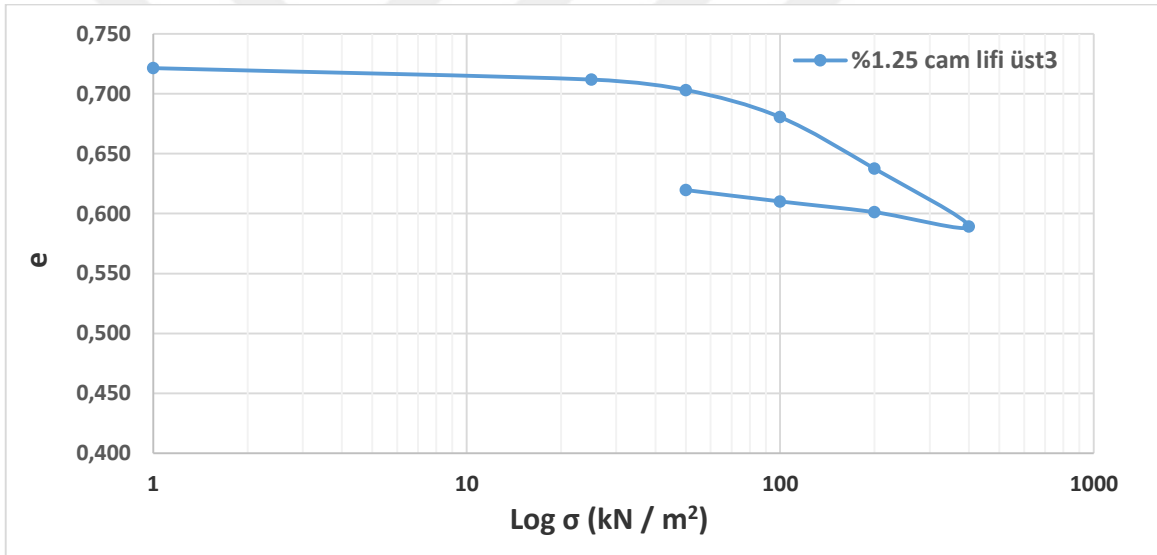
Şekil EK 5.12. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



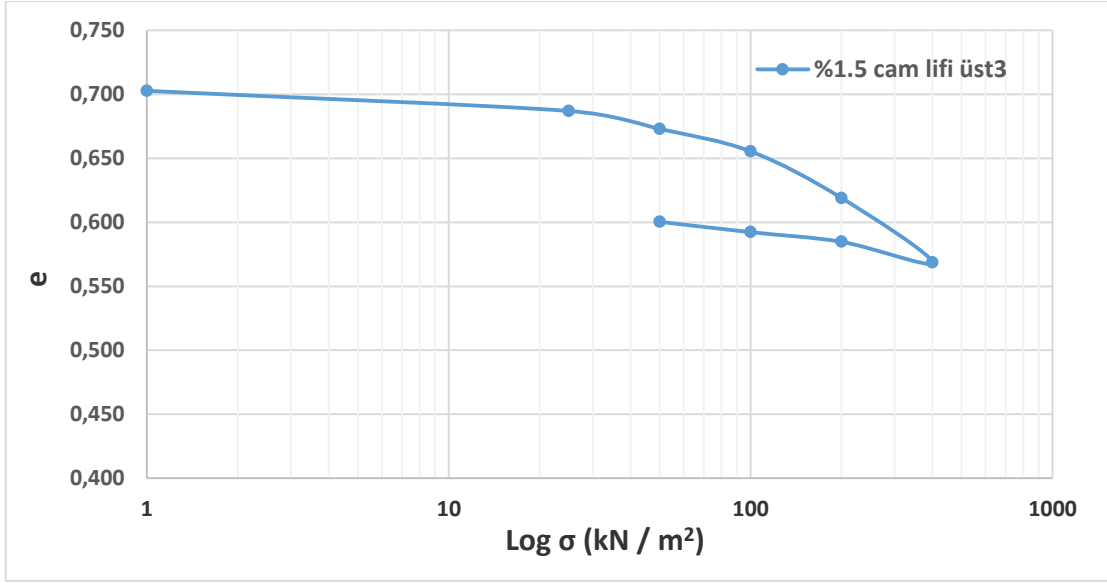
Şekil EK 5.13. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



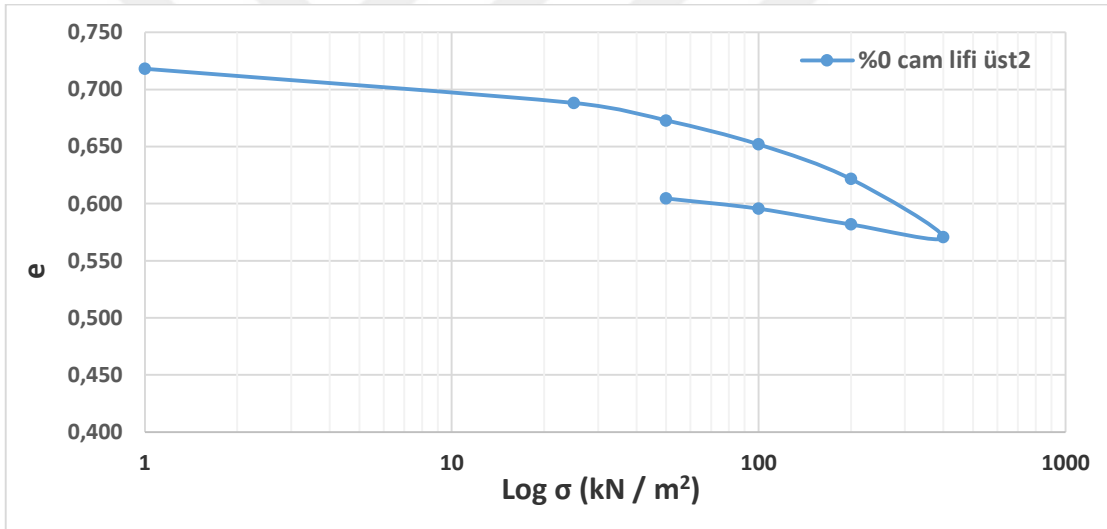
Şekil EK 5.14. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- $\text{Log } \sigma$ grafiği



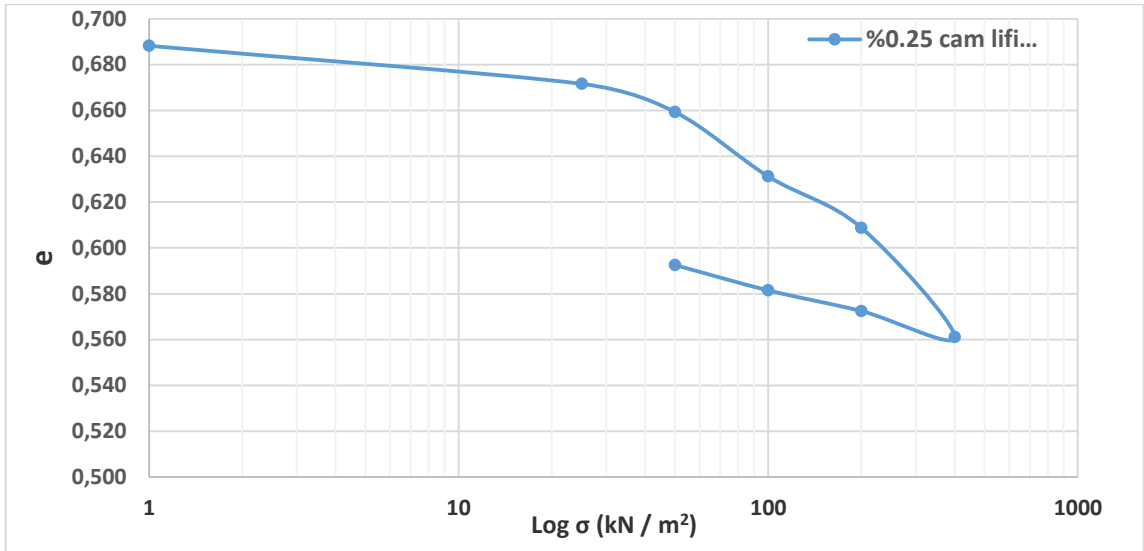
Şekil EK 5.15. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- $\text{Log } \sigma$ grafiği



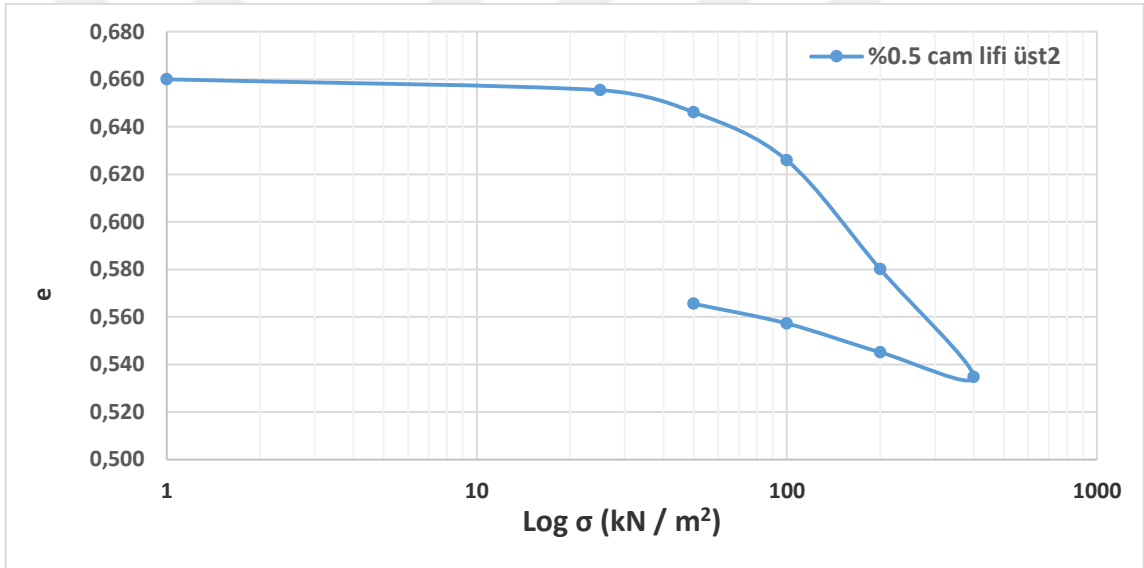
Şekil EK 5.16. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



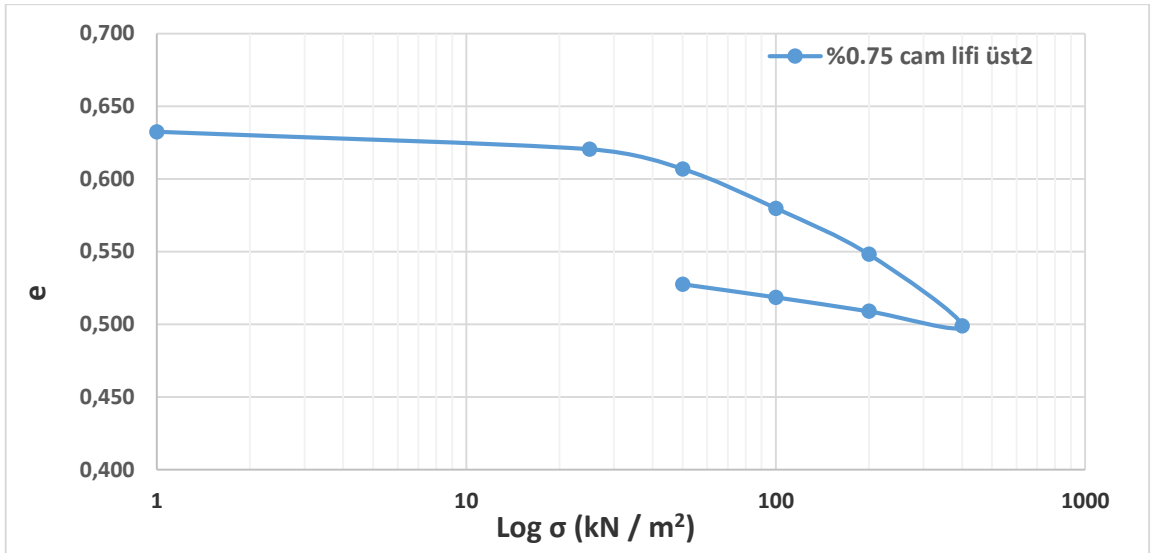
Şekil EK 5.17. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



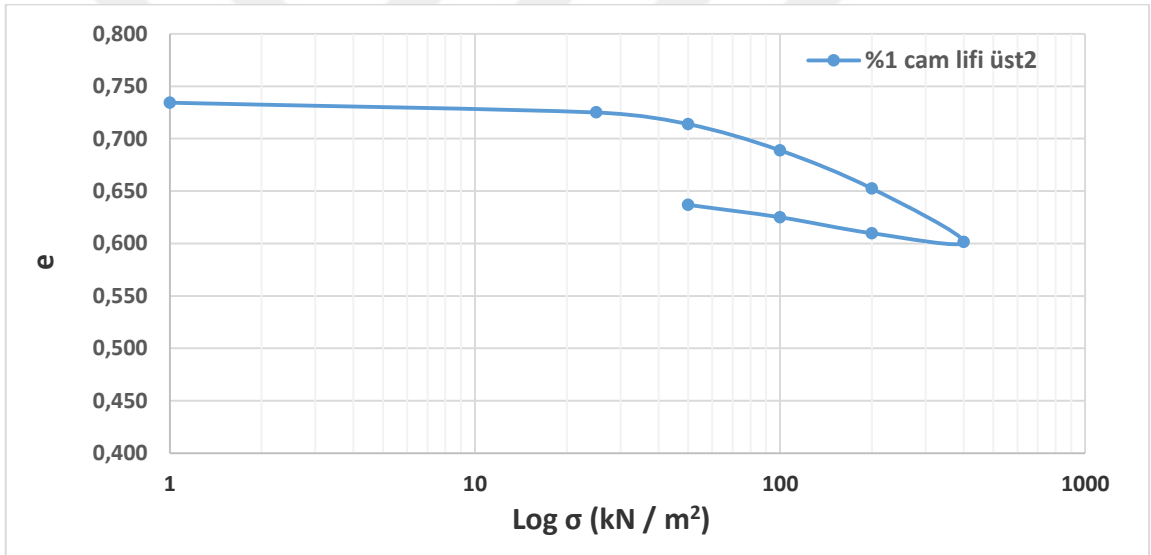
Şekil EK 5.18. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- $\text{Log } \sigma$ grafiği



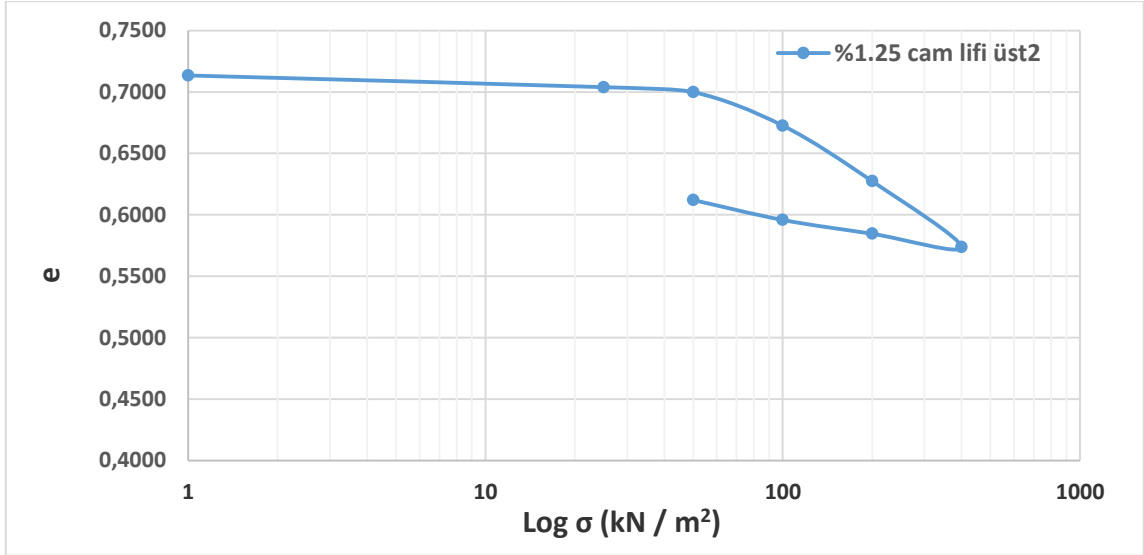
Şekil EK 5.19. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- $\text{Log } \sigma$ grafiği



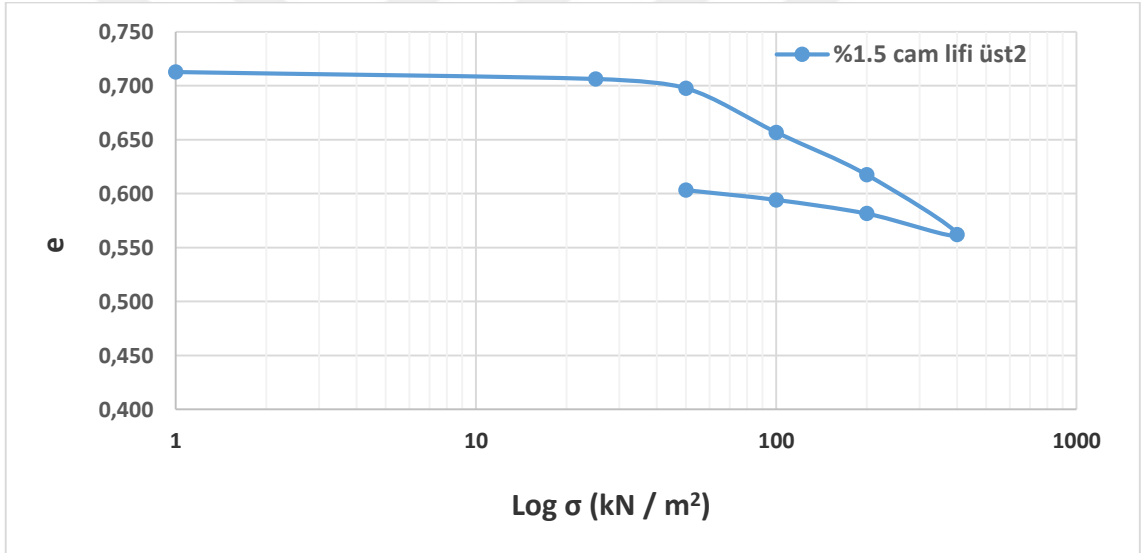
Şekil EK 5.20. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



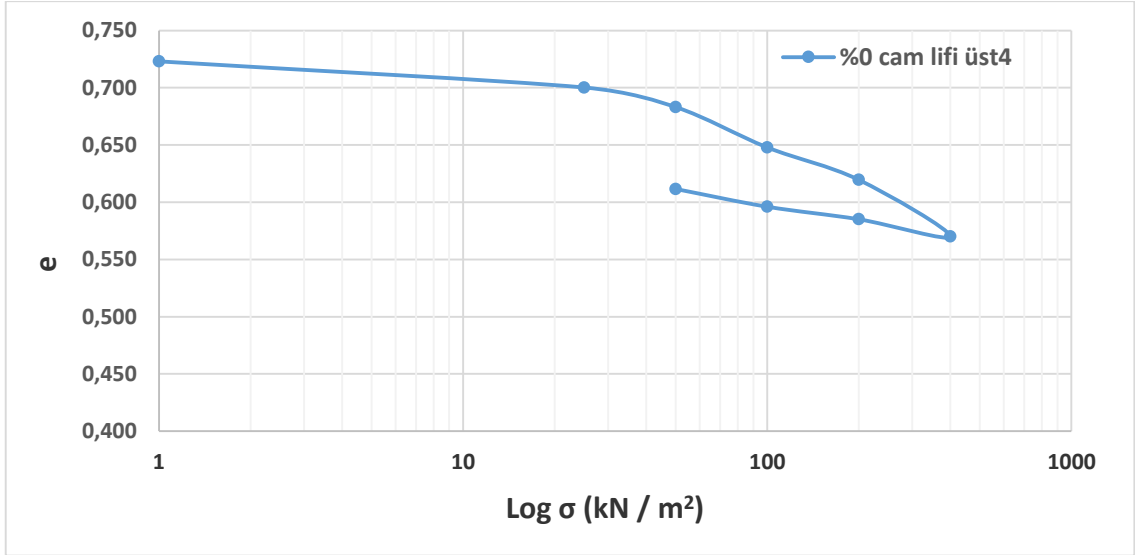
Şekil EK 5.21. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



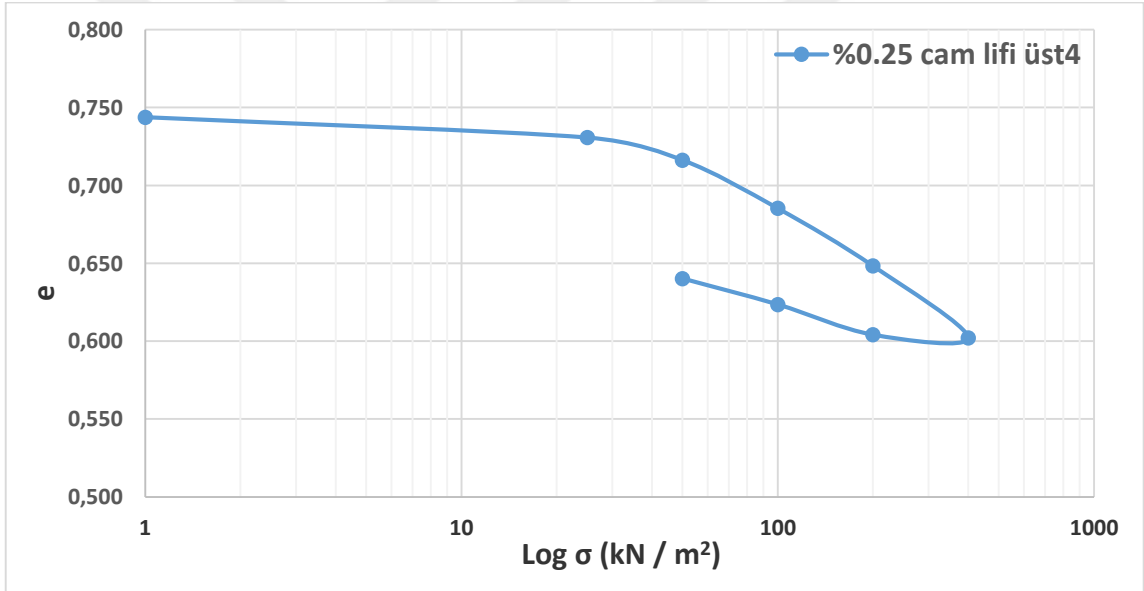
Şekil EK 5.22. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- $\text{Log } \sigma$ grafiği



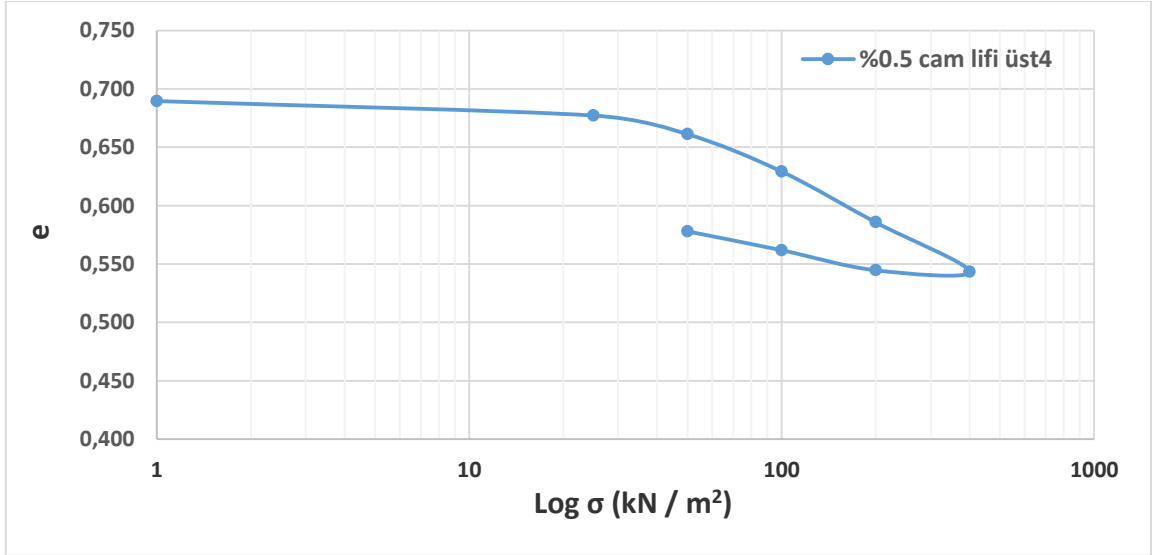
Şekil EK 5.23. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- $\text{Log } \sigma$ grafiği



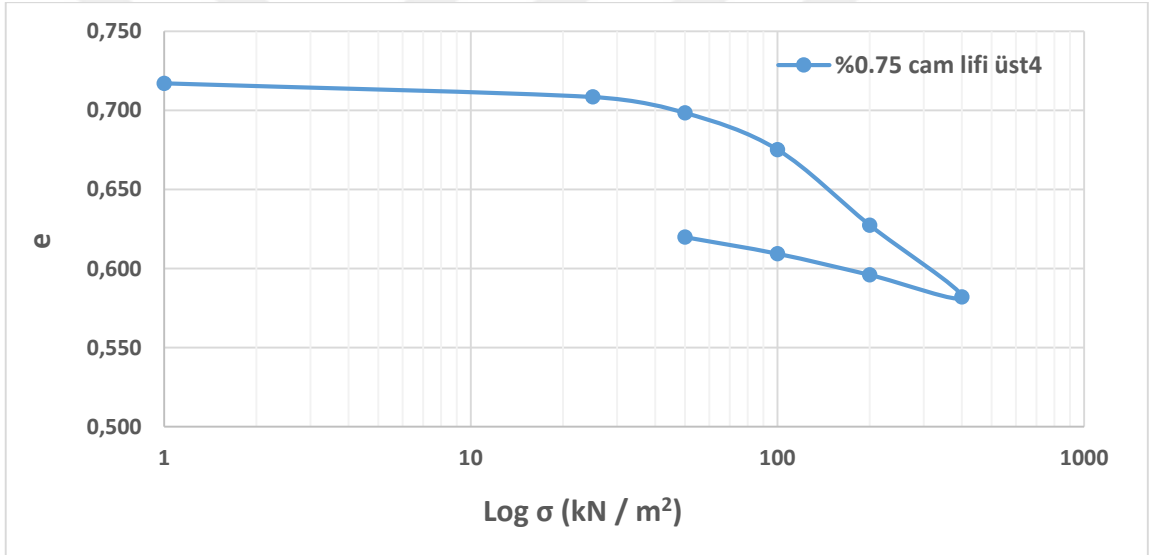
Şekil EK 5.24. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



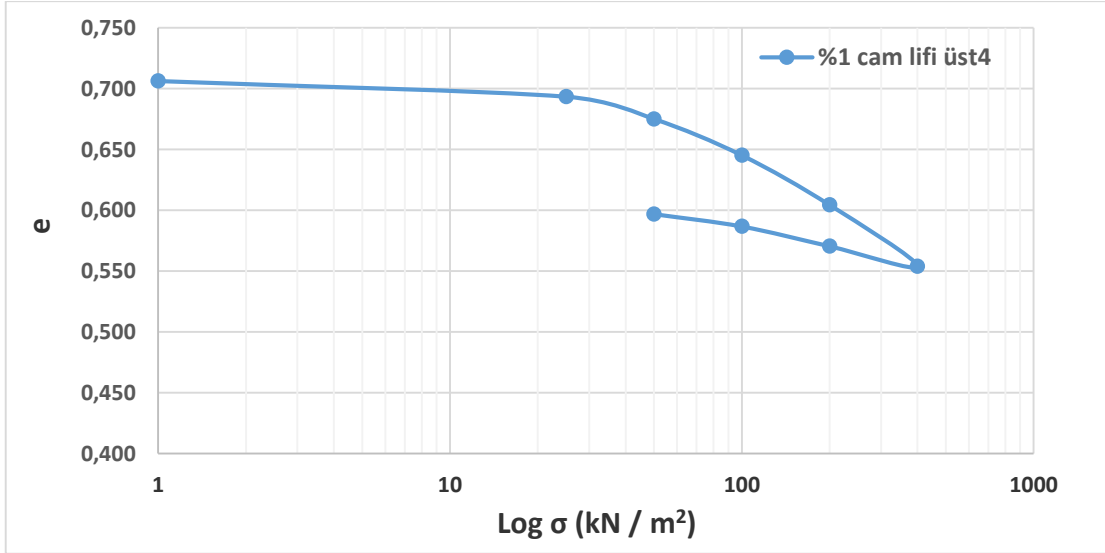
Şekil EK 5.25. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



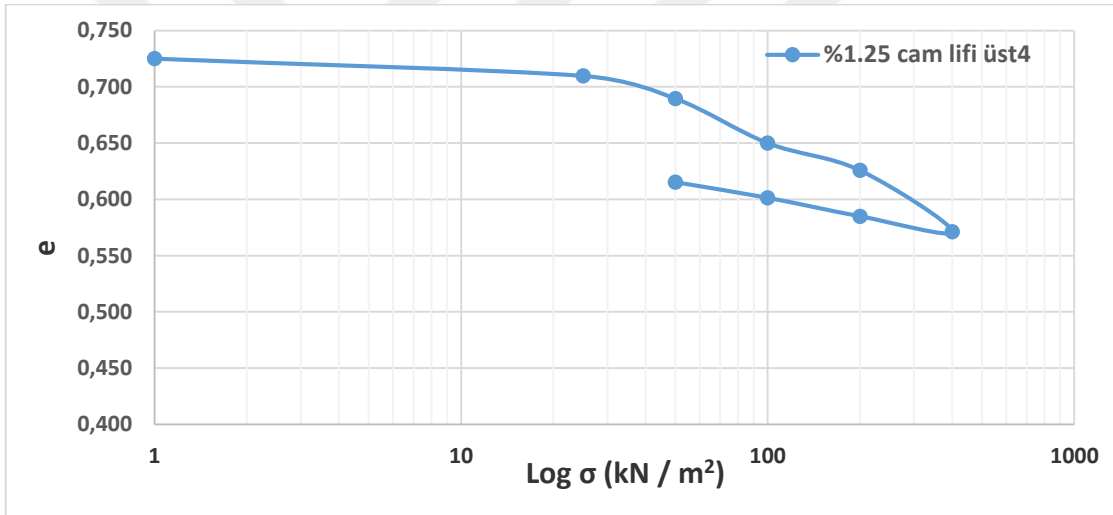
Şekil EK 5.26. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



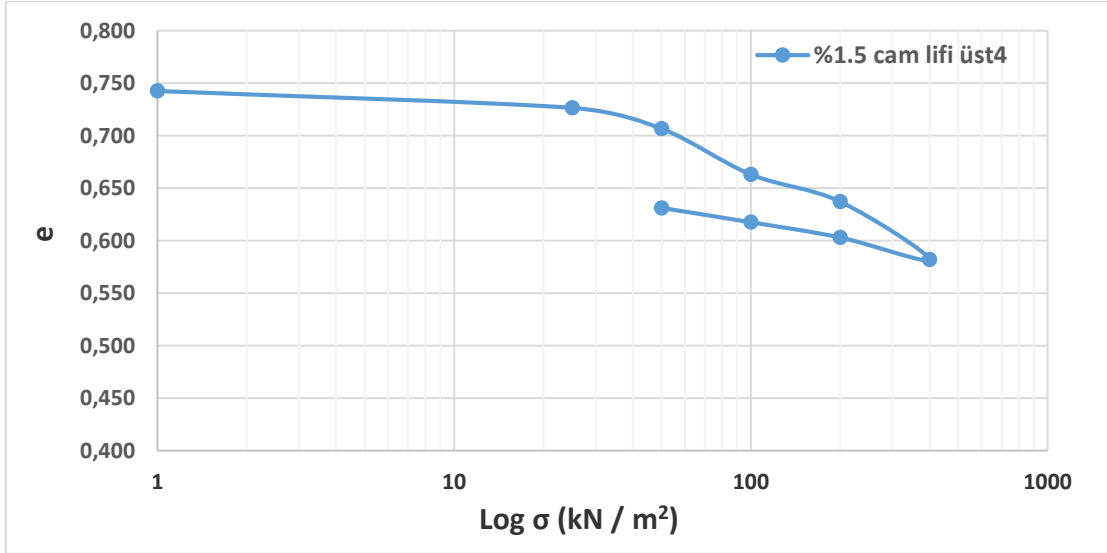
Şekil EK 5.27. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



Şekil EK 5.28. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



Şekil EK 5.29. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- Log σ grafiği



Şekil EK 5.30. Konsolidasyon deney sonucu boşluk oranı- $\text{Log } \sigma$ grafiği

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Şehnaz AYSU
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Ilgın/KONYA – 05.06.1993
Telefon : 05530256957
Faks :
e-mail : sehnazkorkmaz92@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Mehmet Akif Ersoy Anadolu Lisesi	2011
Üniversite	: Selçuk üniversitesi – İnşaat Mühendisliği	2016
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi	
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017-2019	Yapı Denetim	Kontrol Mühendisi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Aysu Şehnaz Yıldız Mustafa (2019) Effect Of Glass Fiber Additive On Soil Strength
 Properties Of High Plasticity Clay Soils (ICENTE) Konya, Turkey, October 25-27, 2019.