

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALKALİ DİRENÇLİ CAM ELYAFLA RASTGELE
DONATILANDIRILMIŞ KİL ZEMİNDE KAYMA DİRENCİ
DEĞİŞİMİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ercüment KEKEÇ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Sedat SERT

Şubat 2022

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALKALİ DİRENÇLİ CAM ELYAFLA RASTGELE
DONATILANDIRILMIŞ KİL ZEMİNDE KAYMA DİRENCİ
DEĞİŞİMİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ercüment KEKEÇ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Bu tez 21/02/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ercüment KEKEÇ

21.02.2022

TEŞEKKÜR

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne bağlı Geoteknik Bilim Dalında tüm süreciyle laboratuvar ve teoriyle birleŐen bu tezin amacı; alkali direnci yüksek cam ilyafın kil zemine belli oranlarda rastgele katılmasının bu zeminin drenajsız kayma direnci üzerindeki etkisinin araştırılmasıdır.

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayıran, sabırla ve büyük ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenin fazlasını sunan, tezin planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen, gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm ve danışman hoca statüsünü hakkıyla yerine getiren kıymetli hocam Doç. Dr. Sedat SERT'e teşekkürü bir borç biliyor ve Őükranlarımı sunuyorum.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayıŐ ve yardımlarını esirgemeyen Sabahattin İŞ ve Recep EYÜPLER'e, deney yapmamda yardımcı olan Talha Bilal USLUCA'ya, birlikte vakit geçirmek için olan çok kıymetli zamanımızı, benim tezi yazmam için ayırıp sabırla bekleyen ve yardımını esirgemeyen eşim Merve KEKEÇ'e, deney aşamasında yardımcı olan, manevi desteğini eksik bırakmayan annem Naciye KEKEÇ ile babam Cemal KEKEÇ'e ve biricik kızım Asel Mina KEKEÇ'e teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
--------------------	---

BÖLÜM 2.

ZEMİN İYİLEŞTİRMEDE KATKI MALZEMELERİ VE FİBER KATKISI..	3
2.1. Zemin İyileştirme.....	3
2.2. Zemin İyileştirme Yöntemleri.....	4
2.2.1. Uygulama derinliğine göre zemin iyileştirme yöntemleri.....	6
2.2.1.1. Derin zemin iyileştirme yöntemleri.....	7
2.2.1.2. Yüzeysel zemin iyileştirme yöntemleri.....	7
2.3. Elyaf lar (Fiberler).....	7
2.3.1. Yapay fiberler.....	10
2.3.2. Doğal fiberler.....	11
2.4. Zemin İyileştirmede Katkı Malzemelerin Kullanımı.....	12
2.5. Fiberlerin Zemin Stabilizasyonunda Katkı Malzemesinde Kullanımı	12
2.5.1. Yapay fiberlerin katkı malzemesi olarak kullanımı.....	13
2.5.2. Doğal fiberlerin katkı malzemesi olarak kullanımı.....	14

BÖLÜM 3.

CAM FİBERLER VE ÇEŞİTLERİ.....	15
3.1. Cam Fiberin Tarihçesi ve Üretimi.....	16
3.1.1. Cam fiberin kullanıldığı alanlar.....	20
3.2. Cam Fiberlerin Betonda ve Zemin İyileştirmede Kullanıldığı Çalışmalar	20

BÖLÜM 4.

MATERYAL VE YÖNTEM	22
4.1. Malzemeler.....	22
4.1.1. Kil zemin.....	22
4.1.2. Alkali dirençli cam fiberler.....	23
4.1.3. Laboratuvar çalışmanın amacı ve muhtevası.....	26
4.1.4. Kıvam limitlerinin belirlenmesi.....	29
4.1.4.1. Likit limit (casagrande ve koni penetrasyon).....	29
4.1.4.2. Plastik limit.....	33
4.1.4.3. Plastisite indisi.....	35
4.1.5. Kompaksiyon deneyi ve hesaplamaları.....	36
4.1.6. Serbest basınç deneyi ve hesaplamaları.....	37
4.2. Kompaksiyon Kalıbı Enerji Hesaplamaları.....	37
4.3. Serbest Basınç Deneyi Aşamaları ve Silindir Kalıplarda Karışım Hesaplamaları.....	39

BÖLÜM 5.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	42
5.1. Kilin ve Cam Fiberin Mineral ve Mikro Yapı Özellikleri.....	42
5.2. UC Deneyinde Makroskopik Davranış.....	43
5.3. Serbest Basınç Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar.....	44
5.3.1. Gerilme ve deplasman ilişkisi.....	51
5.3.2. Serbest basınç deneyi ile elde edilen mohr çemberleri.....	60
5.3.3. Dayanımla fiber oranı ve fiber uzunluğu ilişkisi.....	68

BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	77

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Düzeltilmiş alan
A_0	: Numune ilk alanı
AR	: Alkali direnci yüksek cam fiber
c	: Kohezyon
CH	: Yüksek plastisiteli kil
CL	: Düşük plastisiteli kil
e	: Boşluk oranı
ε	: Düşey birim boy değişimi
G_s	: Özgül ağırlık
H	: Numune boyu
I_p	: Plastisite indisi
n	: Porozite
P	: Yük
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu (Scanning electron microscope)
S_r	: Doygunluk derecesi
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UC	: Serbest basınç deneyi (Unconfined compression test)
V	: Numune hacmi
V_e	: Boşluk hacmi
V_s	: Dane hacmi
w	: Su muhtevası
w_L	: Likit limit
w_{opt}	: Optimum su muhtevası
w_p	: Plastik limit
W_s	: Kuru örnek ağırlığı
W_w	: Su ağırlığı

σ	: Toplam normal gerilme
ϕ	: Kayma direnci açısı
γ_{kmax}	: Maksimum kuru birim hacim ağırlık
γ_n	: Yaş birim hacim ağırlık
γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı
τ_{max}	: Kayma direnci

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Dane boyutlarına bağlı zemin stabilizasyon teknikleri.....	6
Şekil 3.1. Cam fiberin şerit ve kırılmış halde görünümü	15
Şekil 3.2. Cam fiber çeşitleri ve fiziksel özellikleri.....	15
Şekil 3.3. Cam elyafı üretimi	18
Şekil 3.4. Cam fiberin üretim aşamalarının akış şeması	18
Şekil 3.5. Lif çekimi ile filament iplik oluşumu	19
Şekil 4.1. Kil zemin ve 4 No'lu elekten elenmiş numuneler	22
Şekil 4.2. Kil zeminin dane dağılım eğrisi	23
Şekil 4.3. AR cam fiber farklı boy ve farklı oranlarda görünüşleri.....	24
Şekil 4.4. Alkali direnci yüksek cam fiberin beton içinde lif dağılımı	25
Şekil 4.5. Cam fiberin yaşlanma testi sonrasında durumu	25
Şekil 4.6. Cam liflerin kopma uzamasına karşın gelen mukavemeti	26
Şekil 4.7. Casagrande yöntemi ile likit limit deneylerinin yapılışı	30
Şekil 4.8. Koni penetrasyon ile likit limit deneylerinin yapılışı	31
Şekil 4.9. Casagrande likit limit deneyi sonuçları	32
Şekil 4.10. Koni penetrasyon likit limit deneyi sonuçları	32
Şekil 4.11. Plastik limit deneylerinin yapılışı	34
Şekil 4.12. Plastisite kartı (TS 1500/2000)	35
Şekil 4.13. Kil numune elemesi ve zemin fiber karışımı	39
Şekil 4.14. Kompaksiyon Deneyi ve Proktor Eğrisi	40
Şekil 5.1. SEM Taramalı elektron Mikroskobu.....	41

Şekil 5.2. Kil zemin mikro yapısı (x100,x1000,x2000 ve x5000).....	41
Şekil 5.3. SEM analizi: AR cam fiber mikroskobik yapısı (x50,x500,x1000,x2000)41	
Şekil 5.4. UC deneyleri sonunda numunelerin kayma yüzeyleri ve okuma	42
Şekil 5.5. 370 Adet silindir numunelerin görünümü.....	43
Şekil 5.6. 35 mm ve 50 mm çaplı doğal zeminin optimum su içeriğinde gerilme şekil değiştirme ilişkisi	51
Şekil 5.7. 35 mm çaplı 10 mm fiber katkılı numunelerin gerilme şekil değiştirme İlişkisi a)0,25 b)0,5 c)1 d)1,5 e)2	52
Şekil 5.8. 35 mm çaplı 20 mm fiber katkılı numunelerin gerilme şekil değiştirme İlişkisi a)0,25 b)0,5 c)1 d)1,5 e)2	53
Şekil 5.9. 35 mm çaplı 30 mm fiber katkılı numunelerin gerilme şekil değiştirme İlişkisi a)0,25 b)0,5 c)1 d)1,5 e)2	54
Şekil 5.10. 50 mm çaplı 10 mm fiber katkılı numunelerin gerilme şekil değiştirme İlişkisi a)0,25 b)0,5 c)1 d)1,5 e)2	55
Şekil 5.11. 50 mm çaplı 20 mm fiber katkılı numunelerin gerilme şekil değiştirme İlişkisi a)0,25 b)0,5 c)1 d)1,5 e)2	56
Şekil 5.12. 50 mm çaplı 30 mm fiber katkılı numunelerin gerilme şekil değiştirme İlişkisi a)0,25 b)0,5 c)1 d)1,5 e)2	57
Şekil 5.13. 50 mm çaplı 40 mm fiber katkılı numunelerin gerilme şekil değiştirme İlişkisi a) 0,25 b) 0,5 c)1 d)1,5 e)2	59
Şekil 5.14. 35 mm ve 50 mm çaplı doğal kil numunelerin Mohr çemberleri.....	59
Şekil 5.15. 35 mm çaplı 10 mm fiber katkılı numunelerin Mohr çemberleri a)0,25 b)0,5 c)1 d)1,5 e)2	60
Şekil 5.16. 35 mm çaplı 20 mm fiber katkılı numunelerin Mohr çemberleri a)0,25 b)0,5 c)1 d)1,5 e)2	61
Şekil 5.17. 35 mm çaplı 30 mm fiber katkılı numunelerin Mohr çemberleri a)0,25 b)0,5 c)1 d)1,5 e)2	62
Şekil 5.18. 50 mm çaplı 10 mm fiber katkılı numunelerin Mohr çemberleri a)0,25 b)0,5 c)1 d)1,5 e)2	63

Şekil 5.19. 50 mm çaplı 20 mm fiber katkılı numunelerin Mohr çemberleri	
a)0,25 b)0,5 c)1 d)1,5 e)2	64
Şekil 5.20. 50 mm çaplı 30 mm fiber katkılı numunelerin Mohr çemberleri	
a)0,25 b)0,5 c)1 d)1,5 e)2	65
Şekil 5.21. 50 mm çaplı 40 mm fiber katkılı numunelerin Mohr çemberleri	
a)0,25 b)0,5 c)1 d)1,5 e)2	66
Şekil 5.22. Dayanım- fiber oranı ilişkisi (Çap:50 mm).....	74
Şekil 5.23. Dayanım artışı- fiber oranı ilişkisi (Çap:50 mm).....	74
Şekil 5.24. Dayanım- fiber oranı ilişkisi (Çap:35 mm).....	74
Şekil 5.25. Dayanım artışı- fiber oranı ilişkisi (Çap:35 mm).....	75
Şekil 5.26. Dayanım- fiber oranı ilişkisi (Çap:50 mm).....	76
Şekil 5.27. Dayanım artışı- fiber oranı ilişkisi (Çap:50 mm).....	74
Şekil 5.28. Dayanım- fiber oranı ilişkisi (Çap:50 mm).....	76
Şekil 5.29. Dayanım artışı- fiber oranı ilişkisi (Çap:50 mm).....	74

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Fiber çeşitleri	9
Tablo 2.2. Farklı fiber çeşitlerine ait tipik özellikler.....	9
Tablo 4.1. Kil zeminin indeks özellikleri	23
Tablo 4.2. AR cam fiberlerin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	24
Tablo 4.3. Numunelerin kil ve fiber ağırlığı, fiber uzunluk ve oranları.....	27
Tablo 4.4. Casagrande hesap tablosu	31
Tablo 4.5. Koni penetrasyon hesap tablosu	32
Tablo 4.6. Plastik limit sonuçları.....	34
Tablo 5.1. Numunelerin Ortalama Fiziksel özellikleri.	44
Tablo 5.4. Numunelerin dayanımlarında cam fiber katkısı ve dayanımlarındaki artış oranları	47

ÖZET

Anahtar kelimeler: Yüksek Plastisiteli Kil, Serbest Basınç Deneyi, Drenajsız Kayma Direnci, Zemin İyileştirme, Alkali Dirençli Cam Fiber.

İnşaat sırasında harcanan emek ve zamanın yer hareketleri anında yapı zemin etkileşimindeki olası olumsuz durum nedeniyle kaybolmaması adına geoteknik çalışmalar önem arz etmektedir. İnce daneli zeminlerden yüksek plastisiteli killer üzerinde yapılacak bina, yol ve baraj gibi yapıların taşıma gücü ve oturma analizlerinde geoteknik incelemeler kritik derecede önemlidir. Problemlili durumlara çözüm olarak arsayı terk etme, zayıf zemini geçerek sağlam zemine ulaşma ve zayıf zeminin bertaraf edilerek yerine daha yüksek dayanımlı malzeme koyma zemin iyileştirmesinde klasik yöntemlere örnek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Teknolojinin gelişmesi ile taşıma gücünün yükseltilmesi, tabakaların ayrılması, stabilitenin sağlanması ve suyun alandan uzaklaştırılması gibi amaçlarla geosentetik malzemeler sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Sentetik malzemelerden olan cam fiberlerin beton dayanımı artırmak amacıyla kullanıldığı bilinmektedir. Ancak alkali özelliği olan betonda uzun zaman diliminde beton dayanımının azaldığı ve fiberin etkisinin yok olduğu da literatürde görülmektedir.

Bu tez çalışmasında alkali direnci yüksek olarak üretilmiş AR cam fiber katkısının kil zeminin drenajsız kayma direncindeki etkisi incelenmiştir. Öncelikle Sakarya İli, Sapanca İlçesinden getirilen kil zeminin indeks ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Buna yönelik olarak 30 ve 42 mm boylarında üretilmiş alkali direnci yüksek cam fiberler 10 mm, 20 mm, 30 mm ve 40 mm boylarında olacak şekilde hazırlanmıştır. Bu fiberler doğal haldeki zemine kuru ağırlıkça %0,25, %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranlarında rastgele dağılacak şekilde eklenmiş ve optimum su muhtevasında zemin fiber karışımı sağlanmıştır. Hazırlanan karışımlar, standart Proktor enerjisinin iki katına karşılık gelen sabit enerji ile iki farklı boyutta yaptırılan numune kalıplarında sıkıştırılmıştır. Çalışmada 20 tanesi doğal kil numune ve 350 tanesi AR cam fiber katkılı numune olmak üzere toplamda 370 tane silindirik numune üzerinde serbest basma deneyi (UC) yapıldı. Kil zemin ve AR cam fiberle güçlendirilmiş numunelerde makroskobik yapı incelenmiş, ayrıca mikroskopik yapının incelenmesi amacıyla taramalı elektron mikroskobu ile analiz yapılmıştır. Tüm numuneler üzerinde yapılan serbest basma deneylerine ait sonuçlar yorumlandığında alkali direnci yüksek olan cam fiber katkısının olumlu etki sağlayarak kil zeminin drenajsız kayma direncini artırdığı ve kırılmayı uzun zamana yayarak sünekleşmeyi sağladığı tespit edilmiştir. Sonuçlar alkali dirençli cam fiberin zemin iyileştirmesinde alternatif bir malzeme olarak kullanılabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF CHANGE IN SHEAR RESISTANCE ON CLAYEY SOIL RANDOMLY REINFORCED WITH ALKALI RESISTANT GLASS FIBER

SUMMARY

Keywords: High Plasticity Clay, Unconfined Compression Test, Undrained Shear Strength, Soil Reinforcement, Alkali Resistant Glass Fiber.

The importance of geotechnical studies is increasing day by day because soils under structural loads are exposed to shear stresses and deformations due to insufficient engineering properties. Geotechnical investigations are critically important in the bearing capacity and settlement analyses of structures such as buildings, roads, and dams to be built on high plasticity clays, one of the problematic fine-grained soils. When faced with problematic soils, possible solutions appear as changing the field, trying to reach bedrock by bypassing the weak soil, and replacing the weak soil with stronger material.

With the development of technology, geosynthetic materials have been frequently used in the reinforcement of weak soils for purposes such as increasing the shear strength, separating layers, ensuring stability, and removing water from the area. It is known that glass fibers, which are synthetic materials, are frequently used especially to increase the strength of concrete. However, it has been revealed by the studies in the literature that the strength of the concrete with alkaline properties decreases in the long term and the effect of the fiber disappears.

In this thesis, the effect of glass fiber additive with high alkali resistance on the undrained shear strength of high plasticity clay soil was investigated. First of all, the physical and mechanical properties of the clay soil taken from the Sapanca District of Sakarya Province were determined. Then, glass fibers with high alkali resistance produced in 30 and 42 mm lengths were divided into 10 mm, 20 mm, 30 mm, and 40 mm lengths. These fibers were added to the natural soil at rates of 0.25%, 0.5%, 1%, 1.5%, and 2% by dry weight, randomly distributed, and soil-fiber-water mixtures were prepared in optimum water content. The prepared mixtures were compacted in sample molds of two sizes with a constant energy corresponding to twice the Standard Proctor energy. In the study, unconfined compression tests (UCS) were carried out on a total of 370 cylindrical samples, 20 of which are natural and 350 of which are glass fiber reinforced samples. The macroscopic structure of the glass fiber reinforced clay samples was examined, and Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis was made to examine the microscopic structure. When the results of the UCS tests performed on all samples were interpreted, it was determined that the glass fiber additive with high alkali resistance increased the undrained shear strength of the clay soil by providing a positive effect and ductility by spreading the failure over a long period. The results are interpreted as alkali-resistant glass fiber that can be used as an alternative material for soil reinforcement.

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Tarih boyunca en temel ihtiyaçlardan biri olan barınma ihtiyacı günümüzde de konfor, ergonomi, tasarım gibi ilkeler ışığında hayatın her anında karşımızda yer almaktadır. Günümüzde nüfusun hızlı artışı, yerleşime yönelik olarak arsaların yetersiz kalışı sonucunu getirmiş ve yapılar kısa geçmişte tarım arazisi olarak kullanılan yerlere inşa edilmeye başlanmıştır. Bunun yanında artan yapı yüksekliklerine bağlı olarak sabit ve hareketli yüklerin artması sonucu birçok projenin zemin özellikleri açısından problemlilerde uygulanması kaçınılmaz olmuştur.

Özellikle gelişmekte olan ülkelere ve şehirlerine bakıldığında ekonomik, kültürel ve turistik vb. gibi etkilerle nüfusun yer değiştirmesi sonucu sağlam temel ortamı olarak nitelendirilebilecek arsaların yetersizliği sonucunda elverişsiz zeminler üzerinde yapılaşmanın attığı görülmektedir. Geoteknik açıdan bu elverişsiz alanlara yapılacak yapılarda taşıma gücü açısından yeterli güvenliğin sağlanması, oturmaların kabul edilebilir limitler içinde kalması gerekmektedir. Bunlara ek olarak deprem durumunda olası sıvılaşma ve zemin yumuşaması gibi problemlerin de projelendirme öncesinde irdelenmesi gerekmektedir. Bütün bunların yanında yürütülen çalışmaların ekonomik olması da önem arz eden bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Killi zeminler ince daneli zeminlerin arasında yer almaktadırlar. Kil zeminler ulaştırma yapısı, binalar, dayanma yapıları ve baraj gibi farklı yapıların yapılacağı alanların hepsinde farklı kalınlık ve derinliklerde karşımıza çıkabilmektedirler. Özellikle yumuşak killi zeminlerde yapım sonrası karşılaşılabilecek taşıma gücü ve oturma problemleri önceden öngörülemeyen yüksek maliyet ile emek kaybına neden olmaktadır. Yapılan zemin incelemesi sonrasında olası problemlerden kaçınmak amacıyla parseli terk etme, zemini iyileştirme veya sağlam zemine ulaşma adına veya yükü derinlerdeki görece sağlam ortama taşıma amacıyla kazık grupları inşa etme gibi farklı çözümler karşımıza çıkmaktadır.

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak zaman içinde farklı iyileştirme yöntemleri ortaya çıkmıştır. Son zamanlarda çeşitleri sürekli artan geosentetik malzemeler tabakaları ayırma, taşıma gücünü artırma, farklı oturumların önüne geçme, drenajın iyileştirilmesi vb. gibi amaçlarla kullanılmaktadır.

Geosentetiklere örnek olarak verilebilecek cam fiberler uzun yıllardır betonun güçlendirilmesinde kullanılmaktadır. Alkali özelliğe sahip betonun ilk üretilen tip olan A ve E tipi cam fiberleri zamanla çözdüğü ve uzun vadede dayanımının düştüğü bilinmektedir. Araştırmaların artması ile bu dezavantajı ortadan kaldırmak adına alkali dirençli (AR) olan cam fiberler üretilmiştir. Bu gelişmeye paralel olarak petrol esaslı fiberler gibi bu tip fiberler de beton yanında zemin iyileştirmesinde kullanılmaya başlanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, alkali direnci yüksek cam fiber katkısının kil zeminin drenajsız kayma direnci üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Tezde bahis konusu olan tüm deneyler Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Laboratuvarlarında ilgili standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Erguvan Zemin Lab. Hz. firması tarafından Sapanca Atatürk Kültür Merkezi zemin etüdü çalışması sırasında yapılan kazıdan alınan kil zemin ve Fibrobeton A.Ş. tarafından üretilen alkali direnci yüksek cam fiber kullanılmıştır. Deneysel çalışmanın ilk aşamasında kil zeminin indeks özellikleri belirlenmiş ve sınıflandırması yapılmıştır. Sonrasında doğal zemin örnekleri farklı su muhtevalarında hazırlanarak karıştırılmış ve standart Proktor deney tokmağı kullanılarak sıkıştırılmış, sonuçta optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı tespit edilmiştir. Daha sonra, kil zemine 10 mm-20 mm-30 mm ve 40 mm boylarında alkali direnci yüksek cam fiberler %0,25-%0,50-%1-%1,5-%2 oranlarında eklenerek karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımlar standart Proktor enerjisinin iki katına tekabül eden sabit enerji ile özel olarak yaptırılan farklı boyuttaki silindirik sıkıştırma kalıplarında sıkıştırılmıştır. Hazırlanan zemin numunelerinde drenajsız kayma mukavemetlerini tespit edebilmek için serbest basma deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda, doğal kil zemin ile AR cam fiber katkılı kil zeminin mukavemet özellikleri karşılaştırılmıştır. Deneylerle AR cam fiberin alternatif iyileştirme malzemesi olarak kullanılabilmesinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2. ZEMİN İYİLEŞTİRMEDE KATKI MALZEMELERİ VE FİBER KATKISI

2.1. Zemin İyileştirme

Yapıların inşası öncesinde zeminin yetersiz olan mühendislik özelliklerinin yapılaşmaya elverişli hale getirilmesine basitçe zemin iyileştirme denmektedir. Zemin iyileştirmesi dışında parsel alanını terk etme, kazık gibi yapısal elemanlarla zayıf zeminleri geçerek sağlam zeminlere ulaşma gibi uygulamalar da problemleri arsalarda klasik çözüm uygulamaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Sahaya bakıldığında normal ve az aşırı konsolide killeri ($AKO < 3$), killi siltler, gevşek kumlu zeminler ile rastgele yerleştirilmiş dolgular karşımıza zayıf zemin olarak çıkmaktadır. Bu gibi zeminlerde zemin stabilizasyonu ile işin özelliğine göre deformasyonları sınırlandırmak, oturma problemlerine çözüm getirmek, yapıdan gelen yüke bağlı zeminde oluşan gerilmelere karşı taşıma gücünü artırmak ve geçirimsizliği azaltmak gibi çözümlerin sağlanması amaçlanmaktadır (Uzuner, 2006).

Uygulamada herhangi bir arsaya yapılması planlanan bir yapının, yüzeysel temellerle güvenli olarak inşa edilmesinin mümkün olmaması durumunda derin temel ya da farklı zemin iyileştirme seçeneği düşünülmeden önce şu yollar denenebilir (Önalp ve Sert, 2016):

1. Yapılması planlanan binanın zemin koşulları yönünden uygun başka bir araziye yapılması.
2. Jeolojik açıdan çok genç, dolayısıyla niteliksiz olan üst tabakaların kaldırılarak yerine yeterli malzeme yerleştirilmesi.
3. Taşıyıcı sistem ve/veya yüzeysel temel özelliklerinin temel ortamının özellikleri değerlendirilerek değiştirilmesi.

Zemin iyileştirme yöntemleri her bölge için farklılık gösterebilmektedir. Bu sebeple kullanılacak zemin iyileştirme metodu belirlenirken zeminin topoğrafyası, iklimi, ulaşımı ve zemin iyileştirmenin getireceği ek maliyetler göz önünde bulundurulmalıdır (Şahan, 2016).

Zemin iyileştirme için yapılan projelerde bir diğer önemli parametre zemin etüdüdür. Milyonlarca metreküplük toprağın iyileştirilmesinin birkaç kg'lık örselenmiş/örselenmemiş toprağın deney sonuçlarına dayanarak yapılması katastrofik sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle geniş kapsamlı laboratuvar deneylerine ek olarak alan testlerinin de değerlendirilip bu bilgiler ışığında akılcı ve işlevsel bir tasarım ortaya çıkartılmalıdır (Ekinci, 2011).

Zemin etüdünün doğru bir şekilde yapılması iyileştirmenin çözüm olarak verimli olması açısından kritik önem taşımaktadır. Çözüm olarak sunulan yöntemler tek ya da birlikte kullanıldığında Sağlamer'e (2011) göre;

1. Zeminin kayma mukavemeti artar.
2. Kumlu zeminlerin sıklığı, killi zeminlerin kıvamı iyileşir.
3. Sıkışabilirlik azalır.
4. Şişme ve büzülme potansiyeli düşer.
5. Permeabilite azalır.
6. Borulanmaya karşı mukavemet artar.
7. Sıvılaşma potansiyeli azalır.

2.2. Zemin İyileştirme Yöntemleri

Zemin stabilizasyonunda istenilen durum gerekli araçlarla mevcut zemindeki boşluk oranının azaltılarak, katkılar ile bu boşlukların kapatılması ile mukavemetin artırılmasıdır.

Zeminlerin iyileştirilmesinde hedeflenen başlıca amaçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Geleneksel (Temel) Amaçlar:

1. Mukavemet-taşıma gücü artışı
2. Yük altında sıkışmaların (oturmaların) azaltılması
3. Gerilmeler altında şekil değiştirmelerin azaltılması
4. Şişme-büzülme potansiyelinin azaltılması
5. Çevresel etkiler (donma/çözülme, ıslanma/kuruma) sonucu olumsuz fiziksel ve kimyasal değişimlerin önlenmesi
6. Durabilitenin artırılması
7. Su geçirgenliği, su basınçları oluşumu ve sızıntı suyu kontrolü
8. Erozyon direncinin artırılması
9. Depremler ve tekrarlı yükler altında sıvılaşma, mukavemet ve rijitlik kaybı potansiyelinin azaltılması
10. Temel zemini ve dolgu malzemelerinde değişkenliğin azaltılması
11. Yüzey bozulmalarına karşı direncin artırılması

Zemin iyileştirme yönteminin seçiminde dikkat edilecek hususlar şu şekilde özetlenebilir:

1. Zemin cinsi, jeolojik ortam, yer altı suyu durumu
2. Hedeflenen iyileştirmenin türü ve derecesi
3. Gerekli malzeme, donanım ve iş gücünün temini
4. Projenin boyutları/iyileştirme maliyeti
5. İnşaat takvimi ve iyileştirme süresi
6. Uzun süreli performans/durabilite kriterleri
7. Civar yapılara ve çevreye etkileri
8. İyileştirme sürecinin değişmezliği/tersine dönme olasılığı
9. Yapım kalite kontrolü ve performans ölçümleri
10. Atıkların değerlendirilmesi olasılığı

Zemin stabilizasyon yöntemleri üç gruba ayrılabilir (Önalp ve Sert, 2016):

1. Geçici etkili (yapım anında kozmetik yöntemler)
2. Kalıcı etkili, zemine yabancı madde ekmeden yapılan (dışarıdan katkı ekmeden iyileştirme yapılan yöntem)

3. Kalıcı etkili, ancak zemine yabancı madde veya katkı maddesi ekleyerek yapılan (dışarıdan katkı eklenerek iyileştirme yapılan yöntem)

Bu tez çalışmasında zemine katkı maddesi ekleyerek yapılan kalıcı etkili iyileştirme yöntemi tercih edilmiştir. Kil zemine alkali direnci yüksek cam fiber takviyesi ile drenajsız kayma direncindeki değişim irdelenmiştir.

2.2.1. Uygulama derinliğine göre zemin iyileştirme yöntemleri

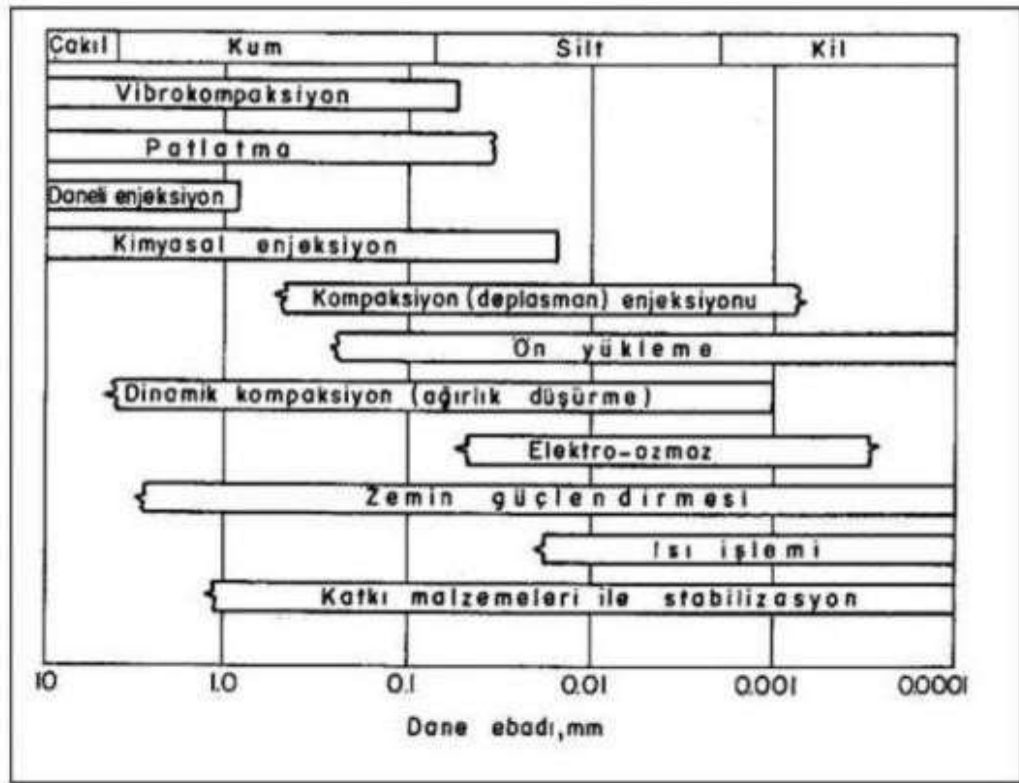
Zeminlerin iyileştirme yöntemleri ana gruplar olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (URL-2).

- Mekanik yöntemler (teknikleri değişik kompaksiyon)
- Hidrolik yöntemler (yeraltı suyu kontrolü, drenaj, konsolidasyon, önyükleme)
- Fiziko-kimyasal yöntemler (Katkı malzemeleri-enjeksiyon yöntemleri)
- Hafif malzemelerin kullanımı (ağırlık azaltma)
- Donatılı zemin, çelik veya geosentetik donatılar.

Bu tez çalışmasında kullanılan yöntem bu kapsamda değerlendirildiğinde yüzeysel ve fiziko kimyasal yöntemler sınıfına girdiği söylenebilir.

2.2.1.1. Derin zemin iyileştirme yöntemleri

Geoteknik literatürü tarandığında bilimsel araştırmaların artmasıyla beraber farklı derin zemin iyileştirme yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Derin zemin iyileştirmesinde ana kıyas olarak dane çapı alınabilir ve zeminler kohezyonlu zeminler ve kohezyonsuz zeminler olmak üzere iki kısma ayrılır. Bu yöntemler irdelendiğinde kohezyonlu zeminlerde yer değiştirme, ön yükleme, kum ve plastik dren kullanımı, vakum konsolidasyonu, ozmotik basınç ve elektro ozmos ve kireç kazıkları oluşturma gibi yöntemlerin bulunduğu görülmektedir. Kohezyonsuz zeminlerde iyileştirmede ise kompaksiyon kazıkları, yüksek modüllü kolonlar, patlatma, dinamik konsolidasyon ve enjeksiyon gibi yöntemler bulunmaktadır. Şekil 2.1.'de Mitchell ve Katti (1981) tarafından dane boyutuna bağlı olarak zemin iyileştirme yöntemleri gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Dane boyutlarına bağlı zemin stabilizasyon teknikleri (Mitchell ve Katti, 1981)

2.2.1.2. Yüzeysel zemin iyileştirme yöntemleri

Yüzeysel zemin iyileştirmesi üst yapı ve taşıyıcı sistemin yükünün fazla olmadığı, karayolu ve demiryolu çalışmasında kullanılan derin iyileştirmelere gereksinim duyulmaması halinde kullanılan ve derin iyileştirmeye kıyasla maliyetin daha az olması ile bilinen yöntemdir. Katkısız olarak mekanik stabilizasyon yapılabildiği gibi, çimento ile stabilizasyon, kireç/uçucu kül ile stabilizasyon, bitüm ile stabilizasyon ve çeşitli fiberler ile stabilizasyon katkılı stabilizasyona örnek sayılabilir.

2.3. Elyaf lar

Elyaf lar (lifler, fiberler), doğal kaynaklardan elde edilen ya da insan eliyle üretilen, uzunluğu, bükülebilirliği, esnekliği ve dayanıklılığı olan hammaddedir. Fiberler yapay ve doğal olmak üzere iki grupta incelenebilir. Doğal lifler; bitkisel, hayvansal ve madensel olarak üç alt gruba ayrılabilirler. Tablo 2.1.'de fiber alt grupları örnekler ile sunulmaktadır. Yapay lifler ise, aranan belirli özellikleri taşıyacak biçimde özel olarak

geliştirilen ve bu amaçla üretilen maddelerdir (Türker ve Balanlı, 1992). Doğal ve yapay fiber türlerinin tipik özelliklerinden bazıları da Tablo 2.2.'de örnek olarak gösterilmektedir (Aral, 2006; Kurt, 2006).

Farklı özellikleri ve kullanım alanları bakımından birçok lif türü vardır. Bu lifleri değişik biçimlerde sınıflandırmak mümkündür. Lifler, genel olarak şöyle sınıflandırılabilirler (Chawla, 1998):

A-Doğal Lifler

A.1. Bitkisel Lifler

- A.1.1. Akwara
- A.1.2. Bambu
- A.1.3. Hindistan cevizi kabuğu
- A.1.4. Keten, Kenevir
- A.1.5. Jüt
- A.1.6. Sisal
- A.1.7. Şeker kamışı posası
- A.1.8. Ahşap (Selüloz)

A.2. Hayvansal Lifler

- A.2.1. Yün
- A.2.2. İpek
- A.2.3. Kıl

A.3. Madensal lifler

- A.3.1. Asbest
- A.3.2. Metal Lifler
- A.3.3. Karbon

B-Yapay Lifler

B.1. Cam Lifleri

B.2. Polimer Lifler

- B.2.1. Akrilik
- B.2.2. Aramid
- B.2.3. Naylon
- B.2.4. Polyester
- B.2.5. Polietilen
- B.2.6. Polipropilen
- B.2.7. Poliüretan

Tablo 2.1. Fiber çeşitleri (Aral, 2006)

Doğal Lifler			Yapay Lifler	
Bitkisel Lifler	Hayvansal Lifler	Madensel Lifler	Polimer Lifler	Cam Lifleri
Akwara	Yün	Asbest	Kevlar	
Bambu	İpek	Bazalt	Akrilik	
Hindistan Cevizi Kabuğu	Kıl	Metal Lifler	Aramid	
Keten, Kenevir	-	Karbon	Naylon	
Jüt	-	-	Polyester	
Sisal	-	-	Polietilen	
Palm	-	-	Polipropilen	
Şeker Kamışı Posası	-	-	Poliüretan	
Ahşap (Selüloz)	-	-		

Tablo 2.2. Farklı fiber çeşitlerine ait tipik özellikler (Kurt, 2006)

Lif Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Maksimum Uzama Oranı (%)
Asbest	3,2	83-138	552-966	0,6
Pamuk	1,5	4,8	414-690	3-10
Naylon	1,1	4,1	759-828	16-20
Polyester	1,4	8,3	724-863	11-13
Polietilen	0,95	0,14-0,4	690	10
Polipropilen	0,9	3,5	552-759	25
Karbon	1,9	230-380	380-5520	0,5-1,6
Kevlar	1,44	60-130	3600	0,2-4
Cam	2,5	69	1035-3795	1,5-3,5
Çelik	7,8	200	276-2760	0,5-35
Bazalt Lif	2,8	89	4840	3,15

2.3.1. Yapay fiberler

Kimyasal yapısı ve özellikleri üretim süreci boyunca insan eliyle değiştirilmiş olan fiberlere yapay fiberler denir. Cam fiberler ve polimer fiberler gibi son zamanlarda inşaat mühendisliği sektöründe kullanılmaya başlanmış fiberler bu gruba örnektir. Yapay liflerin üretim aşamasında kullanılacak hammadde sıvı ya da yarı sıvı forma getirilir ve kabaca kuru ya da yaş çekme ile lifler oluşturulur.

Cam fiberlere değinilirse; beton alkalitesi bu lifleri zamanla çözmekte ve özelliğini yitirmesine neden olmaktadır. Bu alkaliteye karşı zirkon camı gibi dayanıklı camlardan fiber üretilmesine başlanmıştır. Bu tez çalışmasının motivasyonu alkali dayanıklı bu ürünün zemin iyileştirmesinde kullanılma isteğidir.

Petrokimya ve tekstil endüstrisinde gelişen teknoloji ve araştırmalar sonucu sentetik polimer fiberler meydana getirilmiştir. Tütünün de çekme gerilmesi yüksek olan başlıca polimer fiberler akrilik, aramid, naylon, polyester, polietilen ve polipropilendir. Ancak akrilik hariç diğer sentetik liflerin elastisite modülü yüksek değildir. Çapları mikron seviyesinde olan fiberlerin çap ve boyları tüm özellikleri değiştirebilir yapıdadır. Tekil ya da lif hamuru halinde lif katkılı beton (FRC, fiber reinforced concrete) imalatında kullanılanların uzunlukları 12 mm ile 50 mm arasındadır. 2 mm gibi kısa fiberler olabildiği gibi çok uzun fiberler de yapılabilir. %85 seviyesinde akronilit özellik sergileyen akrilik lifler sudan daha yoğundur ve farklı sentetik liflere göre daha yüksek elastisite modülüne sahip olduğu bilinmektedir. Aramid sahip olduğu yüksek elastisite modülü sayesinde FRC mekanik özelliklerinde iyileşme sağlamaktadır. Çekme ve eğilme gücünü artıran halat şeklindeki bu lifler diğerlerine kıyasla maliyet açısından bir hayli yüksektir. Naylon 19 mm uzunluğunda, çok ince, tekil olan ürünlerdir. Polyester lifler etil asetat monomerlerinden oluşan yüksek elastisite modüllü fiziksel ve kimyasal özellikleri olan ürünlerdir. Betonda kullanılması olumlu yönde olan bu ürün beton uygulamaları açısından avantajlı durumdadır. Polipropilen fiberler, boyları 3-50 mm arası değişen tekil ve hamur şeklinde olan fiberlerdir. Kısa lifler genelde hamur formda, uzun lifler tekil formda bulunur. Polipropilenin polietilen hamurundan daha düşük dayanıma sahip olduğu bilinmektedir.

2.3.2. Doğal fiberler

Doğal lifler olarak anılan saman ve at kılı en yaygın kullanılan kompozit malzemesi ürünlerine örnektir. Teknolojik gelişme ile lifler maliyeti aşağıda tutarak farklı bitkilerden farklı yöntemler ile üretilmektedir. İfade etmek gerekirse bambuyla jüt liflerinin ürün haline gelmesi diğerlerine kıyasla düşük enerji gerektirdiğinden

uygulamada bunlar çoklukla kullanılmaktadır. Fakat söz konusu liflerin kullanımındaki ana problem, alkali ortamdan olumsuz etkilenme sonucu yeterli davranışın gösterilememesi olarak ortaya çıkmaktadır. Dezavantaj olan alkalite etkisini yok etmek için çimento sektöründe portland çimentosu ile kullanılan doğal lifler gündeme gelmektedir. Hindistan cevizi, flax, sisal, şekerkamışı posası ile ahşap lifler bunlara örnek olarak verilebilir.

Sıcaklıkla beraber su buharını kolay emmesi, sıcaklıkla formundan vazgeçmemesi, donma noktasının altında deformasyon olmaması ve güneş ışınlarına duyarlı olması doğal fiberlerin özelliklerinden sayılabilir. Doğal fiberler sebze, hayvan ya da minerallerden doğrudan elde edilebilen, farklı yöntemlerle fibere dönüştürülen ham maddelerden yapılan ürünlerdir. Bitkilerden üretilen, hayvan kılları ve tüylerinden üretilen ve madenlerden üretilenler olarak üç farklı aşamada değerlendirme yapılmaktadır.

Killi zeminler inşaat mühendisliği alanında taşıma gücü ve oturma açısından problemlere sebep olabilmeltiler. Bu sorunları çözmek için çeşitli zemin iyileştirme teknikleri geçmiş zamanlardan beri uygulanmaktadır. Bu tekniklerden biri, zeminlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini değiştirmek için sentetik veya doğal elyafların kullanılmasıdır. Öte yandan bu işlem, “zemin iyileştirme; doğal özelliklerini değiştirmek için zemine farklı özelliklere ve arzulanan yüzdelere sahip bazı malzemeleri dâhil etmektir (Jones, 1999)” tanımına uymaktadır.

Burada sunulan deneysel çalışmanın amacı doğal kil zemin ve alkali direnci yüksek cam fiberle güçlendirilmiş bu zeminin mekanik davranışını serbest basınç deneyi (UC) bulguları ile irdelemektir.

2.4. Zemin İyileştirmede Katkı Malzemelerin Çalışmaları

Diallo ve Ünsever (2019), kil zemine %2 sabit oranda kireç ve %5 ile %35 arasında %5 aralıkları ile değişen oranlarda 40 nolu elekten geçen inşaat yıkıntı beton atığı ekleyerek iyileştirme çalışması yapmıştır. Yüksek plastisiteli kil olarak tanımlanan

zeminde Proktor deneyi ile optimum su muhtevası elde edilmiş ve bu su muhtevasında 38 mm çap ile 76 mm yükseklikte hazırlanan numuneler desikatör içinde 3 gün, 7 gün ve 28 gün kür süresi ile bekletilmiştir. XRF analizi ile kirecin ve diğer katkıların kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Akabinde serbest basınç deneyleri yapılan CH zeminde inşaat yıkıntı artığı oranı arttıkça (%20'lere kadar) basınç dayanımının da yaklaşık on kat arttığı tespit edilmiştir. % 20-%35 arasında atık kullanıldığında ise pek fazla etkisinin olmadığı görülmüştür. Kür süresinin de etkisi dayanımı artırmakta fayda sağlamamıştır. Sebep olarak beton içindeki çimentonun puzolonik reaksiyona girmiş olması gösterilmiştir. En ideal katkı oranı %20 olarak tespit edilmiştir.

Okucu ve Gündüz (2019), katkısız durumda özelliklerini belirledikleri bentonit kiline (CH) %5, %10 ve %15 oranlarında yüksek fırın cürufu ve %10 kireç katarak hazırladıkları numuneler üzerinde indeks deneyleri, kompaksiyon ve serbest basınç deneyleri yapmışlardır. 1, 7 ve 28 günlük kürler sonrasında yapılan serbest basınç deneylerinde en olumlu durum 28 günlük kür süresinde %15 oranında yüksek fırın cürufu karışımında görülmüştür. Kireç katılımı ise günlük dayanımları artırmasına karşın 28 günlük dayanımı düşürmüştür. Yüksek fırın cürufu puzolonik özellik taşınması nedeniyle geç mukavemet özelliği kazandığından 28 günlük kürün yaklaşık %60 artış ile en avantajlı durum olduğu görülmüştür. Sonuç olarak yüksek plastisiteli kilin yüksek fırın cürufuyla stabilize edilebileceği görülmüştür.

2.5. Fiberlerin Zemin Stabilizasyonunda Katkı Malzemesi Olarak Kullanımı

Yapay ve doğal fiberler zemin stabilizasyonunda yüzeysel yöntemlerden biri olarak tercih edilirler ve doğal zemine katkı malzemesi olarak katılırlar.

2.5.1. Yapay fiberlerin kullanıldığı çalışmalar

Ural ve ark. (2020), çalışmalarında %10 oranında çimentoyu kile ilave etmişler, sonrasında çimentolu kil zemine %5, %10 ve %15 oranlarında atık PVC fiberleri eklemişlerdir. Hazırlanan 0 ve 28 günlük kürlü numuneler üzerinde tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Atık pvc fiberin serbest basınç dayanımını artırmakta etkili

olduğu bulunmuştur. %10 PVC fiberin %5 ve %15 oranlarında fiber katkıli numunelere göre 28 günlük sonuçlarında 0 günlük sonuçlara göre daha yüksek sonuç verdiği görülmüştür. Dikkat çeken bir diğer husus ise atık PVC fiber oranı arttıkça yenilme anındaki deformasyon yüzdesinin de yükselmesidir.

Bilici ve ark. (2020), çalışmalarında Eskişehir ilinde kiremit yapımında kullanılan kile kömür kullanılan termik santrallerde atık olarak ortaya çıkan yüksek fırın cürufu (YFC) ve uçucu külü (UK) %3 sabit kireç oranıyla katmışlardır. %3-6-9-12-15 oranlarında UK ve %3-6-9-12 oranlarında YFC katkıli numune serileri kürsüz, 7 gün ve 28 günlük kürlü şekilde serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Bu karışımlarda toplam karışım kütlesi değişmez kabul edilerek azaltılan zemin numunesi kadar kireç, YFC ve UK katılmıştır. En olumlu dayanım artışının %3 kirece %12 UK ile %9 YFC eklenen serilerde meydana geldiği bulunmuştur. Kürsüz yapılan deneylerde dayanımların yaklaşık aynı değerleri verdiği, kür süresine bağlı olarak UK katkıli serilerde YFC katkıli serilere göre daha yüksek artış olduğu tespit edilmiştir.

Küçük (2020), çalışmasında Kocaeli'nden alınan kil zeminin kayma direnci üzerinde yüksek dirençli polipropilen fiberin etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada polipropilen fiberler maket bıçağı ile kesilerek 10 mm ve 50 mm arasında 10 mm aralıklarla değişen boyutlarda hazırlanmışlardır. Kil zemin üzerinde elek analizi, hidrometre, özgül ağırlık ve kıvam limitleri deneyleri yapılmıştır. Kesilen fiberler CI olarak belirlenen numuneye %0,5,1-1,5 ve %2 oranlarında eklenmiştir. Çalışmada standart Proktor deney kalıbında sıkıştırıldıktan sonra hidrolik kriko ile çıkartılan numunelerde kopma ve soğuk derz olduğu için numunelerin tek parça elde edilebilmesi amacıyla özel yapım silindir kalıplar kullanılmıştır. Standart Proktor enerjisinin 2 katı enerjiye denk gelen bir enerjiyle sıkıştırılan numuneler serbest basma deneyine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak 20 tanesi doğal, 280 tanesi yüksek dirençli polipropilen fiber katkıli iki farklı kalıpla sıkıştırılmış numuneler üzerinde yapılan testlerde %2 oranında 30 mm uzunluğunda fiber katkıli numunelerde en büyük dayanımın elde edildiği tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre yüksek dayanımlı polipropilen fiber zemin iyileştirmesinde olumlu etki yapmıştır.

Küçükosmanoğlu (2019), çalışmasında kil zeminde meydana gelen şişmenin azaltılması için 6 mm-12 mm-24 mm boylarında bazalt fiberin %0.05 artan oranlarla %0,2'ye kadar ve %1, %1,5 ve %2 oranlarında zemine ekleyerek deneysel bir çalışma yürütmüştür. 6 mm uzunluğunda %0,20 miktarda bazalt fiber katkılı numunede meydana gelen 0,41 mm şişme ile doğal zemine göre 6,73 kat stabilizasyon tespit edilmiştir.

Bilgen (2018), çalışmasında bentonit kiline ağırlığının %3, %5, %10, %20 ve %25 oranlarında cam tozu ilave ederek hazırladığı numuneler üzerinde modifiyeli Proktor, serbest basınç deneyi ve Kaliforniya taşıma oranı deneyleri yürütmüştür. 28 günlük kürü tamamlayan doğal bentonit kilinin dayanımı 178 kPa olarak görülmüşken %25 cam tozu ilave edilen numunelerde 28 günlük dayanımının %450 artarak 795 kPa'a ulaştığı tespit edilmiştir. CBR değerinin ise %400 arttığı bulunmuştur. 425 mikron boyutunda toz haline getirilen cam tozunun eklenmesi ile optimum su içeriğinde azalma, kuru birim hacim ağırlığında artış ve serbest basınç dayanımı ile CBR değerlerinde belirgin olarak artış olduğu raporlanmıştır.

2.5.2. Doğal fiberlerin kullanıldığı çalışmalar

Görgün ve ark. (2018), tavuk kesim tesislerinde atık olarak ortaya çıkan protein lif içeren tavuk tüylerinin zeminlerde stabilizasyon sağladığını görmek için orta plastisiteli silt zemin üzerinde deneysel bir çalışma yürütmüştür. Oturma ve taşıma gücü gibi problemlere çözüm üretmek için bu silt zemine %1 ve %3 oranlarında tavuk tüyü toz halde, kesilmiş formda ve tam atık olacak biçimde ilave edilerek hazırlanan karışımlar Proktor sıkıştırma enerjisi ile kompaksiyona tabi tutulmuştur. Deneylerin bitiminde, atık tavuk tüyünün maliyeti yüksek fiberlerden kaçınmak için ikinci seçenek olabileceği belirtilmiş, ancak farklı oran ve farklı uzunluklar ile ek çalışma yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Işık ve ark. (2015), çalışmalarında CH zemine atık tavuk tüyünü tüy lifi ve telek lifi şeklinde ikiye ayırarak %1 ve %2 oranında ilave etmişlerdir. Çalışmada tüy lifinin %2 olduğu durumda dayanımda iki kata varan artış olduğu belirlenmiştir.

BÖLÜM 3. CAM FİBERLER VE ÇEŞİTLERİ

Cam fiber, asidik, alüminyum, silisli kum, kireçtaşı ve magnezyum karışımının sonucu meydana gelen ve dünyada kullanılan çok ince cam elyaflardan üretilen malzemedir. Cam fiber ilk başlarda ısıyla sertleşen plastiklerin iyileştirilmesinde kullanılmasından sonra termoplastiklerin iyileştirilmesinde de kullanılmaya başlanılan üründür. Şekil 3.1.'de cam fiberin şerit ve kırılmış hali gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Cam fiberin şerit ve kırılmış halde görünümü

Şekil 3.2.'de cam fiber çeşitleri ve bunlara ait özellikler gösterilmektedir. A tipi cam fiberde alkali oksit bileşikleri % 0,8'den fazla olacak şekilde iken % 0,8'den az olacak şekilde alkali oksit bileşikleri içeren tür E tipi olarak isimlendirilmektedir. E tipi cam lifi yüksek dayanım ya da elektriksel dayanımda tavsiye edilmektedir. Asitler ve alkalilere karşı dayanımda ihtiyaç olan özelliklere sahip C tipi cam lifler ise kalsiyum borosilikat camlarıdır. Düşük dielektrik sabitli borosilikat camlarından oluşan D türü cam lifleri ise elektriksel uygulamalar için kullanılmaktadır.

E türü, özellikle ECRglas tipi türü olan cam lifler için tasarlanmış en fazla %2 alkali içeren kalsiyum aluminosilikat camlarından oluşur. ECRglass tipi cam lifi dayanım,

elektriksel dayanım ve asidik korozyon dayanımı için tasarlanmıştır. AR-Glass tipi cam lifi ise alkali zirkonyum silikatların alkali dayanımlı camlarla karışımı olan ve bu tezde kullanılan çeşittir. Asidik korozyon dayanımı ile dayanıma ihtiyaç olduğunda R cam lifi kalsiyumalimosilikat camlarıyla meydana gelen türdür. 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. Tablo dışında yer alan M tipi ve Z tipi cam lifleri de bulunmaktadır. Bunlar, elastisite modülleri yüksek berilyum içeren M tipi ve betonların takviyesinde kullanılan, çimento ile birlikte kullanılabilen Z tipi cam liflerdir.

Fiziksel Özellikler									
	A Tipi	C Tipi	D Tipi	E Tipi	Advantex	ECRGlas	AR Tipi	R Tipi	S-2 Tipi
Yoğunluk g/cc	2,44	2,52	2,11-2,14	2,55-2,62	2,62	2,68-2,72	2,70	2,54	2,46-2,49
Refrakto İndeksi	1,538	1,533	1,465	1,558	1,561	1,576	1,562	1,546	1,521
Yumuşama Noktası °C	705	750	771	846	916	882	773	952	1056
Tavlama Noktası °C		588	521	657	736				816
Gerilme Noktası °C		522	477	615	691			736	766
Gerilme Mukavemeti, Mpa									
-196°C		5380		5310		5310			8275
23°C	3310	3310	2415	3445		3445	3241	4135	4890
371°C				2620		2165		2930	4445
538°C				1725		1725		2140	2415
Young Modülü Gpa									
23°C	68,9	68,9	51,7	72,3	76,6	80,3	73,1	85,5	86,9
538°C				81,3	84,3	81,3			88,9
Esneme %	4,8	4,8	4,6	4,8	4,6	4,8	4,4	4,8	5,7
Spesifik Gerilme Dayanımı x 10 ³ m		145	125	145		140		180	220
Spesifik Gerilme Modülü x 10 ³ m		3	2,7	3,1		3,25		3,7	3,9

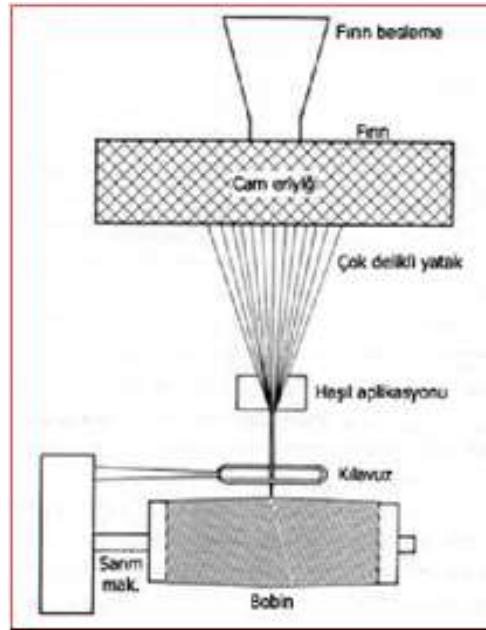
Şekil 3.2. Cam fiber çeşitleri ve fiziksel özellikleri (Özdemir ve Mecit, 2006)

3.1. Cam Fiberin Tarihçesi ve Üretimi

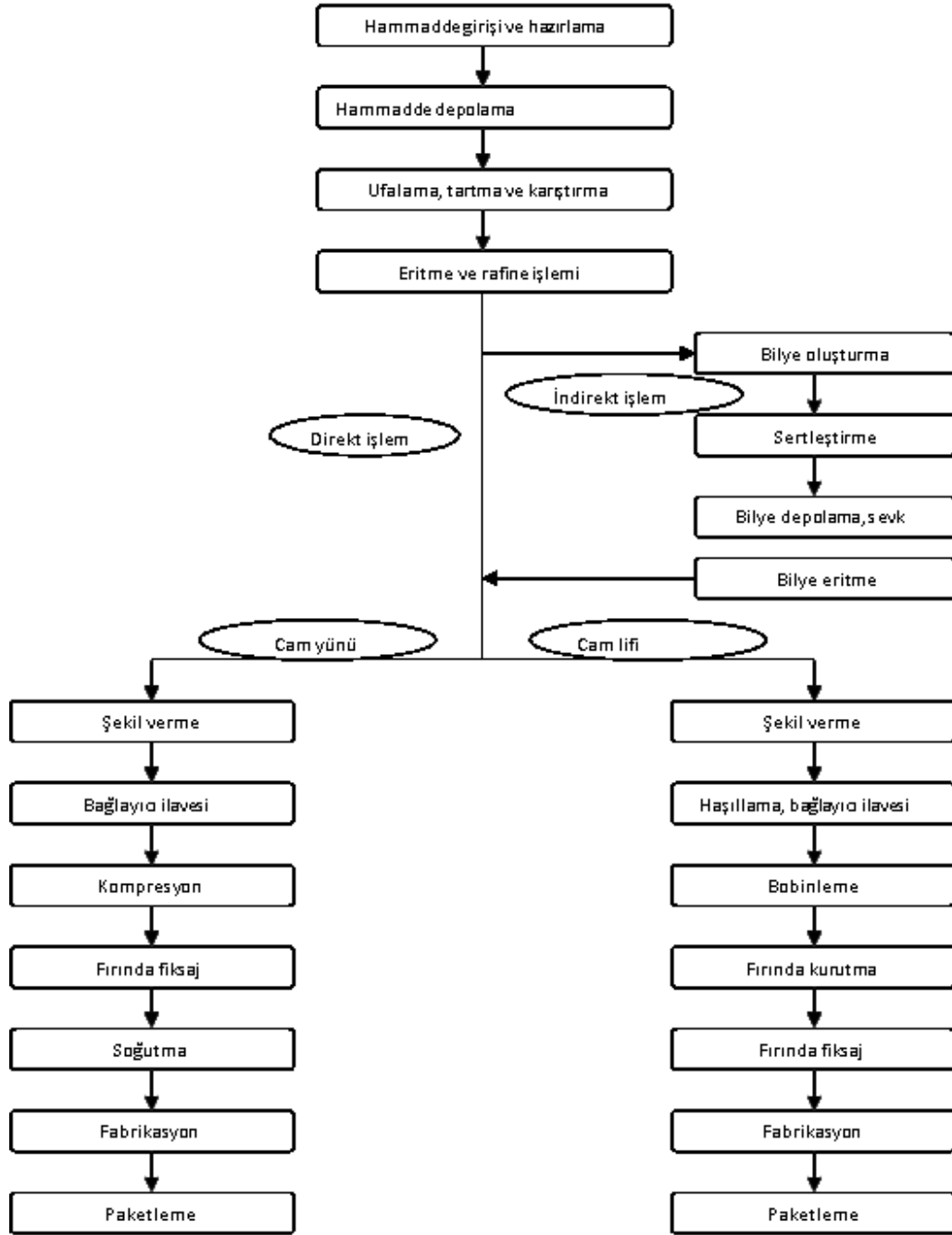
Camdan iplik ve ilişkili ürünlerin yapımının çok eski tarihlere kadar uzandığı bilinmektedir. 1734 yılında Rene Ferchault de Reaumur tarafından cam lifi üretilmiş ancak Reaumur'un, elde ettiği bu ipek gibi ince cam liflerini dokumakta zorluk çekmesinden dolayı fabrikasyon olarak üretimi 18. yüzyıl sonlarında ortaya çıkmıştır. 1935 yılında Owens-Illinois Glass Co. Newark/Ohio ile sektörde iplik haline getirilebilecek ve dokunabilecek incelikte cam lifleri üretilmiş olmuştur.

1942 yılında havacılık sektöründe kullanılmaya takviye edilmiş kompozit malzeme ile başlanmıştır. Owens Corning Tekstil Ürünleri ve Amerikan Hava Kuvvetleri'nin ortak çalışması sonucunda 1960'ların başında yüksek dayanımlı cam lifi (S-tipi) ilave edilmiştir. 1968'de S-2 tipi cam lifi çok çeşitli ticari sahalarda uygulanmaya başlanmıştır. Akabinde cam liflerinin üretimleri hızla artışa geçmiştir. Bunun nedeni teknolojinin ilerlemesi ile lif çekim yöntemlerinin geliştirilmesidir. Tüm teknik lifler tüketiminin %20'sini teşkil etmekte olan cam lif üretimi 2000'li yıllarda 2,9 milyon ton/yıl'a varmıştır. Cam lifleri, yüksek sıcaklık dayanımına ve stabilitesine, saydamlık ve teknik avantajları dolayısı ile geniş alanda kullanıma sahiptir. Bu nedenle bugün dünyada üretilen cam liflerinin üretimi artarak devam etmektedir.

Cam liflerinin filament ya da stapel lif şeklinde üretilmekte olduğu bilinmektedir. Filament lif üretiminde genellikle E-tipi cam, stapel lif üretiminde C-tipi cam öne çıkmaktadır. Cam lifi üretimi, çeşitli hammaddelerin yüksek sıcaklık işlemleri ile homojen eriyik haline, akabinde bu eriyiğin cam lifleri haline dönüştürüldüğü işlem aşamalarından oluşmaktadır. Cam liflerinin tekstil cam lifi ve cam yünü olmak üzere iki tipi bulunmaktadır ve her iki tip de benzer işlem adımları ile üretilmektedir. Bu işlemlerin şematik gösterimi Şekil 3.3.'te, akış şeması ise Şekil 3.4.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Cam elyafı üretimi (Özdemir ve ark., 2006)



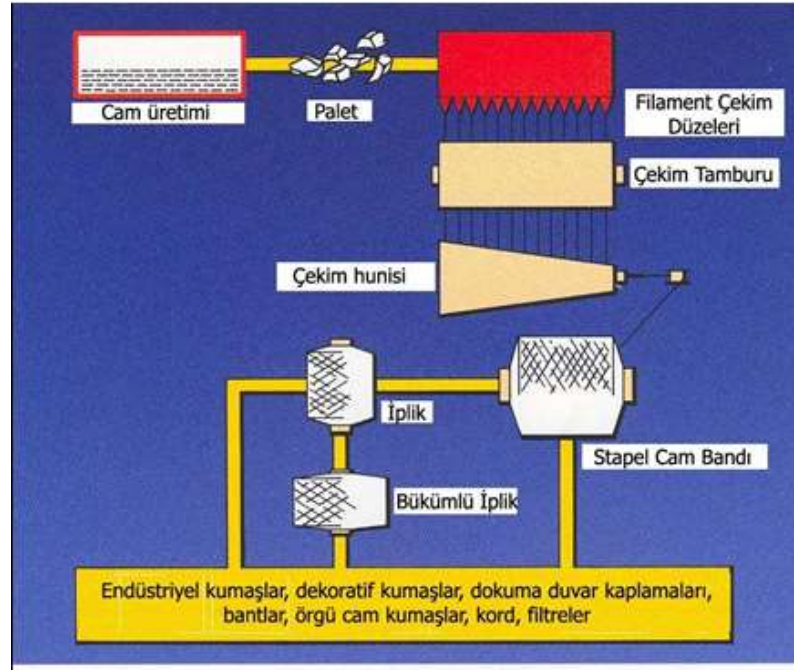
Şekil 3.4. Cam fiberin üretim aşamalarının akış şeması (Özdemir ve ark., 2006)

Üretimde ilk durumda her iki cam lifi türü için neredeyse aynı işlemler uygulanır iken ikinci kısımda farklı işlem adımları yer almaktadır. İlk adımda yeteri kadar ve belirli oranda kum, kireç taşı, soda ve boraks bir eritme kabında eritilerek yabancı maddelerden arındırılmış cam meydana gelmektedir. Saflaştırılan bu cam 15 mm çapında ve yaklaşık 10 gr ağırlığında bilye haline getirilmekte ya da cam çubuk haline sokularak soğumaya tabi tutulmaktadır. İkinci aşamada ise cam bilye veya

çubuklardan lif çekimi yapılmaktadır. Lif çekimi üç tanesi önemli olmak üzere farklı şekillerde yapılabilmektedir. En fazla uygulanan lif çekimi metodunda yabancı madde arındırılmış ancak çubuk veya bilye haline getirilmemiş eriyikten direkt lif yapılırken aynı zamanda cam bilyeler kullanılarak elektrikle ısıtılan eritme ortamında ortalama 1300°C’de lif çekimi olmaktadır.

Cam çubuklar, sabit bir hızla gaz veya elektrikle ısıtılan bölgeye geldiklerinde yumuşayarak, lif çekilebilecek hale gelmekte ve çubuktan lif çekim yöntemi ortaya çıkmaktadır. Lif çekim tamburuna sarılan liflerin uzunlukları tamburun dönme hızı değiştirilerek ayarlanmaktadır.

Eritme kabından gelen eriyik, kabın alt kısmındaki deliklerden tel halinde akarken, üzerine yüksek basınçlı su buharı ya da gaz jeti üflemesi ile karşımıza çıkan yöntem çubuktan lif çekim metodudur. Buhar ya da gazın ani ve çabucak çarpma etkisi ile cam teller bölünerek kısa boylu stapel elyaf haline getirilmektedir. Akabinde bunlar bir tambur aracılığıyla toplanıp kaba band durumuna getirilerek istenilen kalınlıkta ve biçimde iplik durumuna getirilmiş olmaktadır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Lif çekimi ile filament iplik oluşumu (Özdemir ve Mecit, 2006)

3.1.1. Cam fiberin kullanım alanları

Lif çeşidi olan camın uzama kabiliyeti ve sürtünme dayanımı yüksek olmamasına karşın ısı ve elektrik için izolasyon maddesi olarak plastik ürünlerde ilave ürün olarak kullanılır. Ayrıca cam lifleri diğer tekstil lifleri ile karıştırılarak kullanılabilirler. Isıya olan direnci ile röntgen ve radyasyon izolasyonu ile ışıklardan korunmada, yangınlara karşı tente, masa örtüsü, miğfer elbise, perde vb. gibi koruyucu malzemeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Ufak bir ateş ile tutuşmadığı bilinmektedir. Petrol gemilerinde, tankerlerde ve yangın izolasyon ürünlerinde kullanılmaktadır. Filtrasyonda, kimyasal madde borularının geçirimsizliğinde, çeşitli kazanların ve kabloların kaplamasında, yer altı izolasyonunda, toz ve duman filtrelerinde bina unsurlarının kaplamasında, ambalaj kâğıtlarında, otomotiv sektöründe, kayak, tank ve uçakların parçalarında, roket ile uzay sanayisine kadar çok sayıda sektörde cam liflerinin kullanılması önem arz etmektedir. Covid-19 pandemisi nedeniyle cerrahi maskelerin önem kazandığı güncel durumda paralel ya da ıslak serilen metodlar ile cerrahi maskelerde cam fiberin kullanıldığı bilinmektedir. Tüm bu sektörlerde yer almasının cam fiberin gelecekte vazgeçilen ürünlerden olmayacağını ve avantajları ile çoğu sektöre de giriş yapacağını gösterdiğini söylemek yanlış olmayacaktır.

3.2. Cam Fiberlerin Betonda ve Zemin İyileştirme Kullanıldığı Çalışmalar

Alkali dirençli cam lifi takviyeli betonlarda kullanan Maraşlı (2019), olgunluk indisi yöntemi ile eğilme ve basınç dayanımının tahmin modelini olgunlaştırmak maksadıyla katkısız, %1, %2 ve %3 oranlarında cam lif takviyeli betonlar hazırlanmıştır. Deneye hazır hale getirilen basınç ve eğilme dayanımı örnekleri içerisine yerleştirilen sıcaklık sensörleri ile 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 5, 7, 14, 28 ve 56. günlerde sıcaklık ölçümleri ile olgunluk indisi değerleri bulunmuştur. Çalışmada, %2 oranında cam fiberin ilave katıldığı betonların maksimum basınç dayanımına ulaştığı görülmesine karşın, %3 oranında cam fiberi ilaveli betonların basınç dayanımında düşmeler tespit edilmiştir. Eğilme dayanımı değerlerinde (MOR) maksimum eğilme dayanımının cam fiberin %3 oranında eklendiği karışımlarda elde edildiği, eğilme dayanımının 28 günlük fiberli betonda katkısız olana göre %55 oranında arttığı, betonların yaşı ilerledikçe eğilme

dayanımı değerlerinde de artışı %169 olduğu tespit edilmiş ve bağlantılar türetilmiştir.

Ayraçma ve Teymür (2014), çalışmalarında ince kuma cam fiber ilavesiyle dayanım sonuçlarındaki değişimleri incelemilerdir. Kuru kuma ağırlıkça %0,25 ve %0,50 oranında 20 mm uzunluğunda cam fiberler ilave edilerek %20, %40 ve %60 rölaf sıklıkta numuneler hazırlanmış ve bunlar üzerinde kesme kutusu deneyi ile sabit seviyeli geçirimsizlik deneyleri uygulanmıştır. Araştırma sonucunda %20 ve %40 sıklıktaki numunelerde içsel sürtünme açısının yükselmesi ile kayma direncinin arttığı bulunmuştur. Fiber oranının artmasıyla mukavemet artarken yeni akım yollarının meydana gelmesi sebebiyle geçirimsizliğin de arttığı belirtilmiştir. Fiberin %0,5 oranında kullanıldığı %40 sıklıktaki örneklerde numunenin kayma direncinde %20 civarında artış meydana geldiği görülmüştür. Gevşek sıklıkta hazırlanmış kumlara fiber katılmasıyla deformasyon eğrilerinin sıkı zemin şekil değiştirme eğrilerine çok benzer hale geldiği görülmüştür. Sıkı zemine kıyasla gevşek zemin numunelerinde fiberin etkisinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde kullanılan materyallerin özellikleri, malzemelerin karıştırılarak numune hazırlanması ve dikkat edilmesi gereken hususlar irdelenmiştir. Deney metotları ile deney düzeneği anlatılmış, deney düzeneği ile numune hazırlanması şekillerde, deney sonuçları ise tablo ve grafikler ile aktarılmıştır. Kil zemine alkali direnci yüksek cam fiber katkısının etkisi, fiber oranı ve fiber uzunluğuna bağlı olarak incelenmiştir. Bu tez çalışmasında, yüksek plastisiteli kil zemine 10 mm-20 mm-30 mm ve 40 mm uzunluğundaki alkali direnci yüksek cam fiberler %0,25 - %0,5 - %1 - %1,5 ve %2 oranlarında ilave edilerek silindir numuneler hazırlanmıştır. Boy ve çap oranı 2 civarında olacak şekilde hazırlanan silindir numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır.

4.1. Malzemeler

4.1.1. Kil zemin

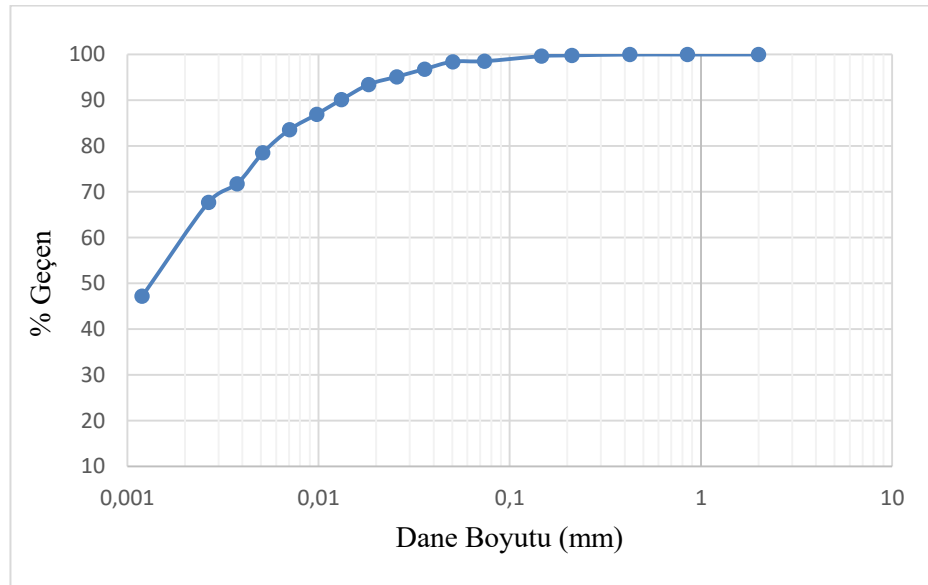
Bu çalışmada kullanılan kil numuneler Sapanca/Sakarya'dan getirilmiştir. Öncelikle deneylerde kullanılacak miktarda kil laboratuvarında yabancı maddelerinden ayrılmak üzere 4 no'lu elekten elenmiştir (Şekil 4.1.) Bu çalışmada kullanılan kil zeminin fiziksel özellikleri Tablo 4.1.'de, dane dağılım eğrisi Şekil 4.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Kil zemin ve 4 nolu elekten elenmiş numuneler

Tablo 4.1. Kil zeminin indeks özellikleri

Kil Zemin			
Özellik	Değer	Birim	
No 200	99,98	%	
Likit limit (LL)	72	%	
Plastik limit (PL)	30,49	%	
Plastisite indisi (PI)	41,51	%	
Maksimum kuru birim hacim ağırlık ($\gamma_{k,maks}$)	14,8	kN/m ³	
Optimum su muhtevası (w_{opt})	25	%	
Özgül ağırlık (Gs)	2,65	-	
USCS ve TS sınıflamasına göre (CH)			



Şekil 4.2. CH zeminin dane dağılım eğrisi

4.1.2. Alkali dirençli cam fiberler

Kullanılan yüksek alkali dirençli cam fiber Fibrobeton Yapı Elemanları San. ve İnş. A.Ş. (Türkiye) tarafından sağlanmıştır. Alkali direnci yüksek tür olan cam fiberin özellikleri Tablo 4.2.'de ve cam fiber örnekleri Şekil 4.3.'te sunulmaktadır. Uzunluğu 42 mm olan cam fiber maket bıçağı yardımı ile 10 mm-20 mm-30 mm ve 40 mm uzunluklarında olacak şekilde kesilmiştir.

Tablo 4.2. Alkali direnci yüksek cam fiberin fiziksel ve kimyasal özellikleri

AR Cam Fiber Özellikleri		
Fiziksel Özellikler	Görünüm	Beyaz cam lifi, katı
	Koku	Kokusuz
	Erime noktası	(Yumuşama noktası) 820 °C
	Sudaki çözünürlük	Çözünmez
	Spesifik yoğunluk	2.8 kg/lt
	Stabilite	Normal koşullarda kararlı
	Tex sayısı	2543
	Nem içeriği	%0,04
	Gerilme direnci	0,494 N/tex (min. 0.245)
	Kızdırma kaybı	%1.22
ZrO ₂ oranı	%17.2	
Kimyasal Özellikleri	Bileşen	Miktarı (%)
	SiO ₂	54-65
	ZrO ₂	16-2
	RO(MgO+CaO)	0-10
	MgO	-
	CaO	-
	TiO ₂	1-7
	Al ₂ O ₃	0-2
	R ₂ O(LiO+Na ₂ O+K ₂ O)	10-30
	Li ₂ O	-
	Na ₂ O	-
	K ₂ O	-



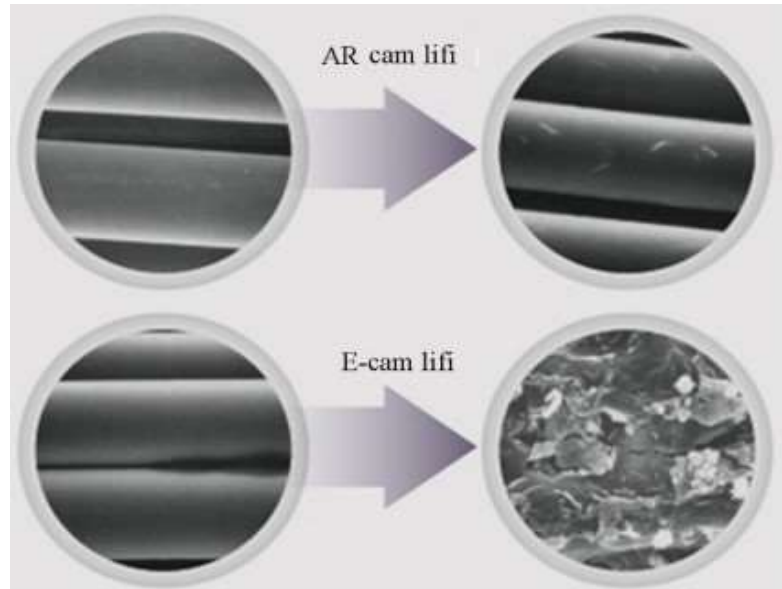
Şekil 4.3. Alkali direnci yüksek cam fiberin farklı boy ve farklı oranlarda görünümü

Alkali direnci yüksek cam fiberin betonda kullanılması (Şekil 4.4.) akabinde yaşlanma testi sonucunda E tipi cam lifine kıyasla yaşlanma durumu irdelendiğinde betonda çok

olumlu sonuç olduğu verdiği Şekil 4.5.'te görülmektedir. Yapısında yüksek zirkonyum mevcuttur.

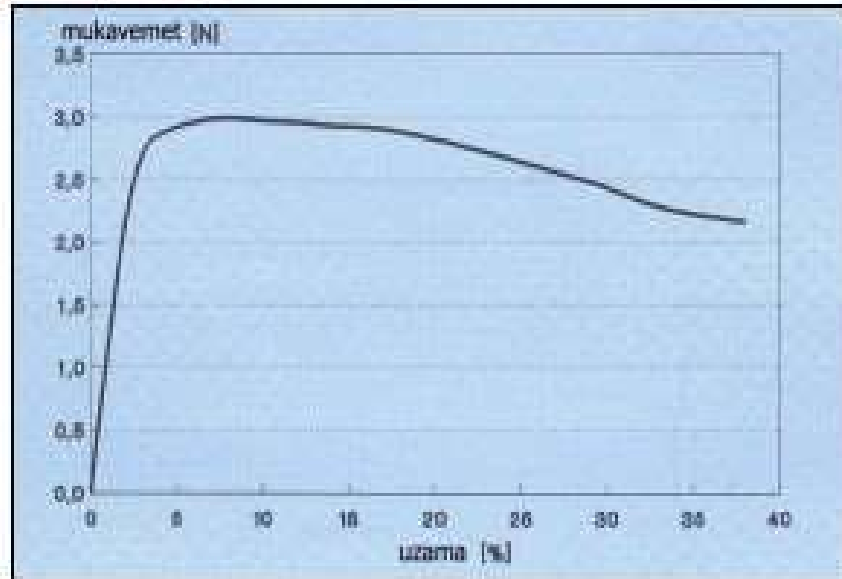


Şekil 4.4. Alkali direnci yüksek cam fiberin beton içinde lif dağılımı (Maraşlı, 2009)



Şekil 4.5. Cam fiberlerin yaşlanma testi sonrasında durumu (Maraşlı, 2009)

Şekil 4.6.'da görüldüğü üzere cam fiberlerin yüklenmesi sırasında liflerdeki uzama %5'e gelmeden pik mukavemetlere varıldığı gözlemlenmiştir. Uzama oranı arttıkça az miktarda dayanım düşüşü ile birlikte sünek yapıda davranış gözlemlendiği söylenebilir.



Şekil 4.6. Cam liflerin kopma uzamasına karşılık gelen mukavemeti (Maraşlı, 2009)

4.1.3. Laboratuvar çalışmasının amacı ve muhtevası

Bu tezde yürütülen deneysel çalışmanın amacı; yüksek alkali dirençli cam fiberin ilavesi ile kil zeminin drenajsız kayma direncindeki değişimin incelenmesidir. Cam fiberler, beton içerisinde güçlendirme amacıyla kullanılmakta, ancak alkali özelliğe betonun ilk üretilen tip olan A ve E tipi cam fiberleri zamanla alkaliteden dolayı çözdüğü ve uzun vadede dayanımın düştüğü bilinmektedir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak adına alkali dirençli cam fiberler üretilmiştir. Daha sonraları cam fiberler zemin stabilizasyonunda kullanılsa da alkali dayanımı güçlendirilmiş fiberin geoteknikte zemin iyileştirmesi alanında kullanımına yönelik çalışmaların sayısının yeterli düzeyde olmadığı yapılan literatür çalışmasıyla ortaya konmuştur.

Deneysel çalışmada Sapanca'dan getirilen zeminin öncelikle indeks özelliklerini belirlemek için TS 1900-1 uyarınca elek analizi ve kıvam limitleri (likit limit, plastik limit) deneyleri yapılmıştır. Daha sonra çoğunluğu ince olan zeminin kil yüzdesinin belirlenmesi için hidrometre analizi gerçekleştirilmiştir. Zeminin özgül ağırlığının belirlenmesi amacıyla piknometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Zemini sınıflandırdıktan sonra mekanik özelliklerini belirlemeden önce doğal zemin üzerinde kompaksiyon deneyleri yapılarak optimum su muhtevasına karşın maksimum kuru birim hacim ağırlıklar bulunmuştur.

Deneylere başlamadan önce bitki kökü gibi yabancı maddelerden arındırılmak üzere elenen zeminler Tablo 4.3.'te gösterildiği oranlarda ayrılarak üzerine kuru halde alkali dirençli cam fiber eklenmiştir. Kuru karışıma optimum su muhtevası olarak hesaplanan %25 içeriğinde su eklenerek karıştırılan numuneler homojen dağılım sağlamak ve nemin kaybolmaması için naylon poşete sarılarak buzdolabında 1 gün kürede bekletilmiştir. Akabinde boyu çapının 2 katı civarında olan numuneler elde etmek üzere karışımlar silindir tüpe yerleştirilerek Proktor enerjisinin iki katı enerjiye karşılık gelen iki taraftan altışar olmak üzere toplam on iki vuruşla sıkıştırma tamamlanmıştır. Kalıptan özenle çıkarılan zeminler serbest basınç cihazına yerleştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir.

Tüm çalışmada 10 mm, 20 mm, 30 mm ve 40 mm boylarındaki fiberler %0,25, %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranlarında kil zemine eklenerek numuneler hazırlanmıştır. Her bir deney grubunda güvenilirliği artırmak ve sapmayı azaltmak maksadıyla 10'ar adet numune üzerinde serbest basma deneyleri yapılmıştır.

İki farklı boyda olan sıkıştırma kalıplarının birisi 35 mm, diğeri 50 mm çapa sahiptir. 35 mm çaplı tüpte 10 mm, 20 mm ve 30 mm boylu olan cam fiberler, 50 mm çaplı tüpte tüm uzunluktaki fiberlerle hazırlanan karışımlar deneye tabi tutulmuştur. Tez çalışması kapsamında toplam 370 adet serbest basınç deneyi yapılmıştır. Deneylerin 10 tanesi 35 mm'lik doğal kil üzerinde, 10 tanesi 50 mm'lik doğal kil üzerinde, 150 tanesi 35 mm'lik alkali dirençli cam fiber katkılı kil üzerinde ve 200 tanesi 50 mm'lik alkali dirençli cam fiber katkılı kil üzerinde uygulanmıştır.

Tablo 4.3. Numunelerdeki kil ve fiber ağırlığı, fiber boy ve oranları

Karışım No	Numune Tanımı	Numune Çapı (mm)	Kil Ağırlığı (gr)	Fiber Ağırlığı (gr)	Fiber Uzunluğu (mm)	Fiber Oranı (%)
1	Doğal zemin (kil)	35	100	0	0	0
2	%0,25 AR Fiber katkılı kil	35	100	0,25	10	0,25
3	%0,5 AR Fiber katkılı kil	35	100	0,5	10	0,5
4	%1 AR Fiber katkılı kil	35	100	1	10	1
5	%1,5 AR Fiber katkılı kil	35	100	1,5	10	1,5
6	%2 AR Fiber katkılı kil	35	100	2	10	2
7	%0,25 AR Fiber katkılı kil	35	100	0,25	20	0,25
8	%0,5 AR Fiber katkılı kil	35	100	0,5	20	0,5
9	%1 AR Fiber katkılı kil	35	100	1	20	1
10	%1,5 AR Fiber katkılı kil	35	100	1,5	20	1,5
11	%2 AR Fiber katkılı kil	35	100	2	20	2
12	%0,25 AR Fiber katkılı kil	35	100	0,25	30	0,25
13	%0,5 AR Fiber katkılı kil	35	100	0,5	30	0,5
14	%1 AR Fiber katkılı kil	35	100	1	30	1
15	%1,5 AR Fiber katkılı kil	35	100	1,5	30	1,5
16	%2 AR Fiber katkılı kil	35	100	2	30	2
17	Doğal zemin (kil)	50	300	0	0	0
18	%0,25 AR fiber katkılı kil	50	300	0,75	10	0,25
19	%0,5 AR Fiber katkılı kil	50	300	1,5	10	0,5
20	%1 AR Fiber katkılı kil	50	300	3	10	1
21	%1,5 AR Fiber katkılı kil	50	300	4,5	10	1,5
22	%2 AR Fiber katkılı kil	50	300	6	10	2
23	%0,25 AR Fiber katkılı kil	50	300	0,75	20	0,25
24	%0,5 AR Fiber katkılı kil	50	300	1,5	20	0,5
25	%1 AR Fiber katkılı kil	50	300	3	20	1
26	%1,5 AR Fiber katkılı kil	50	300	4,5	20	1,5
27	%2 AR Fiber katkılı kil	50	300	6	20	2
28	%0,25 AR Fiber katkılı kil	50	300	0,75	30	0,25
29	%0,5 AR Fiber katkılı kil	50	300	1,5	30	0,5
30	%1 AR Fiber katkılı kil	50	300	3	30	1
31	%1,5 AR Fiber katkılı kil	50	300	4,5	30	1,5
32	%2 AR Fiber katkılı kil	50	300	6	30	2
33	%0,25 AR fiber katkılı kil	50	300	0,75	40	0,25
34	%0,5 AR Fiber katkılı kil	50	300	1,5	40	0,5
35	%1 AR Fiber katkılı kil	50	300	3	40	1
36	%1,5 AR Fiber katkılı kil	50	300	4,5	40	1,5
37	%2 AR Fiber katkılı kil	50	300	6	40	2

4.1.4. Kıvam limitlerinin belirlenmesi

4.1.4.1. Likit limit (casagrande ve koni penetrasyon yöntemleri)

Likit limit, TS 1900-1/2006'da zeminin plastik durumdan sıvı hale geçtiği andaki su muhtevası olarak tanımlanmıştır. Numunenin No. 40 elek altına geçen kısmı üzerinde yapılan likit limit deneyinde başlangıç su muhtevası likit limit değerinin altında olmakta, daha sonra su muhtevası arttırılarak en az 4 deney yapılmaktadır (Şekil 4.7.). Bu çalışmada zeminin likit limit değerinin ölçümü için hem Casagrande yöntemi, hem de düşen koni penetrasyon yöntemi kullanılmıştır. Casagrande yönteminde yaklaşık 200 gr zemin numunesi damıtılmış su ile yoğrulmakta, ardından homojen dağılımın sağlanması amacıyla desikatörde bekletilmektedir. Desikatörden çıkarılan numune deney öncesinde yine yoğrulmaktadır. Ardından bir miktar numune alınarak Casagrande kabının içine yaklaşık 1 cm kalınlığında yerleştirilerek yüzeyi bir spatula yardımıyla düzeltilmektedir. Sonra oluk bıçağıyla kabın ortasından iki yarım daire görünümü olacak şekilde yukarıdan aşağıya doğru tabanı 2 mm olan bir yarık açılmakta, ardından cihaz kolu 2 tur/sn hızla 1 cm yukarıdan düşürülmektedir. Açılan yarığın 13 mm civarında bir uzunluk ile kapandığı anda deney sonlandırılmaktadır. Bu deney dört farklı su muhtevası için tekrarlanmıştır. Deney sonlarında kapanan kısımdan bir miktar numune alınarak etüvde kurutulmuş ve kuru ağırlıkları bulunarak su muhtevası hesaplanmıştır. Düşey eksen su muhtevası, yatay eksen darbe sayısı olmak üzere 25 vuruşa karşılık gelen su muhtevası değeri likit limit değeri olarak bulunmaktadır.

Düşen koni penetrasyon yöntemi; koni şekilli bir metalin kendi ağırlığı altında damıtılmış su ile yoğrularak homojen bir şekilde hazırlanan zemin numunesine düşürülerek batırılması esasına dayanmaktadır. Deney numunesi homojen bir şekilde yoğrularak deney kabına konulur ve üzeri spatula yardımıyla düzeltilmekte, ardından koni düşürülerek 5 sn süreyle zemine batırılmakta ve batma miktarı ölçülmektedir. Aynı zemin numunesi için bu işlem üç kez tekrarlanmakta, deney sonunda numune üzerinde üçgen şekli olacak şekilde üç adet nokta bulunmaktadır.

Batma miktarı ortalama değer olarak dikkate alınır. Deney sonunda bir miktar numune alınarak etüve konulmakta ve su muhtevası değeri hesaplanmaktadır. Bu işlem artan su muhtevaları için üç kez tekrarlanmakta ve 20 mm batmaya karşılık gelen su muhtevası değeri likit limit olarak alınmaktadır (şekil 4.8.). şekil 4.9.'da Casagrande deneyinin sonuçları, şekil 4.10.'da ise düşen koni deneyinin sonuçları grafik olarak gösterilmektedir. Su muhtevası değeri Denklem 4.1 yardımıyla hesaplanır.

$$\%w = \frac{M_w}{M_s} * 100 \quad (4.1)$$

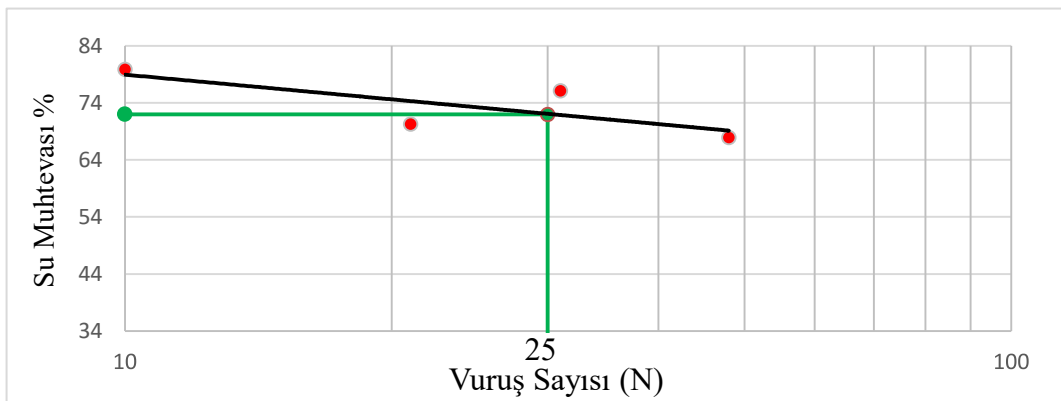
Burada M_w suyun kütlesini, M_s dane kütlesini belirtmektedir.



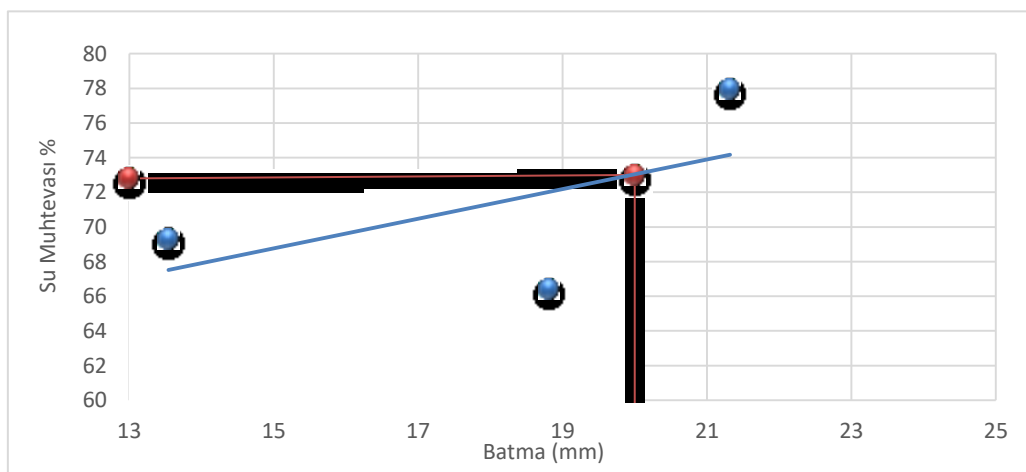
şekil 4.7. Casagrande yöntemi ile likit limit deneylerinin yapılışı



Şekil 4.8. Koni penetrasyon yöntemi ile likit limit deneylerinin yapılışı



Şekil 4.9. Casagrande likit limit deneyi sonuçları



Şekil 4.10. Koni penetrasyon likit limit deneyi sonuçları

4.1.4.2. Plastik limit

Plastik limit, TS1900-1 (2006)'da zeminin şekil verilebildiği plastik kıvamdan yarı katı hale geçtiği durumdaki su muhtevası olarak tarif edilmektedir. Numune öncelikle 40 nolu elekten elenmekte ve alta geçen malzeme damıtık su ile homojen hale gelene kadar karıştırılıp cam plaka üzerine serilmektedir.

Daha sonra küre haline getirilen numune parçaları el ayası ile üzerine serildiği buzlu cam arasında yuvarlanmaktadır. Numune 3 mm kalınlığına geldiğinde çubukta çatlama oluşuyorsa kıvamın plastik limit kıvamına geldiği düşüncesiyle deney sonlandırılmaktadır. Bu işlem en az iki kere yapılmaktadır. Su muhtevasının ölçülmesi amacıyla çatlakan çubukların yaş hali ve etüvde kurutulmuş halleri tartılmaktadır. Bulunan su muhtevalarının ortalaması plastik limit olarak alınmaktadır.

Casagrande ve koni penetrasyon deneyleri için ayrılan 200 gr zemin numunesi içerisinde 30 gr alınarak plastik limit deneyine başlanmıştır. Likit limit deneyleri için hazırlanan numune plastik kıvamdan daha fazla su içerdiğinden buzlu cam üzerine ince bir tabaka halinde serilerek açık havada fazla suyunu kaybetmesi sağlanmış, akabinde numune iki parçaya ayrılarak sırayla buzlu cam üzerinde yuvarlatılmıştır. İnce kalem formu kazanan zeminler çapı 3 mm'ye ulaştığında çatlaklar ve 10 cm'yi geçmeyen kopmalar meydana gelmiştir. Çatlak ve kopmaların olduğu bu zeminlerden 6 gr'dan az olmayacak şekilde yaş numune kap ağırlığı ile beraber dikkate alınarak tartılmış ve 105 °C'de etüvde kurutulmuştur. Sonrasında su muhtevası tayin edilmiştir. Şekil 4.11.'de plastik limit deneyinin yapılışı gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Plastik limit deneylerinin yapılışı

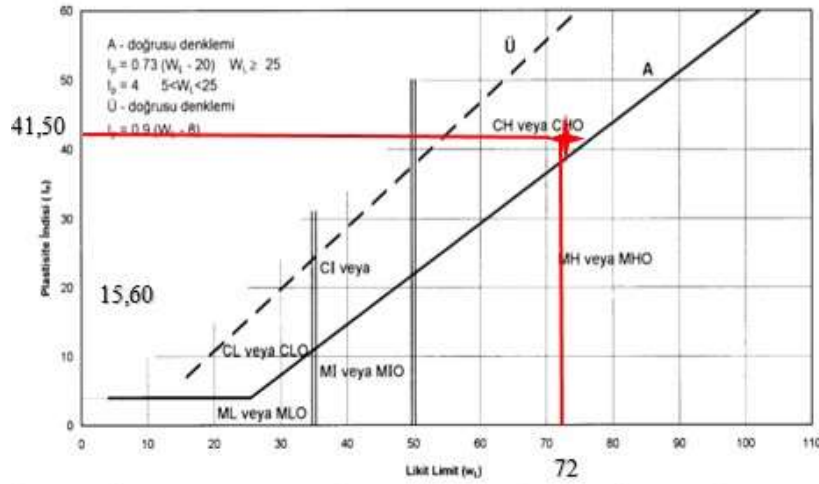
4.1.4.3. Plastisite indisi

Plastik durum kırılma ve parçalanma olmadan zemine istenilen formun verileceği kıvam olarak tanımlanmıştır. PI (Plastisite İndisi) TS 1900-1/2006'da zeminin bu formda davranış gösterdiği aralığı ifade eder ve bu fark likit limitten plastik limitin çıkarılması olarak tarif edilmiştir. Plastisite indisi Denklem 4.2 kullanılarak hesaplanır.

$$PI = LL - PL \quad (4.2)$$

Burada LL likit limiti, PL plastik limiti ifade etmektedir.

İnce daneli zeminleri sınıflandırmak için TS1500 veya USCS sınıflandırma sistemi temel alındığında yatayda likit limitin, düşeyde plastisite indisinin yer aldığı plastisite kartı kullanılmaktadır. Bulunan likit limitle plastisite indisi değerlerinin kesiştiği noktanın bulunduğu bölge zeminin sınıfını verir. Deneylede kullanılan kil numunesi yüksek plastisiteli kil (CH) olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 4.12.'de kilin TS1500/2000'e göre plastisite kartındaki yeri gösterilmektedir.



Şekil 4.12. Plastisite kartı (TS 1500/2000)

Kil zemin üzerinde yapılan sınıflama deneyleri sonuçlarının tümü Tablo 4.1.'de özetlenmiştir.

4.1.5. Kompaksiyon deneyi ve hesaplamaları

Zeminin geçirimliliğini azaltmak ve taşıma gücünü artırmak amacıyla tabakalar halinde serilerek sabit ve dinamik sıkıştırma araçları vasıtası ile dane hacmi ve su hacmi sabitken hava hacminin azaltılmasını sağlayan olaya kompaksiyon denir. Laboratuvarında yürütülen standart kompaksiyon deneyinde 2,5 kg'lık tokmak 30,5 cm yükseklikten bırakılarak 3 tabaka halinde zeminin sıkılaştırması sağlanır. Deney sırasında, %20 ve daha az malzeme 4,75 mm elek üzerinde kaldığından 4 numaralı elekten geçen malzemeden 5 adet 2000 gr alınarak 5 farklı su muhtevasında homojen bir şekilde karıştırılmış ve su muhtevasının eşit dağılması amacıyla 24 saat hava geçirmez poşetler ile sarılarak buzdolabında bekletilmiştir. Numuneler 3 tabaka halinde 25 vuruşla kompaksiyon kalıbında sıkıştırılmıştır. Proktor ağırlığı ile kalıbın dört kenarına karşılıklı düşüşler uygulanmış, sonrasında kalıbın her tarafına saat yönünde veya tersi yönde dönüşlerle vuruşlar yapılmıştır. Deneyde son 1/3'lük kısımda yaka takılarak sıkıştırma işlemi yapılmış ve yakanın çıkartılması ile yüzey düzlenmiştir. Kompaksiyon işleminin tamamlanması sonrası kalıp ve alınan temsili yaş numune birlikte tartılarak su içeriğinin bulunması amacıyla 105 °C'de 24 saat (değişmez ağırlığa gelinceye dek) etüve atılarak kurutulmuş ve tekrar tartım yapılarak hesaplamalar yapılmıştır. Kompaksiyon sonrasında zeminin yaş birim hacim ağırlığı Denklem 4.3 ile elde edilir.

$$\gamma_n \text{ (kN/m}^3\text{)} = (M_{\text{kalıp+zemin}} - M_{\text{kalıp}}) / V_{\text{kalıp}} \quad (4.3)$$

Zeminin su muhtevası Denklem 4.4 ile % olarak bulunmuştur.

$$w = \frac{M(\text{kap+yaş}) - M(\text{kap+kuru})}{M(\text{kap+kuru}) - M(\text{kap})} \times 100 \quad (4.4)$$

Kilin kuru birim hacim ağırlığı Denklem 4.5 ile bulunmuştur.

$$\gamma_k = \frac{\gamma_d}{1+W} \quad (4.5)$$

Deneyler sonunda doğal zeminin optimum su içeriği %25, maksimum kuru birim hacim ağırlığı 14,80 kN/m³ bulunmuştur.

4.1.6. Serbest basınç deneyi ve hesaplamaları

Serbest basınç deneyi genellikle ince daneli zeminlerde uygulanmakta ve drenajsız kayma direncinin belirlenmesinde yararlanılmaktadır. Düşey yönde eksenel yük uygulayarak yürütülen, deplasman ya da şekil değiştirmenin kuvvetle olan ilişkisini görmeye yönelik olarak yapılan deneydir. Boy/çap oranının 2 civarında olması için 35 mm çap, 70 mm boyda ve 50 mm çap, 100 mm boyda hazırlanan numunelerin boyları kumpasla ölçülmüş ve hassas terazi ile tartılarak serbest basınç cihazına yerleştirilmiştir ve eksenel yük uygulanmıştır. Deney okumalarına şekil değiştirmenin %20 değerine kadar devam edilmiş ve yenilme/akma (kırılma) durumu not alınmış, sonrasında gerilme-deformasyon (σ - ϵ) grafikleri oluşturulmuştur. Numuneye uygulanan gerilme Denklem 4.6'da gösterildiği şekilde eksenel yükün şekil değiştirmeye bağlı olarak değişen numune alanına bölümüyle bulunmaktadır.

$$q_u = P_{mak}/A_f \quad (4.6)$$

Burada P_{mak} ifadesi maksimum uygulanan yükü, A_f ise yenilme anındaki alanı ifade etmektedir.

4.2. Serbest Basınç Deneyi Aşamaları ve Silindir Kalıplarda Karışım Hesaplamaları

Araziden doğal haliyle gelen zemin numunesi öncelikle 4 nolu elekten elenerek içerisinden yabancı maddelerden arındırılmıştır. Çalışmada kullanılacak 10 mm-20 mm-30 mm ve 40 mm boylarında kesilen fiberler onar adet seriler halinde %0,25-%0,5-%1-%1,5 ve %2 oranlarına karşılık gelecek şekilde ayrı ayrı tartılarak

karıştırma işlemine hazır hale getirilmiştir. Kil numune üzerine bu fiberler eklenmiş, daha sonrasında optimum su muhtevasına karşılık gelen su bunlara katılmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Kil numunenin elenmesi ve zemin fiber karışımı

Karıştırılan numuneler silindir kaba yerleştirerek kalıbın iki tarafından Proktor ağırlığı ile sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Sıkıştırılan zeminler örselenme olmadan kalıptan çıkarılmış ve kumpas yardımıyla çap ve boyları ölçülerek not alınmıştır. Numuneler hassas terazide tartılarak serbest

basınç cihazına yerleştirilmiş ve basma deneyine tabi tutulmuştur. Herbir numunenin boyunda gerçekleşen aksenal kısalmaya karşı gelen gerilmelerin okunması sonrasında numuneler etüve atılmıştır. Etüvden 24 saat sonra alınarak kuru ağırlıkları tartılmış ve hesaplamalara geçilmiştir.

Silindirik numunelerde örselenmeyi önlemek amacıyla zemin fiber karışımlarının standart Proktor deneyindeki enerjiye karşılık gelen bir enerji ile doğrudan numune tüpü içerisine sıkıştırılmasına karar verilmiştir. Sıkıştırma işlemi sonunda 35 mm çapında ve 70 mm yüksekliğinde (benzer şekilde 50 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde) silindirik numune elde edilmesini sağlayacak numune hazırlama kalıpları yaptırılmıştır. 35 mm çapında ve 70 mm yüksekliğinde silindirik numune elde etmek için sıkıştırma kalıbında sıkıştırılacak zemin ağırlığı, aşağıdaki hesaplamalar yapılarak bulunmuştur.

Silindirik numunenin hacmi Denklem 4.7 yardımıyla bulunmuştur.

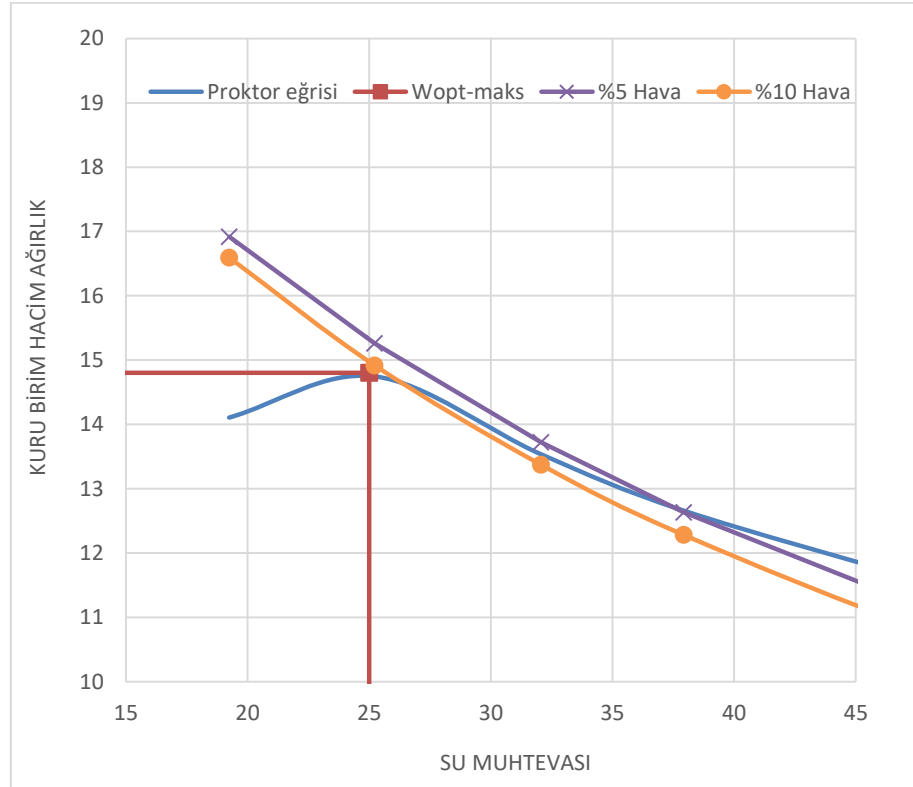
$$V = \pi * (D^2/4) * H \quad (4.7)$$

Prensip olarak, hazırlanan numunelerde çap 35 mm, yükseklik 70 mm'dir. Silindirik numunenin hacmi 67,35 cm³ olarak bulunmuştur.

Silindirik numunenin hedeflenen ağırlığı ise Denklem 4.8 yardımıyla bulunmuştur.

$$M = V * (\gamma_n / 9,81) \quad (4.8)$$

Burada $\gamma_n = 14,80$ kN/m³ alınarak sıkıştırılacak toplam ağırlık 125 gr bulunmuştur. Sonrasında 100 gr kuru kile %25 su muhtevası olması için 25 gr su ilave edilmiştir. Numuneler, sıkıştırma kalıbında standart Proktor enerjisi baz alınarak (iki kat) sabit bir enerji ile sıkıştırılmıştır. 50 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde silindirik numune elde etmek için sıkıştırma kalıbında sıkıştırılacak zemin ağırlığı, benzer hesaplamalar yapılarak bulunmuştur. Buna göre silindirik numunenin hacmi 196,35 cm³, sıkıştırılacak karışım ağırlığı 375 gr bulunmuştur. Zemin karışımından 300 gr alınmış ve buna su katılarak toplamda 375 gr karışım sıkıştırma kalıbında standart Proktor enerjisinin iki katı sabit bir enerji ile sıkıştırılmıştır (Şekil 4.14.).



Şekil 4.14. Kompaksiyon deneyi ve Proktor eğrisi

4.3. Kompaksiyon Kalıbı Enerji Hesaplanmaları

Numuneleri sıkıştırmak için kullanılacak enerji standart Proktor enerjisinin iki katı olarak hesap edilerek uygulanmıştır. Standart Proktor deneyinde 2,495 kg ağırlığındaki tokmak 30,48 cm'den düşürülerek 944 cm³ hacmindeki bir zemini sıkıştırmak için 3 kademede toplam 75 vuruş (3 x 25) yapılarak 592,7 kJ/m³ enerji

uygulanmaktadır. E enerji olmakla birlikte denklemdaki parametrelere bağlıdır.

$$E = \frac{\text{Tokmak ağırlığı} \cdot \text{tabaka adeti} \cdot \text{vuruş sayısı} \cdot \text{düşme yüksekliği}}{\text{Kalıp Hacmi}} \quad (4.9)$$

Özel yapılan sıkıştırma kalıbı daha küçük olduğu için denklemden payda olan hacimden kaynaklı vuruş sayısı yeniden belirlenmiştir. Ayrıca sıkıştırma kalıbına 3 kademe vuruş yapıldığında kademeler arasında derz olduğundan bunu engellemek ve monolitik yapıyı korumak için sıkıştırma işlemi tek kademede yapılmıştır. Numunenin yüksek olması ve proktor tokmağının tek taraftan düşürülmesi neticesinde enerjinin uygulandığı tarafın daha çok sıkışarak diğer tarafın daha az sıkışması sonucu oluşan farklılığı önlemek amacıyla sıkıştırma kalıbının alt ve üst kısımlarına aynı sayıda vuruş yapılarak her iki tarafın da eşit miktarda sıkıştırılması sağlanmıştır.

Çapı 35 mm, yüksekliği 70 mm olan silindirik numune için vuruş sayısı Denklem 4.9'a göre bulunmuştur. Burada standart Proktor enerjisi 592,7 kJ/m³, kalıp hacmi 67,350 cm³, tokmak ağırlığı 2,495 kg, tokmağın düşme yüksekliği 30,48 cm, tabaka sayısı 1 olarak kabul edilmiştir. Denklemden verilenler yerine yazıldığında vuruş sayısı 5,4 bulunmuş, bir üst rakama yuvarlanarak 6 vuruş yapılmıştır. Böylece kalıbın alt tarafına 6 ve üst tarafına 6 olmak üzere toplamda 12 vuruş yapılarak bir numuneye standart Proktor deneyi enerjisinin iki katı civarında enerji uygulanmıştır. Çapı 50 mm, yüksekliği 100 mm olan silindirik numune için vuruş sayısı denklemden yerine yerleştirildiğinde vuruş sayısı benzer şekilde tespit edilmiştir. Burada standart Proktor enerjisi 592,7 kJ/m³, kalıp hacmi 196,35 cm³, tokmak ağırlığı 2,495 kg, tokmağın düşme yüksekliği 30,48 cm tabaka sayısı 1 olarak kabul edilmiştir. Denklemden verilen değerler yerine yazıldığında vuruş sayısı 15,6 bulunmuş, bir üst rakama yuvarlanarak 16 vuruş yapılmıştır. Böylece kalıbın alt tarafına 16 ve üst tarafına 16 olmak üzere toplamda 32 vuruş yapılarak bir numuneye standart Proktor deneyi enerjisinin iki katı civarında enerji uygulanmıştır (Şekil 4.14.).

BÖLÜM 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

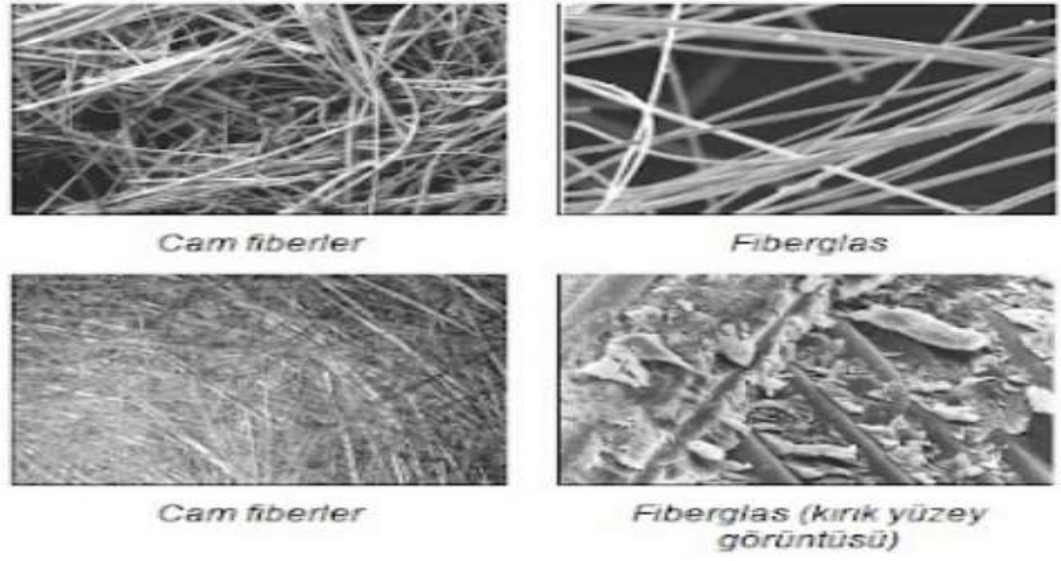
Bu bölümde, kil zemin numunelerinin drenajsız kayma dirençlerine alkali dirençli fiber katkısının iyileştirici etkisi Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizleri ve serbest basma deneyleri sonuçları doğrultusunda incelenmiştir.

5.1. Kilin ve Cam Fiberin Mineral ve Mikro Yapı Özellikleri

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM; Scanning Electron Microscope) ile çalışma yöntemi bir elektron kaynağından salınan elektronların incelenecek malzeme yüzeyi üzerine gönderilip taranarak malzemenin görüntüsünün oluşturulması şeklindedir. Şekil 5.1.'de Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Bölümü Laboratuvarında bulunan SEM görülmektedir. Şekil 5.2.'de cam fibere ait SEM görüntüleri sunulmaktadır (URL-3).



Şekil 5.1. Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Müh. Laboratuvarında bulunan SEM (Küçük, 2021)



Şekil 5.2. Cam Fiber SEM görüntüsü (URL-3)

5.2. UC Deneyinde Makroskopik Davranış

Şekil 5.3.'de bazı numunelere ait deney sonu görüntüleri sunulmaktadır. Şekil 5.4.'de tez çalışması kapsamında yapılan serbest basma deneylerinde kullanılan silindirik numune örneklerinin tamamı sunulmaktadır.



Şekil 5.3. UC Deneyleri sonunda numunelerin görüntüsü



Şekil 5.4. 370 adet silindir numunelerin görünümü

5.3. Serbest Basınç Deneyinde Elde Edilen Sonuçlar

Deneyisel çalışmada 20 adedi doğal kil, 350 adedi alkali dirençli cam fiber katkılı olmak üzere 370 adet silindir numune üzerinde serbest basınç deneyi uygulanmıştır. Numunelerin ortalama fiziksel özellikleri Tablo 5.1.'de özetlenerek gösterilmiştir.

Tüm numunelere bakıldığında her 10 mm, 20 mm, 30 mm ve 40 mm uzunluktaki fiber katkılı numuneler kendi içinde değerlendirildiğinde cam fiber oranının artmasıyla boşluk oranı ve porozitenin arttığı, doğal, kuru ve doygun birim hacim ağırlıkların azaldığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak cam fiberlerin zemine kıyasla daha hafif malzeme olması değerlendirilmiştir. Tablo 5.2.'de her seri için ortalama dayanım ve dayanım artışı sonuçları sunulmaktadır.

35 mm çaplı kil zemine cam fiberin farklı oran ve uzunlukta ilave edilmesiyle drenajsız kayma direncinin yükseldiği kanısı ortaya çıkmaktadır. İlk bakışta fiber oranının %2 olduğu durumlarda daha büyük basınç dayanımlarının elde edildiği görülmektedir. 50 mm çaplı numunelerin kırılma anındaki boy değişim yüzdesi ve serbest basınç dayanımı incelendiğinde de benzer olarak fiber katkı oranlarının tümünde dayanımda yükselme olduğu görülmektedir. En fazla artış genel olarak %1 alkali dirençli cam fiber ilave edilmesi ile gözlemlenmiştir.

Tablo 5.1. Numunelerin ortalama fiziksel özellikleri

	Çap (cm)	Yükseklik (cm)	w (%)	e ₀	n (%)	ρ _n (kN/m ³)	ρ _k (kN/m ³)	ρ _d (kN/m ³)	S _r (%)
Doğal Kil	3,5	7,04	24,71	0,91	47,68	16,96	13,60	18,28	71,93
10 mm %0,25	3,5	6,99	24,31	0,93	48,20	16,74	13,47	18,19	69,26
10 mm %0,5	3,5	6,91	24,23	0,94	48,30	16,70	13,44	18,18	68,84
10 mm %1	3,5	6,99	24,01	0,99	49,71	16,21	13,07	17,95	64,45
10 mm %1,5	3,5	7,03	24,13	1,03	50,76	15,89	12,80	17,78	62,09
10 mm %2	3,5	6,94	24,07	1,08	51,81	15,54	12,53	17,61	59,35
20 mm %0,25	3,5	7,02	24,70	0,95	48,59	16,66	13,36	18,13	69,28
20 mm %0,5	3,5	7,05	24,96	1,02	50,40	16,11	12,90	17,84	65,10
20 mm %1	3,5	7,12	24,79	1,07	51,77	15,65	12,54	17,62	61,24
20 mm %1,5	3,5	7,07	24,42	1,06	51,48	15,69	12,61	17,66	61,04
20 mm %2	3,5	6,99	24,41	1,09	52,03	15,51	12,47	17,57	59,68
30 mm %0,25	3,5	7,18	24,29	1,03	50,67	15,94	12,82	17,79	62,66
30 mm %0,5	3,5	7,20	24,46	1,07	51,78	15,60	12,53	17,61	60,37
30 mm %1	3,5	7,04	24,43	1,07	51,60	15,65	12,58	17,64	60,75
30 mm %1,5	3,5	6,96	24,93	1,09	52,17	15,53	12,43	17,55	60,55
30 mm %2	3,5	7,02	24,94	1,14	53,23	15,19	12,16	17,38	58,11
Doğal Kil	5,0	10,03	24,23	0,95	48,84	16,52	13,30	18,09	67,26
10 mm %0,25	5,0	10,03	25,10	0,98	49,57	16,40	13,11	17,97	67,69
10 mm %0,5	5,0	10,03	25,32	1,00	49,88	16,33	13,03	17,92	67,43
10 mm %1	5,0	10,07	25,47	1,00	50,03	16,30	12,99	17,90	67,42
10 mm %1,5	5,0	10,01	24,91	1,01	50,15	16,19	12,96	17,88	65,60
10 mm %2	5,0	9,99	25,07	1,03	50,69	16,03	12,82	17,79	64,64
20 mm %0,25	5,0	9,98	24,80	0,97	49,26	16,45	13,18	18,02	67,61
20 mm %0,5	5,0	9,98	25,00	0,98	49,59	16,37	13,10	17,97	67,00
20 mm %1	5,0	9,94	25,04	0,99	49,74	16,34	13,07	17,95	67,06
20 mm %1,5	5,0	9,93	25,00	0,99	49,84	16,29	13,04	17,93	66,00
20 mm %2	5,0	9,96	24,85	1,02	50,55	16,05	12,86	17,81	64,45
30 mm %0,25	5,0	9,97	24,84	0,97	49,35	16,44	13,17	18,01	67,57
30 mm %0,5	5,0	9,96	24,97	0,98	49,51	16,40	13,13	17,98	67,49
30 mm %1	5,0	9,95	25,01	0,99	49,84	16,30	13,04	17,93	66,70
30 mm %1,5	5,0	9,99	24,98	1,01	50,20	16,18	12,95	17,87	65,67
30 mm %2	5,0	10,00	24,89	1,03	50,70	16,01	12,82	17,79	64,13
40 mm %0,25	5,0	10,00	25,00	1,00	49,00	16,00	13,00	18,00	67,00
40 mm %0,5	5,0	9,96	24,85	0,98	49,44	16,41	13,14	17,99	67,33
40 mm %1	5,0	9,97	25,00	1,00	49,98	16,25	13,00	17,91	66,30
40 mm %1,5	5,0	9,96	25,27	1,02	50,50	16,12	12,87	17,82	65,63
40 mm %2	5,0	9,94	25,04	1,02	50,45	16,11	12,88	17,83	65,16

Tablo 5.2. Cam fiber katkısı ile ortalama dayanımlar ve artış oranları

Su Muhtevası (%)	Çapı (cm)	Yükseklik Ortalama (cm)	Fiber Boyu (mm)	Fiber Oranı (%)	σ_d max ort (kPa)	Dayanım Artışı (%)
24,71	3,50	7,04	0,00	0,00	27,03	0,00
24,31	3,50	6,99	10,00	0,25	40,10	48,35
24,23	3,50	6,91	10,00	0,50	50,06	85,20
24,01	3,50	6,99	10,00	1,00	43,45	60,75
24,13	3,50	7,03	10,00	1,50	56,07	107,44
24,07	3,50	6,94	10,00	2,00	57,64	113,24
24,70	3,50	7,02	20,00	0,25	21,88	-19,05
24,96	3,50	7,05	20,00	0,50	30,32	12,17
24,79	3,50	7,12	20,00	1,00	22,89	-15,32
24,42	3,50	7,07	20,00	1,50	23,09	-14,58
24,41	3,50	6,99	20,00	2,00	50,39	86,42
24,29	3,50	7,18	30,00	0,25	37,87	40,10
24,46	3,50	7,20	30,00	0,50	46,54	72,18
24,43	3,50	7,04	30,00	1,00	51,22	89,49
24,93	3,50	6,96	30,00	1,50	62,19	130,08
24,94	3,50	7,02	30,00	2,00	63,01	133,11
24,23	5,00	10,03	0,00	0,00	16,88	0,00
24,97	5,00	10,03	10,00	0,25	25,23	49,47
25,32	5,00	10,03	10,00	0,50	36,33	115,23
25,47	5,00	10,07	10,00	1,00	30,64	81,52
24,91	5,00	10,01	10,00	1,50	26,94	59,60
25,07	5,00	9,99	10,00	2,00	25,64	51,90
24,80	5,00	9,98	20,00	0,25	34,46	104,15
24,90	5,00	9,98	20,00	0,50	31,20	84,83
25,04	5,00	9,94	20,00	1,00	51,24	203,55
24,93	5,00	9,93	20,00	1,50	41,28	144,55
24,86	5,00	9,96	20,00	2,00	36,15	114,16
22,64	5,00	9,97	30,00	0,25	31,20	84,83
22,77	5,00	9,96	30,00	0,50	41,30	144,67
25,01	5,00	9,95	30,00	1,00	60,03	255,63
24,98	5,00	9,99	30,00	1,50	51,07	202,55
24,89	5,00	10	30,00	2,00	46,33	174,47
24,94	5,00	10,00	40,00	0,25	43,76	159,24
25,85	5,00	9,96	40,00	0,50	76,29	351,95
25,00	5,00	9,97	40,00	1,00	39,14	131,87
25,27	5,00	9,96	40,00	1,50	26,85	59,06
25,04	5,00	9,94	40,00	2,00	39,88	136,26

35 mm ve 50 mm numunelere tek tek bakıldığında, doğal numunelerde en yüksek dayanım 32,15 kPa iken, fiber katkılı numunelerde en yüksek değer, %0,5 oranında 40 mm fiber katılmış numunede 80,52 kPa olarak bulunmuştur. Buna göre en yüksek artış %0,5 oranında 40 mm fiber katılmış 50 mm çapa, 10,00 cm yüksekliğe sahip silindirik numunede meydana gelmiş olup 35 mm çaplı numunelerde en yüksek artış %2 oranında 30 mm fiber içeren numunede meydana gelmiştir.

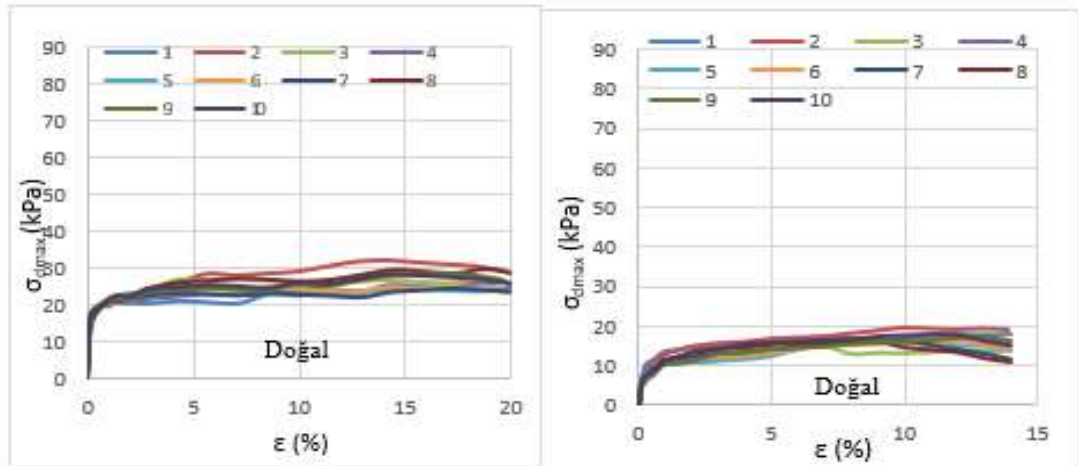
Fiber oranının artmasıyla fiber ve kil arasında zemin ağı oluşmakta ve fiberli zemin dış kuvvetlere karşı monolitik davranarak zeminin davranışını iyileştirmektedir. %0,25 fiber oranı olan numunelerde dayanım artışının diğer oranlarla hazırlanan numunelere kıyasla az olmasının nedeni fiber-zemin kolonunun oluşamaması olarak gösterilebilir.

İlk olarak her seride elde edilen ortalama değerler dikkate alınmıştır. Daha sonra ortalama değerlerin %90'ından daha az ve %110'undan daha fazla olan değerlerin varlığı sorgulanmıştır. Bu aralık dışında değerler olmadığından doğrudan deney sonuçları kullanılmıştır. Tablo 5.2. incelendiğinde cam fiberli örneklerin çoğunda drenajsız kayma direncinin arttığı görülmektedir.

5.3.1. Gerilme ve deplasman ilişkisi

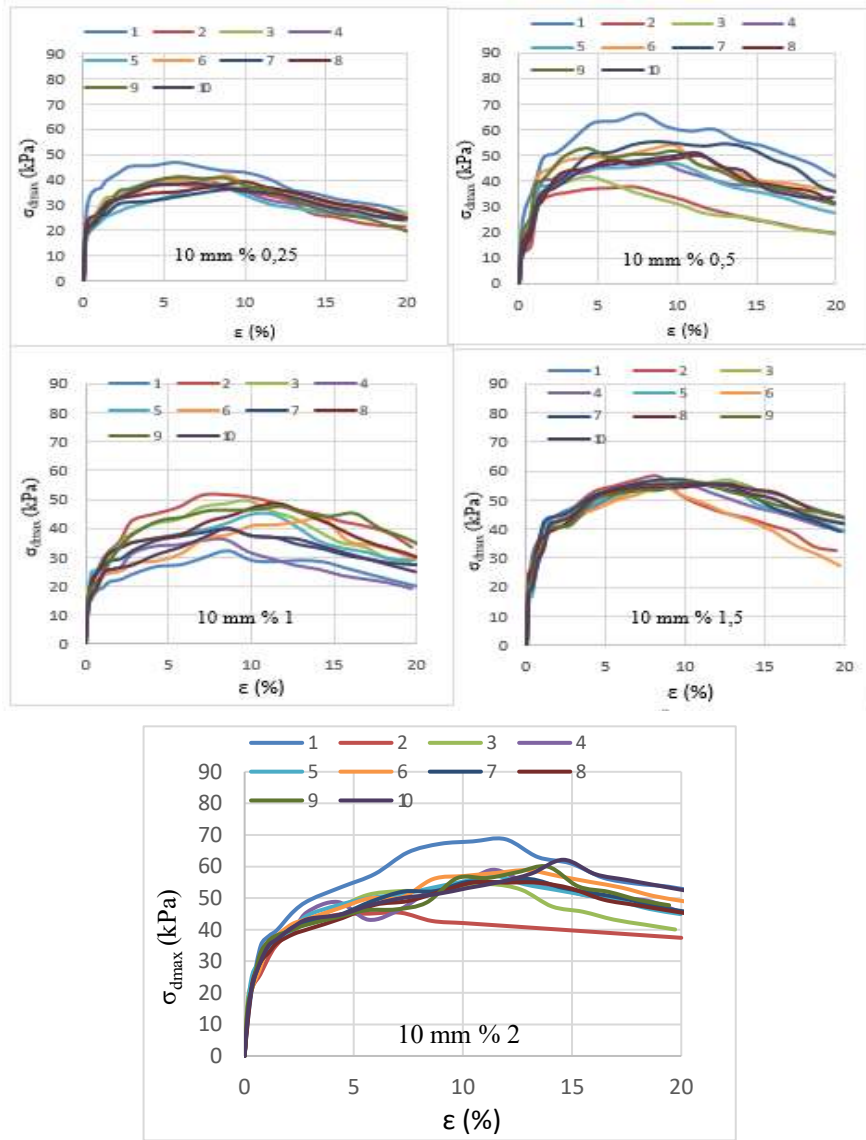
Optimum su muhtevasında hazırlanan 35 mm ve 50 mm çaplı numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.5. ile Şekil 5.12. arasında gösterilmektedir.

Şekil 5.5.'de doğal yüksek plastisiteli kilde yapılan serbest basınç deneyinin sonucu irdelendiğinde %2-3 gibi birim şekil değiştirmede direncin büyük bir kısmının uyandığı ve sonrasında dayanımın artma eğilimi olmadan sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca 35 mm çaplı numunelerde doğal kil dayanımının 50 mm çaplı numuneye kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiş olup bunun nedeni çap ve boy küçüklüğünden dolayı rijit davranış gösterme eğilimi olarak yorumlanabilir.



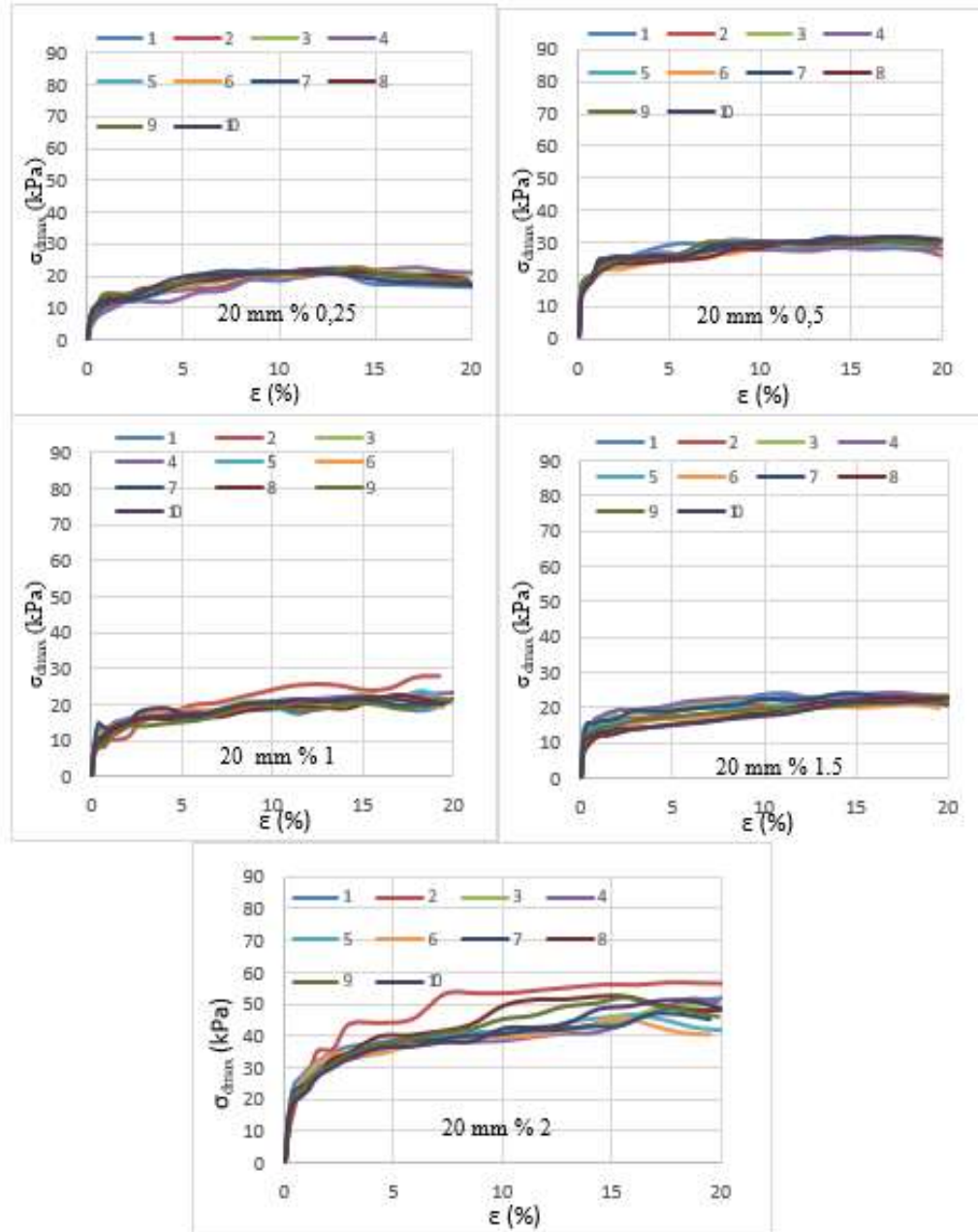
Şekil 5.5. 35 mm (sol) ve 50 mm (sağ) çap doğal zeminin optimum su içeriğinde gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

Şekil 5.6.'da görüldüğü üzere alkali dirençli cam fiberin ilave edilmesi ile beraber tüm numunelerde deney başlar başlamaz %1 deplasman olmadan dayanımının büyük bir kısmının uyandığı izlenmiştir. Ayrıca bu dayanımdan sonra da artış oranlarının yükseldiği görülmüştür. 10 mm fiber katkılı numunelerde ortalama gerilmeler üzerinden en fazla artışın %113,24 ile %2 fiber katkılı karışımda olduğu gözlemlenmiştir. %2 AR cam fiber ilaveli zemin hariç %10-12 bandında, %2 AR cam fiber ilaveli numunelerde ise %15 bandında maksimum dayanıma erişildiği belirlenmiştir. Fiberli zeminlerde doğal kile kıyasla dayanım artışlarının stabil gitmediği ve artış akabinde belli miktar azaldığı tespit edilmiştir.



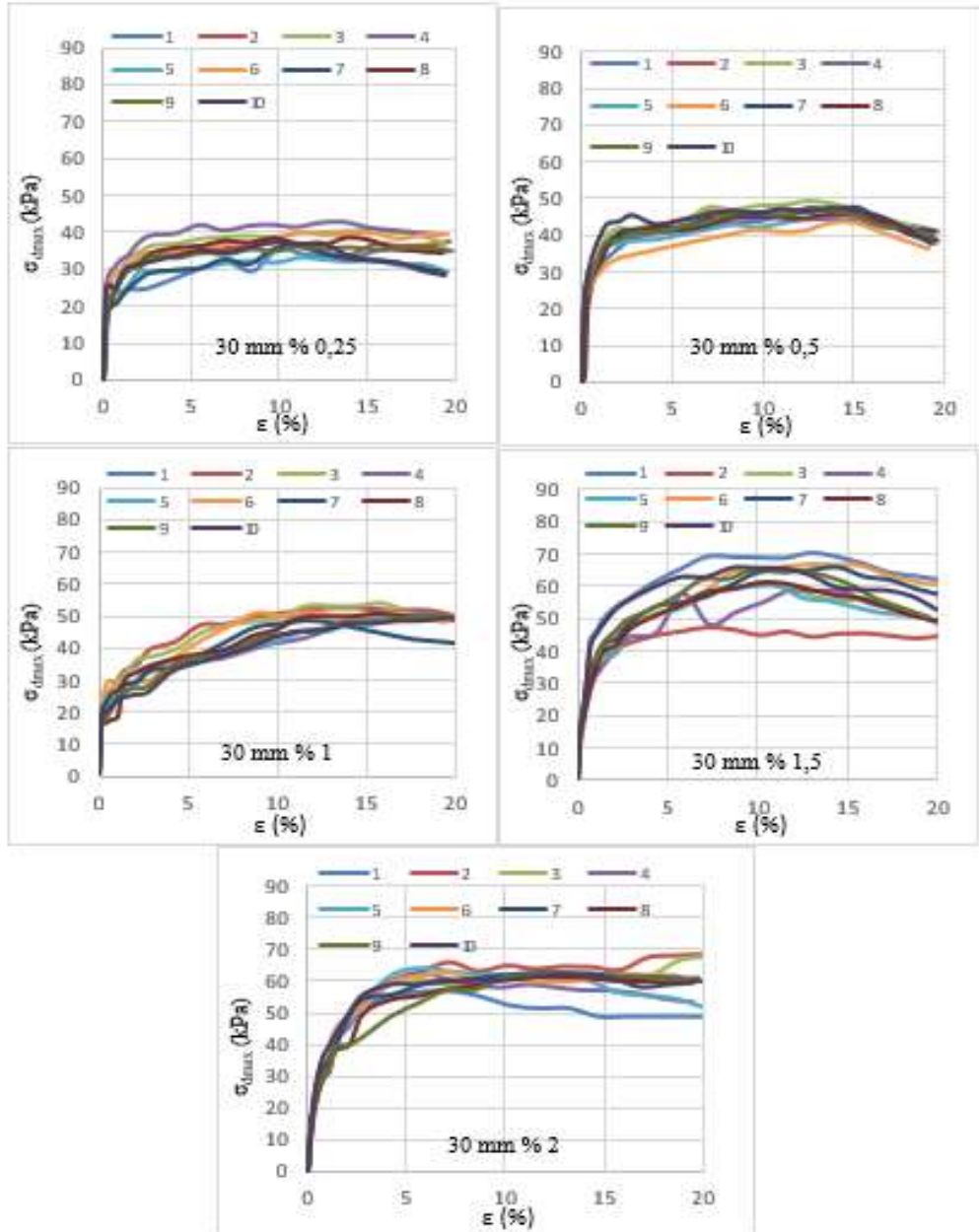
Şekil 5.6. 35 mm çaplı 10 mm fiber katkılı numunelerin σ - ϵ ilişkisi a) %0,25 b) %0,5 c) %1 d) %1,5 e) %2

Şekil 5.7.'de görüldüğü üzere alkali dirençli cam fiberin ilave edilmesi ile 20 mm fiber boyunda zeminlerde dayanım düşüşü gözlemlenmiştir. %2 oranında ilaveli hariç ortalama %9,19 dayanım düşüşü yaşanırken, %2 fiber katkılı zeminde %80 artış yaşanmıştır. Fiber katkılı zeminlerde doğal kile kıyasla dayanıma daha hızlı erişildiği görülmüştür.



Şekil 5.7. 35 mm çaplı 20 mm fiber katkılı numunelerin σ - ϵ ilişkisi a) %0,25 b) %0,5 c) %1 d) %1,5 e) %2

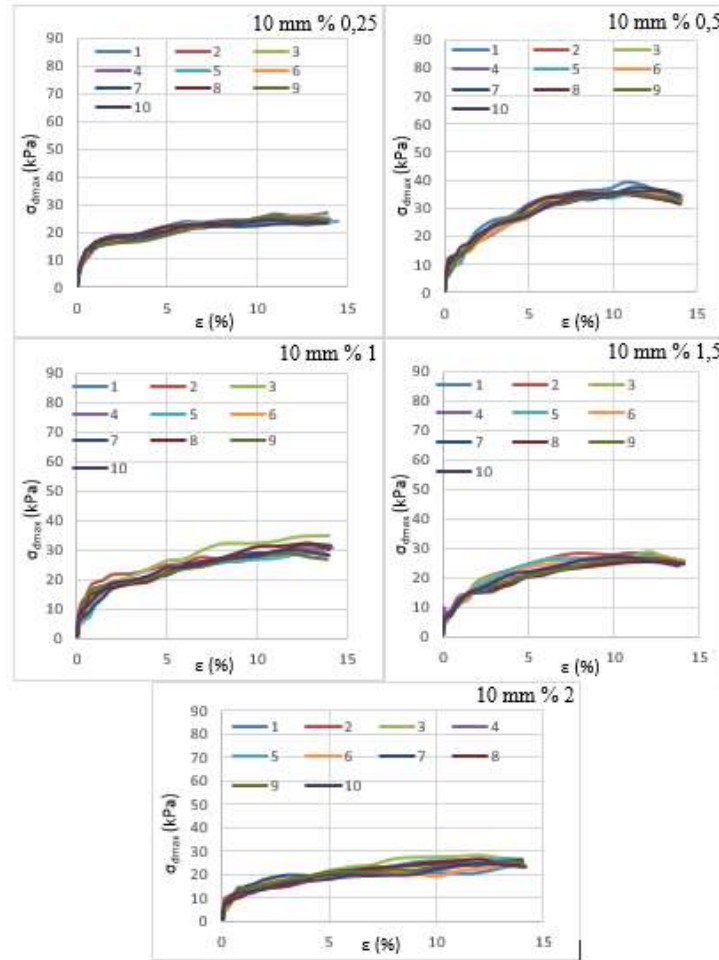
Şekil 5.8.'de görüldüğü üzere alkali dirençli cam fiberin ilave edilmesi ile beraber tüm numunelerde deney başlar başlamaz %1 deplasman olmadan dayanımının çoğunluğunun aniden uyandığı izlenmiştir. Ayrıca bu dayanımdan sonra artış oranları yükselerek 30 mm fiber katkıli numunelerde ortalama gerilmeler üzerinden en fazla artışın %133,11 ile %2 fiber katkıli karışımında olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.8. 35 mm çaplı 30 mm fiber katkıli numunelerin σ - ϵ ilişkisi a) %0,25 b) %0,5 c) %1 d) %1,5 e) %2

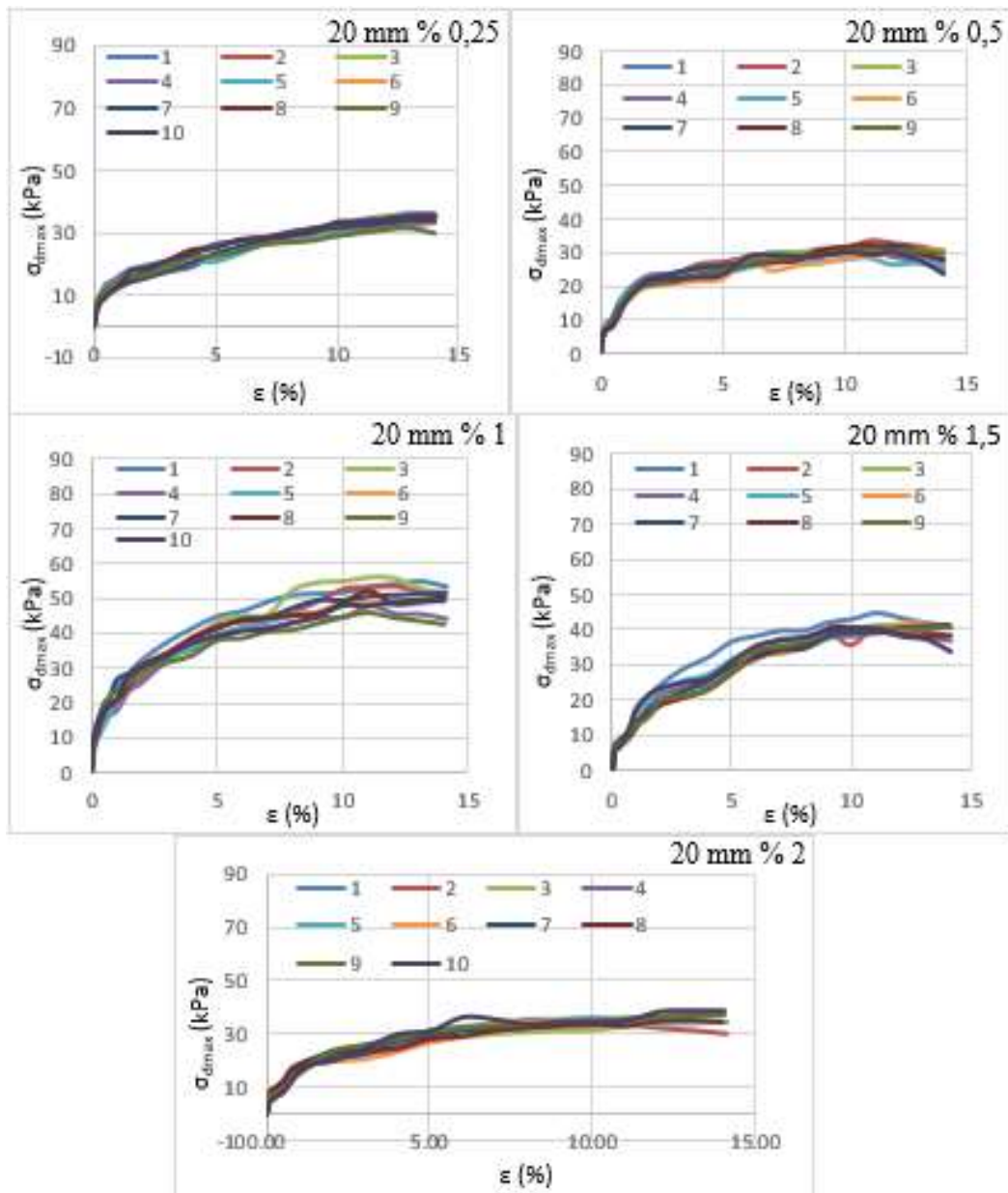
%1,5 fiberli zeminde saçılmaların fazla olduğu görülmesine karşın ortalama %130,08 dayanım artışı yaşanmıştır. Bu saçılımın nedeni silindir numune boylarındaki farklılık olabilir. Ayrıca fiber artışı ile dayanımının da arttığı gözlemlenmiştir. Fiberli zeminlerde doğal kile kıyasla dayanım artışlarının stabil gitmediği ve artış akabinde belli miktar azalma olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.9.'da görüldüğü üzere 50 mm çaplı numunelerde alkali dirençli cam fiberin ilave edilmesi ile beraber tüm numunelerde %2-3 bandında bir şekil değiştirmede dayanımının çoğunluğunun aniden uyandığı izlenmiştir. Ayrıca bu dayanımdan sonra artış oranları yükselerek 10 mm fiberlerde ortalama gerilmeler üzerinden en fazla artışın %115,23 ile %0,5 oranında cam fiberin ilave edildiği durumda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Numunelerin kriko ile tüpten çıkartılması sırasında fiberlerin zemini tuttuğu ve numune çıkarma işleminin kolaylaştığı gözlemlenmiştir.



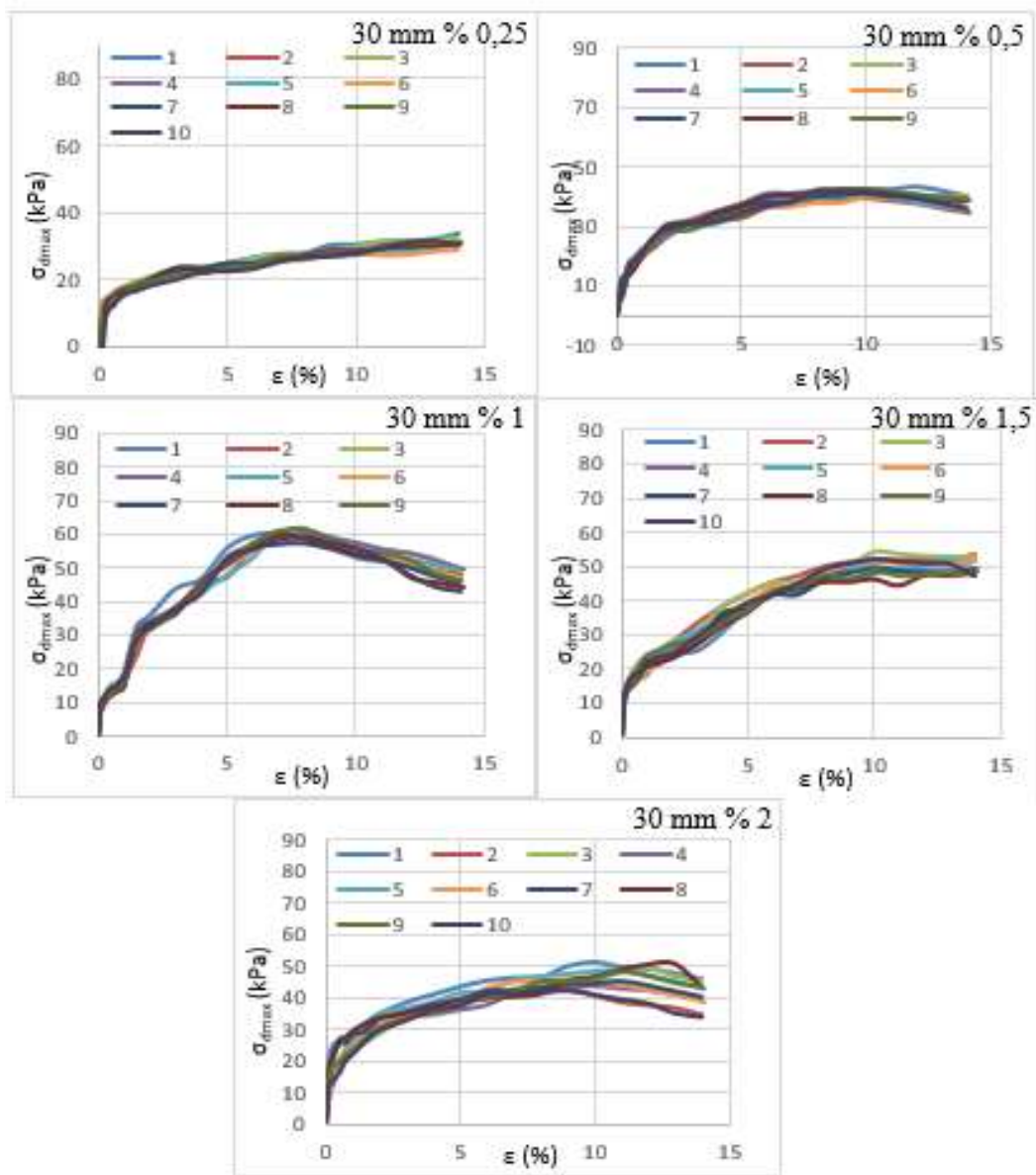
Şekil 5.9. 50 mm çaplı 10 mm fiber katkıli numunelerin σ - ϵ ilişkisi a) %0,25 b) %0,5 c) %1 d) %1,5 e) %2

Şekil 5.10.'da görüldüğü üzere 50 mm çaplı numunelerde alkali dirençli cam fiberin ilave edilmesi ile tüm numunelerde %2-3 bandında bir şekil değiştirmede dayanımının çoğunluğunun uyandığı izlenmiştir. Ayrıca bu dayanımdan sonra artış oranları yükselerek 20 mm fiberlerde ortalama gerilmeler üzerinden en fazla artışın %203,55 ile %1 AR cam fiber ilaveli karışımda olduğu gözlemlenmiştir. Fiberli zeminlerde doğal kile kıyasla dayanım artışlarının stabil gitmediği ve artış akabinde sabit gittiği tespit edilmiştir. %1,5 ve %2 fiber katkısı olan numunelerde dayanım nispeten daha düşük çıkmıştır.



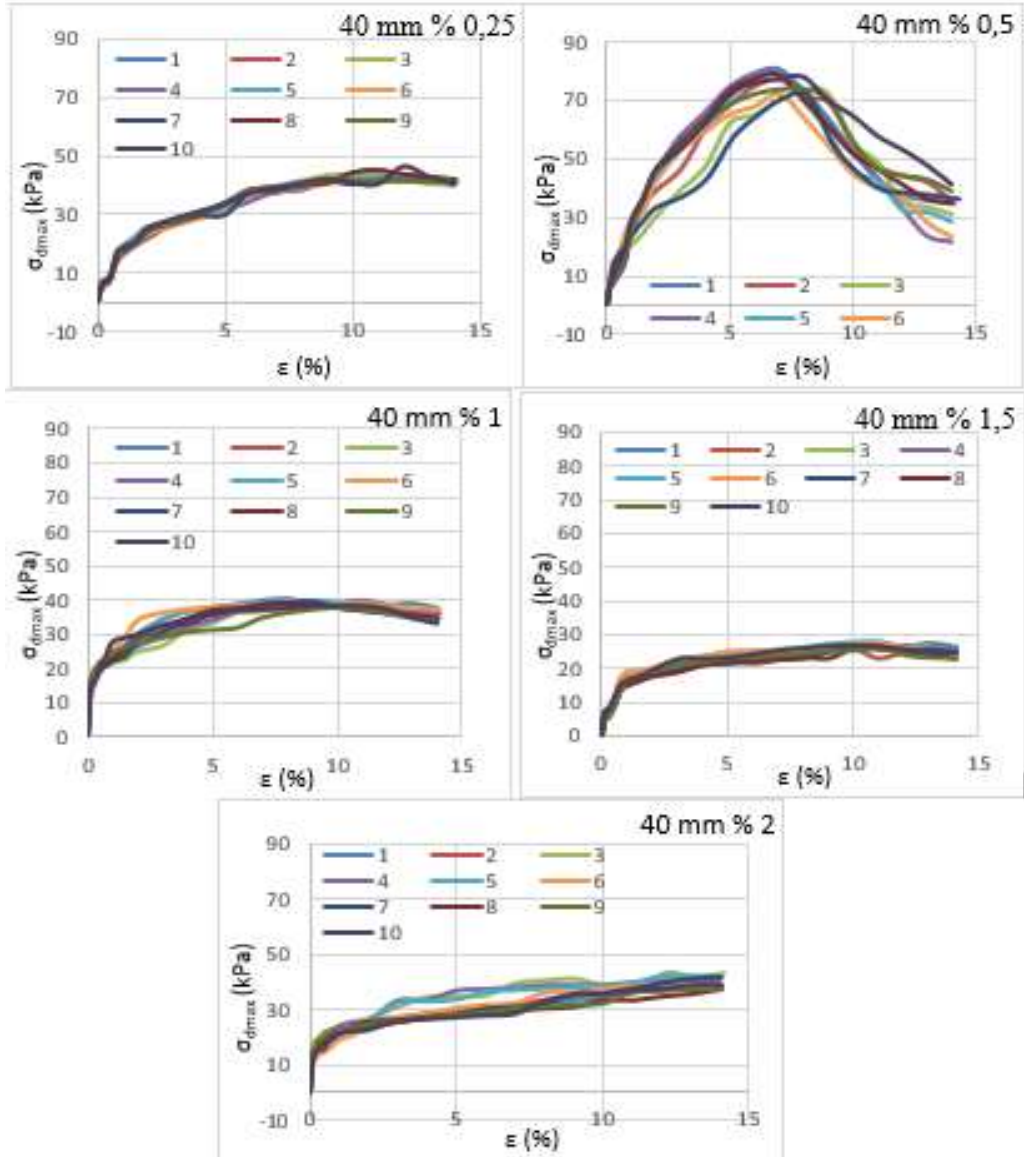
Şekil 5.10. 50 mm çaplı 20 mm fiber katkılı numunelerin σ - ϵ ilişkisi a) %0,25 b) %0,5 c) %1 d) %1,5 e) %2

Şekil 5.11.'de görüldüğü üzere 50 mm çaplı numunelerde alkali dirençli cam fiberin ilave edilmesi ile tüm numunelerde %5 bandında bir şekil değiştirmeye kadar dayanımın hızlı arttığı, sonradan artış hızının yavaşladığı izlenmiştir. 30 mm fiber katkılı numunelerde ortalama gerilmeler üzerinden en fazla artışın %255,63 ile %1 fiber ilavesinin olduğu numunelerde olduğu gözlemlenmiştir. Fiberli zeminlerde doğal kile kıyasla dayanım artışlarının stabil gitmediği ve maksimum değere ulaşıldıktan sonra %14 civarında bir deplasman sonrasında dayanımın yavaşça düştüğü ya da sabit kaldığı izlenmiştir.



Şekil 5.11. 50 mm çaplı 30 mm fiber katkılı numunelerin σ - ϵ ilişkisi a) %0,25 b) %0,5 c) %1 d) %1,5 e) %2

Şekil 5.12.'de görüldüğü üzere tüm numunelerde %2 civarında bir şekil değiştirmeye kadar direncin hızlı arttığı, sonrasında artış hızının yavaşladığı izlenmiştir. Ayrıca bu dayanımdan sonra artış oranları yükselerek 40 mm fiberlerde ortalama gerilmeler üzerinden en fazla artışın %351,95 ile %0,5 fiber katkılı numunelerde olduğu gözlemlenmiştir. Bu oran ve boydaki fiberlerle güçlendirilmiş numunelerde dayanımın tüm numuneler içinde en yüksek artışa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Dikkat edilecek diğer husus ise bu orandaki fiber ve uzunlukta en büyük dayanım akabinde hızlı şekilde dayanım düşüklüğüdür. Bunun nedeni ise maksimum dayanım sonrasında liflerin dağılımı ile ilgili olabilir.



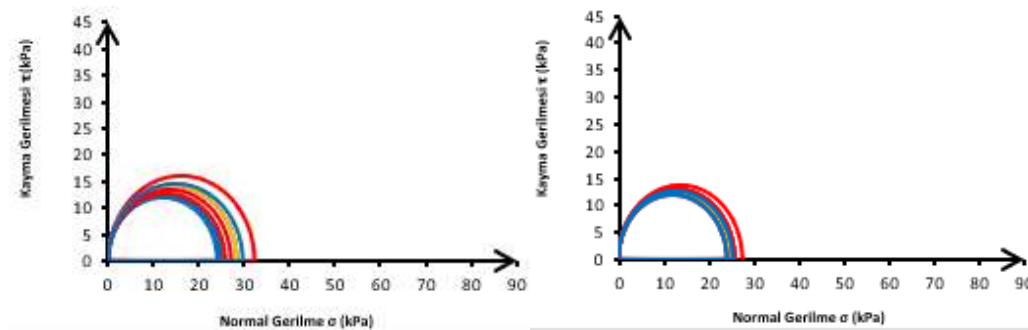
Şekil 5.12. 50 mm çaplı 40 mm fiber katkılı numunelerin σ - ϵ ilişkisi a) %0,25 b) %0,5 c) %1 d) %1,5 e) %2

Numunelere tek tek bakıldığında, doğal numunelerde en yüksek dayanım 19,33 kPa iken, fiber katkıli numunelerde en yüksek değer, %0,5 oranında 40 mm fiber katılmış numunede 80,52 kPa olarak bulunmuştur. 35 mm çaplı zeminde de doğal kilde en düşük gerilme 24,09 kPa, en yüksek dayanım 32,15 kPa iken, fiberli zeminde 30 mm uzunluk %2 oranında 68,14 kPa olarak okunmuştur.

Alkali dirençli cam fiberle stabilize edilmiş numunelerde fiber oranı arttıkça maksimum ortalama gerilmenin %12 civarında şekil değiştirmede görüldüğü tespit edilmiştir. Fiberli numunelerde bu değer sonrasında dayanımda oluşan düşüşlerin çok fazla olmadığı gözlenmiştir. Fiber oranı ve uzunluğuna bağlı olarak numunelerde %300'lere varan dayanım artışı gözlemlenmiştir. Fiber-zemin temas alanının artması sayesinde bu durumun gerçekleştiği söylenebilir. Zemine fiber katkısı yapılması neticesinde gevrek kırılmadan sünek kırılmaya geçiş olduğu söylenebilir.

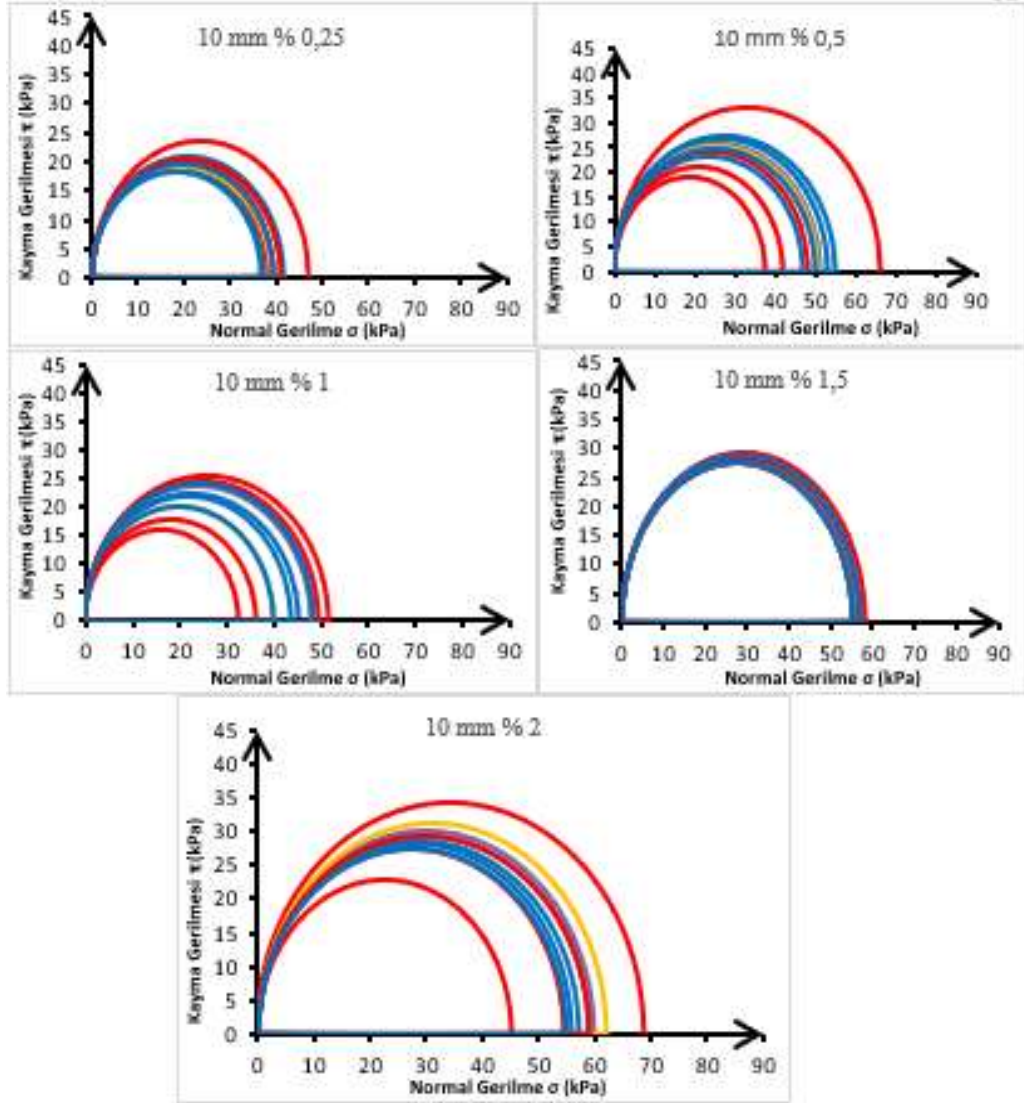
5.3.2. Serbest basınç deneyi ile elde edilen mohr çemberleri

Optimum su muhtevasında hazırlanan numuneler üzerinde yapılan serbest basınç deneylerinden elde edilen Mohr çemberleri Şekil 5.13. ile Şekil 5.20. arasında gösterilmektedir. Boyu çapının iki katı civarında olacak şekilde hazırlanan 35 mm ve 50 mm çaplı silindir numuneler üzerinde tek yönlü aksenal yük sonucu oluşan deviatör gerilmelerin fiber takviyeli numunelerde arttığı, buna bağlı olarak mohr çemberlerinin büyüdüğü izlenmektedir. Şekil 5.13.'de 35 mm ve 50 mm çaplı doğal kil numuneleri üzerinde yürütülen deneylerden elde edilen Mohr çemberleri gösterilmektedir.

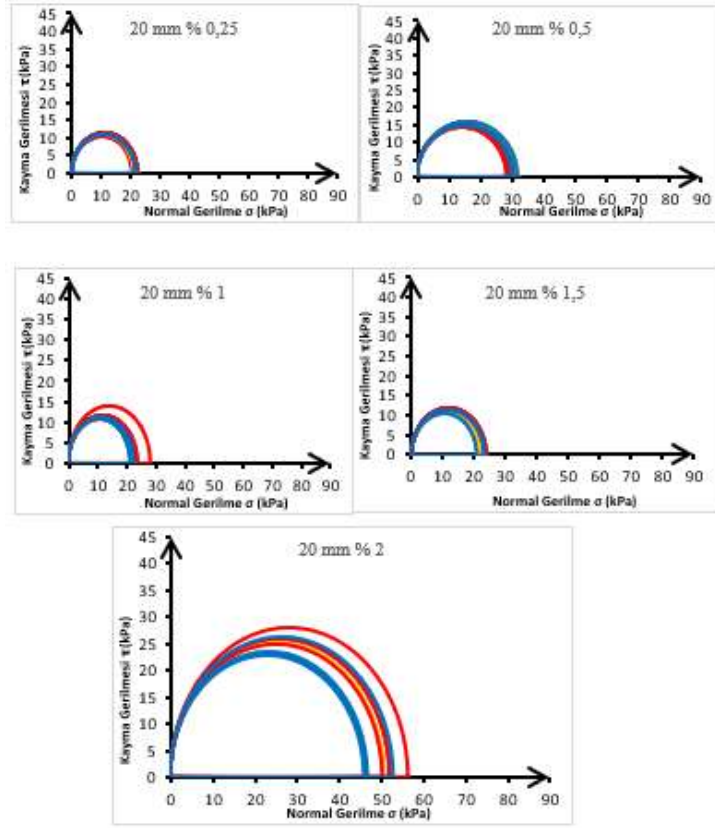


Şekil 5.13. 35 mm (sol) ve 50 mm (sağ) çaplı doğal kil numunelerinin Mohr çemberleri

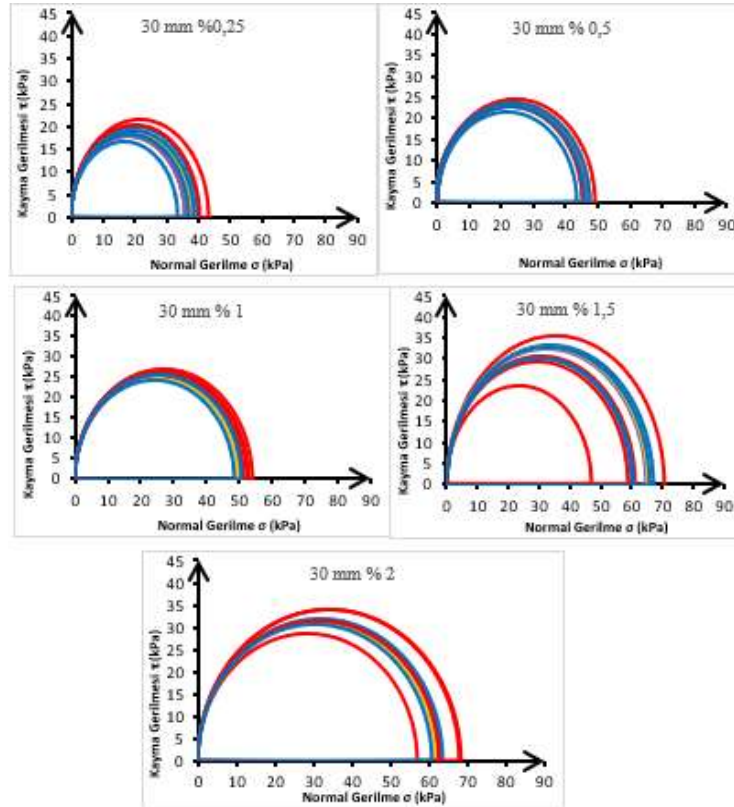
35 mm çaplı numunelerin Mohr çemberleri irdelenirse AR cam fiber katkısının dayanımı artırdığı açıkça görülmektedir. 10 mm uzunluktaki fiberler incelendiğinde basma dayanımında saçılmaların olduğu ama değerlerin birbirinden çok uzak olmadığı görülmektedir (Şekil 5.14.).



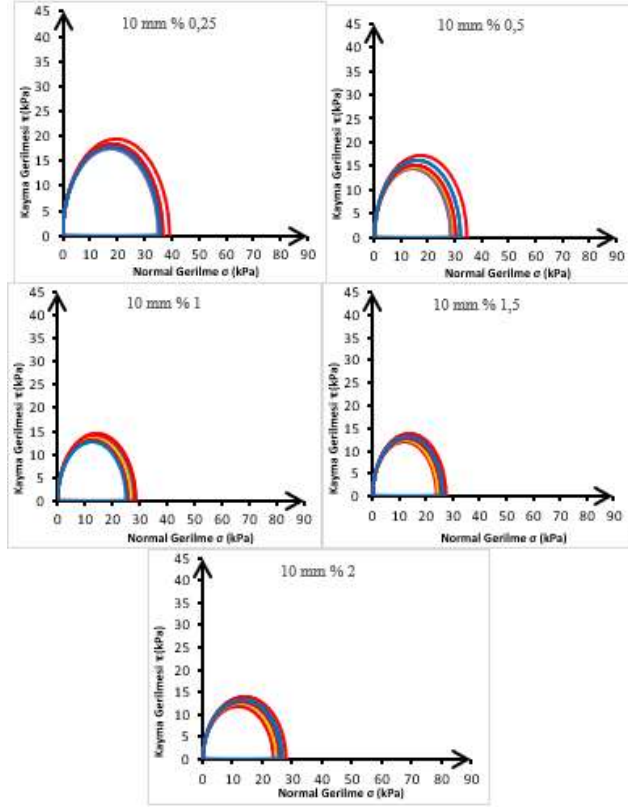
Şekil 5.14. 35 mm çaplı 10 mm fiber katkılı numunelerin Mohr çemberleri a) %0,25 b) %0,5 c) %1 d) %1,5 e) %2



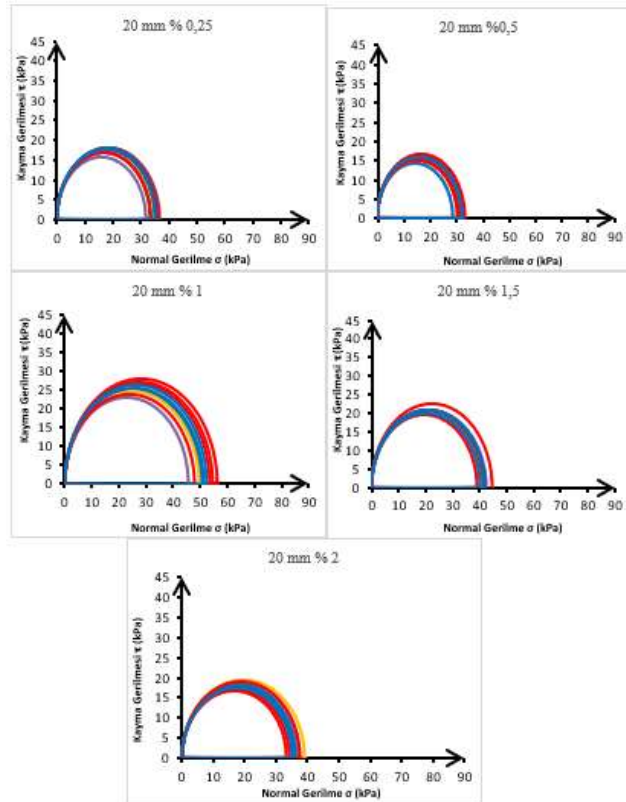
Şekil 5.15. 35 mm çaplı 20 mm fiberli numunelerin Mohr çemberleri a) %0,25 b) %0,5 c) %1 d) %1,5 e) %2



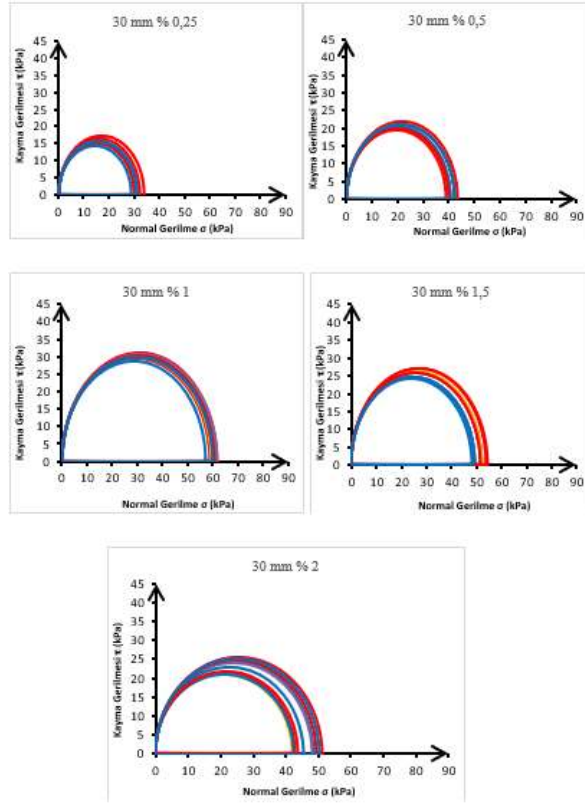
Şekil 5.16. 35 mm çaplı 30 mm fiberli numunelerin Mohr çemberleri a) %0,25 b) %0,5 c) %1 d) %1,5 e) %2



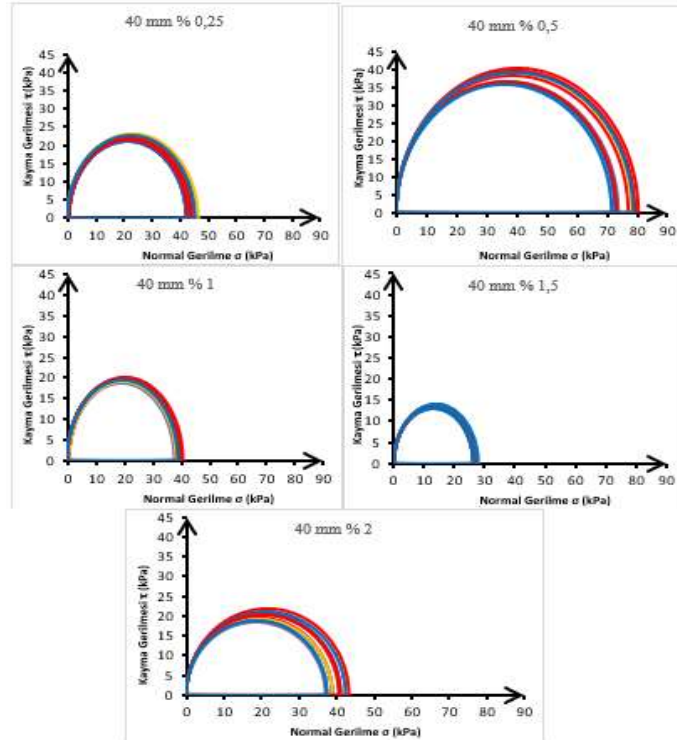
Şekil 5.17. 50 mm çaplı 10 mm fiberli numunelerin Mohr çemberleri a) %0,25 b) %0,5 c) %1 d) %1,5 e) %2



Şekil 5.18. 50 mm çaplı 20 mm fiberli numunelerin Mohr Çemberleri a) %0,25 b) %0,5 c) %1 d) %1,5 e) %2



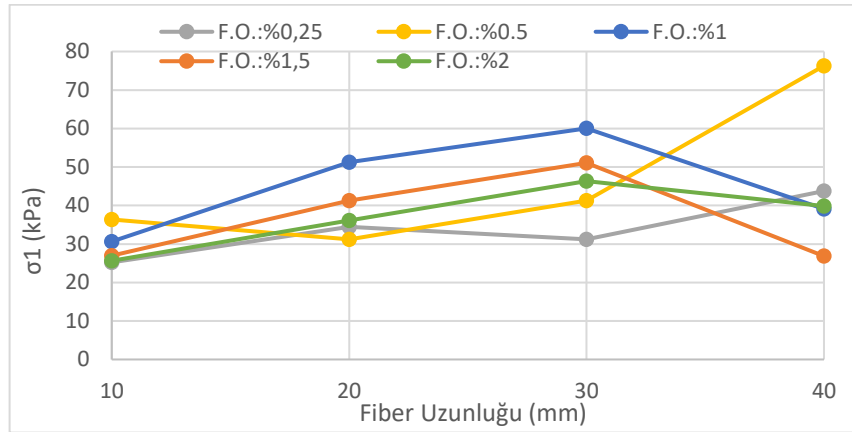
Şekil 5.19. 50 mm çaplı 30 mm fiberli numunelerin Mohr Çemberleri a) %0,25 b) %0,5 c) %1 d) %1,5 e) %2



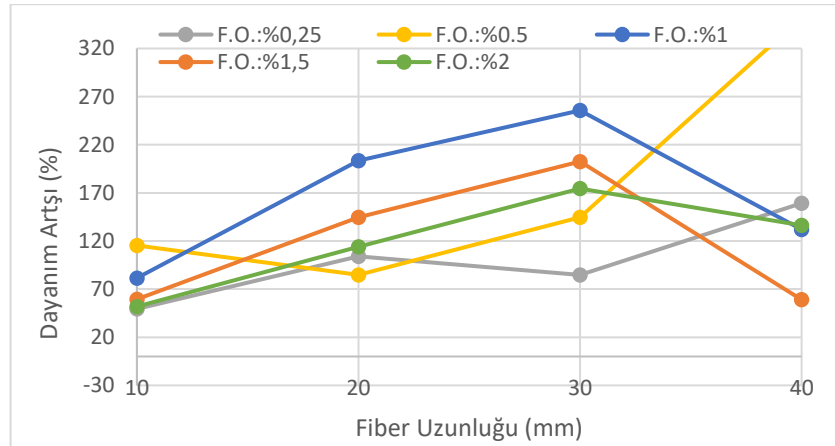
Şekil 5.20. 50 mm çaplı 40 mm fiberli numunelerin Mohr Çemberleri a) %0,25 b) %0,5 c) %1 d) %1,5 e) %2

5.3.3. Dayanımla fiber oranı ve fiber uzunluğu ilişkisi

Alkali dirençli cam fiber oranının numunelerin dayanımına etkisi Şekil 5.21 ile Şekil 5.24 arasındaki şekillerden izlenebilir. Şekil 5.21.'de 50 mm çaplı, %1, %1,5 ve %2 oranlarında 10 mm, 20 mm ve 30 mm uzunluğunda AR cam fiberle güçlendirilen numunelerde dayanımın lineer arttığı görülmektedir. 40 mm uzunluğunda fiber bulunan numunelerde ise dayanımların düştüğü görülmekte olup bunun sebebinin fiberin uzunluğu nedeniyle numune içinde eğilmesi ve yeterli direnci sağlayamaması olarak düşünülmektedir. %0,25 ve %0,5 fiber oranlarında ise belli oranlarda düşüş olması ile beraber 40 mm boyunda dirençte yükselme yaşanmaktadır. Az fiber ihtiva eden zeminde yüksek uzunluklu fiberlerin kullanılması ile homojen dağılım elde edilmiş olabilir.

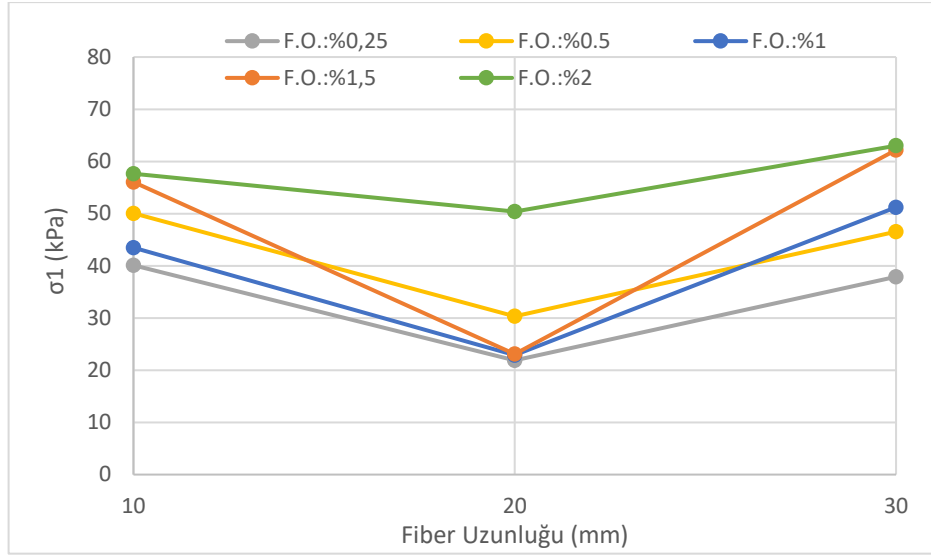


Şekil 5.21. Dayanım fiber oranı ilişkisi (50 mm)

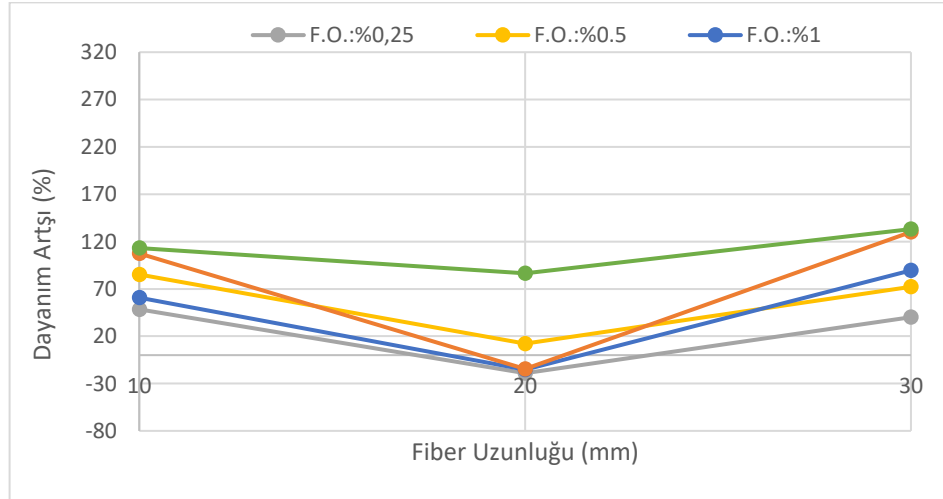


Şekil 5.22. Dayanım artışı fiber oranı ilişkisi (50 mm)

Fiber oranının numunelerin dayanımına etkisi ile ilgili Şekil 5.23 ve Şekil 5.24. incelendiğinde, 35 mm çaplı numunelerde %0,25, %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranlarında fiber kullanılması durumunda numunelerin dayanımında 10 mm'den 20 mm'ye bir düşüş, 20 mm'den 30 mm fiber uzunluğuna gelirken bir artış görülmektedir. Fiber oranı arttıkça 20 mm'deki dayanımda düşüşünün azaldığı görülmektedir.



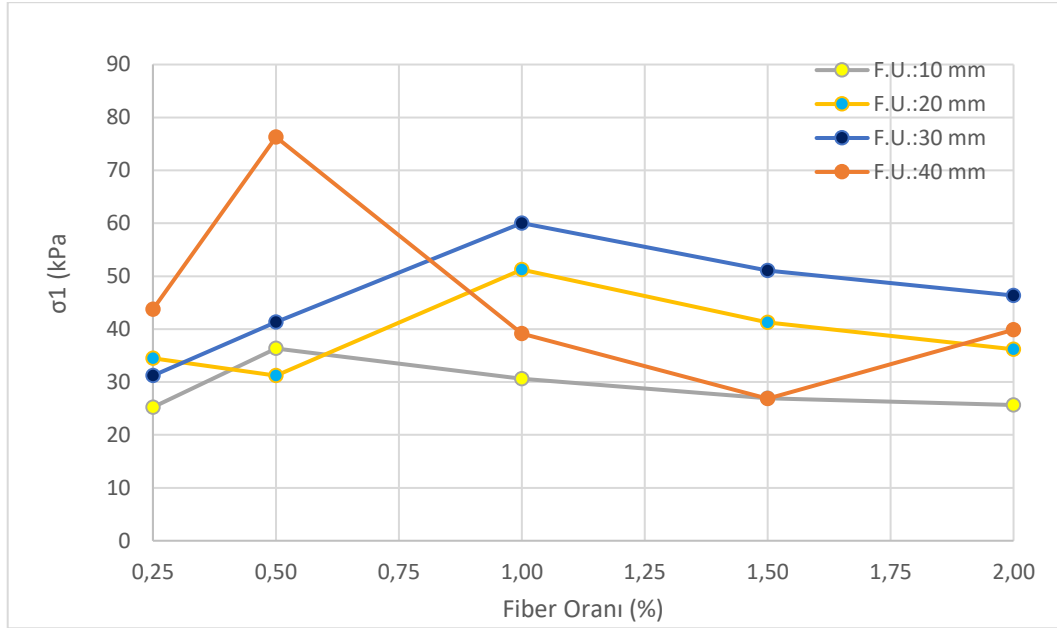
Şekil 5.23. Dayanım fiber oranı ilişkisi (35 mm)



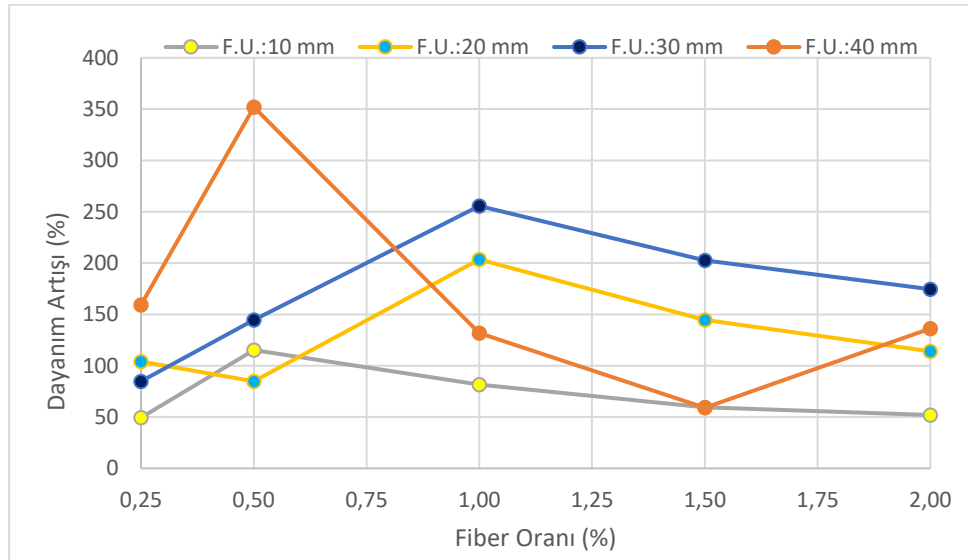
Şekil 5.24. Dayanım fiber oranı ilişkisi (35 mm)

Kullanılan fiber uzunluklarını değerlendirilirse 50 mm çaplı numunelerde 30 mm uzunluğunda fiberin %1'e kadar olan katkı oranlarında artış meydana gelirken sonrasında bir düşme gözlemlenmiştir (Şekil 5.25. ve Şekil 5.26.) . 40 mm fiber ve 10

mm fiber ilave edilmiş zemin numunelerinde ise %0,5 oranında fiber ilave edilmesi durumunda maksimum dayanım ve dayanım artışı gözlenmiştir. Genel eğilime bakıldığında en yüksek değerlere 30 mm fiber kullanılan numunelerde ulaşılmakla birlikte bu grupta bu eğilime ters olarak en yüksek değere 40 mm uzunluğundaki fiberlerin %0,5 oranında kullanıldığı durumda ulaşılmıştır.

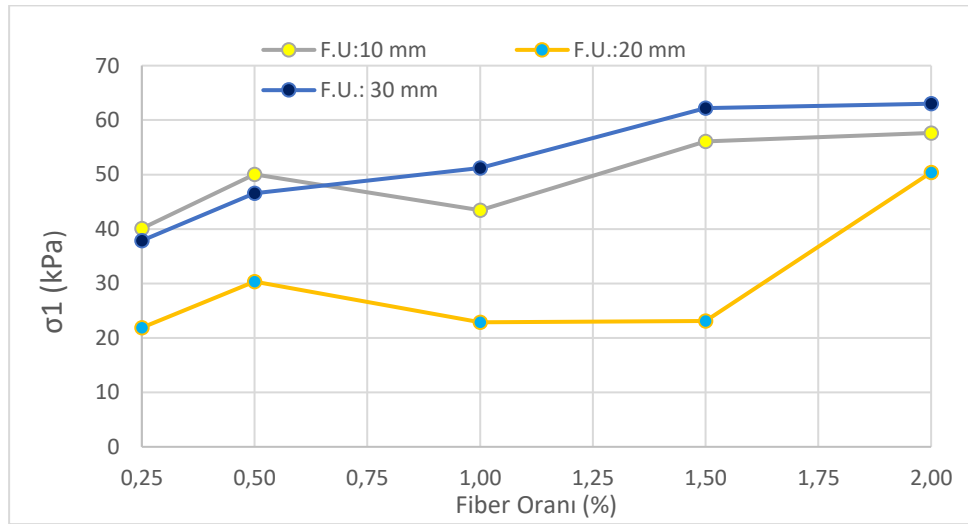


Şekil 5.25. Dayanım fiber uzunluğu ilişkisi (50 mm)

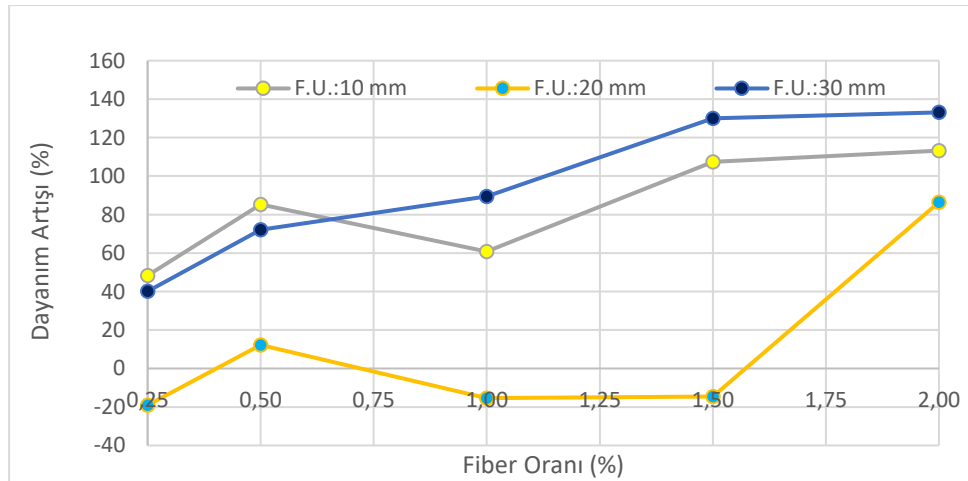


Şekil 5.27. Dayanım artışı ve fiber uzunluğu ilişkisi (50 mm)

Kullanılan fiber uzunlukları 35 mm çaplı numuneler için değerlendirilirse 10 mm, 20 mm ve 30 mm uzunluğundaki fiberli numunelere genel bakıldığında %2 oranına kadar dayanımda artış olduğu görülmektedir (Şekil 5.27. ve Şekil 5.28.). Tüm oranlar incelendiğinde en yüksek dayanım ve dayanım artışı %2 fiber oranında görülmektedir. Bununla beraber 10 mm ve 20 mm zeminde %0,5 oranında nispi dayanım artışı görülmektedir.



Şekil 5.26. Dayanım fiber uzunluğu ilişkisi (35 mm)



Şekil 5.28. Dayanım artışı ve fiber uzunluğu ilişkisi (35 mm)

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında 10 mm, 20 mm, 30 mm ve 40 mm uzunluğunda hazırlanan alkali direnci yüksek cam fiber Sakarya-Sapanca ilçesinden temin edilen kil zemine ağırlıkça %0,25-%0,5-%1-%1,5 ve %2 oranlarında ilave edilerek iki farklı çap ve yükseklikte silindir numuneler elde edilmiştir. Silindir numuneler 35 mm çap, 70 mm yüksekliğe ve 50 mm çap, 100 mm yüksekliğe sahip olacak şekilde hazırlanmıştır. Silindir numuneler örselenmenin önlenmesi amacıyla standart kompaksiyon kalıbı ile hazırlanmamış, özel sıkıştırma kalıpları yaptırılarak tek tek bu kalıplarda sıkıştırılarak hazırlanmıştır. 35 mm çap ve 70 mm yüksekliğinde 160 adet numune hazırlanarak bunlar üzerinde serbest basınç deneyi yapılmıştır. Bu numunelerden 10 tanesi doğal kil, 50'şerden toplam 150 tanesi 10 mm, 20 mm ve 30 mm uzunluğundaki fiberlerle karıştırılarak hazırlanmış numunelerdir. 50 mm çap, 100 mm yüksekliğinde olan numunelerin sayısı ise 210'dur. Bunlar üzerinde de serbest basınç deneyi yapılmıştır. Bu numunelerin 10 tanesi doğal kil, 200 tanesi ise, 10 mm, 20 mm, 30 mm ve 40 mm boyundaki cam fiberlerle güçlendirilmiş numunelerdir. Bu şekilde toplam 20 tanesi doğal, 350 tanesi alkali direnci yüksek cam fiber katkılı numuneler olmak üzere toplamda 370 numune üzerinde serbest basınç deneyi uygulanmıştır. Alkali direnci yüksek cam fiber farklı uzunluk ve oranlarda kil zemine ilave edilerek bu yüksek plastisiteli kil zeminin kayma direncindeki değişim incelenmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında kompaksiyon deneyi için 2000 gr'lık doğal zemin örnekleri 200 ml – 300 ml – 400 ml – 500 ml ve 600 ml su ile karıştırılmış ve standart Proktor aleti ile sıkıştırılmıştır. Kompaksiyon deneyi sonucunda optimum su muhtevası ve karşılık gelen maksimum kuru birim hacim ağırlık tespit edilmiştir. Sonrasında 35 mm ve 50 mm çaplı boy/çap oranı 2 olacak numuneler için gerekli kuru zemin ve su ağırlıkları hesaplanmıştır. Öncelikle kuru zemine ağırlıkça %0,25, %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranlarında 10 mm, 20 mm, 30 mm ve 40 mm boylarında cam fiberler ilave edilmiş, sonrasında optimum su içeriğine denk gelen miktarda su ilave edilerek karışım

sıkıştırma kabında sıkıştırılmıştır. En son olarak da herbir numune serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur.

Yüksek plastisiteli kil ve cam fiberli zeminler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gözlemlenerek mikroskobik yapısı irdelenmiştir. Alkali dirençli fiber yüzeyinde aderansı arttırıcı boşluklu yapı gözlemlenmiştir.

Gerilme ve deplasman ilişkisi incelendiğinde 35 mm çaplı doğal numunelerde %2 civarında şekil değiştirme değerine kadar dirençte hızlı bir yükselmenin olduğu ve maksimum gerilmenin ortalama %16 birim şekil değiştirmede elde edildiği görülmüştür. Alkali dirençli cam fiberle güçlendirilmiş numunelerde ise fiber oranı arttıkça maksimum ortalama gerilmenin %10-12 arasında elde edildiği ve %1 civarında bir şekil değiştirme değerine kadar ani artışın görüldüğü tespit edilmiştir. Sonrasında dayanım birçok durumda yavaşça artmaya devam etmiş veya dirençte ortaya çıkan düşüş kısıtlı miktarda kalmıştır. Dikkat çeken husus maksimum gerilme aşıldıktan sonra fiber-zemin kenetlenmesi sayesinde numunelerin bütünlüğünü korumaya devam etmesi olmuştur. Fiber oranı ve uzunluğu ile artan dayanımının sadece 20 mm boylu fiber katkılı numunelerde %0,25, %1 ve %1,5 seviyelerinde %14'e varan azalış gösterdiği görülmüştür. Diğer tüm numunelerde %130'a varan dayanım artışı gözlemlenmiştir. Fiber-zemin temas alanının artması sayesinde bu durumun gerçekleştiği söylenebilir. Bu sonuçlarda 30 mm fiberli zeminde maksimum dayanım artışın görülmesi şekil vermede zorluk çıkarmayan cam lif yapısı ile kalıp çapına en yakın uzunlukta olmasına dikkat çekmiştir.

35 mm çaptaki numunelerde en yüksek dayanım artışı %133,31 artış ile 30 mm uzunluğundaki %2 fiber katkılı numunelerde elde edilmiştir. Buna göre doğal kilde 27,03 kPa olan ortalama dayanım fiberli numunede 63,01 kPa olarak elde edilmiştir.

Gerilme ve deplasman ilişkisi incelendiğinde 50 mm çaplı doğal numunede maksimum gerilmenin ortalama %10 civarında bir deformasyonda elde edildiği görülmüştür. Alkali dirençli cam fiberle güçlendirilmiş numunelerde ise fiber oranı arttıkça maksimum ortalama gerilmenin %12 civarında bir deformasyona kadar arttığı görülmüş, sonrasında dayanım çok düşmeden devam etmiştir.

Burada da fiberlerin zeminle kenetlenerek dağılmaların önüne geçtiği dikkat çekmiştir. Fiber oranı ve uzunluğu ile denenen numunelerde %300'lere varan dayanım artışı gözlemlenmiştir. Fiber-zemin temas alanının artması sayesinde bu durumun gerçekleştiği söylenebilir. Bu sonuçlarda 40 mm fiberli zeminde maksimum dayanım artışının görülmesi kalıp çapına en yakın uzunlukta olması ile ilişkilendirilebilir.

Ayrıca 50 mm çaplı fiber katkılı numunelerde numune yenildikten sonraki dayanım düşüşü yok sayılacak kadar az miktarda ortaya çıkmıştır. Buradan AR cam fiber katkısı ile numunelerde gevrek kırılmanın sünek kırılmaya doğru bir geçiş olduğu sonucuna varılmıştır.

50 mm çaptaki numunelerde en yüksek dayanım artışı %351,91 artış ile 40 mm uzunluğundaki %0,5 fiberli numunelerde gerçekleşmiştir. Buna göre doğal kilde 16,88 kPa olan direnç fiber katkılı numunelerde 76,29 kPa olarak elde edilmiştir.

35 mm ve 50 mm çapa sahip numuneler üzerinde yapılan serbest basınç deneyleri sonucunda tüm fiber oranları ortalamalarına bakıldığında en yüksek dayanımların 30 mm uzunluğundaki fiberlerin kullanıldığı numunelerde elde edildiği görülmüştür.

Bütün deney sonuçları birlikte değerlendirildiğinde yüksek alkali dirençli cam fiberin zemin stabilizasyonunda olumlu etki yaptığı sonucuna varılmıştır. Daha uzun fiberlerin zemin stabilizasyonunda amacıyla serbest basınç deneylerinin tekrarlanması ileriki araştırmalar için önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Aral, M., 2006. Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı bir optimum tasarım. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ayraçma, B.B., Teymür, B., (2014). Fiber Katkılı Kumların Geoteknik Özellikleri, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbeşinci Ulusal Kongresi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 593-602.
- Bilici, H., Okur, D.V., Türköz, M., Savaş H., 2020. Kil zeminin dayanımı üzerinde uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkılarının etkisi ve karşılaştırmalı analizi. Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Derg, 9(2), 910-919.
- Chawla, K.K., 1998. Fibrous Materials, Cambridge University Press, U.K
- Diallo, M.L., Ünsever, Y.S., 2020. İnşaat yıkıntı atığı ve kireçle kil zeminin stabilizasyonu üzerine deneysel bir çalışma. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Derg, 26(6), 1030-1034.
- Görgün, B., Bozkurt, E., Gökdağ, D., Borazan A.A., Ural, N., 2018. Atık tavuk tüyünün zemin iyileştirmesinde değerlendirilmesi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(2), 89-96.
- Işık, F., Akbulut, R.K., Zaimoğlu, Ş.A., Arasan, S., 2015. Kil zeminlerin iyileştirmesinde atık doğal liflerin kullanılabilirliği. 6. Geoteknik Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Bildiri No: S053, Adana.
- Kurt, G., 2006. Lif içeriği ve su/çimento oranının fibrobetonun mekanik davranışına etkileri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Küçük, F., 2021. Yüksek performanslı polipropilen fiber katkısının kil zeminin drenajsız kayma direncine etkisinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Küçükosmanoğlu, M., 2019. Bazalt fiberin zemin iyileştirilmesinde kullanımı. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Maraşlı, M., 2019. Cam lifi takviyeli betonlarda olgunluk indisi yöntemi ile eğilme Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

- Mitchell, J.K. and Katti, R.K., (1981) Soil improvement - State of the art report, Proceedings, 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm (June), pp. 509-565.
- Ndepete, C.P., Sedat, S., 2017, Bazalt Fiber Katkısının Siltli Zeminlerde Kayma Direncine Etkisi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Orhan, M., Özer, M., Işık N.S., 2013. Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri Cilt I , Güncelleştirilmiş 2. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Önalp, A., Sert, S., 2016. Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri, Güncelleştirilmiş 3. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Özdemir, D., Mecit H.D., Seventekin N., Öktem T., 2006. Cam Lifleri. Ege Univ. Tekstil ve Konfeksiyon Derg, 16(1), 281-286.
- Sağlamer, A., 2011. Zeminlerin İyileştirilme Yöntemleri (Sunum). Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi.
- TSE. 2000. TSE1500 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Sınıflandırması, Ankara.
- TSE. 2006. TS1900-1 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 1: Mekanik Özelliklerin Tayini, Ankara.
- TSE. 2006. TS1900-2 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini, Ankara.
- Türker, S., Balanlı, A., 1992. Yapı Malzemeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 45-72.
- Ural, N., Kut, Ü., Gülsevinç, N., 2020. Atık PVC ile zemin iyileştirme. El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 7(3), 1471-1481.
- Uzuner B.A., 2006. Temel mühendisliğe giriş. Güncelleştirilmiş 3. Baskı, Derya Kitabevi, Trabzon.
- URL-1, <https://fibrobeton.com.tr/Anasayfa> Erişim Tarihi: 06.12.2021.
- URL-2, <https://docplayer.biz.tr/5300003-Zeminlerin-iyilestirilmesi.html> Erişim Tarihi: 06.12.2021.
- URL-3, http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/a_6.html Erişim Tarihi: 20.12.2021.
- Yıldırım, M., Yılmaz, I., Keskin İ., 2014. Zemin mekaniği laboratuvar deneyleri ve çözümlü problemleri, Güncelleştirilmiş 2. Baskı, Seçkin Yayınevi, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ercüment KEKEÇ

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Yüksek Lisans	İstanbul Gelişim Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü / İş sağlığı ve Güvenliği	2020
Lisans	Anadolu Üniversitesi / İşletme Fakültesi / İşletme	2021
Lisans	Gazi Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / İnşaat Mühendisliği	2015
Lise	Kdz. Ereğli Atatürk Anadolu Lisesi	2011

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2019-Halen	Yapı Kontrol	Mühendis

YABANCI DİL

İngilizce

HOBİLER

Scuba, Denizcilik, Binicilik.