

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSİLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BENTONİT KİLİNİN CAM FİBER İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

BURAK FINDIKCI

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BENTONİT KİLİNİN CAM FİBER İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

BURAK FINDIKCI

Doç.Dr. Utkan MUTMAN

Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof.Dr. Safa Bozkurt COŞKUN

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof.Dr. Niyazi Uğur TERZİ

Jüri Üyesi, Aksaray Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 03.09.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Hazır olarak alınan bentonitte değişik laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu deneyler ile bentonit kilinin özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca diğer geoteknik deneyleri ile bentonit kilinin cam fiber ile iyileştirilip iyileştirilmeyeceği belirlenmeye çalışılmıştır. Deney sonuçları ile görülmüştür ki cam fiber bentonit içinde iyileştirme anlamında önemli bir sonuç vermiştir.

Bu çalışmamda karşılaştığım her sorunda bana destek olan ve tecrübelerini sonuna kadar paylaşan değerli danışmanım Doç.Dr. Utkan Mutman 'a teşekkür ederim.

Malzeme tedariki konusunda cam fiberi tarafıma bedelsiz olarak sağlayan Plasto Plastik Fiberglass'a teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde desteklerini esirgemeyen annem, babam, ablam ve arkadaşlarıma bununla birlikte her zaman yanımda olan iş yerimdeki çok değerleri çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos - 2020

Burak FINDIKCI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
GİRİŞ	1
1. Zemin İyileştirme	3
1.1. Zemin İyileştirme Yöntemleri	3
1.1.1. Derin zemin iyileştirme yöntemleri	5
1.1.2. Yüzeysel zemin iyileştirme yöntemleri	5
1.1.2.1. Kompaksiyon	6
1.1.2.2. Kireç ile iyileştirme	7
1.1.2.3. Kireç-uçucu kül ile iyileştirme	9
1.1.2.4. Çimento ile iyileştirme	9
1.1.2.5. Bitüm ile zemin iyileştirme	10
1.1.2.6. Fiber ile zemin iyileştirme	11
1.2. Katkı Malzemeleri İle Zemin İyileştirme Çalışmalarına Örnekler	15
1.2.1. Yapay ve doğal fiberler ile zemin iyileştirme çalışmalarına örnekler	25
2. CAM VE CAM FİBERLER	37
2.1. Cam	37
2.1.1. Camı oluşturan hammaddeler	38
2.2. Cam Fiber	41
2.2.1. Cam fiberlerin üretilmesinde kullanılan hammaddeler	42
2.2.2. Cam fiber çeşitleri	42
2.2.3. Cam lif üretim aşamaları	43
2.2.4. Cam liflerin fiziksel özellikleri	46
2.2.5. Cam liflerin elektriksel, kimyasal ve termal özellikleri	48
2.2.6. Cam liflerin kullanım alanları	50
2.2.7. Cam fiber ile yapılan çalışmalar	51
3. MALZEMELER VE METOT	55
3.1. Malzemeler	55
3.1.1. Kıl çeşitleri	55
3.1.2. Bentonit	55
3.1.2.1. Bentonitin özellikleri	56
3.1.3. Cam fiber	60
3.2. Yöntem	61
3.2.1. Fiziksel deneyler	64
3.2.1.1. Kıvam limit deneyleri	64
3.2.1.2. Etüvde kurutma metodu	64
3.2.1.3. Casagrande yöntemi ile likit limit tayini	65

3.2.1.4. Plastik limit deneyi	67
3.2.2. Standart proktor deneyi	67
3.2.3. Serbest basma deneyi	69
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	72
4.1. Etüvde Kurutma Metodunda Elde Edilen Sonuçlar.....	72
4.2. Casagrande Yöntemi İle Likit Limit Deneyi Çıkan Sonuçlar.....	72
4.3. Plastik Limit Deney Sonuçları	73
4.4. Plastisite İndisi.....	74
4.5. Kompaksiyon Deneyi	74
4.5.1. Katkısız kil kompaksiyon deneyi	74
4.5.2. Katkısız kil ve %1 3mm cam fiber kompaksiyon deneyi.....	76
4.5.3. Katkısız kil ve %2 3mm cam fiber kompaksiyon deneyi.....	77
4.5.4. Katkısız kil ve %3 3mm cam fiber kompaksiyon deneyi.....	78
4.5.5. Katkısız kil ve %1 6mm cam fiber kompaksiyon deneyi.....	79
4.5.6. Katkısız kil ve %2 6mm cam fiber kompaksiyon deneyi.....	80
4.5.7. Katkısız kil ve %3 6mm cam fiber kompaksiyon deneyi.....	81
4.5.8. Katkısız kil ve %1 12mm cam fiber kompaksiyon deneyi.....	82
4.5.9. Katkısız kil ve %2 12mm cam fiber kompaksiyon deneyi.....	83
4.5.10. Katkısız kil ve %3 12mm cam fiber kompaksiyon deneyi	84
4.6. Cam Fiber Katkılı Numunelerde Serbest Basınç Deneyleri	85
4.6.1. Katkısız numunede serbest basınç deneyi (anlık)	86
4.6.2. Bentonit kil ve %1 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık).....	87
4.6.3. Bentonit kil ve %1 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (7 günlük)	88
4.6.4. Bentonit kil ve %2 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık).....	90
4.6.5. Bentonit kil ve %2 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (7 günlük)	91
4.6.6. Bentonit kil ve %3 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık).....	93
4.6.7. Bentonit kil ve %3 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (7 günlük)	94
4.6.8. Bentonit kil ve %1 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık).....	96
4.6.9. Bentonit kil ve %2 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık).....	98
4.6.10. Bentonit kil ve %3 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık).....	100
4.6.11. Bentonit kil ve %1 12 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık).....	101
4.6.12. Bentonit kil ve %2 12 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık).....	103
4.6.13. Bentonit kil ve %3 12 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık).....	105
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	108
KAYNAKLAR.....	113
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	127

ÖZGEÇMİŞ 121



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Kompaksiyon uygulamasında ağırlık düşürme.....	7
Şekil 1.2.	Farklı numune ve kireç yüzdeleri için şişme basıncı ve ortalama şişme basıncı değerleri	8
Şekil 1.3.	Kireç içeriğinin çeşitli zeminlerdeki etkisi	8
Şekil 1.4.	Çimento stabilizasyon mukavemeti ile çimento içeriği ilişkisi	10
Şekil 1.5.	Doğal liflerin yıllara göre potansiyel pazar payı.....	13
Şekil 2.1.	Camın temel silis yapısı	37
Şekil 2.2.	Kuvartz kumu.....	39
Şekil 2.3.	Silis kumu	39
Şekil 2.4.	Feldispat örneği.....	40
Şekil 2.5.	Cam lifi üretim prosesindeki tipik işlem akış şeması	44
Şekil 2.6.	Cam elyafı üretimi	45
Şekil 2.7.	Lif çekimi ve filament iplik oluşumu.....	46
Şekil 2.8.	Cam liflerinin kopma mukavemeti ve uzaması	48
Şekil 2.9.	Cam liflerinin kullanım alanlarına örnekler.....	51
Şekil 2.10.	Cam liflerinin kullanım alanlarına örnekler.....	51
Şekil 3.1.	Doğal bentonit görünümü	56
Şekil 3.2.	Su alan bentonit	57
Şekil 3.3.	Yapılan deneylerde kullanılan bazı aletler	62
Şekil 3.4.	Kap ve yaş zemin ağırlığı	64
Şekil 3.5.	Kap ve kuru zemin ağırlığı	65
Şekil 3.6.	Casagrande deney cihazı ve numune yerleştirilmesi	66
Şekil 3.7.	Likit limit belirlenmesi için alınan örnekler	66
Şekil 3.8.	Likit limit belirlenmesi için yapılan tartım işlemi	66
Şekil 3.9.	Plastik limit deneyi ile su muhtevası bulunması.....	67
Şekil 3.10.	Proktor kalıbı ve deney numunesi.....	68
Şekil 3.11.	Deney numunesinin sıkıştırılması.....	68
Şekil 3.12.	Sıkıştırılmış numune örneği.....	69
Şekil 3.13.	Deney numunesi.....	70
Şekil 3.14.	Deney düzeneği ve deney anı	70
Şekil 3.15.	Değer okuma cihazı	70
Şekil 3.16.	Deney sonrası numunelerin görünümü	71
Şekil 4.1.	Likit limit deneyi çıkan sonuçlar grafiği.....	73
Şekil 4.2.	Plastisite kartı.....	74
Şekil 4.3.	Katkısız kil kompaksiyon deney sonuç grafiği.....	75
Şekil 4.4.	Katkısız kil ve %1 3mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği.....	76
Şekil 4.5.	Katkısız kil ve %2 3mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği	77
Şekil 4.6.	Katkısız kil ve %3 3mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği	78
Şekil 4.7.	Katkısız kil ve %1 6mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği	79

Şekil 4.8. Katkısız kil ve %2 6mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği	80
Şekil 4.9. Katkısız kil ve %3 6mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği	81
Şekil 4.10. Katkısız kil ve %1 12mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği	82
Şekil 4.11. Katkısız kil ve %2 12mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği	83
Şekil 4.12. Katkısız kil ve %3 12mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği	84
Şekil 4.13. Cam fiberin tüm boy ve oranlarında kompaksiyon deney sonuçları grafiği.....	85
Şekil 4.14. Katkısız numune serbest basınç deneyi sonuçlar(anlık)	87
Şekil 4.15. Bentonit kil ve %1 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık).....	87
Şekil 4.16. Bentonit kil ve %1 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (7 günlük)	89
Şekil 4.17. Bentonit kil ve %2 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık).....	90
Şekil 4.18. Bentonit kil ve %2 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (7 günlük)	92
Şekil 4.19. Bentonit kil ve %3 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık).....	93
Şekil 4.20. Bentonit kil ve %3 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (7 günlük)	95
Şekil 4.21. Bentonit kil ve %1 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık).....	97
Şekil 4.22. Bentonit kil ve %2 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık).....	98
Şekil 4.23. Bentonit kil ve %3 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık).....	100
Şekil 4.24. Bentonit kil ve %1 12 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık)	102
Şekil 4.25. Bentonit kil ve %2 12 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık)	104
Şekil 4.26. Bentonit kil ve %3 12 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık)	106
Şekil 5.1. Serbest basınç deney sonuçları	108
Şekil 5.2. Uzunluğu 3mm olan cam fiberin değişik katılım oranlarındaki serbest basınç deney sonuçları	109
Şekil 5.3. Uzunluğu 6mm olan cam fiberin değişik katılım oranlarındaki serbest basınç deney sonuçları	109
Şekil 5.4. Uzunluğu 12mm olan cam fiberin değişik katılım oranlarındaki serbest basınç deney sonuçları	110
Şekil 5.5. Uzunluğu 3-6-12 mm olan cam fiberlerin %1 katılma oranındaki serbest basınç deney sonuçları	110
Şekil 5.6. Uzunluğu 3-6-12 mm olan cam fiberlerin %2 katılma oranındaki serbest basınç deney sonuçları	111

Şekil 5.7. Uzunluğu 3-6-12 mm olan cam fiberlerin %2 katılma oranındaki serbest basınç deney sonuçları 111



TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Fiber çeşitleri.....	12
Tablo 1.2. Değişik fiber çeşitlerine ait tipik özellikler.....	12
Tablo 1.3. Bazı cam liflerin tipik özellikleri	14
Tablo 1.4. Polimer liflerin özellikleri	15
Tablo 2.1. Farklı cam tiplerinin özellikleri.....	41
Tablo 2.2. Cam liflerinin fiziksel özellikleri	47
Tablo 2.3. Cam liflerinin kimyasal, elektriksel ve termal özellikleri.....	49
Tablo 3.1. Kil minerallerinin (ağırlığa göre) kimyasal bileşimi (%).....	55
Tablo 3.2. Bentonitlerin kullanım alanlarının yüzdeleri	59
Tablo 3.3. Bentonitin, özelliklerine bağlı olarak kullanıldığı alanlar	59
Tablo 3.4. E tipi ve diğer cam elyaf tiplerinin fiziksel özellikleri.....	60
Tablo 3.5. Hazırlanan numunelerde kil ve fiber ağırlığı, fiber boy ve oranları	61
Tablo 3.6. Saf bentonit kilinin deneyleri ile alakalı genel bilgiler	62
Tablo 3.7. Yapılmış olan deneylerle alakalı genel bilgi	63
Tablo 4.1. Etüvde kurutma metodu çıkan sonuçlar.....	72
Tablo 4.2. Katkısız kilde likit limit deneyi çıkan sonuçlar	73
Tablo 4.3. Plastik limit deney sonuçları	73
Tablo 4.4. Katkısız kilde kompaksiyon.....	75
Tablo 4.5. Katkısız kil ve %1 3mm cam fiber kompaksiyon.....	76
Tablo 4.6. Katkısız kil ve %2 3mm cam fiber kompaksiyon.....	77
Tablo 4.7. Katkısız kil ve %3 3mm cam fiber kompaksiyon.....	78
Tablo 4.8. Katkısız kil ve %1 6mm cam fiber kompaksiyon.....	79
Tablo 4.9. Katkısız kil ve %2 6mm cam fiber kompaksiyon.....	80
Tablo 4.10. Katkısız kil ve %3 6mm cam fiber kompaksiyon.....	81
Tablo 4.11. Katkısız kil ve %1 12mm cam fiber kompaksiyon.....	82
Tablo 4.12. Katkısız kil ve %1 12mm cam fiber kompaksiyon.....	83
Tablo 4.13. Katkısız kil ve %1 12mm cam fiber kompaksiyon.....	84
Tablo 4.14. Katkısız numune serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)	86
Tablo 4.15. Bentonit kil ve %1 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)	88
Tablo 4.16. Bentonit kil ve %1 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (7 günlük)	89
Tablo 4.17. Bentonit kil ve %2 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)	91
Tablo 4.18. Bentonit kil ve %2 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (7 günlük)	92
Tablo 4.19. Bentonit kil ve %3 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)	94
Tablo 4.20. Bentonit kil ve %3 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (7 Günlük)	95
Tablo 4.21. Bentonit kil ve %1 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (Anlık)	97

Tablo 4.22. Bentonit kil ve %2 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)	99
Tablo 4.23. Bentonit kil ve %3 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)	100
Tablo 4.24. Bentonit kil ve %1 12 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)	102
Tablo 4.25. Bentonit kil ve %2 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)	104
Tablo 4.26. Bentonit kil ve %3 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)	106



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	: Şişme yüzdesi
Al ₂ O ₃	: Alüminyum trioksit
B ₂ O ₃	: Bor trioksit
CH	: Yüksek plastisiteli kil
CL	: Düşük plastisiteli kil
d	: Genişlik (cm)
Fe ₂ O ₃	: Demir trioksit
GFRP	: Cam elyaf takviyeli plastik
GPa	: Gigapascal
h	: Yükseklik (cm)
K ₂ O	: Potasyum oksit
KPa	: Kilopascal
Li ₂ O	: Lityum oksit
MPa	: Megapascal
Na ₂ O ₃	: Sodyum oksit
PG	: Fosfojips
ρ _u	: Serbest basınç dayanımı
SiO ₂	: Silisyum dioksit
t	: Kür süresi
UC	: Serbest basınç deneyi
UU	: Konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli hücre kesme deneyi
w	: Su muhtevası (%)
w _{doğal}	: Doğal su muhtevası (%)
w _{opt}	: Optimum su muhtevası (%)
w _L	: Likit limit
w _P	: Plastik limit

Kısaltmalar

CBR	: California Bearing Ratio (Kaliforniya Taşıma Oranı)
LL	: Likit Limit
PI	: Plastisite İndisi
PL	: Plastik Limit
PP	: Polipropilen
TS	: Türk Standardı
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
XRD	: X Ray Difraktometresi (X Işını Kırınımı)

BENTONİT KİLİNİN CAM FİBER İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Dünyada nüfusun artmasıyla insanlar yeni yerleşim yerlerine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu durum problemlili zeminler üzerinde yapıların inşa edilmesini kaçınılmaz kılmıştır. Problemlili zeminleri uygun hale getirebilmek için çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri uygulanmaktadır. Son yıllarda her alanda olduğu gibi geoteknik mühendisliğinde de çevre dostu malzemeler zemin iyileştirmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada da çevre dostu bir malzeme olan basınç dayanımı yüksek E-tipi cam fiber kullanılmıştır. Cam fiberler kum, kaolen, kireç taşı gibi maddelerin belli oranlarda karıştırılarak ve fırında yüksek ateşte pişirilmesi ile elde edilmektedirler. Bu çalışma kapsamında Şişen problemlili bir zemin özelliği gösteren bentonitte cam fiber etkisini araştırmak amacıyla deneysel bir program izlenmiştir. İlk olarak saf bentonitte su muhtevası bulmak, zeminin sınıfını belirlemek ve zeminle alakalı bilgi edinmek adına etüvde kurutma metodu ile su muhtevası bulma, likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Kullanılan zemin Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemine ve Türk Standardına göre yüksek plastisiteli kil (CH) olarak sınıflandırılmıştır. Bu deneyler yapıldıktan sonra hem saf kilde hem de kile 3-6-12 mm uzunluklarındaki cam fiberler her bir uzunluk için saf bentonite %1, %2 ve %3 atılarak homojen bir şekilde dağılması dikkat edilmek şartı ile numuneler hazırlanmış ve proktor enerjisi ile sıkıştırılmıştır. Her bir orandaki su muhtevasını bulunduktan sonra bu su muhtevaları ile her bir oran ve uzunluktaki cam fiberlerden serbest basınç dayanımı için numuneler hazırlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kullanılan cam fiberin tüm boy ve oranlarda kilin serbest basınç dayanımını arttırdığı görülmüştür. Değişen ve gelişen dünyada diğer zemin iyileştirme yöntemlerine ve diğer fiberlere alternatif olabileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bentonit, Cam Fiber, Serbest Basınç Deneyi, Zemin İyileştirme.

IMPROVEMENT OF BENTONITE CLAY WITH GLASS FIBER

ABSTRACT

In this study, E-type glass fiber with high compressive strength, an environmentally friendly material, was used. Glass fibers are produced by mixing materials such as sand, kaolin, limestone in certain proportions and cooking in the oven over high heat. In this study, an experimental program was followed to investigate the effect of glass fiber in bentonite. Firstly, in order to find water content in pure bentonite, determine the class of the ground and obtain information about the ground, water content finding, liquid limit and plastic limit experiments were carried out with drying method in the oven. The floor used is classified as high plasticity clay (CH) according to the Unified Ground Classification System and Turkish Standard. After these experiments were done, samples were prepared and compressed with proctor energy provided that the glass fibers of 3-6-12 mm lengths in both pure clay and clay were distributed homogeneously for each length by discarding 1%, 2% and 3%. The aim of this experiment is to find the optimum water content in glass fibers of different lengths and ratios. Samples were prepared for free pressure resistance from glass fibers of each ratio and length with these water contents. As a result of the experiments, it has been observed that the glass fiber used increases the free compressive strength of the clay in all sizes and proportions. It has been revealed that it can be an alternative to other soil improvement methods and other fibers in a changing and developing world.

Keywords: Bentonit Clay, Glass Fiber, Free Pressure Test, Ground Improvement.

GİRİŞ

Zemin iyileştirme tekniklerine, yapıların statik yükleri altında istenen performansı gösteremediği anlaşılan zeminlerde de sık sık ihtiyaç duyulmaktadır. Beliren problemler ve bunlardan kaynaklanan zararlar zayıf zemin koşullarında gerçekleştiğinden, başlangıç veya referans noktası arazinin, zemin ve yeraltı suyu koşullarının genel bir değerlendirmesi olmalıdır. Tasarım ve projenin gereksinimleri kısmen iyi zemin koşullarında da iyileştirme işleri yapılmasına yol açabilir. İyileştirme gerektiren zayıf ve problemlili zemin koşullarının ve iyileştirme yapılmasını öngören tasarım ve yapım gereksinimlerinin incelenmesinden sonra uygulanabilecek teknikler değerlendirilmelidir [1].

Bu teknikler uygulanırken değişik malzemelere gereksinim duyulmaktadır. Günümüz dünyasında kireç, uçucu kül ve metal cüruf gibi malzemeler zemin iyileştirmesi için kullanılırken geotekstil, geogrid, geonet, geocell, geomembran ve son zamanlarda polipropilen, polyester ve kopolimer gibi polimerler ve fiberler de katkılı-donatılı yöntemler olarak geoteknik mühendisliğinin ilgi alanına girmiştir.

Zemin iyileştirmede kullanılan bu malzemelerle birlikte gelişen teknoloji, insanların merak duygusu ve çevreye olan bilinç ile birlikte doğal ve yapay lifler değişik alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Plastik alt yapısı ile üretilen polipropilen, polietilen gibi lifler günümüzde beton dayanımını arttırmak için kullanılmaktadır. Cam fiberlerde yine beton dayanımını arttırmak için uzun yıllardır beton içerisinde kullanılmaktadır fakat cam fiberlerin zemin iyileştirilmesinde kullanılması henüz araştırma kapsamında olup bununla birlikte çalışma sayısı da bu alanda oldukça azdır.

Bu tez çalışma kapsamında bentonit gibi şişme kapasitesi yüksek ve basınç dayanımı düşük olan killerin içerisine cam fiber katılarak basınç dayanımlarının yükseltilmesi ve üzerine yük alabilir duruma getirilmesi amaçlanmıştır. Bu tez deneysel bir çalışma olup deneysel çalışmalar ise Kocaeli üniversitesi Geoteknik Laboratuvarı'nda yürütülmüştür. Çalışmada ilk olarak saf bentonit üzerinde zeminin fiziksel özelliklerini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Sonrasında ise saf bentonit ve bentonit içine cam

fiberler katılarak belli oran ve uzunluklarda optimum su muhtevaları bulunmuştur. Sonra ise her bir optimum su muhtevalarında hazırlanan 3-6-12 mm uzunluklarındaki cam fiberler bentonit içine ayrı ayrı %1 %2 ve %3 oranlarında atılarak ve her birinden 6 numune olmak üzere toplam 72 numune serbest basınç deneyine tabii tutulmuştur. Bu şekilde tezinde amacı olan serbest basınç değerlerine cam fiberli ve cam fibersiz olarak ulaşılmıştır.



1. ZEMİN İYİLEŞTİRME

Yeni bir yapı yapılması halinde veya mevcut bir yapının güçlendirilmesinde üst yapı projelendirilmesi, uygulanması iyi bir şekilde yapılmış olabilir. Fakat bu durum yaptığımız yapının gerçekten sağlam olduğuna, uzun süre hizmet edeceğine kanıt oluşturmaz. Yapımızı yaparken her zaman sağlam bir zeminle karşılaşmayız. Zeminin istediğimiz şartlarda olmadığı hallerde zemin istenilen koşullara getirilmelidir. Zemine, güvenli bir üst yapı için değişik yöntemler uygulanarak taşıyabilir bir başka ifade ile uygun hale getirilir. Bu yapılan uygulamaların bütününe zemin iyileştirme denmektedir.

Zemin iyileştirme yöntemleri ile zeminin parametrelerinde birtakım değişiklikler olur. Bu değişiklikleri şöyle sıralanabilir [1];

Zemin iyileştirme ile zeminin;

- Kayma mukavemeti artar,
- Deformasyon modülü artar,
- Geçirimsizliği azalar,
- Sıvılaşma potansiyeli azalar,

Her alanda olduğu gibi bu alanda da teknolojinin gelişimi ile beraber değişik yöntemler bulunmuş ve uygulanmıştır.

1.1. Zemin İyileştirme Yöntemleri

Zemin içerisindeki boşlukların azaltılması, yeraltı su seviyesinin düşürülmesi, zeminin boşluklarının çeşitli karışımlarla doldurulması ya da zeminin çeşitli elemanlar kullanılması ile güçlendirilmesi zemin iyileştirme yöntemlerinde temel amaçtır.

Zemin iyileştirme yöntemleri kullanılan ekipmana, malzemeye ve uygulama derinliğine göre sınıflandırılmaktadırlar.

Japan International Cooperation Agency (JICA, 1994) iyileştirme yönteminin uygulanabileceği zemin türüne göre yaptığı sınıflandırma aşağıdaki gibidir:

Kil zeminler için;

- Zemini değiştirme
- Ön yükleme
- Kum dren
- Vakum yöntemi
- Osmatik basınç
- Sönmemiş kireç kazık
- Derin karıştırma yöntemi
- Kum sıkıştırma kazık yöntemi
- Isı uygulaması
- Elektro kimyasal enjeksiyon

Kum Zeminler İçin;

- Kompaksiyon kazığı
- Kum sıkıştırma kazığı
- Vibroflasyon
- Patlatarak sıkıştırma
- Elektrik dalgaları ile sıkıştırma
- Taş kolon
- Enjeksiyon

Geçici Amaçlar için;

- Well point
- Dondurma
- Elektro ozmoz

Diğer Yöntemler

- Kum serme
- Ağ serme

- Dinamik konsolidasyon
- Diğer; sandviç metodu, topaklanma, kapiler kuruma, kimyasal işlemler

Bir başka sınıflandırma yöntemi ise uygulama derinliğine göre sınıflandırma yöntemidir.

1.1.1. Derin zemin iyileştirme yöntemleri

Teknolojinin gelişimi ile zemin iyileştirme yöntemlerine de her geçen gün yenileri eklenmiştir. Derin zemin iyileştirme yöntemleri şu şekilde sıralanabilir;

- Ön yükleme
- Kum dren
- Dinamik kompaksiyon
- Vibro kompaksiyon
- Kompaksiyon kazıkları
- Taş kolonlar
- Enjeksiyon teknikleri
- Jet grout
- Derin karıştırma vb.

1.1.2. Yüzeysel zemin iyileştirme yöntemleri

Kara yolu, demiryolu ya da yapı yükünün fazla olmadığı bazı yapılarda ekonomik ve hızlı olması açısından yüzeysel zemin iyileştirme yöntemleri kullanılabilir.

Derin zemin iyileştirme yönteminin ek maliyetler getireceği durumlarda yapılan hesaplar sonucu yüzeysel zemin iyileştirme yöntemlerinin daha hızlı, ekonomik ve uygulanabilirliğinin daha iyi olabileceği yapılan araştırmalar sonucu görülmüştür.

Yüzeysel zemin iyileştirme yöntemleri şu şekilde sıralanabilir;

- Kompaksiyon
- Kireç ile iyileştirme
- Kireç-uçucu kül ile iyileştirme
- Çimento ile iyileştirme
- Bitümlerle iyileştirme

- Fiberler ile iyileştirme

Kireç, uçucu kül, çimento gibi malzemelerin kimyasal reaksiyonların yararlanıp zeminlerin bazı parametrelerini iyileştirip zemini daha güvenli hale getirebilmekteyiz.

Fiberlerde ise malzemenin fiziksel özelliklerinden yararlanılıp zemin taşıyabilir hale getirilebilir.

1.1.2.1. Kompaksiyon

Önceden hesaplamaları yapılmış bir yükseklikten ağır bir kütlenin zemine düşürülmesi sonucu problemlili gevşek zeminlerin sıkıştırılması prensibi ile çalışan bir zemin iyileştirme metodu olarak tanımlanabilir. Ağırlık ve düşürme yüksekliği birbirinden bağımsız değişkenler değildir. Aralarında lineer bir bağıntı oluşmaktadır. Bu metot literatürde kayıtlı olarak ilk kez Menard ve Broise (1975) tarafından gerçekleştirilmiş olup doygun veya neredeyse doygun zeminlerin ani bir darbe ile sıkıştırılmasını sağlayıp kesme deformasyonu, geçici yüksek boşluk suyu basıncı ve buna müteakip konsolidasyonu arttırmaktır. Doygun, gevşek, iri daneli zeminlerin sıkıştırılmasında taşıma gücünü arttırdığı ve bu metot ile sıkıştırılması kumlu zeminlerin sıvılaşmaya karşı daha dayanıklı olduğu depremler esnasında tespit edilmiştir [2].

Metot ağır yüklerin belirli bir yükseklikten zeminin yüzeyine düşürülmesi ve zeminin sıkıştırılması esasına dayanır.

Uygulama aşamaları şu şekildedir;

- 5 ile 30 tonluk bir tokmak bir vinç üzerinden 10 ile 40 m yükseklikten (Şekil 1.1) ıslah edilecek zemin üzerine defalarca düşürülmek suretiyle kompaksiyon yapılmaktadır.
- Bu işlem bir veya daha fazla pas geçilerek tüm alana belli aralıklarla düşme yükü uygulanır.
- Ağırlık, genellikle betonarme dikdörtgen bir blok olup, dışı kalın sac ile kaplıdır.
- Uygulamada birkaç metre aralıklı noktalarda tokmaktama ortalama 2-3 vuruş/m² kılavuzuyla yapılır
- Her geçiş arası boşluk suyu basınçlarının sönümüne izin verecek kadar zaman bırakılmalıdır.

Her pastan sonra oluşan çukurlar ya dozer ile düzeltilmekte ya da içleri granüler malzeme ile doldurulmaktadır. Daha sonraki pasta tekrar sıkıştırılıp işleme devam edilmektedir.



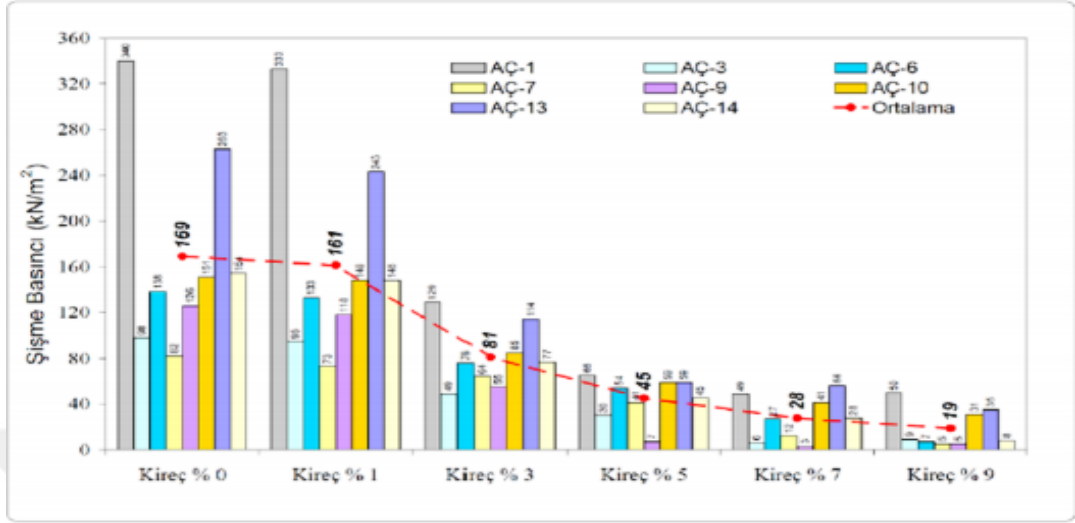
Şekil 1.1. Kompaksiyon uygulamasında ağırlık düşürme

1.1.2.2. Kireç ile iyileştirme

Killi zeminlere kireç atıldığı takdirde çeşitli reaksiyonlar gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonlardan bazıları ilk saatlerde başlamaktadır. Özellikle puzolanik reaksiyonlar zaman içinde oluşmaktadır. Uygun su muhtevasında ve sıcaklıkta yıllarca devam edebilmektedir. Katyon değişimi reaksiyonu sonucunda, çökeltme-yığışma ile kil parçacıkları birbirlerine yönelerek, kil mineralleri ile kireç arasında oluşan adezyon (yapışma) sayesinde kilin mikro yapısı değişerek ve daha büyük parçacıklar oluşturarak killi zeminlerin yapısında bir değişiklik meydana gelir. Böylece, zemin kil özelliğini kaybederek silt gibi davranmaya başlar ve sertleşerek plastik kıvamdan katı kıvama geçer. Bu durum, kireç ilavesi ile kalsiyum iyonu almış olan kilin çevresi kireç ile sarıldığı için suyu emme ve şişme özelliğini kaybettiği şeklinde açıklanmaktadır. Bu sayede zemine katılan kireç, zeminin mukavemetini ve elastisite modülünü arttırarak dayanıklılığının artmasını sağlamaktadır [3].

Killi zeminlere kirecin bir diğer etkisi ise şişme problemlerine engel olmasıdır. Bu konuda birçok çalışma yapılmıştır. Hafif yapılar için risk oluşturabilecek, şişme potansiyeli yüksek olarak belirlenen “CH” killere ağırlıkça farklı oranlarda (%1, %3, %5, %7, %9) sönmüş kireç maddesi katılarak şişme basıncı ve şişme yüzdelerindeki değişim incelenmiştir. Tüm deney numuneleri için ağırlıkça kireç katkı oranının %5

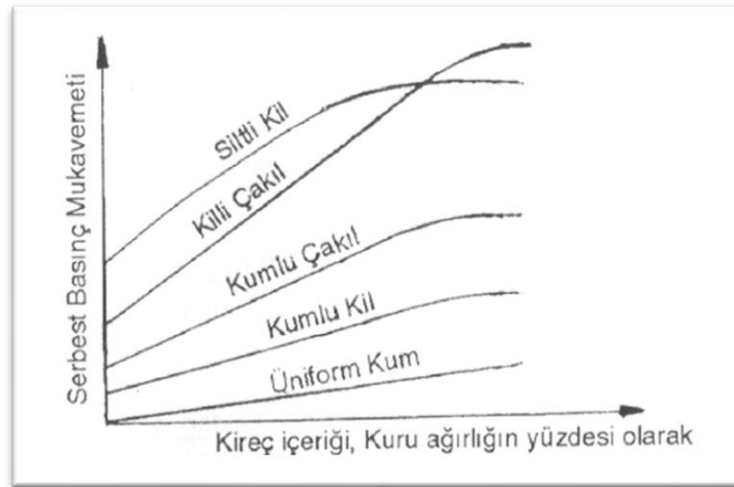
olduğu durumlarda şişme yüzdesinin ve şişme basıncının sırası ile ortalama yaklaşık %91 ve %73 oranlarında azaldığı belirlenmiştir [4].



Şekil 1.2. Farklı numune ve kireç yüzdeleri için şişme basıncı ve ortalama şişme basıncı değerleri [4]

Ayrıca yapılan çeşitli çalışmalarda kirecin zeminin serbest basınç dayanımını arttırdığı deneyler ile gözlenmiştir.

Zemin cinsine göre serbest basınç mukavemeti-kireç içeriği arasındaki ilişki Şekil 1.3'de görülmektedir. Buradan da görüleceği gibi çimento stabilizasyonu granüller zeminlerde en iyi sonucu vermektedir. Ayrıca bu tip zeminlerde çimento stabilizasyonu ile mukavemet artışı çimento miktarı kadar zemin sıkıştırma miktarına ve yeterli kür edilmesine bağlıdır [5].



Şekil 1.3. Kireç içeriğinin çeşitli zeminlerdeki etkisi [5]

1.1.2.3. Kireç-uçucu kül ile iyileştirme

Ülkemiz termik santraller bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Termik santrallerin artık maddesi olan ülkemizde de bol miktarda elde edilen uçucu küller çok değerli olmasına rağmen henüz geniş kullanma sahası bulamamıştır. Uçucu küllerin kireç ile birlikte zemin iyileştirmesinde kullanılması oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Bu gibi puzolonlar kireç ile birleştiği zaman kimyasal reaksiyonla beraber çimentolaşma olacaktır. Bununla beraber zeminin mukavemetinde hızla artış meydana gelecektir [6].

1.1.2.4. Çimento ile iyileştirme

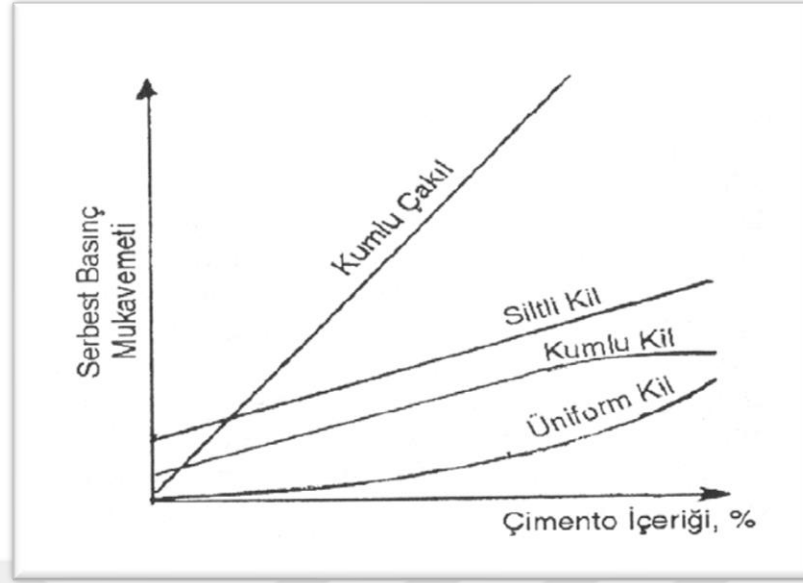
Yol, tünel ve üst yapı inşaatlarında çimento karışımlarının kullanımı oldukça yaygın metottur. Çimento kullanımı ile temel altı malzemesinin taşıma gücünü artırırız. Çimento daha değişik alanlarda da kullanılmaktadır. Bu alanları şu şekilde sıralayabiliriz;

- Derin stabilizasyon sağlamak
- Kazıklarda oluşan negatif yüzey sürtünmesini sağlamak
- Patlatma ve kazık çakma sırasında oluşan titreşimleri azaltmak [7].

Çimentoya uygun zeminler;

Granüler zeminler içerisinde iyi derecelenmiş olanları, plastisitesi düşük killer çimento stabilizasyonunda en uygun zeminlerdir. Kalsiyum mineralini bol miktarda bulunduran zeminler kireç stabilizasyonunda en uygun kil tipleridir. Doğada yaygın hallerde bulunan killerde hidrojen miktarı fazladır bu da kireç stabilizasyonu için uygun bir durumdur. Tüm bunlarla birlikte görüyoruz ki kullanılacak zeminin seçimi iyi yapılmalıdır [7].

Çimento ile birlikte proje maliyetlerinde büyük tasarruf sağlanır. Yapacağımız yapının temel altında mukavemet artışı sağlar. Zeminin önemli bir parametresi olan serbest basınç mukavemetinde artış sağlar. (Şekil 1.4)



Şekil 1.4. Çimento stabilizasyon mukavemeti ile çimento içeriği ilişkisi [5]

1.1.2.5. Bitüm ile zemin iyileştirme

Bitüm ile iyileştirme günümüzde en çok asfalt yapımında kullanılmaktadır. Burada amaç zemini suyun zararlı etkilerinden korumaktır. Bunu da daneleri bitüm ile birleştirerek yapmaktadır. Danelerin yüzeyini kaplayan asfalt ince daneli zeminlerin sudan yumuşamasını önlemektedir. Bu anlatılan asfalt stabilizasyonu en çok karayollarında kullanılmaktadır [8].

Yol kaplamalarının servis ömrünü ve performansını düşüren erken bozulmalar üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Kaplamaların öngörülen süreden daha erken bozulmalarının en büyük sebeplerinden biri de bitümlü kaplamalardaki suya bağlı bozulmalardır. Bu yüzdendir ki doğru bir bitüm uygulaması ile suyun zemine geçmesini engelleyebilir ve bu şekilde arabaların sağlıklı bir şekilde seyahat etmesi sağlanabilir [8].

Bitüm ile iyileştirmede; Kıırma taş, çakıl, kum gibi daneli zeminler, sıcak sıvı bitümlü madde katılıp karıştırılarak, serilerek kompaksiyon uygulanır. Bitümlü maddelerin burada ki ana amacı daneli malzemeleri birbirine bağlamak veya bir arada durmasını sağlamaktır. Bu etkiler ile birlikte asfaltın dayanıklılığı da artacaktır [9].

Asfalt dayanıklılığı genel olarak;

- Asfalt oranının artması
- Sert asfalt
- Yüksek soyulma direnci
- İyi sıkışma ile

artış gösterecektir [10].

1.1.2.6. Fiber ile zemin iyileştirme

İnşaat mühendisliği uygulamalarında genellikle sahada karşılaşılan zeminler yapı yapılmasına uygun olmayan zeminlerdir. Sahadaki zeminler sıvılaşabilir, düşük dayanım veya yüksek geçirgenlik özelliklerine sahip olabilir. Bu gibi durumlarda değişik zemin iyileştirme yöntemleri kullanılıp zeminin parametreleri istediğimiz düzeye gelebilir. Fakat bu uygulamaları yaparken güvenilirliğinin yanında ekonomik ve çevreye minimum düzeyde zarar veren uygulamalar günümüzün tercih sebeplerindedir. Hızla nüfus artışı, köyden kente göçler kentlerdeki zemini uygun olmayan yerlerinde yerleşime açılmasını zorunlu kılmıştır. Bu gibi durumlarda da zeminlerin iyileştirme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Zeminin belli özelliklerinin, değişik kimyasal, fiziksel veya biyolojik yöntemler kullanılarak uygun hale güvenilir hale getirilmesi olarak tanımlanan zemin iyileştirilmesi; mukavemetinin artırılması, şişme büzülme potansiyelinin azaltılması, deprem yükleri altında sıvılaşmanın önlenmesi gibi problemlerin çözülmesini kapsamaktadır [11].

Bu kapsamda fiber ile zemin iyileştirmesi mekanik iyileştirmeye örnek olabilmektedir.

Doğal ve yapay fiberler;

Fiberler herhangi bir insan müdahalesi olmadan doğada hazır bulunanlar doğal fiberler veya insanların belli katkı malzemeleri ile kendi ürettikleri olan yapay fiberler olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır [12].

Doğal fiberler ve yapay fiberlerin elde edildikleri malzemeler örnekleri ile birlikte Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1. Fiber çeşitleri [12]

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

Tabii bu malzemeler kullanılırken değişik tipik özellikleri de ortaya konmuştur. Bu özellikler dikkate alınarak projelerde kullanılmaktadır. Bu özellikler Tablo 1.2’de gösterilmiştir.

Tablo 1.2. Değişik fiber çeşitlerine ait tipik özellikler [13]

Lif Türü	Özgül ağırlık	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	0,15-0,4	690	10
Polipropilen	0,9	3,5	552-759	25
Karbon	1,9	290-380	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	0,5-3,5
Bazalt Lif	2,8	89	4840	3,15

Doğal fiberler;

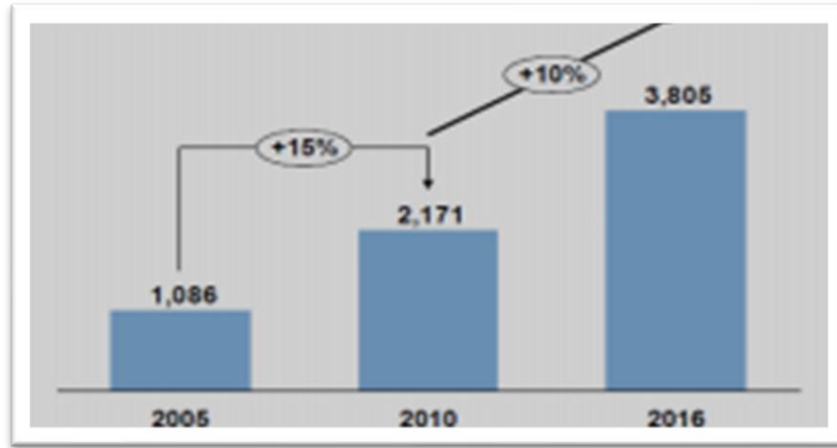
Kompozit malzemede en çok kullanılan doğal lifler sisal, hint keneviri, hindistan cevizi, şeker kamışı ve muzdur. Pamuk, keten, sisal ve hindistan cevizi lifi, kenaf ve kenevirden elde edilen selüloz esaslı bitki lifleri polimer kompozitlere katıldığında sentetik liflere göre daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Selüloz lifleri toksik

olmayıp, biyolojik olarak parçalanabilen, geri dönüşebilir bir malzemedir. Genellikle yüksek oranlarda kullanıldıklarında düşük yoğunluklu kompozit üretimine imkân sağladıkları, yüksek sağlamlık ve sertlik performansı verdikleri bilinmektedir. Üstelik doğal lifler esnek olup bu özelliği sayesinde proses sırasında kırılmaya karşı daha dirençlidir [14].

Bu nedenle doğal lifler inşaat mühendisliğinde birçok araştırmacının dikkatini çekmektedir. Araştırmacılar bu alanda birçok çalışma yapmışlardır.

Yine aynı şekilde otomobil endüstrisinde de doğal fiberler yoğun ilgi görmektedirler. Bu malzemelerle birlikte istenen düşük yoğunluğun yanı sıra mekanik ve termal özelliklerde elde edilmektedir.

Dünya doğal lif pazarlama sektörü 2010'da 2,1 milyar dolar olup son 5 yılda artış gözlenmiştir. Doğal lifler en çok yapı ve otomotiv sektöründen ilgi görmektedir. Kuzey Amerika, doğal lif kullanımında ilk sırada gelmektedir. Doğal lifler özellikle petrol fiyatlarındaki artış ile birlikte her geçen yıl daha çok kullanılmaktadır. Doğal liflerin yıllara göre kullanımı Şekil 1.5'te verilmiştir. Aslında bu grafik anlatılanları özetler niteliktedir [15].



Şekil 1.5. Doğal liflerin yıllara göre potansiyel pazar payı [16]

Doğal fiberlerin avantajları ve dezavantajları;

Düşük yoğunluk, yüksek özgül dayanıklılığı, düşük fiyat, çevre dostu, aşınmaya dayanıklı, yenilenebilirlik, kolay şekil verilebilirlik, iyi termal ve akustik yalıtım özellikleri ve geri kazanabilir olması gibi birçok avantajları vardır.

Doğal fiberlerin sentetik fiberlere oranla liflendirilebilmesi daha kolay ve daha az çevresel sorunlara neden olur. Ayrıca sentetik fiberlere oranla enerji gereksinimi daha azdır [17].

Doğal fiberlerin nemden çabuk etkilenmesi polimer takviyesi olarak kullanılmasını kısıtlamaktadır [18].

Yapay fiberler;

Doğal fiberlerin dezavantajları ile birlikte inşaat mühendisliğinde yapay fiberler önem kazanmıştır. Yapay fiberler şu şekilde sınıflandırılabilir [19];

- Cam lifler
- Polimer lifler
- Akrilik lifler
- Aramid lifler
- Naylon lifler
- Polyester lifler (PT)
- Polietilen lifler
- Polipropilen lifler

Cam lifleri kolay temin edilebilirliği ekonomik oluşu ile son yıllarda özellikle beton üretime ve boruların üretiminde kullanılmaktadır. Fakat betonun yapısını bozduğu için her çeşit cam lifleri betonda kullanılmaz. Cam lif üretiminde kullanılan bazı cam tipleri ve özellikleri Tablo 1.3 de verilmiştir [12].

Tablo 1.3. Bazı cam liflerin tipik özellikleri [12]

Cam Lif Tipi	Çekme Dayanımı (Gpa)	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Elastisite Modülü (Gpa)
E	1,7-3,5	2,54	69-72
S	2,0-4,5	2,48	85
C	1,7-2,8	2,48	70
Cam Lif	-	2,70	80

Son yıllarda petrol kaynaklı ürünlerin üretimi artmıştır. Bu durum şüphesiz inşaat sektörüne de yansımıştır. Petrol esaslı olan polimer liflerin üretimi hızla artmaktadır. Tabi burada doğal liflerin olumsuz yanları da büyük etken olmuştur. Yapılan araştırma

ve üretimlerde görülmüştür ki polimer esaslı lifler düşük elastisite modülüne sahiptirler [19].

Polimer liflerin fiziksel özellikleri Tablo 1.4 de görülmektedir.

Tablo 1.4. Polimer liflerin özellikleri [12]

Lif Tipi	Etkili Çap (10^{-3} mm)	Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	Nihai Uzama (%)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
Akrilik	13-104	1,17	7,5-50	207-1000	14,6-196
Aramid I	12	1,44	4,4	3620	62
Aramid II	10	1,44	2,5	3620	117
Naylon	-	1,16	20	965	5,17
Polyester	-	1,34-1,39	-	896-1100	17,5
Polietilen	25-1020	0,96	3	200-300	5,0
Polipropilen	-	0,90-0,91	15	310-760	3,5-4,9

1.2. Katkı Malzemeleri İle Zemin İyileştirme Çalışmalarına Örnekler

Gündüz ve Okur (2008) yaptıkları çalışmada Eskişehir Osmangazi Üniversitesi kampus alanında yer alan yüksek şişme potansiyeline sahip Meşelik killerin Tinkal atığı ile stabilizasyonu araştırılmışlardır. Tinkal cevherinin Türkiye'deki en büyük rezervi Eskişehir Kırka'da bulunduğunu ve Türkiye ekonomisi için önemli olan Tinkal bir sodyum borat bileşiği olduğunu ifade etmektedirler. Araştırmalarında Tinkal atığı-şişme yüzdesi, Tinkal atığı-serbest basınç değerlerinin zamanla değişimini incelemişlerdir. Deney sonuçlarında, Tinkal atığının killerin şişme potansiyelinin kontrolünde başarı ile kullanılamayacağı, tasıma gücüne de katkısının olmadığını belirlemişlerdir. Bu aşamada Tinkal atığının bünyesinde bulunan kil mineralleri bulunması ve dolomitin kil mineralleriyle herhangi bir reaksiyon vermemesi sonucunu elde etmişlerdir [20].

Kılıç ve Özaydın (2008) çalışmalarında laboratuvarında farklı oranlarda çimento karıştırarak hazırlamış oldukları bazı kil zemin örnekleri üzerinde, serbest basınç ve üç eksenli basınç deneyleri yaparak, çimento stabilizasyonunun bu zeminlerde etkinliğini belirlemeye çalışmışlardır. Çimento katkısının killerin mukavemetinde yol

açacağı artışı incelemek amacı ile West Ashling, Hamble ve Emsworth bölgelerinden alınan kil numunelerine farklı oranlarda çimento katarak, çimento ile stabilizasyonun killin mukavemetine olan etkisini araştırmışlardır. Çimento katkısının kilin mukavemetine etkisini araştırmak için %6, %10 ve %15 çimento katkılı numunelerde ve üç eksenli basınç deneyleri %20 ve %25 çimento katkılı numunelerde ise 7. 14. ve 28. günlerde serbest basınç deneyleri uygulamışlardır. Yapılan deneyler sonucunda farklı çimento miktarları (%6, %10, %15, %20 ve %25) eklenerek hazırlanmış West Ashling, Emsworth ve Hamble killerinden elde edilen numunelerde çimento ile yapılan iyileştirmenin mukavemeti artırdığını gözlemlemişlerdir [21].

Çakılcıoğlu ve Gündüz (2007) çalışmalarını bentonit kiline %10 kireç, %5-10-15-20-25 oranlarında uçucu kül ve zeolit ilave edilerek yapmışlardır. Numuneleri homojen olarak karıştırdıktan sonra özgül ağırlık, kıvam limitleri, hidrometre, kuru elek ve kompaksiyon deneyleri uygulamışlardır. Kompaksiyon deneyinden buldukları optimum su muhtevası oranında tekrar numuneler hazırlayıp gününde, 7 günlük ve 28 günlük kürde bırakmışlardır. Bentonit kiline ilave edilen her katkının mukavemeti arttırdığını gözlemlemişlerdir. Kürde bekletilen numunelerde en yüksek mukavemeti %100 Kil + %10 Kireç + %5 Zeolit + %5 Uçucu Külün gösterdiğini gözlemlemişlerdir. CH sınıfı killi zeminlerde kireç, zeolit ve uçucu külün stabilizasyonda alternatif çözüm olarak kullanılabileceği belirtmişlerdir [22].

Başer ve Çokça (2009) çalışmalarında şişen zeminlerin stabilizasyonu için mermer endüstrisinin atıkları olan kireçtaşı tozu atığı ve dolomittik mermer tozu atığı kullanmışlardır. Şişen zemini laboratuvarında kaolin ve bentonit kullanılarak hazırlamışlardır. Kireçtaşı tozu atığı ve dolomittik mermer tozu atığı şişen zemine önceden belirlenmiş %0 - %30 arasında değişen oranlarda eklemiştir. Numuneler üzerinde dane dağılımı, kıvam limitleri, kimyasal ve mineralojik bileşim, şişme yüzdesi ve şişme hızı deneyleri yapmışlardır. Katkı yüzdesinin artmasıyla şişme yüzdesinin düştüğünü ve şişme hızının arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, kürün şişme üzerindeki etkisini görebilmek için şişme deneylerinden önce numunelere 7 günlük ve 28 günlük kür uygulamışlardır. Kürün numunelerin şişme yüzdesini düşürdüğünü ve şişme hızının artmasına olumlu yönde katkı sağladığını görmüşlerdir [23].

Gümüşer ve şenol (2009) yaptıkları çalışmada Kangal Termik Santrali Uçucu külünün ve elyaflarının zayıf zeminlerin iyileştirilmesine yönelik etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla şebinkarahisar – Suşehri yolu üzerindeki yarma şevinden alınan killi zemine uçucu kül ve polifiber ile karıştırarak numuneler hazırlamışlardır. Hazırlanan bu numuneleri 1–7–14 gün kürde beklettikten sonra CBR, tek eksenli basınc ve üç eksenli basınc testlerine tabii tutmuşlar ve bu şekilde de fiziko mekanik özelliklerini tespit etmişlerdir. Uçucu kül ve polifiber eklenerek hazırlanan bu yapay zemin örneklerinin tümünün cbr, kohezyon, içsel sürtünme açısı, serbest basınc dayanımı ve deviatör gerilme değerlerinde donatısız duruma göre artışlar olduğunu gözlemişlerdir [24].

Demirbaş ve çokça (2009) Bigadiç zeolidinin (bor yanrn) şişme potansiyeline etkisini incelemişlerdir. Kullanılan şişen zemin numunesini laboratuvarıda kaolin ve bentonit karıştırarak hazırlamışlardır. Bigadiç Zeolidi (bor yanrn) ağırlıkça %0 ile %25 oranında katmışlardır. Örneklerin dane çapı dağılımını, kıvam limitlerini, şişme yüzdelerini ve şişme hızını tespit etmişlerdir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda, Bigadiç zeolitine (bor yanrn) eklenmesinin laboratuvar ortamında yapay olarak hazırlanmış şişen zeminin şişme potansiyelini ve şişme hızını düşürdüğünü görmüşlerdir. Ayrıca stabilize edilen numunelerin şişme yüzdeleri ve şişme hızları krden olumlu etkilenmiştir [25].

şengül ve Akpınar (2010) alışmalarında yüksek su muhtevalı killi yol taban zeminlerinin kireç stabilizeasyonunu ve hücresel dolgu teknikleriyle iyileştirilmesini ve bu iki farklı iyileştirme yönteminin karışlaştırılmasını yapmışlardır. Bu doğrultuda, optimum su muhtevalısını %20 arttırarak yüksek su muhtevalı hale getirmişler killi zemine %5, %10, %15 oranlarında kireç karıştırarak CBR deneyleri yapmışlardır.

Yapılan CBR deneyleri sonucunda doğal durumda CBR değeri %0,2 iken %15 kireçle stabilize edildikten sonra %7'lere yükseldiği grlmştir. Yine aynı şekilde yüksek su muhtevalı zeminde %5, %10, %15 oranlarında kireçle, hücresel dolguyla değişik oranlarda kireç ve hücresel dolgu teknikleri ile iyileştirerek plaka yükleme deneyleri yapmışlardır.

Kireç stabilizeasyonu veya hücresel dolgu güçlendirme tekniklerinin tek başlarına oturmaları ve düşey gerilmeleri belirgin bir şekilde azaltmadığını, yatak katsayısının ve taşıma kapasitesinin istenilen seviyede artmadığını görmüşlerdir. Bu nedenle her

iki iyileştirme yönteminin de yüksek su muhtevalı zeminlerde tek başlarına yeterli performansı sağlamayacağı anlaşılmıştır. Yüksek su muhtevalı killi yol taban zeminlerinin önce kireçle stabilize edilip sonra da hücresel dolgu sistemi ile güçlendirilmesi durumunda yatak katsayısı ve taşıma kapasitesinde istenilen artış ile oturmanın, düşey gerilmelerinin ve dolgu kalınlığında istenilen azalmaların olduğu görüşüne varılmıştır. Kireç ve hücresel dolgu sistemi ile iyileştirmenin yüksek su muhtevalı killi yol taban zeminlerinde olumlu sonuçlar verebileceği anlaşılmıştır [26].

Kızılcıçek ve Kavak (2010) yılındaki çalışmalarında Kocaeli ilindeki Uzunçiftlik mevkiinden alınan yüksek plastisiteli ve yüksek su muhtevalısına sahip killi zeminin kireç ile stabilizasyonunu incelemişlerdir. Çalışmalarında öncelikle kil numuneler üzerinde Atterberg limitleri, elek analizi ve kompaksiyon deneylerini yapmışlardır. Sonrasında uygun kireç karışım oranını bularak karışım ve karışım dış serbest basınç deneylerini yapmışlardır. Ayrıca deneylerinde katkı malzemesi olarak doğal su muhtevalısında hem sönmüş hem de sönmemiş kireç kullanmışlardır ve sonuçları optimum su muhtevalısında %5 kireçli durum ve doğal durumda bulunan mukavemetler ile karşılaştırmışlardır. Bu deneyler sonucunda 28 gün kür edilen kireç katkılı numunelerin serbest basınç mukavemetlerinde 120 kPa'dan 1,730 kPa'a varan artışları gözlemlemişlerdir. Yapılan yaş CBR deneylerinde ise CBR değeri %4'ten %23'e kadar arttığı kaydedilmiştir. Ayrıca deneylerde kireç katkılı numunelerdeki boy kısalma oranı %15'ten %1,5'e azalmıştır. Sönmüş ve sönmemiş kireç ile yapılan deneylerin birbirine yakın sonuçları ortaya koyduğu görülmüştür. Çalışmalarındaki sonuca göre artan mukavemet artışları ve deformasyonlardaki azalma sayesinde yol alt yapısında kullanılabilir olan kireç karışımının yol kesitlerinde küçülmeye ve buna bağlı olarak da maliyetlerde azalmaya olanak verebileceği kanısına varılmıştır [27].

Günaydın ve Şenol (2011) çalışmalarında Antalya Ferrokrom Tesisi Silis Dumanı ile Fosfojipsin iyi derecelenmiş granüler malzemeler üzerindeki zemin iyileştirilmesine yönelik etkilerini araştırılmışlardır. Bu amaç doğrultusunda Ordu-Mesudiye Dere yolu Çatalkaya mevkiinde bulunan bazalt taş ocağından konkasör tesisinde üretilmiş 0-25 mm ocak taşından kırılmış ve elenmiş yol temel malzemesine değişik oranlarda silis dumanı ve fosfojips karıştırarak numuneler hazırlamışlardır. Hazırlanan bu numuneleri CBR, tek eksenli basınç ve kompaksiyon testlerine tabii tutarak fiziko mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Silis dumanı ve fosfojips eklenerek hazırlanan bu yapay

örneklerin tümünün cbr, serbest basınç dayanımı, optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıklarındaki değişimleri hesaplamışlardır [28].

Çetin ve Şenol (2011) yaptıkları çalışmada İstanbul Eyüp Akpınar bölgesinden alınan yumuşak bir kilin, yüzeysel zemin iyileştirmesi kapsamında, C tipi uçucu kül, eskitilmiş kopolimer ve ağ yapılı polipropilen fiberlerin katkısıyla taşıma gücünün arttırılmasına yönelik bir deneysel çalışma yapmışlardır. Laboratuvar çalışmalarını 2010-2011 yıllarında İstanbul Teknik Üniversitesi, Ord. Prof Dr. Hamdi Peynircioğlu Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirmişlerdir. Araziden elde ettikleri zemin üzerinde gerçekleştirdikleri Granülometri analizi ve Atterberg deneyleri sonucunda zemin sınıflandırması yapmışlar ve yüksek plastisiteli kil olarak belirlemişlerdir. Modifiye edilmiş, minyatür Harvard #2 kompaksiyon aleti ile farklı su muhtevalarında hazırlanmış oldukları numunelerin optimum su muhtevalarını ve maksimum kuru birim hacim ağırlıklarını belirlemişlerdir. 7 günlük kür süresinden sonra numuneler üzerinde serbest basınç deneylerini yapmışlar ve mukavemetleri belirlemişlerdir. Katkısız zemine ek olarak, kuru zemin ağırlığının %5, %10 ve %15' i oranlarında uçucu kül içeren kül-kil karışımlarını, %0,25, %0,50, %0,75 ve %1,00 oranlarında polipropilen-kil karışımlarını ve %0,50, %0,75, %1,00, %1,25 ve %1,50' si oranlarında kopolimer-kil karışımlarını hazırlamışlardır. Hazırlanan bu numuneler ve yapılan deneyler sonucunda, ayrıca yüksek plastisiteli kil ile bu 3 farklı katkı maddesinin farklı oranlardaki birleşimlerini hazırlamışlardır. Deneysel çalışmalarının sonucunda, hazırlanan farklı birleşimlerin, yüksek plastisiteli kilin mukavemetini farklı yüzdelerde arttırdığını saptamışlardır [29].

Özkan ve Çokça (2015) çalışmalarında şişme kapasitesini azaltan fosfojips (PG) etkisini incelemişlerdir. Şişen zeminler, kaolinitin ve bentonitin katılmasıyla laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Fosfojipsin zemine ağırlığının yüzde 5 ile 25'i oranında eklenmiştir. Tane büyüklüğü dağılımı, kıvam limitleri, şişme yüzdesi ve karışımların şişme oranları tespit edilmiştir. Fosfojipsin kullanımı şişme potansiyelini azaltarak performansı arttırdığı görülmüştür. %15 fosfojips'den daha fazla kullanılması şişme potansiyelini etkilemediği görülmüştür. Böylece optimum fosfojips içeriği %15 olarak bulunmuş olup ayrıca, fosfojips kireç ve öğütülmüş granule yüksek fırın cürufu (GGBFS) ile birlikte kullanılmıştır. %15 PG ve %15 GGBFS ilavesi şişme

potansiyelini %43,16'dan %9,16'ya düşürdüğü görülmüştür. PG ve GGBFS içeren numuneler için kür süresi arttıkça, şişme potansiyelinin düştüğü teyit edilmiştir [30].

Karaçoban ve Önal (2018) yaptıkları çalışmada zemin iyileştirme yöntemleri ile beraber tarama malzemelerinin tekrar kullanımının önemi incelemiş ve zemin iyileştirmede kullanılan malzemelerin türleri ve miktarları hakkında literatür taraması yapmışlardır. Çalışmanın deneysel kısmında ise İzmir Körfezi'nden zemin örnekleri alınmış, farklı kimyasal katkı malzemeleri farklı oranlarda eklenerek tarama malzemesinin geoteknik amaçlı muhtemel dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Tarama malzemesini zemin olarak sınıflandırabilmek için elek analizi, hidrometre analizi, kıvam limiti deneylerini yapmışlardır. Ayrıca özgül ağırlık ve organik malzeme tayini deneylerini de gerçekleştirmişlerdir. En uygun karışım yüzdesini belirlemek için sistematik şekilde bağlayıcı karışımlar oluşturup, pH ve kıvam limiti değerlerindeki değişimleri gözlemlemişlerdir. Tarama malzemesinin sıkıştırma özellikleri hakkında bilgi sahibi olabilmek için standart Proktor sıkıştırma deneyini gerçekleştirmişlerdir. Son olarak serbest basınç deneyini yaparak seçilen karışımların mukavemet değerlerini değerlendirmişlerdir. Karışımlarda, daha gerçekçi koşullar oluşturmak adına tuzlu su ile kür etmiş olup ayrıca kısa ve uzun süreli kazanımları görmek için farklı kür sürelerini uygulamışlardır. En yüksek oranda iyileştirmeyi %9 kireç eklenmiş zemin karışımlarında gözlemişlerdir. Maksimum serbest basınç mukavemetini ise 42 günlük kürün sonunda $5,76 \text{ kg/cm}^2$ olarak ölçmüşlerdir [31].

Acar ve Göktepe (2019) yılında yaptıkları çalışmada yüksek plastisiteli killi zeminlerin termik santral atığı uçucu küller ile karıştırılıp, sıkıştırılarak mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine odaklanmışlardır. Bu amaçla, Çatalağzı Termik Santralinden temin edilen atık uçucu kül ile Bartın ili Kutlubey bölgesine ait killi zemin örneklerini kullanmışlardır. Optimum su muhtevalarında sıkıştırılarak hazırlanan uçucu kül-kil karışımlarını 1, 8, 16 ve 32 gün kürde beklettikten sonra üç eksenli basınç deneyi için numuneler hazırlamışlardır. Kür süreleri tamamlanan numuneleri üç eksenli deney aletinde konsolidasyonsuz ve drenajsız deney koşullarında (UU) test etmişlerdir. Çalışmanın deneysel kısmının son aşamasında ise uçucu kül-kil karışımlarını mühendislik davranışının daha iyi belirlenebilmesi amacıyla Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve X-Işını Kırınım (XRD) analizlerini

yapmışlardır. Elde edilen sonuçlardan, killi zeminlere ağırlıkça %5 ila %20 arasında değişik oranlarda uçucu kül katılarak elde edilen karışımların mukavemet değerlerinin önemli oranda arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, belli oranlardan sonra killi zeminlere yapılan uçucu kül katkısının kayma mukavemetini önemli ölçüde etkilemediğini görmüşlerdir [32].

Can ve Şenol (2017) çalışmalarında yüksek plastisiteli bir kilin kireç ile stabilizasyonunu ve kireç ile stabilizasyonda sülfatın etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları zemini İstanbul İli, Avrupa Yakası, Üçüncü Havalimanına yakın bir bölgeden almışlardır. Çalışma kapsamında yapılan deneyleri; kıvam limitleri, kompaksiyon, serbest basınç ve şişme deneyleri şeklinde sıralamışlardır. Ayrıca İstanbul Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda serbest basınç ve şişme deneyleri yapılan numunelerden bazılarının üzerinde XRD ve ICP-MS analizlerini yapmışlardır. Zemine kireç ilavesi ile kıvam limitlerinin değerlerinde değişiklikler olduğunu ifade etmişlerdir. Zeminin plastik limitinde artma ve plastisite indisinde azalma meydana geldiğini ve bunun sonucunda zemin sınıfının değiştiğini elde etmişlerdir. Sülfatın kıvam limitlerinin üzerinde çok fazla etkisinin olmadığını belirlemişlerdir. Kireç ilave edilerek yapılan kompaksiyon deneylerinin sonucunda tabii zemine kıyasla, zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığında azalma ve optimum su muhtevasında artma olduğunu elde etmişlerdir. Zemine kireç ilave edilmesi ile zeminin mukavemetinde artma ve göçme deformasyonunun değerinde azalma meydana geldiğini saptanmışlardır. Sadece kürde bekletilip, daha sonra serbest basınç deneyi yapılan sülfatlı ve sülfatsız numunelerin mukavemetlerinin oldukça yakın olduğunu belirlemişlerdir. Sülfatlı ve sülfatsız numuneler ile yapılan şişme deneyleri sonucunda, beklenen seviyede şişme meydana gelmediği ifade edilmiştir. 7 gün kür uygulandıktan sonra 20 gün tam doygun ortamda kalan numunelerde ortadan kırılma, dağılma ve düşük seviyede şişme gibi durumlar ortaya çıkmadığı belirlenmiştir [33].

Tüylüce ve Kavak (2010) çalışmalarındaki amacı denizde yapılacak yapıların tabanında bulunan tarama ile elde edilebilecek deniz kilinin, kireç stabilizasyonu ile iyileştirerek karada dolgu çalışmalarında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu çalışmalarında, Bursa ilinin Gemlik mevkiisinden alınmış olan deniz kilini kullanmışlardır. Çalışmanın ilk aşamasındaki deneyleri, optimum su muhtevasında uygulamışlardır. Zeminin geoteknik özelliklerini, optimum su muhtevasını ve

eklenebilecek optimum kireç oranını belirlemek amacıyla elek analizi, Atterberg kıvam limitleri ve Proktor deneylerini uygulanmışlardır. 60 gün kür edilen sönmemiş kireç katkılı numunelerin serbest basınç mukavemetlerinde doğal zemine oranla 7 kat artış gözlemlenmiştir. Yapılan CBR deneyi incelendiğinde 5 kata varan mukavemet artışları gözlemlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında doğal deniz kiline sönmemiş kireç katarak serbest basınç deneylerini yapmışlardır. 28 günlük kür süresi sonunda doğal zeminde sıkıştırma yapılamazken sönmemiş kireç katılmış zeminin mukavemetinde 6 kata varan artışlar gözlemlenmiştir. Çalışmanın son aşamasında SEM ve XRD analizleri yaparak kireç katkılı zeminin kimyasal özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir [34].

Taş ve Yılmaz (2020) yılında yaptıkları çalışmada Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne göre düşük plastisiteli kil olan doğal zeminin, uçucu kül, Bayburt taşı atıkları ve mermer tozu ile birlikte iyileştirilmesini amaçlamışlardır. Çalışma kapsamında C sınıfı olan uçucu külü birincil bağlayıcı olarak değerlendirmişlerdir. Düşük plastisiteli killi zemine, %25 uçucu kül katkısı ile birlikte %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında mermer tozu ve Bayburt taşı ilave ederek deney numunelerini hazırlamışlardır. Serbest basınç deneyi için kür sürelerini 7, 28 ve 84 gün olarak belirlemiş olup hazırlanan karışımlarda indeks, dayanım ve durabilite tetkiklerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmadan elde edilen veriler ışığında, Bayburt taşı atıkları ve mermer tozunun puzolanik katkı olarak uçucu külle birlikte zemin stabilizasyonunda kullanılabilir olduğunu belirlemişlerdir. Mermer tozunun uçucu külle birlikte kullanılmasının serbest basınç dayanımı açısından Bayburt taşı atıklarının uçucu külle birlikte kullanılmasına göre daha uygun olduğunu tespit etmişlerdir [35].

Demir ve Yılmaz (2019) çalışma kapsamında ferrosilisyum alaşımlarının ve silisyum metalinin üretiminde bir yan ürün olarak elde edilen endüstriyel atık olan silis dumanı ile mermer tozunu killi bir zeminin stabilizasyonunda puzolonik katkı olarak kullanmışlardır. CaO oranı yüksek olan kireci birincil bağlayıcı olarak seçmişlerdir. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi 'ne göre yüksek plastisiteli killi bir zeminin stabilizasyonunda kullanılan mermer tozu ve silis dumanını %0, %5, %10, %15, %20 doğal malzeme ile kirecsiz ve %6 kireçli (optimum kireç oranı) olarak karıştırmışlardır. Hazırlanan karışımların durabilite ve dayanım gibi geoteknik özelliklerini detaylı olarak incelemişlerdir. İncelenen numunelerin dayanım

değerlerinde silis dumanının kireçle beraber kullanıldığında doğal zemine, mermer tozuna ve sadece kireçli karışımlara göre daha yüksek çıktığı gözlemlenirken, durabilite özelliklerinde ise mermer tozunun daha etkin olduğunu ifade etmişlerdir [36].

Taş, Fidan ve Yılmaz (2018) çalışmalarında zemin stabilizasyonu için uçucu kül ve Bayburt taşı endüstriyel atıklarını kullanmışlardır. Çalışma kapsamında düşük plastisiteli killi bir zeminin stabilizasyonunda kullanılan %25 uçucu küle, %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında Bayburt taşı ilave ederek yürütmüşlerdir. Hazırlanan karışımların indeks ve dayanım gibi geoteknik özelliklerini araştırmışlardır. Tek eksenli serbest basınç dayanımı değerlerine göre Bayburt taşının %10 oranında katıldığı %25 uçucu kül içeren SFABS/10 karışımlarında en yüksek dayanım değerlerini elde etmişlerdir [37].

Yılmaz (2017) makale çalışmasında tek başına çimentolaşma kabiliyeti yetersiz olan perliti, puzolanik katkı olarak killi bir zeminin stabilizasyonunda kullanmıştır. Birincil bağlayıcı olarak yüksek CaO içeriğinden dolayı kireci seçmiştir. Zemin, %6 kireç (optimum kireç oranı) ve %0, %5, %10, %15, %20, %25, %30 oranlarında perlitle karıştırmıştır. Puzolanik katkı olarak kullanılan perliti doğal ve ince öğütülmüş biçimde iki farklı şekilde stabilizasyon çalışmasında değerlendirmiştir. Hazırlanan karışımların indeks ve dayanım özellikleriyle bu özelliklerinin perlitin inceltmesiyle nasıl değiştiğini çalışma kapsamında ele almıştır. 84 günlük kür süresi sonucunda en yüksek serbest basınç dayanımını %20 perlit içeren kireçli numunelerde 3196 kPa olarak tespit etmiştir. İnceltmiş perlitin katkı maddesi olarak kullanıldığı kireçli numunelerde ise en yüksek dayanım inceltmiş perlit oranı %15 olan numunelerde 3408,9 kPa değerinde elde etmiştir. Perlitin inceltmesiyle birlikte daha düşük perlit oranlarında daha yüksek mukavemet değerlerinin meydana geldiği belirlenen bu deneysel çalışma sonunda, puzolanik katkı olan perlitin inceltmesinin dayanım değerlerini doğrudan etkilediği tespit etmiştir [38].

Bağrıaçık (2017) yılı çalışmasında karayollarında temel/alt temel zemini olarak, CBR değerlerinin düşüklüğü nedeniyle kullanılamayacağı belirlenen zeminlerin, optimum su içeriğinde kireçle stabilizasyonu sonucunda elde edilen iyileşme durumlarını belirleyebilmek amacıyla laboratuvar ortamında kapsamlı bir çalışma yapmıştır.

Temel/alt temel zemininin stabilizasyonunda su içeriğinin etkisini belirleyebilmek amacıyla hacimce %5, %10, %15 ve %20 su içeriklerindeki zemin numuneleri hazırlamış ve CBR deneylerini gerçekleştirmiştir. Ayrıca, farklı kireç oranları ile temel/alt temel zemininin stabilizasyonunda optimum değerleri belirleyebilmek amacıyla hacimce %3, %4, %5 ve %6 oranlarında kireç karışımları yaparak oluşturmuş olduğu numunelere CBR deneyleri yapmıştır. Çalışma sonunda, temel/alt temel zeminleri için optimum su içeriğinin yaklaşık %10, optimum kireç oranının ise hacimce yaklaşık %5 olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, CBR değerlerini belirleyebilmek amacıyla kullanılması tavsiye edilen yüksek korelasyon katsayılı ($R^2 = 0.99$) denklemler elde etmiştir [39].

Şenol (2019) yılındaki çalışmasında bir yapı malzemesi olarak ince taneli zeminlerin geoteknik özelliklerini yükseltmek için fosfojips gibi atık maddelerin kullanımını değerlendirmiştir. Kalsine Fosfojips (CPG) ile stabilize edilen zemin numuneleri üzerinde, standart proctor deneyi, Kaliforniya taşıma gücü ve serbest basınç ve optimum su muhtevası deneylerini yapmıştır. Gübre fabrikası atığı olan fosfojips 150 °C gibi düşük sıcaklıkta kalsine edilmiş olarak kullanmıştır. Kalsine edilmiş fosfojips (CPG) katılan ince taneli zeminlerin maksimum kuru yoğunluğu azalmış olup ancak optimum su muhtevası değerleri artmıştır. Serbest basınç mukavemetinin, California taşıma gücü oranının, doğal ve stabilize zemin örnekleri üzerindeki etkilerini araştırmış ve deney sonuçları, stabilize edilmemiş numunelere kıyasla CPG katkılı karışımların daha yüksek dayanıklılığa sahip olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, CPG katkılı karışımların, yol inşaatları ve hafriyat dolgu uygulamaları için ince taneli zeminlerin dış etkilere karşı mukavemetinde başarılı bir şekilde kullanılabilineceği sonucuna varmıştır. Test sonuçları, CPG içeren stabilize ince taneli zemin numunelerinin, doğal ince taneli zemin numunelerine kıyasla daha yüksek CBR direnci ve serbest basınç mukavemeti sergilediğini çalışmasında göstermiştir [40].

Yılmaz ve Demir (2019) makale çalışmalarında silis dumanı ve kireçle stabilize edilmiş yüksek plastisiteli killi bir zeminin dayanım ve durabilite davranışını incelemiştir. Test numunelerini, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne göre yüksek plastisiteli bir kil (CH) olan doğal zemine kireçsiz ve %6 kireçli olarak %5, %10, %15 ve %20 silis dumanı ekleyerek hazırlamışlardır. Hazırladıkları numunelerin kür süresi 7 ve 28 gündür. Bu kür sürelerinin sonunda, serbest basınç dayanımı testi

yapmışlardır. 28 günlük kür süresinin ardından 12 ıslanma-kuruma ve donma-çözülme döngüsü tamamlamışlar ve numunelerin davranışlarını incelemişlerdir. Elde edilen veriler ışığında, silis dumanı ve kireç içeren SLS örneklerinin sadece kireç içeren SL örneklerinden daha yüksek dayanım değerlerine sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Silis dumanı, kür sürelerinin ardından dayanım değerlerini arttırmış olup ve donma-çözülme testi açısından zemin durabilitesini de olumlu etkilemiştir [41].

Yılmaz (2018) çalışmasında uçucu kül ve mermer tozu atıklarını, katı atık yönetimi kapsamında zemin stabilizasyonunda kullanmıştır. Çalışma kapsamında, düşük plastisiteli killi bir zemine %25 uçucu kül ve sırasıyla %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında mermer tozu ilave ederek hazırlamıştır. Hazırlanan karışımların indeks ve dayanım gibi geoteknik özelliklerini irdelemiş olup ayrıca, katkı maddelerinin zeminin donma-çözülme çevrimi sonucundaki dayanım değerlerine etkisini de incelemiştir. Çalışma sonucunda, uçucu kül+ mermer tozu karışımlarının sadece uçucu kül içeren karışımlara göre daha yüksek dayanım sağladığı sonucuna varmıştır [42].

Saygılı (2018) makale çalışmasında yerli üreticilerden temin edilen sıvı haldeki polimerik metil difenil izosiyanat polimerinin, kaolin kilinin mühendislik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Polimerik metil difenil izosiyanat sıvı polimeri optimum su muhtevasında sıkıştırılmış kaolin numuneler içerisine farklı oranlarda ekleyerek serbest basınç dayanımlarındaki değişimleri değerlendirmiştir. Sıvı polimeri yüzde 3, 6, 9 ve 12 oranlarında numunelere optimum su muhtevasını geçmeyecek şekilde, su ile yer değiştirerek eklemiş ve hazırlanan polimer katkılı numuneleri 3, 7, 14 ve 28 gün boyunca küre tabii tutmuştur. Kür süresi sonunda farklı katkı oranlarına sahip numuneleri serbest basınç testlerine tabii tutmuş, polimer katkı oranı ve kür süresi arttıkça dayanımlarda kayda değer miktarda artışlar olmuştur [43].

1.2.1. Yapay ve doğal fiberler ile zemin iyileştirme çalışmalarına örnekler

Ünal ve Eyyübov (2003) yılında yaptıkları çalışmada beton yollarda uygulanabilecek, $30 \pm 10\text{mm}$ çökmeye sahip ve su/çimento oranı 0.47 betonlara, narinliği 65 olan çelik tellerin 20 kg/m^3 ve 40 kg/m^3 oranlarda ve polipropilen lifin 300 g/m^3 ve 600 g/m^3 katılmasıyla elde edilen betonların mekanik ve fiziksel özelliklerini araştırılmışlardır. Biri kontrol grubu olmak üzere beş grup beton üretmişlerdir. Su/çimento oranını sabit tutup, çelik tel ve polipropilen lifin betona katılma oranlarını bu çalışmada değişken

parametreler olarak almışlardır. Bu parametrelerin betonun basınç dayanımına, eğilme dayanımına, aşınma direncine, donma-çözünme direncine ve kuruma- büzülme direncine etkisini belirlemişlerdir [44].

Öztürk ve Baykal (2003) çalışmalarının amacı killi zeminlere liflerin eklenmesinin zemin kayma mukavemetine olan etkilerini araştırmaktır. Kaoline ağırlıksal olarak %0,25, %0,50 ve %1,00 yüzdelerinde fiberleri ekleyerek numuneler hazırlamışlardır. Kayma mukavemeti deneylerinde numuneleri standart ve modifiye sıkıştırma metotlarını uygulayarak hazırlamışlardır. Sıkıştırma ve ayırma deneylerinde darbeli ve yoğurma etkili sıkıştırma yöntemlerini uygulamışlardır. Bunlara ek olarak büzülme deneyi de yapmışlardır. Zemine propilen liflerin eklenmesi kayma açısı, kohezyon, basınç dayanımı, CBR değerlerini artırmış olup, büzülme oranını ise düşürdüğü görülmüştür. Acil zemin stabilizasyonu gerektiren yerlerde propilen liflerin ağırlıksal olarak düşük miktarda kullanımını bu tekniği diğerlerine göre ekonomik bir alternatif olarak kılacağını düşünmüşlerdir [45].

Sevencan ve Yılmaz (2009) çalışmalarında yüksek plastisiteli Ankara kilinin mühendislik özelliklerinin, değişik oranlarda polipropilen fiber ve Çayırhan uçucu külü katkılarıyla nasıl değiştiğini araştırmışlardır. İlk olarak Çayırhan uçucu küline ve Ankara kiline sınıflama deneyleri yapmışlardır. Daha sonra Ankara kilinin kompaksiyon karakteristiklerini tek başına ve üç farklı uçucu kül içeriğiyle (uçucu külün kile oranı kuru ağırlıkça %10, %20 ve %30) standart Proctor kompaksiyon enerjisi kullanılarak elde etmişlerdir. Bu aşamadan sonra, maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su içerikleri belirlenen katkısız ve üç farklı uçucu kül katkılı Ankara kilinin fibersiz ve fiberli karışımlarını elde etmişlerdir. Fiber-kil ve Fiber- uçucu kül-kil karışımlarında fiberin kile oranını kuru ağırlıkça %0,5 ve %1,0 olarak belirlemişlerdir. Çalışmada 6,0 mm ve 19,0 mm olmak üzere iki farklı boyda ve M tipi ve F tipi olmak üzere iki farklı tipte fiber kullanmışlardır. Toplam 20 farklı fiber-kum-kil karışımlarının tek eksenli basınç dayanımlarını ASTM D 2166 standardına göre elde etmişlerdir. Uçucu kül puzolanik bir malzeme olduğundan kür süresinin dayanım üzerindeki etkisini görmek amacıyla fibersiz uçucu kül-kil karışımlarını 1 gün, 7 gün, 14 gün ve 28 gün kür ortamında beklettikten sonra tek eksenli basınç deneyine tabii tutmuşlardır. Fiber-uçucu kül-kil karışımlarının tek eksenli basınç dayanımlarını sadece 28 gün kürde beklettikten sonra elde etmişlerdir. Standart Proctor kompaksiyon

deney bulgularına göre, uçucu kül-kil karışımlarındaki uçucu kül oranı arttıkça karışımın optimum su içeriği azalırken maksimum kuru birim hacim ağırlığının arttığını görmüşlerdir. Tek eksenli basınç deneyleri sonucunda, karışımdaki uçucu kül oranı veya kür süresinin de arttıkça karışımın tek eksenli basınç dayanımının da arttığını görmüşlerdir. Son olarak, fiber tipinin ve fiber boyununda tek eksenli basınç dayanımını etkilediği sonucuna varmışlardır [46].

Gerkuş ve Erken (2011) çalışma kapsamında fiber katılmış kum zeminin dinamik özelliklerini ve statik davranışlarını laboratuvar deneyleri ile incelemişlerdir. Dinamik üç eksenli deney sistemi, statik üç eksenli deney sistemi ile kesme kutusu deney sistemini kullanarak zeminin davranışını belirlemişlerdir. Temiz kum ve fiberle güçlendirilmiş kum için maksimum Elastisite Modülünü, statik yük altında gerilme-deformasyon davranışını ve kayma mukavemeti parametrelerini belirlemişlerdir. Deneylerde kullanılan fiber ve kum çeşidini sabit tutarak çeşitli parametrelerin etkisini incelemişlerdir. Öncelikle her deneyde fiberin zeminin davranışına etkisini incelemişlerdir. Dinamik üç eksenli deney sisteminde, numunelerin maksimum Elastisite Modüllerini iki farklı konsolidasyon basıncı altında belirlemiş olup statik üç eksenli deney sisteminde ise değişik deformasyon hızlarında doymuş numuneleri test etmişlerdir. Numunelere, konsolidasyonlu drenajsız ve konsolidasyonlu drenajlı deneyler de yapmışlardır. Aynı zamanda belirli bir su muhtevasında hazırlanmış ve doymuşluğa ulaşmamış numunelere de statik üç eksenli basınç deneylerini yapmışlardır. Deneysel çalışmanın ikinci bölümünde ise saf kum ve dağınık liflerle rastgele donatılı kumlara kesme kutusu deneyini yapmışlardır. Deneysel çalışmada farklı fiber oranlarının kumun davranışına etkisini incelemişlerdir. Fiber eklemenin kayma mukavemeti parametreleri üzerine etkisini, üç eksenli deney ve kesme kutusu deney sonuçlarını karşılaştırarak yorumlamışlardır.

Genel olarak, laboratuvar deney sonuçlarından hareketle fiber eklemenin kumun statik davranışını iyileştirdiğini ve bu iyileşmenin fiber miktarı ile deney çeşidine bağlı olduğunu söylemişlerdir [47].

Torabı ve Erken (2011) araştırmalarında dinamik ve dinamik sonrası statik deneyleri, yalnız kum ve farklı fiber yüzdesi ile donatılmış (%0, 0,1, 0,5, 1) kum üzerinde yapmışlardır. Deneyleri yaklaşık rölatif sıkılıkta ($D_r = 59-62$) yapmışlardır. Deney

sonuçlarına göre, değişik oranlarda fiber eklemek zeminin bazı dinamik ve statik özelliklerini iyileştirdiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada sıklığın sıvılaşmada ve kayma mukavemetinde önemli rol oynadığını gözlemlemişlerdir. %39, %60 ve %70 rölatif sıklığında yapılan deneylerin gevşek zeminlerde yapılan deneylere göre sıvılaşma riskinin daha az olduğu görülmüştür. Çalışmanın en ilginç sonucu boşluk suyu basıncının, farklı fiber yüzdesi ihtiva eden statik ve dinamik sonrası statik deneylerinden, hiç etkilenmemesidir. Statik deneyleri farklı kesme hızında yapmışlardır ve kesme hızının kayma dayanımında etkisi olmadığını belirlemişlerdir. Ayrıca statik ve dinamik sonrası drenajsız statik deneylerini karşılaştırdıklarında, kumun sıvılaşmadan sonra kayma mukavemetinin fazla etkilenmediğini göstermişlerdir. Sonuç olarak fiber ile kumlu zeminin karışımının sıvılaşma riskini azalttığını vurgulamışlardır [48].

Darvıshı ve Erken (2014) kum zeminlerin statik yükler altındaki davranışlarını katkısız ve fiber katılarak Kesme Kutusu Deneyi ile ele almışlardır. Kesme kutusu deneyinde, zemin numunesini dikdörtgen veya dairesel kesitli ve iki parçadan oluşan rijit bir kutu içinde yerleştirmişlerdir. Deney sırasında ulaşılan en büyük kayma gerilmesi veya göçme Kabul edilebilecek şekil değiştirmelere yol açan kayma gerilmesi zeminin belirli bir normal gerilme altında kayma mukavemetini vereceğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada deneyler değişik normal gerilmeler altında tekrarlanmış ve zeminin mukavemet zarfı elde edilmiştir. Bu zarflardan fiber katkılı zeminin numunelerine ait olan Mohr-Colomb kırılma zarfınının sunulduğu görülmüştür. Kesme kutusu deneylerini, permabilite deneylerini kullanarak zeminin davranışını değişik fiber oranlarında ve değişik yükler altında incelemişlerdir. Temiz kum ve fiberle güçlendirilmiş kum için Statik yükler altında gerilme-deformasyon davranışını ve kayma mukavemeti parametrelerini belirlemişlerdir. Deneylerde kullandıkları fiber ve kum çeşidini sabit tutarak çeşitli parametrelerin etkisini incelemişlerdir. Ayrıca deneylerini iki değişik sıklıklarda yani düşük (%20-%37) ve yüksek (%60-%75) rölatif sıklıkta hazırlayıp test etmişlerdir. Kesme kutusu deneyinde ilk olarak kum zemine fiber katkısız olarak farklı statik yükler altına kayma mukavemeti parametrelerini elde etmek için test yapmışlardır. Daha sonra kuru kumun ağırlığının %0,1, %0,5 ve %1,0 ağırlıklarında fiber karıştırarak zemini aynı koşullarda test etmişlerdir. Elde edilen bu sonuçlar karşılaştırarak fiber oranının kayma

mukavemetine olan etkisini ve de yüksek ve düşük rölatif sıklıkların kayma mukavemeti parametrelerindeki etkisini incelemişlerdir. Genel olarak, yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda fiberle güçlendirilmiş kum zeminlerin statik yükler altında davranışlarının fiber katkısız zeminlere oranla iyileştiğini göstermişlerdir [49].

Ayračma ve Teymür (2015) Tez kapsamında, bir zemin iyileştirme yöntemi olarak, kumlu zeminlerde fiber kullanımını araştırmışlardır. Deneylerde, öncelikler kullanılacak malzemelerin fiziksel özellikleri tayin etmek, sonrasında kayma mukavemeti özellikleriyle ilgili mekanik deneylerden kesme kutusu ve serbest basınç deneylerini yapmışlardır. Deneylerde kullandıkları ana malzemeler kum, fiber ve çimentodan oluşmaktadır. Yaptıkları çalışmalarda iki farklı kum ve fiber tipini denemişlerdir. İlk setlerde temiz silika kum ve cam fiberi kullanmış olup, ardından Akpınar kumu ve BASF firmasının ürünü olan Masterfiber 15 MF kodlu polypropylene fiberi seçip kullanmışlardır. Sözü edilen malzemeler kullanılarak yaptıkları kesme kutusu deneylerinin ardından, Akpınar kumu ve PP fiberle hazırlanan karışımlar üzerinde serbest basınç deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Serbest basınç deneyi numunelerine, fiber lifleri ve kum daneleri arasında aderans sağlanması bakımından çimento da eklenmiş olup çalışmalarda CEM II tipindeki çimento kullanmışlardır. Kesme kutusu deneylerinde, numunelerin, gevşek ve sıkı durumları temsil etmesi açısından, %20 ve %60 rölatif sıklıkta hazırlanmışlardır. Kullanılan fiber katkıyı, kuru kumun ağırlığına oranla karışımlara katmışlardır. Fiber oranı %0,25-%1,00 arasında değişmektedir. Serbest basınç deneylerinde, kesme kutusu deney sonuçlarına göre belirlenen iki fiber oranının kullanımını tercih etmişlerdir. Çimento oranı ise, literatürde mevcut bulunan çalışmaların ve uygulama projelerinin ışığında belirlemeye çalışmışlardır. Fiber oranını ağırlıkça %0,50 ve 1,00 iken, çimento oranlarını yine kuru kum ağırlığına %5,00, 10,00 ve 15,00 olarak seçmişlerdir. Tüm karışımların su/çimento oranını sabit tutmuş ve yeterli işlenebilirlik, kum ve fiber yüzey alanının büyüklüğünü düşünerek %65 olarak belirlemişlerdir. Numuneleri, kalıptan çıkardıktan sonra, nemlendirilmiş ve oda sıcaklığında sabit nemde bekletmişlerdir. Deneyleri 7. ve 28. günlerde gerçekleştirmişlerdir. Çalışma içeriğini incelediğimizde, yalnız fiber katkılı numuneler üzerinde gerçekleştirilen kesme kutusu sonuçlarının, fiber katkılı zeminlerin pik içsel sürtünme açısını yükselttiğini göstermektedir. Ayrıca, kırılma sonrası mukavemet düşüşünün azaldığını

ifade etmişlerdir. Gerilme – şekil değiştirme davranışını incelediklerinde, katkıli karışımların daha plastik bir davranış gösterdiğini ve sünekliğin arttığını gözlemlemişlerdir. Fakat, söz konusu değişimler, silika kum ve cam fiber kullanılarak hazırlanan karışımlarda, Akpınar kumu ve PP fiber içeren karışımlara göre daha az gözle görülür seviyelerde olduğunu söylemişlerdir [50].

Artuk ve Arasan (2016) çalışmalarında lif ve uçucu kül katkıli polimer içi boş kazıkların yumuşak kil zeminlerde uygulanabilirliğini küçük boyutlu model deneyleri ile araştırmışlardır. Çalışma kapsamında 5 farklı lif, uçucu kül ve polimer karışımını kazık malzemesi olarak kullanmışlardır. Kazıkları ise uç kazık olarak dört farklı çapta (35 mm, 50 mm, 60 mm ve 70 mm) ve üç farklı tipte (içi boş, içi boş-altı kapalı ve kırma taş dolgulu) kullanılmışlardır. Yumuşak kil zemini olarak plastik kıvamda CL (düşük plastisiteli kil) sınıfı kaolin kilini kullanılmışlardır. Yapılan model deney sonuçlarına göre içi boş kazıkların en yüksek kazık taşıma kapasitesini verdiklerini ifade etmişlerdir. Kazık çapının artmasının ise genel olarak kazık kapasite değerlerini arttırdığını söylemişlerdir. Sonuç olarak lif ve uçucu kül katkıli polimer içi boş kazıkların yumuşak kil zeminlerde rahatlıkla kullanılabileceğini söylemişlerdir [51].

Fedakar ve Güllü (2016) çalışmaları kapsamında atıksu çamuru külünün stabilizasyon malzemesi olarak polipropilen fiber ve kötü derecelenmiş kum ile stabilizasyon uygulamaları için yeniden kullanılabilirliğini Kaliforniya taşıma oranı (CBR) ve serbest basınç dayanımı (UCS) deneyleri ile araştırmışlardır. Bu tezlerinde gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalar, çalışmalarında kullanacakları atıksu çamuru külü katkı oranlarının belirlenmesi için yapılan bir ön çalışma ve kumda atıksu çamuru külü ve polipropilen fiber katkısından dolayı meydana gelen iyileşmeyi incelemek için yapılan kapsamlı deneysel çalışmalardan oluştuğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, atıksu çamuru külünün ve polipropilen fiberin istenen deneysel (CBR ve UCS) performanslarını veren optimum potansiyel katkı oranlarını belirlemek için, atıksu çamuru külü ve polipropilen fiber ile stabilize edilmiş kumun deneysel (CBR ve UCS) performanslarını tepki yüzeyi yöntemi ile incelemişlerdir. Buna ek olarak, atıksu çamuru külü ve polipropilen fiber katkısının bir yol yapısında meydana getirdiği birim şekil değiştirme performanslarına etkisini KENLAYER mekanik-ampirik yaklaşımı ile incelemişlerdir. Bu tez çalışmalarında, atıksu çamuru külünün polipropilen fiber

ve kum ile zemin stabilizasyonu uygulamalarında kullanılabileceği sonucuna varmışlardır [52].

Ardabili ve Erken (2017) tez çalışması kapsamında fiberin etkisini, iki farklı kum zemin numunesi, Portland çimentosu ve fiber kullanarak değerlendirmişlerdir. Fiber ile takviye edilmiş çimento katkılı zemin numunelerinin gerilme şekil değiştirme ve tekrarlı yükleme altında şekil değiştirme davranışını göstermek için dört farklı test yapmışlardır. Numuneleri optimum su içeriği ile hazırlamışlardır ve kuru birim hacim ağırlığını Modifiye Proctor testinden elde edilen kuru birim hacim ağırlığına yakın bulmuşlardır. Bu çalışmalarında kullandıkları testler serbest basınç testi, konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli basınç testi, eğilmede çekme testi ve quasi-statik testtir. Kısmen doymuş numuneler kullanan statik testlerin sonuçları, suyun pik dayanımını azalttığını göstermektedir. Bununla birlikte, fiber, çimentolu örneğin pik dayanımını ve kalıcı dayanımını bir dereceye kadar arttırdığını söylemişlerdir. Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kumlardaki azami pik kayma dayanımı ve kalıcı kayma dayanımı, 28 gün boyunca kür edilen numunelere ait olduğu anlaşılmaktadır. Ek olarak, fiber üç statik testte pik mukavemetini arttırmış ve katkılı numunenin pik sonrası mukavemet kaybını azalttığı deneyler ile gösterilmiştir. Fibersiz çimentolu zeminin aşırı kırılma davranış sergilediğini ve yenilme mekanizmasının görünür haldeki çekme çatlaklarının oluşmasıyla tetiklediğini ifade etmişlerdir. Yükleme sırasında çekme çatlakları ortaya çıkmaya başladığında, lifler "köprü" görevi yaparak numuneyi etkin bir şekilde tutmakta ve numunelerin tamamen dağılmasını önlemektedir [53].

Ndepete ve Sert (2017) yürüttükleri doktora tezi kapsamında bazalt fiber katkısının doygun olmayan ve doygun olan siltli zemin örnekleri üzerinde kayma direncini artırıcı etkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışmada kullandıkları silt Adapazarı'nda yüzeyin 3-4 m altından alınmışlardır. İki kısımdan oluşan deneysel çalışmalarının ilk aşamasında öncelikle doğal zemini 5 farklı su muhtevasında sıkıştırarak doygun olmayan zemin örnekleri oluşturmuşlardır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise doygun zemin örneklerini, 100 kPa- 200 kPa ve 300 kPa düşey gerilme altında konsolidasyona tabi tutarak elde etmişlerdir. Birinci aşamada kompaksiyondan, ikinci aşamada ise konsolidasyon sürecinden sonra elde ettikleri her bir numuneden 4'er adet silindirik numune alarak farklı çevre basınçlarında konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli hücre

kesme deneylerini (UU) yapmışlardır. Çalışmanın her iki safhasında da doğal numuneler üzerinde deneyler bittikten sonra aynı işlemler 6 mm -12 mm ve 24 mm boylarında bazalt fiberlerin, doğal zemine ağırlıkça %1-%1,5 ve %2 oranında karıştırılarak elde edilmiş numuneler üzerinde de gerçekleştirmişlerdir. Bunun yanında mikroskobik görüntüler ve mikro yapı arasında bir korelasyon oluşturmak için, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizlerini doğal zemin örnekleri ve bazalt fiberleri ile güçlendirilmiş örnekler üzerinde yapmışlardır. Gerçekleştirdikleri 320 adet UU deney sonucuna göre, silt zemine bazalt fiber eklenmesiyle doygunluk derecesi farketmeksizin tüm numunelerde drenajsız kayma direncinin arttığını görmüşlerdir. Fiber uzunluğunun artmasıyla direnç artışı sürekli yükselme eğiliminde iken, fiber oranının ağırlıkça %1,5 seçildiği durumda direnç artışı en yüksek bulunmuştur, fiber oranının %2'ye yükseltilmesi durumunda direnç artışının daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Sonuç olarak bazalt fiberin kullanıldığında zemin özelliklerini iyileştirmede alternatif olabileceğini ortaya koymuşlardır [54].

Öztürk ve Okur (2018) çalışma kapsamında temiz kum-fiber karışımlarının dinamik davranışa olan etki faktörlerini belirlemeye çalışmışlardır. Bu amaçla öncelikle kum zemin numunesinin fiziksel mühendislik özelliklerini belirlemişlerdir. Dinamik üç eksenli deney ile farklı sıklıkta, farklı boyutlara sahip fiber katkılı ve katkısız hazırlanmış olan numunelere farklı kayma gerilme genliklerinde tekrarlı yüklemeler uygulayarak, rijitlik ve sönüm özelliklerini incelemişlerdir. Başlangıç kayma modülü, kayma modülü oranı ve sönüm özelliklerinin birim kayma genliğine göre değişimine etki eden faktörleri araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre fiber katkılarının temiz kum zeminlerin dinamik davranışını belirli koşullarda olumlu yönde etkilediğini gözlemlemişlerdir [55].

Kenan ve Özocak (2018) bazalt fiber katkısının doygun siltli zemin örnekleri üzerinde zeminin kayma direncine olan etkisini araştırmışlardır. Adapazarı kent merkezinde 2-3 m derinlikten almış oldukları siltli zemini hem doğal durumda hem de farklı oranlarda kattıkları bazalt fiber malzemesi ile doygun durumda konsolide ederek yeniden yapılandırmışlardır ve zemin numunelerini bu şekilde oluşturmuşlardır. Tek boyutlu konsolidasyonda düşey gerilmeyi 75 kPa olarak seçmişlerdir. Oluşturdukları numuneler üzerinde farklı düşey gerilmeler altında kesme kutusu deneylerini yapmışlardır ve kayma direnci parametrelerini elde etmişlerdir. Deney sonuçları %1,5

fiber katkısının kayma direnci açısından en uygun oran olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak bazalt fiber kullanımının zemin özelliklerini iyileştirmede de alternatif olabileceğini ifade etmişlerdir [56].

Türkel ve Ateş (2019) tez çalışması kapsamında, sıvılaşma potansiyeli olan doğal kum zeminin fiziksel özelliklerini ve zemin sınıfını belirledikten sonra ağırlıkça %2,5, %5, %10 oranında çimento ve %1, %2, %3, %4 oranında bazalt fiber katkılı kum zemin numuneleri üzerinde kompaksiyon, Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR), direkt kesme kutusu ve serbest basınç deneylerini yapmışlardır. Bu sayede, bazalt fiber ve çimento katkısının; sıvılaşma potansiyeli olan kum zeminin kayma direnci ve kayma mukavemeti parametreleri, taşıma gücü ve serbest basınç dayanımı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deney sonuçlarını incelediklerinde, çimento ve bazalt fiber katkısının, zeminin kayma direncinde, taşıma gücünde ve basınç dayanımında artışa sebep olduğunu gözlemlemişlerdir. Kayma direncinin maksimum olduğu numunedeki çimento oranının %10 ve fiber oranının %3 olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Basınç dayanımı en yüksek değerine 28 günlük kür süresi sonunda %10 çimento ve %4 fiber katkılı numunede ulaşırken, en yüksek taşıma gücüne sahip numunenin %10 çimento ve %1 fiber katkılı numune olduğunu saptamışlardır. Sonuç olarak, statik ve sismik yükler altında mukavemet ve taşıma gücü kaybına uğrayarak ciddi boyutta şekil değiştirmelere maruz kalabilecek sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerin iyileştirilmesinde çimentoyla birlikte kullanılacak bazalt fiberin, zemin iyileştirme uygulamalarında diğer katkı malzemelerine alternatif olarak düşünülebileceğini ortaya koymuşlardır [57].

Küçükosmanoğlu ve Sert (2019) çalışmalarında bir kil zeminin şişme değerinin bazalt fiber kullanarak azaltılmasını amaçlamışlardır. Öncelikle doğal zemin üzerinde fiziksel özellikleri ve indeks özelliklerini belirlemek üzere deneyler yapmışlardır. Sonrasında optimum su muhtevasında hazırladıkları numuneleri zeminin şişme davranışı Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneyi ile incelemişlerdir. Daha sonra 6 mm, 12 mm ve 24 mm boylarındaki bazalt fiberin gene optimum su muhtevasındaki doğal zemine %2,0- %1,5- %1,0- %0,20- %0,15- %0,10 ve %0,05 oranlarında rastgele karıştırılmasıyla elde etikleri numunelerin şişme davranışını incelemişlerdir. Deneyler sonrasında, bazalt fiberin zeminin şişme özelliğini azalttığını, ancak belli bir optimum

noktadan sonra şişmenin doğal durumdan daha fazla olabildiğini ortaya koymuşlardır [58].

Ocakbaşı ve Sert (2019) çalışmalarında killi bir zeminin serbest basma dayanımına rastgele dağıtılmış bazalt fiber eklenmesinin etkilerini araştırmak için deneysel bir program uygulamışlardır. Çalışma için bir kil zemini örnek olarak seçmişlerdir ve bu zemini farklı yüzdelerde olmak üzere 6 mm, 12 mm, 24 mm uzunluğunda bazalt fiber ile karıştırmışlardır. Çalışmaları toplamda 200 adet serbest basma (UC) deneyi içermektedir. Bu çalışmada kullandıkları zemini, Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemine (USCS) ve Türk Standardına (TS1500) göre yüksek plastisiteli kil (CH) olarak sınıflandırmışlardır. 6 mm, 12 mm ve 24 mm uzunluklarındaki fiberleri, doğal zemine ağırlıkça %1, %2 ve %3 oranlarında karıştırmışlardır ve kil bazalt karışımını farklı su muhtevalarında hazırlayarak standart sıkıştırma (Proktor) enerjisi ile sıkıştırmışlardır. Sıkıştırmadan sonra kalıp içinde sıkıştırmış oldukları her zeminden dört numune almışlar ve bu numuneler üzerinde serbest basma (UC) deneyi yapmışlardır. Ayrıca mikroskobik görüntüler ve mikro yapı arasındaki ilişkiyi oluşturmak için, doğal zemin örnekleri ve bazalt fiberleri ile güçlendirilmiş örnekler üzerinde Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizlerini yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda bazalt fiber katkısının kullanılan tüm uzunluk ve oranlar için kayma direncini arttırdığını; kuru zemin ağırlığına göre %2 oranında bazalt fiber eklenen zeminlerin mukavemetinde maksimum gelişme sağlandığını göstermişlerdir. Çalışma ile bazalt liflerinin zemin özelliklerini iyileştirmek için diğer lif ve katkı türlerine alternatif olabileceğini ortaya koymuşlardır [59].

Yılmaz, İkizler ve Teymür (2020) makale çalışmalarında hazırladıkları deney düzeneğini temiz silis kumu, PPRC (polypropylene random copolymer) boru, fiber, sarsma tablası ve cam hazneden oluşmaktadır. Çalışmada temiz silis kumunu 10 cm'lik 3 tabaka halinde, tabanda %80 rölatif sıklıkta fiber katkısız ve üstünde ağırlıkça %1-%2 fiber katkılı olmak üzere %20 rölatif sıklıkta yerleştirerek deney setlerini hazırlamışlardır. Çalışmada 32 mm çapında PPRC boru kullanmışlardır. Kullanılan boruyu gömü derinliği boru çapına (D) bağlı olarak yüzeyden 1,2D ve 2D olmak üzere iki farklı derinlikte fiber katkılı ve katkısız numuneleri hazırlamışlardır ve bu numuneler üzerinde bir seri sarsma tablası deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan tek eksenli sarsma tablası deneyleri ile gömülü boruda meydana gelen ivme

değişimlerini incelemişlerdir. Deneylelerden elde edilen kayma gerilmesi- kayma şekil değiştirmesi grafiğinin eğiminden kayma modülünü hesaplamışlardır. Sonuç olarak, fiber katkısının temiz kum zeminlerin dinamik davranışını olumlu yönde etkilediğini ve gömülü boru deplasmanlarında olumlu etkisinin olduğunu gözlemlemişlerdir [60].

Serin, Macit, Çınar ve Çelik (2018) çalışmalarında doğrudan trafik etkilerine maruz kalan bitümlü sıcak karışım tabakasında meydana gelen gerilmeleri karşılamak için kenevir liflerinin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla, ilk olarak seçilen üstyapı tipine göre karışıma ait agrega tane dağılımını belirlemişlerdir. Daha sonra Asfalt Enstitüsü MS-2 Marshall test metodu kullanılarak deney numunelerini üretmişler (15 adet) ve karışımın optimum bitüm içeriğini belirlemek için deneyler yapmışlardır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, doğal lif olan keneviri, karışıma altı farklı oranlarda dâhil etmişlerdir (%0,05, %0,075, %0,1, %0,125, %0,25). Hazırlanan tüm numunelerin fiziksel ve bazı mekanik özelliklerini belirlemiş ve grafiklerle değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, kenevir liflerinin, bitümlü sıcak karışımların mekanik özelliklerini geliştirdiğini göstermiştir. %0,10 kenevir lifi kullanımının, bitümlü sıcak karışımların Marshall Stabilitelerini %40,183 oranında artırdığını tespit etmişlerdir [61].

Işık ve diğ. (2015) çalışmalarında tavuk teleği ve tüy lifinin CH kilinin dayanımına etkisini araştırmışlardır. 4 mm ve 8 mm boyutlarında kesilen tavuk teleklerini ve gelişigüzel kesilen tavuk tüylerini %1 ve %2 oranlarında kil zemine ilave ederek rastgele donatlandırılmış zemin numunelerini hazırlamışlardır. Kil zemin ile tavuk teleği ve tüy fiberlerinin homojen karışması için karışımı kuru halde hazırlamış daha sonra azar azar su ilave ederek optimum su muhtevasında karışımlarını hazırlamışlardır. Daha sonra elde ettikleri karışım üzerinde standart Proktor deneylerini yaparak oluşturulan numunelere serbest basınç deneyi ve donma- çözülme deneylerini yapmışlardır. Serbest basınç deneyleri sonucunda 4 mm telek ile donatlandırılmış numunelerin serbest basınç dayanımında olumlu bir artış gözlenmemiş olup, 8 mm'lik telek ile donatlandırılan kil zeminlerin serbest basınç dayanımında ise kayda değer bir artışa rastlamamışlardır. Tüy fiber ile rastgele donatlandırılmış numunelerin serbest basınç dayanımlarında donma- çözülme çevrimlerinin tümünde artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Donatılı zeminlerin donatısız zeminlere göre daha sünek davranış gösterdiğini görmüşlerdir. Donma-

özölme çevrimlerine maruz bırakılan donatılı ve donatısız zeminlerde serbest basma dayanımının azaldığını görmüşlerdir [62].



2. CAM VE CAM FİBERLER

2.1. Cam

Eski zamanlardan bugüne kadar birçok medeniyette rastlanılan cam, sanatta ve endüstriyel malzeme olarak insanların ihtiyaç duyduğu ve bununla birlikte yaşamlarında kullandığı malzeme olmuştur. Kullanılmaya başlanan cam fırınlarının da geliştirilmesiyle cam sanatında büyük aşamaya ulaşılmıştır [63].

Cam malzeme olarak amorf yapıdadır. Amorf yapıda olduğu için davranışı sıvı haldeki bir malzemeye büyük oranda benzemektedir. Akışkan maddelerin önemli özelliklerden olan viskozite camlarda da bulunmaktadır. Camlar, akış süresi çok uzun olan bir maddedir. Katı malzemelere göre belli bir erime sıcaklıkları yoktur. Bu sebepten cam davranışı bakımından sıvı bir malzeme olarak görülebilir ama katı bir faz olarak tanımlanabilmektedir [64].

Cam; potas veya silis eklenmiş kumun düşük olmayan sıcaklıkta eritilmesiyle oluşan katı, saydam, çabuk kırılan ve kristalleşme göstermeyen bir malzemedir. Şekil 2.1' de camın temel silis yapısı gösterilmektedir. Ana maddesi (SiO_2) silikadır.



Şekil 2.1. Camın temel silis yapısı [66]

Üretim esnasında hızlı soğuma gerçekleştiğinden dolayı cama sağlamlık ve saydamlık kazandıran amorf yapı (yarı düzenli yapı) meydana gelir. Bu oluşumun soğumasının ardından kristalleşme olmadan sıvı halden katı hale geçen madde veya maddeler topluluğudur. Çoğunlukla saydamdır ancak yarı saydam ya da opak olabilir [65].

Camın nerede, ne zaman ve nasıl yapıldığı henüz belli değildir. İnsan tarafından yapılan en eski camlara, antik Mısır mezarlarında bulunmuştur. (M.Ö 3500) Ancak camı Fenikeli tüccarların Suriye bölgesinde yazının bulunması ile hemen hemen aynı dönemde bir rastlantı sonucu keşfettiğine inanılmaktadır. Cam yapımının keşfi ile birlikte ilk uygulamalar pahalı ve ender bulunan değerli taşları taklit etmek olmuştur. Camdan kapların yapımı ise bundan oldukça uzun süre sonra başlamıştır. İlk cam fabrikasının Mısır'da Quantir Pi-Ramses sahasında yapılan kazı ile birlikte M.Ö 1250 yılına dayandığı belirlenmiştir. Cam yapımına ilişkin ilk reçeteler Asurlulara ait taş tabletlerdir ve M.Ö. 650 yılına dayandığı ortaya çıkmıştır [67].

2.1.1. Camı oluşturan hammaddeler

Camı oluşturan ana maddelere bakıldığında adi camın bileşiminde üç grup madde akla gelmektedir. Bunlar cam haline gelebilen oksitler, eriticiler ve stabilizatörler denilen maddelerdir. Bir başka deyişle kum-soda-kireç üçlüsü olarak da ifade edilebilirler [68].

Camlaşma özelliği olan bu ana maddeler genelde ağ(iskelet) oluşturan bazı oksitlerdir. Doğal cam olarak nitelenebilecek olan kuvars kumu ağ oluşturan oksitlerin başında gelmektedir. Ağ oluşturan oksitler içinde en önemlileri SiO_2 , B_2O_3 ve P_2O_5 'dir [68].

Cama SiO_2 veren üç hammadde kaynağı silis kumu, feldspat ve yüksek fırın cürufudur. Son iki madde ayrıca Al_2O_3 'ün de kaynağıdır [68]. Cam yapımında kullanılan silis kumunun kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Kalite için kimyasal olarak silisin en yüksek değerinde, Al_2O_3 , Fe_2O_3 gibi bileşenlerin de en düşük değerinde olması gerekir. Türkiye'de cam yapımında kullanılan kum çeşitleri ocaktan çıkarıldığında, arıtma tesislerinde ve gereksiz bileşenlerden arındırıldıktan sonra kullanılır [68].

Türkiye'de kullanılan bazı kum çeşitleri Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Kuvartz kumu [66]



Şekil 2.3. Silis kumu [66]

Borosilikat camların yapımında kullanılan bor oksitin kaynağı borik asittir. Cam laboratuvar eşyası veya ısıya dayanıklı ev eşyası yapımında kullanılan borosilikat

camlar için, bor oksit ve sodyum oksiti doğru oranlarda elde etmek üzere borik asit ve boraks karışımı kullanılır [68].

Ağ oluşturan ve cam haline gelebilen oksitlerin erimelerini kolaylaştırmak amacı ile cam bileşimine katılan maddelere eriticiler adı verilir. Eriticiler denilen bu gruptaki maddeler, camlaştırıcıların erime sıcaklık derecesini düşürerek onların erimelerini kolaylaştırırlar. Özellikle 1713 C’de eriyen silisin erime derecesi 1500 C dolayına indirilebilir. Eriticiler ağ içine girerek onu değiştirdiği için eriticilere modifikatör de denmektedir. Eritici olarak adlandırılan bu maddelerin başlıcaları Na₂O, K₂O ve Li₂O ‘dur [68].

Feldspatlar, alümina ihtiva eden tabii maddelerdir. Feldspat, R₂O.Al₂O₃.6SiO₂ genel formülüne sahiptir ve burada R₂O, Na₂O veya K₂O veya bu ikisinin karışımını gösterir. Bir Al₂O₃ kaynağı olarak feldspat için, saf, eriyebilir ve camı oluşturan tüm oksitlerden meydana geldiği için diğer tüm maddelerden daha üstündür. Fiyat ikinci derecede olduğu zaman saf alumina kullanılmaktadır. Alümina miktarı, camın erime noktasının düşürülmesinde ve camsı durumun bozulması olayının geciktirilmesinde yarar sağlar. Feldspat Şekil 2.4’de görüldüğü gibidir [68].



Şekil 2.4. Feldspat örneği [69]

2.1. Cam Fiber

Cam fiberlerin sertlik dereceleri ve aşınmaya karşı dirençleri yüksektir. Reaktif ürün olmadığı araştırmalar sonucu ortaya konmuştur. Hafif, esnek ve ekonomik lifler olarak da karşımıza çıkmaktadırlar. Değişik özellikleri ve farklı sınıfları ile karşımıza çıkmaktadırlar. Farklı dayanım değerlerine sahip olmakla birlikte elastisite modülleri birbirine benzerdir. Çevresel etkilere karşı dirençleri de farklılık göstermektedir [70]. Cam fiberlerin asıl maddesi silis kumu (SiO_2) olmakla beraber değişik yüzdelerde sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elementlerin oksitlerinden de katılmaktadır. Cam fiberler, camların elektrik fırınında yaklaşık 1200-1500 °C de ergitilmesi ve ergiyen camların platin alaşımli bir potanın tabanındaki binlerce delikten hızlı bir şekilde çekilerek ve soğutma bölgesinden geçirilerek üretilir. Daha sonra lifler üzerine kaplama uygulaması yapılarak ve demetler halinde makaralara sarılarak depolanırlar [70]. Genel olarak beş farklı tipte cam fiberlerinden söz edilmektedir.

Bunları şu şekilde;

- Alkali miktarı yüksek olan A camı,
- Kimyasal etkilere karşı dirençleri yüksek olan C camı,
- Alkali miktarı düşük olan fakat yüksek mukavemetli E camı,
- Yüksek sıcaklıklarda iyi bir yorulma direnci olan, yüksek dayanımlı S camı,
- AR cam lifi

sıralamak uygun olacaktır [70].

Tablo 2.1. Farklı cam tiplerinin özellikleri [70]

Özellik	Cam Tipi				
	A	C	E	S	AR-Cam
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	2,5	2,49	2,54	2,48	2,6-2,7
Elastisite Modülü (Gpa)	-	69,0	72,4	85,8	70-76
Çekme Dayanımı (Mpa)	3033	3033	3448	4585	3000-3500
Yumuşama Sıcaklığı (°C)	727	749	841	970	800
Bileşim (%)					
SiO_2	72	64,4	52,4	64,4	60-62
Al_2O_3 , Fe_2O_3	0,6	4,1	14,4	25	0,3-0,8
CaO	10	13,4	17,2	-	0,5-5,6

Tablo 2.1.(Devam) Farklı cam tiplerinin özellikleri

Özellik	Cam Tipi				
	A	C	E	S	AR-Cam
MgO	2,5	3,3	4,6	10,3	-
N ₂ O, K ₂ O	14,2	9,6	0,8	0,3	16-19
B ₂ O ₃	-	4,7	10,6	-	-
BaO	-	0,9	-	-	-
ZrO ₂	-	-	-	-	16-20

2.3.1. Cam fiberlerin üretilmesinde kullanılan hammaddeler

Cam fiberlerin üretiminde kullanılan temel hammaddeler, bilinen camda kullanılan maddelerden çok farklı değildir. Ancak asıl camlar, alkali ve toprak alkali silikatlardan ve hatta borat ve alüminat içeren kompleks karışımlardan oluştuğu halde, fiber üretiminde kullanılacak olanlar daha çok soda-kireç silikatları veya boraks silikatları şeklindedir [71].

Cam kazandırılmak istenen özelliklere göre, katkı maddelerinin oranı değişiktir. Bu sebepten dolayı cam liflerinin kimyasal yapısı ile ilgili kesin bir şey söylemek mümkün olmamaktadır. Ancak şunu söylemek yanlış olmayacaktır silisyumdioksit ve kalsiyumkarbonattan oluştuğu söylenebilir. Değişik amaçlar için ilave edilen, sodyumkarbonat, alüminyum-hidroksit, magnezyumoksit ve borik asit oranları değişken olabilmektedir [71].

2.3.2. Cam fiber çeşitleri

A-Tipi Cam Lifi: Bor ilaveli veya ilavesiz alkali-kireç camlarıdır. Özel tiplerinde %0,8'den daha fazla olacak şekilde alkali oksit bileşikleri içermektedirler. E- Tipi cam lifindeki gibi mukavemet, stabilite ve iyi elektriksel dayanımın gerekli olmadığı durumlarda soda kireç silikat camlarının kullanımıyla üretilmektedir [71].

C- Tipi Cam Lifi: Korozyonlu ve asitli ortamlara karşı kimyasal dayanım sağlayan kalsiyum borosilikat camlarından üretilmektedir. Hem asitler hem de alkaliler olmak üzere kimyasallara karşı dayanımları oldukça yüksektir [71].

D- Tipi Cam Lifi: Elektriksel uygulamalar için düşük dielektrik sabitli borosilikat camlarından oluşmaktadır [71].

E- Tipi Cam Lifi: %0,8'den daha az miktarda alkali oksit bileşikleri içeren aliminyumbor silikat camlarıdır. Yüksek mukavemet ve elektrik dayanımı gereken durumlarda kullanılmaktadır. Geniş bir kullanım alanı bulan E tipi camlar, esasen elektroteknik amaçlar için geliştirilmiştir. Ancak bugün sentetik maddelerin takviyesinde de kullanılmaktadır (özellikle dokuma kumaş formundaki cam takviyeli plastiklerde). Asitlere, alkalilere ve diğer kimyasal maddelere karşı dayanıklı olduklarından kimya sanayiinde filtre yapımında geniş oranda kullanılmaktadırlar [71].

ADVANTEK Tipi Cam Lifi: E- Tipi cam lifi maliyetinde, kalsiyum aliminosilikat camından üretilmektedir [71].

ECRGLASS Tipi Cam Lifi: Max. %2 alkali içeren kalsiyum aliminosilikat camlarından oluşmaktadır. Mukavemet, elektriksel dayanım ve asidik korozyon dayanımı için günümüzde kullanılmaktadır [71].

AR-GLASS Tipi Cam Lifi: Alkali zirkonyum silikatların alkali dayanımlı camların karışımı kullanılmaktadır. Beton üretiminde yoğun şekilde kullanılmaktadır [12].

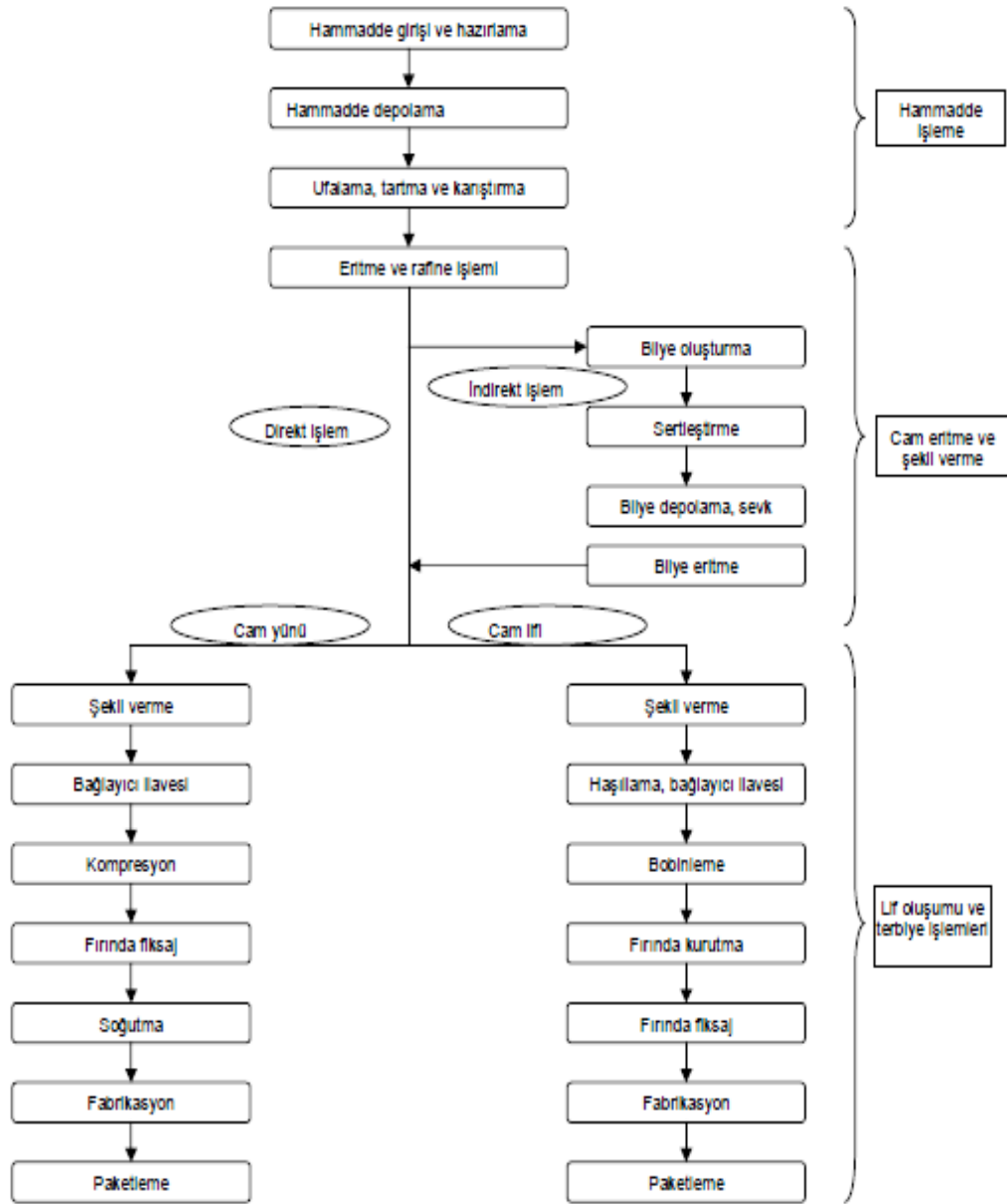
R Tipi Cam Lifi: Kalsiyumaliminosilikat camlarının kullanılmasıyla oluşan cam fiber türüdür. Yine aynı şekilde asidik korozyon dayanımı ve mukavemet istendiği durumlarda tercih edilmektedir [71].

S-2 Tipi Cam Lifi: S-2 tipi yüksek dayanımlı cam lifleri aliminyum silikatların yüksek fırın sıcaklıklarında karıştırılıp pişirilmesi ile oluşmaktadır. İncelikleri 5-27 µm arasında değişen bu lifler birçoğu tekstil ve kompozit endüstrisi için üretilmektedir [71].

2.3.3. Cam lif üretim aşamaları

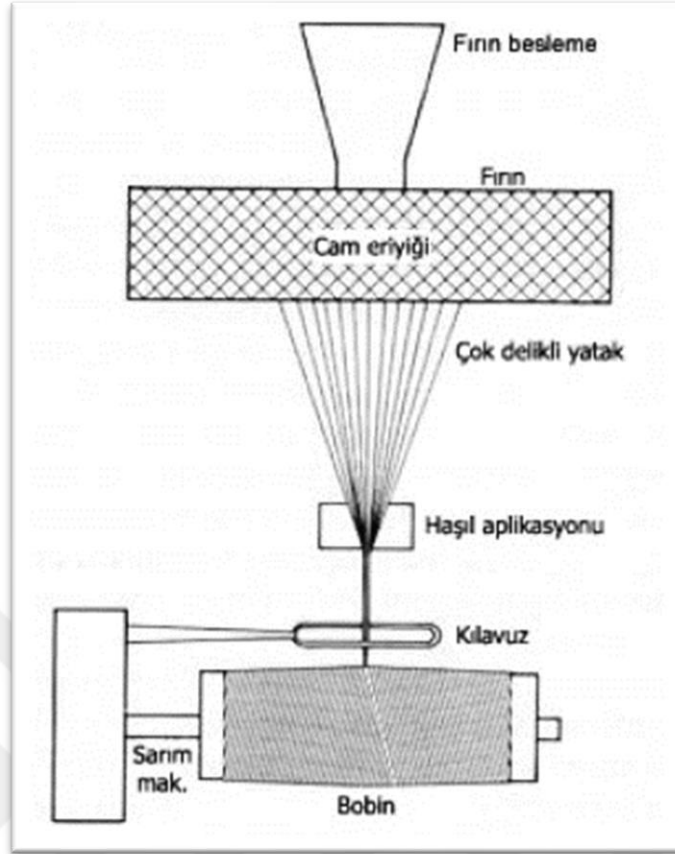
Cam lifi üretimi, çeşitli hammaddelerin yüksek sıcaklıklı fırınlarda karıştırılıp pişirilmeleri ile homojen eriyik haline ve ardından bu eriyik maddenin cam lifleri haline dönüştürüldüğü işlem adımlarından oluşmaktadır. Cam lifler piyasada tekstil

cam lifi ve cam yünü olmak üzere iki şekilde bulunmaktadır ve her iki tip de benzer işlemlerden geçerek piyasaya sunulmaktadır. Bu işlemlerin tipik diyagramı Şekil 2.5'de gösterilmektedir [71].



Şekil 2.5. Cam lifi üretim prosesindeki tipik işlem akış şeması [72]

Ayrıca cam lifler üretilirken değişik şekilde çekilerek üretilmektedirler. Örneğin, filament lif üretiminde genellikle E-tipi cam, stapel lif üretiminde C-tipi cam kullanılmaktadır. Ayrıca uygulanan lif çekim yöntemleri de birbirinden farklıdır (Şekil 2.6) [71].

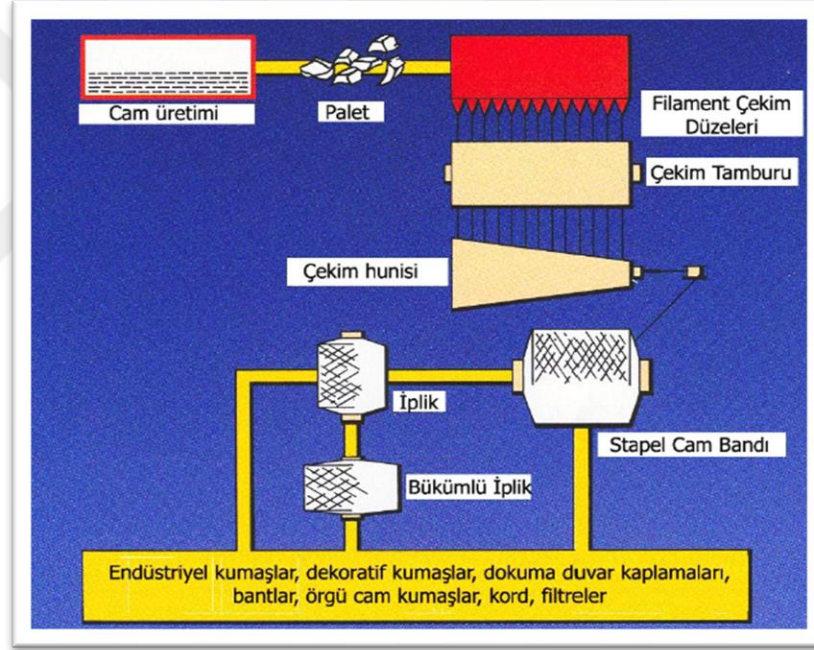


Şekil 2.6. Cam elyafı üretimi [71]

Tekstil alanındaki cam lifleri ile diğer alanlarda kullanılan cam yünü için lif üretimi genellikle iki aşamada gerçekleşmektedir. Birinci aşama her iki cam lifi türü için hemen hemen aynı iken ikinci aşamada farklı işlem basamakları ile üretim yapılmaktadır. Birinci aşamada, yabancı maddelerden temizlenmiş olarak cam elde edilmeye çalışılır. Bunun için yeteri kadar ve belirli oranda kum, kireç taşı, soda ve boraks bir eritme kabında erimeye bırakılır. Yabancı maddeler eriyik üzerinden belli yöntemlerle uzaklaştırılmaktadır. Bu şekilde saf hale getirilen cam, ya 15 mm çapında ve 9-10 gr ağırlığında bilye haline getirilmekte veya cam çubuk haline sokularak soğutulmaktadır. İkinci aşamada ise cam bilye veya çubuklardan lif çekimi sağlanır. Lif çekimi çeşitli şekillerde yapılabilirse de üç tanesi önem kazanmıştır [71].

- Düzeden Lif Çekimi: Düzeden lif çekimi en çok uygulanan yöntemdir. Yabancı maddesinden temizlenmiş, eriyikten direkt lif çekimi yapılabileceği gibi, Platin/Rodyum'dan yapılmış cam bilyeler eritme kabında 1200-1400°C'ye kadar elektrikle ısıtılarak, lif çekimi için eriyik madde istenilen özelliklerde elde edilmektedir [71].

- Çubuktan Lif Çekim Yöntemi: Sabit bir hızla, gaz veya elektrikle ısıtılan cam çubuklar istenilen bölgeye geldiklerinde yumuşayarak, lif çekilebilecek hale gelmektedir. Lif çekim tamburuna sarılan liflerin tamburun dönme hızı istenilen seviyede ayarlanarak, lif boyları uzatılmaktadır. Bu yöntem Şekil 2.7’de görülmektedir [71].
- Üfleyerek Lif Çekimi: Filament lif üretiminde olduğu gibi platinden yapılmış eritme kabından gelen eriyik, kabın alt kısmındaki deliklerden tel halinde akarken, üzerine yüksek basınçlı su buharı veya gaz jeti üflenir. Buhar veya gazın hızlı çarpma etkisi sonucunda, cam teller parçalanarak kısa boylu stapel elyaf şekline dönmektedir. Daha sonra bunlar bir tambur yardımıyla toplanarak kaba band haline getirilir ve daha sonra istenilen kalınlıkta ve biçimde iplik haline getirilir [71].



Şekil 2.7. Lif çekimi ve filament iplik oluşumu [71]

2.3.4. Cam liflerin fiziksel özellikleri

Cam liflerinin fiziksel özellikleri şu şekilde sıralanmaktadır;

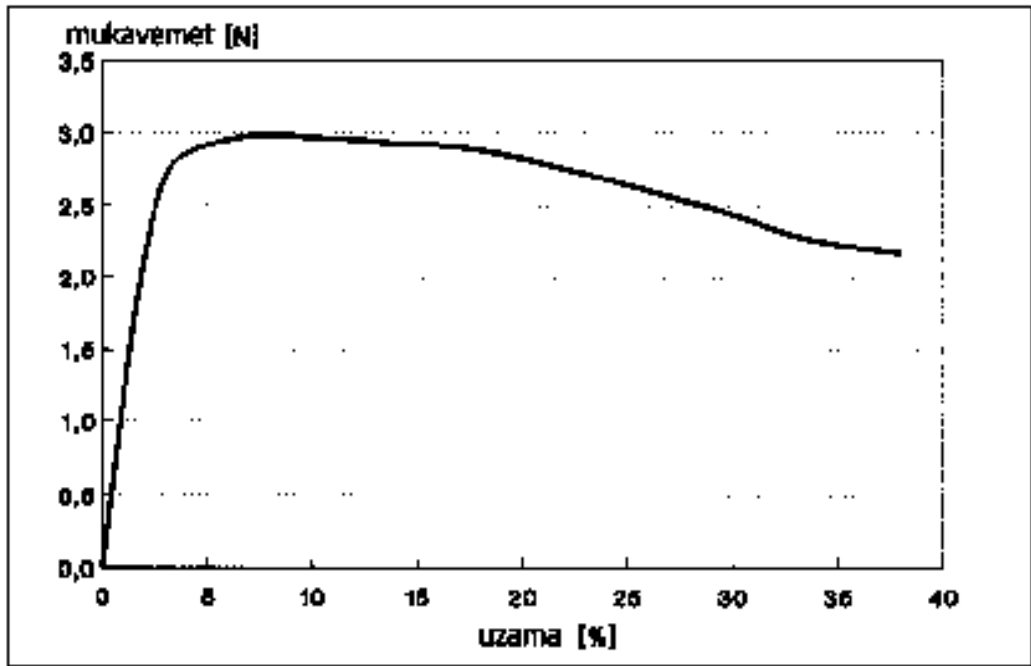
- Saydam ve son derece düzgün yüzeyledir. Bununla birlikte kesit görünüşü yuvarlaktır.
- İncelik ve kalınlık bakımından bakıldığında 2-13 mikron arasında değişme göstermektedir. 6µ inceliğindeki 1 kg cam lifin yüzey alanı 280 m²'dir [73].

- Mukavemetlerinin yüksek oluşu cam lifleri tanınır hale getirmekle birlikte kopma mukavemetleri ise 6-7,3 g/denye arasında değişim göstermektedir. Bununla beraber yapılan araştırmalar ve uygulamalarla birlikte görülmüştür ki ince liflerin mukavemeti kalın liflerden daha iyi gelmektedir. Bu liflerin kopma anındaki uzama yüzdeleri %2 civarındadır ve diğer tekstil liflerine göre oldukça düşüktür. Ancak tüm cam liflerinde durum bu şekilde değildir C tipi liflerde bu yetenek %3-4'e kadar çıkabilmektedir [74].
- Yoğunlukları 2,5-2,7 g/cm³ dür. Alüminyum da aynı değerlere sahiptir bu bakımdan benzerlik göstermektedirler. Cam liflerinden yapılan yün camları büyük çapta geniş hacimli hava içermektedirler bununla birlikte özgül ağırlıkları 0,025'dir ki normal cam liflerine oranla düşük sayılmaktadır [74].
- Cam lifleri %0,13-0,8 arasında nem içermektedir [73].
- Kompozitlerde kullanılan cam liflerinin yoğunluk itibari ile yaklaşık olarak 2,11 g/cc (D-tipi cam lifi) ile 2,72 g/cc (ECRGLAS tipi cam lifi) arasında değişim göstermektedir. Tablo 2.2'de fiziksel özellikleri gösterilmektedir [75].

Tablo 2.2. Cam liflerinin fiziksel özellikleri [75]

	A Tipi	C Tipi	D Tipi	E Tipi	Advantex	ECRGLas	AR Tipi	R Tipi	S2 Tipi
Yoğunluk g/cc	2,44	2,52	2,11-2,14	2,55-2,62	2,62	2,68-2,72	2,7	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	588	771	846	916	882	773	952	1056
Tavlanma Noktası °C		522	521	657	736				816
Gerilme Noktası °C			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
Esneleme %	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 ⁶ m		3	2,7	3,1		3,25		3,7	3,9

- Camın mukavemetini nemin büyük oranda etkilediği çalışmalarla birlikte görülmüştür. S-2 tipi cam lifinin ölçülen maksimum mukavemet değeri 12,7 mm uzunluğunda ve 10 µm çapında lif için 11,6 Gpa olarak ölçülmektedir. Ortam sıcaklığı arttıkça cam liflerinde mukavemette azalışlar görülmektedir. Sertleştirilmemiş silikat cam liflerinin elastisite young modülleri yaklaşık 52 gPa ile 87 Gpa arasında değişmektedir. Lif ısıtıldıkça modül kademe kademe artış göstermektedir (Şekil 2.8) [75].



Şekil 2.8. Cam liflerinin kopma mukavemeti ve uzaması [76]

2.3.5. Cam liflerin elektriksel, kimyasal ve termal özellikleri

Cam liflerinin bu özellikleri aşağıda gösterilmiştir:

- Yanmaya karşı son derece dayanıklıdırlar ve 1150 °C civarında erimeye başlarlar.
- Asitlerin çoğuna karşı dayanıklı olmakla birlikte sıcak hidroflorik asit ve fosforik asitten etkilenirler.
- Derişik bazlar ve sıcak baz çözeltilerin de olumsuz etkilenmektedirler.
- Birçok organik çözüğenden, bakteri ve güvelerden ve mikroorganizmalardan olumsuz olarak etkilenmemektedir.
- Elektrik ve ısıyı iletmemektedirler.

- Ağırlık kaybındaki % değeri cam liflerin asit,baz ve suya karşı dayanımları hakkında bilgi vermektedir. Bu değer düştükçe camın korozif çözeltilere karşı dayanımı artmaktadır. Belirli bir cam karışımının asidik koşullardaki korozyon oranı asit konsantrasyonundan, ortam sıcaklığından, lif çapından ve çözelti hacminin cam kütesine oranından etkilenmektedir. Bazik koşullarda cam liflerindeki ağırlık kaybı ölçümleri daha subjektif olmaktadır.
- Yapılan araştırmalara göre suyun cam liflerin mukavemetine önemli oranda etki ettiğini göstermiştir. Yıkama ile beraber cam liflerin mukavemetlerinde önemli oranda düşüş yaşanmaktadır. Mukavemet değeri lif çapına ve içerdiği alkali miktarına göre değişim göstermektedir. Isı değişkenlikleri cam liflerin mukavemetine önemli oranda olmasada az da olsa değişkenlik yaratmaktadır. Genellikle -50°C ' den -250°C 'ye kadar değişen ısının etkisi pek görülmez, fakat $+250^{\circ}\text{C}$ 'den sonra ısı ve zaman mukavemeti etkiler [74]. Tablo 2.3'de cam liflerin elektriksel, kimyasal ve termal özellikleri gösterildiği gibidir.

Tablo 2.3. Cam liflerinin kimyasal, elektriksel ve termal özellikleri [75]

	A Tipi	C Tipi	D Tipi	E Tipi	ECRglass	AR Tipi	R Tipi	S-2 Tipi
Dayanım (% Ağırlık Kaybı)								
KİMYASAL ÖZELLİKLER								
H ₂ O : 24 δ	1,8	1,1	0,7	0,7	0,6	0,7	0,4	0,5
168 δ	4,7	2,9	5,7	0,9	0,7	1,4	0,6	0,7
% HCl : 24 δ	1,4	4,1	21,6	42	5,4	2,5	9,5	3,8
168 δ		7,5	21,8	43	7,7	3	10,2	5,1
%10 H ₂ SO ₄ : 24 δ	0,4	2,2	18,6	39	6,2	1,3	9,9	4,1
168 δ	2,3	4,9	19,5	42	10,4	5,4	10,9	5,7
%10 Na ₂ CO ₃ : 24δ		24	13,6	2,1		1,3	3	2
168 δ		31	36,3	2,1	1,8	1,5		2,1
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER								
Dielektrik Sabiti 1MHz	6,2	6,9	3,8	6,6	6,9	8,1	6,4	5,3
1DGHz			4,0	6,1	7,0			5,2
Dağılma Faktörü 1MHz		0,0085	0,0005	0,0025	0,0028		0,0034	0,00 2
1DGHz			0,0026	0,0038	0,0031		0,0051	0,00 68
Hacim dayanıklılığı (ohm-cm)	1E+10			4,02E+1 4	3,84E+14		2,03E+1 4	9,05 E+1 2

Tablo 2.3.(Devam) Cam liflerinin kimyasal, elektriksel ve termal özellikleri [75]

	A Tipi	C Tipi	D Tipi	E Tipi	ECRglass	AR Tipi	R Tipi	S-2 Tipi
KİMYASAL ÖZELLİKLER								
Dayanım (% Ağırlık Kaybı)								
Yüzey dayanıklılığı (ohm)				4,02E+15	1,16E+16		6,74E+13	8,86E+12
Dielektrik dayanımı (volt/mil)				262	250		274	330
TERMAL ÖZELLİKLER								
Spesifik Isı J/g °C								
23 °C	0,785	0,787	0,733	0,81			0,732	0,737
200 °C		0,9		1,03	0,97		0,938	0,821
Termal Esneme								
Katsayı (x10 ⁻⁷)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
-30 °C'dan 250 °C'a kadar	73	63	25	54	59	65	33	16

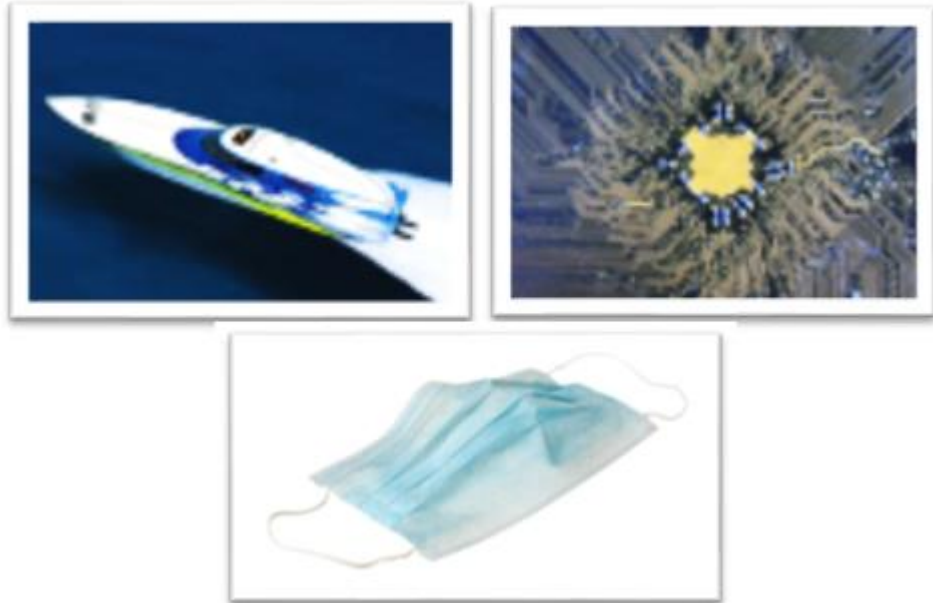
2.3.6. Cam liflerin kullanım alanları

Cam liflerinin uzama yetenekleri ve sürtünme mukavemetleri oldukça düşüktür ve bununla beraber insan cildini rahatsız edici bir yapısı vardır bu nedenle giyim eşyası olarak pek kullanıma uygun değildir. Ancak rutubeti emme özelliği çok az olduğundan dolayı vücudu soğuk tutmaktadırlar ve ayrıca toksik etkileri bulunmamaktadır. Cam liflerinin olumlu ve olumsuz özellikleri ile birlikte düşünüldüğünde olumlu yanlarını kullanabilmek adına diğer tekstil lifleri ile karıştırılarak kullanılmaya elverişli hale getirilir. Isıyı ve elektriği iletmeme özelliğinden dolayı, ısı ve elektrik izolasyon maddesi olarak ve yüksek mukavemet özelliğinden dolayı plastik malzemelerin dayanımını arttırmak için takviye maddesi olarak kullanılmaktadır. Bununla beraber bazı teknolojik gelişmeler günümüzde cam liflere son derece önem kazandırmıştır. Isı geçirgenliğinin oldukça düşük olması, özellikle sağlık alanında kullanılan röntgen ve radyasyon ışınlarını önlemesi bu duruma örnek olarak gösterilebilmektedir. Örneğin, ışınlara ve yangınlara karşı tente, perde, önlük, masa örtüsü, mobilya yüzü, miğfer, elbise, vs. gibi koruyucu eşya ve kumaşların yapılması yine bu özelliğine dayanmaktadır. Aynı şekilde ticarete önemli bir payı olan petrolün taşındığı tanker gemilerinde, can kurtaran kayıkların ve yangından koruyucu eşyaların yapılmasında

kullanılmaktadırlar. Çatıların üstünün kaplanmasında kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Asıl önemini çeşitli otomobil gövdelerinin, yarış araba ve kayıklarının, tankların ve uçakların bazı parçalarının yapılmasında görmekteyiz. Yine cerrahların kullandığı maskelerde de cam liflerin kullanımı büyük öneme sahiptir. Günümüzde teknolojinin gelişimi ve yapılan araştırmalarla beraber cam lifleri inşaat sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle hazır betonlarda betonun çekme ve basınç dayanımını arttırmaktadır [74,77].



Şekil 2.9. Cam liflerinin kullanım alanlarına örnekler [77]



Şekil 2.10. Cam liflerinin kullanım alanlarına örnekler [77]

2.3.7. Cam fiber ile yapılan çalışmalar

Aydın ve Sarıbiyik (2011) yaptıkları çalışmada yüksek basınç dayanımı ile tanınan betonun, yüksek çekme dayanımına sahip GFRP kutu profiller ile birlikte Hibrit kullanımını araştırmışlardır. Plastik haldeki betonun GFRP kutu profiller içerisine

yerleştirilmesiyle Hibrit yapı elemanları oluşturmuşlardır, malzeme üzerinde deneysel ve teorik çalışmaları yapmışlardır. Öncelikle GFRP profillerine ait özellikleri tespit etmişlerdir, farklı dayanımlarda üretilen betonlar ile imal edilen Hibrit malzemenin basınç ve eğilme davranışlarını araştırmışlardır. Hibrit malzemenin bileşenleri olan Beton ve GFRP profillere göre gösterdiği gelişimleri belirlemişlerdir ve profillerde iyileştirmeler yaparak malzeme davranışına etkilerini araştırmışlardır. Tasarlanan Hibrit kirişler ile ilgili yaptıkları teorik çalışmalarda deneysel sonuçlara yakın iyi bir uyum elde etmişlerdir. Çalışmalar neticesinde Hibrit tasarım oluşumundan kaynaklı birçok avantaja sahip olmasının yanında, bileşen malzemelerine göre daha üstün fiziksel ve mekanik özellikler gösterdiğini tespit etmişlerdir [78].

Yarimoğlu ve Köroğlu (2018) yılında yürüttükleri çalışma ile yapı malzemesi olan betonun GFRP kutu profil malzeme içerisine yerleştirip bir hibrit malzeme meydana getirerek, malzemeyi inceleyip mekaniksel performansını gözlemlemişlerdir. Çalışmada öncelikle ellerindeki GFRP kutu profil malzemenin özelliklerini incelemişlerdir. Daha sonra laboratuvar ortamında ürettikleri beton ile birlikte oluşturdukları hibrit malzemenin eğilme altındaki davranışını gözlemişlerdir. Hibrit malzemede gözlenen değerler beton ve GFRP kutu profile göre kıyaslayarak profildeki boşluk ve doluluk oranlarını değiştirerek elde edilen sonuçlar arasında karşılaştırmalar yapmışlardır. Bu çalışmada kullandıkları hibrit malzemeyi cam fiber olarak seçmişlerdir [79].

Aydın ve Beycioğlu (2018) çalışmalarında çelik donatının korozyonu sonucu yapı durabilitesini azaltan yapısal sorunlara önemli bir alternatif çözüm getirebilecek cam lif takviyeli kompozit donatıların aderans performanslarını eğilme altında incelemişlerdir. Bu amaçla, C35 sınıfında geleneksel beton ile C50 sınıfındaki yüksek dayanımlı betonlarla üretilen mafsallı kiriş numuneleri üzerinde çelik donatı ile farklı yüzey formlarındaki cam lifli polimer kompozit donatıların eğilmede aderans performanslarını karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Bu çalışmalarında eğilme elemanlarındaki betonarme sistem davranışını daha iyi temsil etmesi, betonda yarıma ve donatıyı bırakma riski bulunmaması ayrıca lif takviyeli polimer kompozit donatıların kavranmasından kaynaklı sorunlar oluşmaması nedeniyle Mafsallı Kiriş yöntemi ile eğilme etkisindeki beton-donatı aderansını belirlemeye çalışmışlardır [80].

Gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalar ile yeni olan ve literatür boşluğu bulunan bu konuya katkı sağlamayı amaçlamışlardır.

Yıldırım ve Sarıbyık (2019) çalışma kapsamında cam lifi ve cam tozunu polimer betona aynı hacimlerde ikame ederek, polimer betonun mekanik dayanımları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla %0,1, %0,5, %1 oranında cam lifi ve cam tozu ikame etmişlerdir. Cam lifi ve cam tozu ise uygun şartlarda ve hacimde kullanıldığında, geleneksel betonda ve yapı elemanlarında eğilme ve basınç dayanımlarını artırma özelliğine sahip bir malzemedir. Cam lifi ve cam tozu katkılı betonların, katkı oranlarına bağlı olarak eğilme ve basınç dayanımlarını arttırdığını gözlemlemişlerdir. Fiziksel özellikleri açısından, birim hacim ağırlığını katkı madde oranlarına bağlı olarak arttırdığını görmüşlerdir. Numunelerde su emme miktarının oldukça düşük çıkması su emmeyen malzemelerden oluştuğunu göstermiştir. Suyu az emmesinin sebebi olarak numunelerde boşluk değerinin polimer betonun su emmeyen malzeme olmasından buna bağlı olarak numunede doluluk değerinin neredeyse bire yakın çıkması olarak yorumlamışlardır. Üretilen gruplara ait maliyet analizlerine baktıklarında ise polimer betonların normal betonlara göre daha maliyetli çıktığını söylemişlerdir. Deney sonuçları geneline baktıklarında katkı kullanılan numunelerde, referans numuneye göre iyi sonuçlara ulaşmışlardır [81].

Abdulrazıq ve Gülşan (2017) tez çalışmalarında cam fiber takviyeli polimer tüplerin aksenal basınç yüklemesi altındaki mekanik davranışını araştıran deneysel araştırmalarını sunmuşlardır. Cam takviyeli polimer tüpler kare kesitlidir ve kendiliğinden yerleşen betonla doldurmuşlardır. Bu deney programında kesit alanı, uzunluk ve kendiliğinden yerleşen betonun basınç mukavemeti gibi önemli değişkenlerini dikkate alarak 10 adet numune test etmişlerdir. Cam fiber takviyeli polimer tüplerin kolon uygulaması, betonun polimer tüp tarafından sargılanmasının kolonların aksenal basınç yüklemesi altındaki mekanik performansını önemli derecede geliştirdiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, cam fiber takviyeli polimer kare tüpler kalıcı bir kalıp olarak imalat sürecini kolaylaştırmakta ve kolonlar için asit ve alkaliye karşı daha iyi bir çevresel koruma sağladığını ifade etmişlerdir. Kendiliğinden yerleşen betonla doldurulmuş cam fiber takviyeli kare tüplerin deney sonuçlarında yük taşıma kapasitesini 20%'e kadar arttırdığını görmüşlerdir. Kırılma ve göçme mekanizmalarının sünek yerine kırılğan olduğunu gözlemlemişlerdir ve bu durumun

çekirdekdeki donatısız betonun kırılğan davranışından ötürü kaynaklandığını gözlemlemişlerdir. Deney sonuçlarından maksimum eksenel birim yerdeğiştirmenin cam fiber takviyeli tüplerin sargılamasından önemli derecede etkilenmediğini tespit etmişlerdir [82].

Yaman ve Kaya (2016) çalışma kapsamında deneylerini daha önce yaptıkları ve deney sonuçları mevcut olan betonarme T kesitli kirişlerde, yüzeylerine yapıştırılan cam elyaf lif takviyeli polimer (GFRP) şeritlerin üzerinde bulunan ankrajların sayısının, kirişlerin kesme dayanımına olan etkisini analitik olarak incelemişlerdir. Bu doğrultuda laboratuvar sonuçları mevcut olan bu betonarme kirişlerin ABAQUS/CAE (Complete Abaqus Enviromental) sonlu eleman programı ile modellemesini yapmışlardır. Sonlu elemanlar metodu uygulamışlardır. Ankraj sayısının artması ile kesme dayanımının arttığı analiz sonuçlarındaki yük değerleri ile görmüşlerdir [83].

Kankal ve Kaya (2011) yılında çalışmalarında ankraj bulonlarının sayısının güçlendirilmiş bu kirişlerin kapasitelerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında 5 adet basit mesnetli betonarme kirişi test etmişlerdir. Çalışmalarında Afet Yönetmeliğine göre tasarlanmış bir adet iyi referans eleman, kesme donatısı yetersiz bir adet kötü referans eleman ve GFRP plaklarla güçlendirilmiş üç adet eleman kullanmışlardır. Kiriş yüzeyine yapıştırdıkları GFRP şeritlerin kiriş yüzeylerine sırayla 2, 3 ve 4 adet bulonla ankrajını yapmışlardır. Çalışmalarındaki tüm kirişleri monotonik yükler altında test etmişlerdir. Güçlendirilmiş kirişlerin testlerinden elde edilen sonuçları iyi referans ve kötü referans olarak adlandırılan deney elemanlarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Güçlendirilen üç adet kirişten 2 ve 3 adet bulon kullanılan kirişler kötü referans olarak adlandırılan ve kesme kırılmasından dolayı göçen kirişten daha çok yük taşımıştır. Fakat bu iki kirişte de kötü referans gibi kesme kırılması gözlemlemişlerdir. GFRP şeritlerin kiriş yüzeylerine yapıştırılmasında 4 adet bulon kullanılan kiriş kötü referans olarak adlandırılan ve kesme kırılmasından dolayı göçen kirişten daha çok yük taşımış ve iyi referans olarak adlandırılan ve eğilme kırılması gözlenen kirişe yaklaşık olarak eşit yük taşımıştır. Ayrıca bu kiriş sünek davranış göstererek eğilmeden dolayı kırılmıştır. Bu tez kapsamında cam fiber kullanılmıştır [84].

3. MALZEMELER VE METOT

Bu bölümde çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri, zemine ilave edilen cam fiber katkısının karışım oranları ve deneyde kullanılan numunelerin hangi ortamlarda ve hangi şekilde hazırlandığı hakkında bilgiler verilmiştir. Deney yöntemleri tanıtılmış ve numuneler üzerinde yapılan deneylerin sonuçları tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.

3.1. Malzemeler

3.1.1. Kil çeşitleri

İçindeki demir oksit, mika, silis gibi minerallerin kimyasal özellikleri sebebiyle beyaz, kahverengi, yeşil ve beyaz gibi farklı renklerde doğada bulunabilirler. Killer girdikleri kaplarda saf halde olmadıkları için kolay bir şekilde ayırt edilebilirler. Dane boyutlarının küçük olması ve su içerisinde bulunduğu kalıcı süspansiyonlarda bulunması ayırt edilebilmesini kolaylaştıran başka bir nedendir. İçinde bulunan kimyasallara göre gruplandırılırlar. Tablo 3.1’de kil minerallerin kimyasal bileşimi verilmiştir [85].

Tablo 3.1. Kil minerallerinin (ağırlığa göre) kimyasal bileşimi (%) [85]

Kil Mineralleri	S _i O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Kaolinit	45-48	38-40	-	-	-	-	-	-
Montmorillonit	42-55	0-28	0-3	0-0,5	0-3	0-2,5	0-0,5	0-3
Nontronit								
İllit	50-56	18-31	2-5	0-0,8	0-2	1-4	4-7	0-1
Vermikülit	33-37	7-18	3-12	0-0,6	0-2	20-28	0-2	0-0,4
Klorit	22-35	12-24	0-15		0-2	12-34	0-1	0-1

3.1.2. Bentonit

Bentonitler, esas minerali montmorillonittir. Bentonit adı, bu killer için yaygın ve ticari olarak kullanılan bir terim olup yumuşak koloidal özellikli alüminyum hidrosilikattır.

Bentonitler, montmorillonit haricinde hektorit, nantronit ve saponit de içermektedir. Fakat fazla miktarda montmorillonit minerali içerdiğinden doğrudan montmorillonit olarak ifade edilmektedir. Suyla temasa ettiğinde şişmektedir, asitle aktiflendirilebilen, sondaj çamuru olarak kullanılabilen, iyon değiştirme özelliğine sahip ve geniş yüzey alanı gösteren kil türüdür [86,87]. TS 5360 göre bentonit içerisinde bol miktarda montmorillonit bulunduran yoğunluğu 2,2-2,7 gr/cm³ arasında değişen su emerek şişme özelliği gösteren yüksek plastisiteye sahip doğal bir kildir [88,89]. Bentonitin doğal görünümü Şekil 3.1’de verilmiştir.



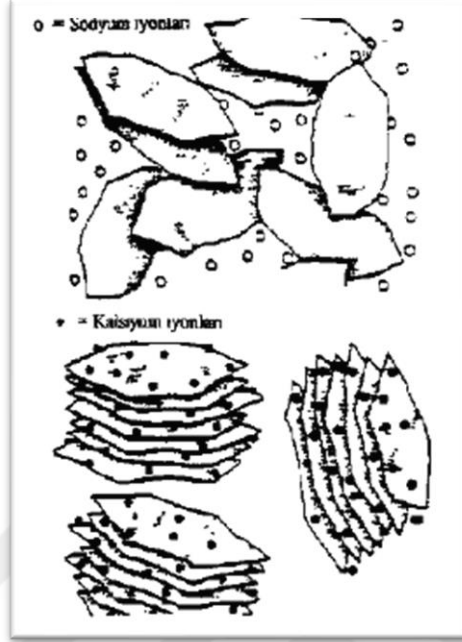
Şekil 3.1. Doğal bentonit görünümü

3.1.2.1. Bentonitin özellikleri

Şişme;

Şişme özelliği bentonitleri diğer kil minerallerinden ayıran en önemli özelliktir. Bentonitlerin Na-Bentonit, Ca-bentonit ve ara bentonit olarak sınıflandırılmasında da kil minerallerinin şişme özellikleri ana belirleyici faktörlerdendir. Bu bentnitler içerisinde görülmüştür ki suda şişme özelliği gösteren Na-Bentonitlerdir. Na-Bentonitler şişme özelliği ile beraber bünyelerine yaklaşık 1-15 kat su alabilirler, fakat bu suyu uzun süre tutamazlar ve 100-150 °C gibi düşük sıcaklıklarda kaybederler. Bentonitler kurduklarında eski hallerine dönmektedirler. Bentonit killerin bu şişme

özelliği sayesinde geniş bir kullanım alanı vardır. Su alan bentonitin şematik olarak gösterimi Şekil 3.2'de gösterilmiştir [86,87,90].



Şekil 3.2. Su alan bentonit

Plastisite;

Plastisite, basınç altında belli bir şekil alan ve bu basınç ortadan kaldırıldığında aldığı şekli koruyan kilin çamur yapma eğilimi olarak tanımlanmaktadır. Killerde plastisite özelliğini etkileyen faktörler arasında mineralojik bileşimleri ve yüzey kimyası özellikleri doğrudan etki etmektedir. Killerin dane boyutları ve nem içerikleri plastik davranışı doğrudan etkileyen faktörlerdir. Dane boyutunun küçülmesi kilde plastik özelliğini arttırmaktadır, nem içeriğinin %5' in altına düşmesi ise kilde plastik özelliğini düşürmektedir [87].

Isıl özellikleri;

Killer ısıtıldığında zaman, nem yaklaşık 105 °C de, CaCO₃ ve MgCO₃ gibi safsızlıklar ise 650 - 850 °C de ayrılarak CO₂ gazı uzaklaşmaktadır. Kil mineralinin cinsine bağlı olarak 120 - 145 °C arasında içindeki suyu yapıdan uzaklaştırmaktadır. 600 -750° C arasında, içerisindeki OH iyonlarını uzaklaştırmaktadır, bu durum kütle kaybına ve hacimsel küçülmeye sebebiyet vermektedir. Isının 900 °C ' ın üzerine çıkmasıyla bentonit kilinde mukavemet artışları gözlenmektedir. Bentonit killer, 950 - 1100 °C

arasında ergime noktasına ulaşırlar, bununla beraber ısıtılan bentonitin kimyasal ve mineralojik yapısındaki değişmelere paralel olarak tüm fizikokimyasal özellikleri de değişmektedir [87].

Bentonit kullanım alanları;

Bentonit genellikle katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bentonitin kimyasal özelliklerinden çok fiziksel özellikleri kullanılmaktadır. Bentonitin kullanım alanları belirleyen suyla birlikte şişmesi, rengi, dane boyutu, nem çekme oranı gibi özellikleridir.

- Sondaj alanında kullanımı: Sondajcılık sektöründe son derece önemli bir maddedir. Matkap tarafından parçalanan kaya parçacıklarının yüzeye taşınmasında önemli derece de rol oynamaktadır. Sondaj esnasında delinen kuyunun cidarında sızdırmaz bir tabaka oluşturur ve bu şekilde suyun kaçmasını önler [87].
- Döküm Kumu ve Peletleme Alanında Kullanımı : Bentonit plastisitesi sayesinde döküm kalıplarının yapımında döküm kumunun birbirine bağlanmasını sağlamak amacı ile kullanılmaktadır [88].
- Kedi Kumu (Adsorban) Olarak Kullanımı : Kedi kumu olarak kullanılan killer, yüksek yoğunluklu (bentonit) ve düşük yoğunluklu (sepiyolit, atapuljit) killer olarak ikiye ayrılır. Sektörde daha çok düşük yoğunluklu killer kullanılmakla birlikte, bentonitin kullanım oranı da %25 civarındadır.
- Kağıt Sanayi :Dolgu maddesi olarak kalsitin yerini son yıllarda beyaz bentonitler almaya başlamıştır. Kağıt hamuruna az miktarda ilave edilen bentonit katranın, reçinenin ve balmumunun bir yerde toplanmasını önler ve renk verici olarak bilinen pigmentlerin homojen olarak dağılımını sağlar [88].
- İnşaat Mühendisliğinde Bentonit Kullanımı: Şişme ve jel oluşturma özellikleri sayesinde bentonit, inşaat sektöründe su kaçaklarını önlemede kullanılır. İnşaat sektöründe kullanılacak olan bentonitin çok ince taneli, plastisitesinin ve tiksotropisinin yüksek olması gerekir. Ayrıca akademik çalışmalarda zemin olarak ta kullanılmaktadır.
- Seramik Sanayinde Kullanımı : Bentonit özelliği gereği yüksek plastisiteye sahiptir. Seramik sanayinde hamurun plastisitesini arttırmak için bentonitin bu özelliğinden

faydalanılır. Kaolin seramik çamurunun esas hammaddesi olmakla birlikte yüksek plastisitenin gerektiği yerlerde bentonit kullanılmaktadır.

- Boya sanayinde kullanımı: Bentonitler, boyanın içindeki hammaddelerini adsorbe özelliğini kullanarak kalıcı süspansiyon oluştururlar. Böylece hem boyanın çökmesini engellerler hemde boyanın sürüldükten sonra akmasını önlemektedir. Bu gibi özellikleri ile beraber bu sektörde çalışanlar için büyük kolaylık sağlamaktadırlar. Tüm bu sebeplerle birlikte bentonit su bazlı ve solvent bazlı boyalarda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır [87].

Tablo 3.2. Bentonitlerin kullanım alanlarının yüzdeleri (%) [91]

Kağıt sanayi	16,18
Döküm	5,88
Zirai ilaç	8,82
Deterjan	18,66
Flotasyon	5,15
İnşaat sanayi	4,78
Yağ endüstrisi	6,25
Lastik sanayi	5,51
Boya	5,88
İlaç	4,81
Yangın söndürücüleri	3,68
Sondaj, dolgu	7,35
Seramik sanayi	15,81

Özet olarak bentonitin kendine has özellikleri ile kullanıldığı alanlar Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. Bentonitin, özelliklerine bağlı olarak kullanıldığı alanlar [90]

Özellikler	Kullanım alanları
Şişme özelliği	İnşaat mühendisliği (temel ve baraj yapılarında su ve sıvı sızdırmazlığı, sondaj, döküm)
Katyon değiştirme kapasitesi	Gübre, deterjan, ağartma toprağı, boya sanayi
Plastiklik Özelliği	Boya sanayi, seramik, sondajda sondaj çamuru jelleştirme
Reolojik Özelliği	Gübre yapımı, boya sanayi, harç yapımı, yapıştırıcılar
Absorplama Özelliği	Yemeklik ve suyu yağların ağartılmasında, berraklaştırma işlemlerinde (şarap ve meyve suları), kağıt sanayi, sabun üretimi, ilaç sanayi, atık suların temizlenmesi

3.1.3. Cam fiber

Cam, seramik ve grafit liflerinden özel kullanımlar için çeşitli mineral lifler üretilmektedir. En önemli mineral lif, cam lifleridir. Cam, sert ve esnek olmayan bir malzeme olmasına rağmen, ipek hissi ve görüntüsüne sahip, ince ve saydam tekstil lifleri üretilebilir. Dayanıklılığı ve gün ışığına karşı direncinden dolayı, perde ve döşemeliklerde; yanmazlık özelliğinden dolayı ise toplumsal yerlerin (gemi, tren, uçak, tiyatro, sinema gibi) perde, dekor, koltuk döşemelerinde ve masa örtülerinin yapımında kullanılır. Cam lifleri, kolay yıkanır, çekmez, leke tutmaz. Ütülemeye gerek yoktur. Güve ve bakterilerden etkilenmezler. Elektriği iletmezler. Cam lifi elde edilirken; silika kumu, kireçtaşı, soda külü, boraks, borik asit, feldispat ve fluorspar gibi doğal mineraller, lif olarak proses edilmiş cam içerisinde yüksek sıcaklıklar altında eritilirler. Tez kapsamında kullanılan E tipi cam lifinin mukavemeti, yumuşama noktası, gerilme dayanımı gibi bazı fiziksel özellikleri Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4. E tipi ve diğer cam elyaf tiplerinin fiziksel özellikleri [75]

	A Tipi	C Tipi	D Tipi	E Tipi	Advantex	ECRGlas	AR Tipi	R Tipi	S2 Tipi
Yoğunluk g/cc	2,44	2,52	2,11-2,14	2,55-2,62	2,62	2,68-2,72	2,7	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	588	771	846	916	882	773	952	1056
Tavlanma Noktası °C		522	521	657	736				816
Gerilme Noktası °C			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
Gerilme Mukavemeti, Mpa									
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
Esneleme %	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 ⁶ m		3	2,7	3,1		3,25		3,7	3,9

3.2. Yöntem

Bu çalışmada TS 1900-1 standartına uygun olarak zemin sınıfını belirlemek için laboratuvar da etüvde kurutma, likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır.

Bu deneylerden sonra saf bentonit için ve saf bentonit içine Tablo 3.5’de gösterildiği gibi (%1, %2 ve %3) oranlarında rastgele ve homojen olmaya özen gösterilerek karıştırmak koşuluyla kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler cam elyafın katılma oranına(%1, %2 ve %3) ve boyutlarına göre(1mm,2mm ve 3mm) ayrı ayrı katılmış ve her biri için optimum su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlıklar bulunmuştur. Bu deneylerden sonra yapılmış olan serbest basınç deneyleri kompaksiyon deneyleri ile bulunan su muhtevaları ile hazırlanmıştır. Burada serbest basınç dayanımları ile mukavemetler incelenmiştir.

Tablo 3.5. Hazırlanan numunelerde kil ve fiber ağırlığı, fiber boy ve oranları

Karışım No	Numune Tanımı	Kil Ağırlığı(Gr)	Cam Elyaf Fiber Ağırlığı (Gr)	Cam Elyaf Fiber Uzunluğu (Mm)	Cam Elyaf Fiber Oranı (%)
1	Doğal zemin	100	0	0	0
2	%1 Cam elyaf katkılı karışım	100	1	3	1
3	%2 Cam elyaf katkılı karışım	100	2	3	2
4	%3 Cam elyaf katkılı karışım	100	3	3	3
5	%1 Cam elyaf katkılı karışım	100	1	6	1
6	%2 Cam elyaf katkılı karışım	100	2	6	2
7	%3 Cam elyaf katkılı karışım	100	3	6	3
8	%1 Cam elyaf katkılı karışım	100	1	12	1

Tablo 3.5.(Devam) Hazırlanan numunelerde kil ve fiber ağırlığı, fiber boy ve oranları

Karışım No	Numune Tanımı	Kil Ağırlığı(Gr)	Cam Elyaf Fiber Ağırlığı (Gr)	Cam Elyaf Fiber Uzunluğu (Mm)	Cam Elyaf Fiber Oranı (%)
9	%2 Cam elyaf katkıli karışım	100	2	12	2
10	%3 Cam elyaf katkıli karışım	100	3	12	3

Deneylerde kullanılan bazı aletler Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Yapılan deneylerde kullanılan bazı aletler

Yürütülen deneylerde malzemelerin homojen olarak karışmasına ve kür süresine dikkat edilmiştir. Bu süreçte saf bentonit için numune özellikleri Tablo 3.6’da gösterildiği gibidir. Yine aynı şekilde cam fiberin çeşitli uzunluk ve oranları ile birlikte yapılan deneylerle alakalı genel bilgiler Tablo 3.7’de gösterildiği gibidir.

Tablo 3.6. Saf bentonit kilinin deneyleri ile alakalı genel bilgiler

	Likit Limit	Plastik Limit	24 Saat Kür (LL)	24 Saat Kür (PL)	Kompaksiyon Deneyi	Serbest Basınç Deneyi	Süre	Numune Adedi
Saf Bentonit	+	+	+	+	+	+	Anlık	6

Tablo 3.7. Yapılmış olan deneylerle alakalı genel bilgi

	Kompaksiyon Deneyi	Serbest Basınç Deneyi	Süre	Numune Adedi
%1 3 MM FİBER NUMUNE	+	+	Anlık	6
%1 3 MM FİBER NUMUNE	+	+	7 Günlük	6
%2 3 MM FİBER NUMUNE	+	+	Anlık	6
%2 3 MM FİBER NUMUNE	+	+	7 Günlük	6
%3 3 MM FİBER NUMUNE	+	+	Anlık	6
%3 3 MM FİBER NUMUNE	+	+	7 Günlük	6
%1 6 MM FİBER NUMUNE	+	+	Anlık	6
%2 6 MM FİBER NUMUNE	+	+	Anlık	6
%3 6 MM FİBER NUMUNE	+	+	Anlık	6
%1 12 MM FİBER NUMUNE	+	+	Anlık	6
%2 12 MM FİBER NUMUNE	+	+	Anlık	6
%3 12 MM FİBER NUMUNE	+	+	Anlık	6
Toplam				72

3.2.1. Fiziksel deneyler

Bu bölümde yapılmış olan deneyler bentonit kilinin fiziksel özelliklerini bulmaya yöneliktir. Bu doğrultuda casagrande yöntemi ile likit limit, plastik limit ve etüvde kurutma deneyleri yapılmıştır. Bulunan sonuçlar tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.

3.2.1.1. Kıvam limit deneyleri

Çevremizde yapılmış yapıların zeminlerini incelediğimizde; zeminlerin heterojen ve izotropik olmayan bir niteliğe sahip olduğunu görmekteyiz. İnce daneli zeminler için sınıflama yapabilmek için kıvam limitlerini bulmak gerekmektedir. Bu doğrultuda TS 1900-1’de belirtilen Casagrande yöntemi ile likit limit, plastik limit ve Etüvde Kurutma Metodu deneyleri yapılmıştır.

3.2.1.2. Etüvde kurutma metodu

Bu deney, zemindeki su miktarının tayin edilmesi ve bunun zeminin kuru kütlelerinin yüzdesi olarak gösterilmesini kapsamaktadır. Fakat bu deneydeki asıl amaç malzeme hakkında genel bir bilgi elde etmektir.

Temizlenip kurutulmuş kap ve kapağı hassas bir şekilde tartılmıştır (M1). Yaklaşık 90 gr yaş malzeme kabın içine gevşek olarak doldurulmuştur. Ve kapak kapatılıp bu şekilde tartılmıştır (M2). Bu değer Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Kap ve yaş zemin ağırlığı

Kapağı açılan kap, kap ve içindeki numune ile birlikte etüve konulmuştur. 24 saat kadar etüvde bırakılan numune, değişmez kütleye geldiği görüldükten sonra çıkarılmıştır. Numunenin etüvde kaldığı sürede kapağının kapatılmamasına özen gösterilmiştir. Numune kuruduktan sonra kap, içindeki numunelerle birlikte kapağı kapatılmadan oda sıcaklığına kadar soğumak üzere uygun yere bırakılmıştır. Daha sonra kapağı kapatılan kap içindeki numune ile birlikte hassas bir şekilde tartılmıştır (M3). Bu değer Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Kap ve kuru zemin ağırlığı

Zeminin su muhtevası (w) yaşı zeminin kuru zemine oranının yüzdesi olarak ifade edilmektedir.

3.2.1.3. Casagrande yöntemi ile likit limit tayini

Bu yöntemde, 200 gr kadar alınan doğal zemin numunesi damıtık su ile homojen bir hamur durumuna gelene kadar karıştırılır. Sonra bu karışım, suyun numunenin her yanına yayılmasını sağlamak amacıyla, hava geçirmez bir kap içerisinde 24 saat süreyle oda sıcaklığında bekletilir. Numune kaptan çıkartıldıktan sonra 10 dakika süre ile yine karıştırılmıştır. Numune alete 1 cm kalınlığında olacak şekilde serilir. Türk standartlarında özellikleri anlatılan oluk açma bıçağı ile 2 mm oluk açılmaktadır. Deney aleti saniyede 2 sefer olmak üzere 10 mm yükseklikten serbest olarak düşürülmektedir. Bu düşürme işlemi açılan oluk yaklaşık olarak 13 mm kapandığında sonlandırılmaktadır. Deney sonlandıktan sonra numune alınıp etüve kurumaya bırakılmaktadır. Deney bu şekilde su katılarak vuruş sayıları 10 ile 50 vuruşa denk gelene kadar en az 4 numune alınmakta ve etüve bırakılmaktadır. Bu değerler ile

Çizilen grafikte 25 vuruşa denk gelen gelen su içeriği o zeminin likit limitini (w_L) veren su muhtevası olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 3.6. Casagrande deney cihazı ve numune yerleştirilmesi



Şekil 3.7. Likit limit belirlenmesi için alınan rnekler



Şekil 3.8. Likit limit belirlenmesi için yapılan tartım işlemi

3.2.1.4. Plastik limit deneyi

Doğal zeminden 20 gr kadar alınır. Numune homojen bir duruma gelene ve küçük bir top biçimini alabilecek kadar plâstik olana kadar, cam plâka üzerinde, damıtık su ile iyice karıştırılıp yoğrulur. Küre halindeki numune, 3 mm silindirik bir çubuk şeklini alana kadar cam plaka ile el arasında yuvarlanır. Numune çapı yaklaşık 3 mm olduğu anda çatlama ve ve kopma belirmişse bu parçalar toplanıp bir deney kabına konur. Ve yaş numunenin kuru numuneye oranından su muhtevasına gidilir. Burada ölçüm için alınan yaş numunenin yaklaşık 10 gr olmasına dikkat edilmelidir. Bu deneydeki asıl amaç bu değer ile likit limit deneydeki değerler birleştirilerek plastisite indisi değerine gidilmektedir.



Şekil 3.9. Plastik limit deneyi ile su muhtevası bulunması

3.2.2. Standart proktor deneyi

Yapılan bu deney belirli bir metotla sıkıştırılmış bir zeminde, su muhtevasını ve kuru birim hacim ağırlık bulunması ile ilgilidir. Deney 305 mm'den serbestçe düşen 2,5 kg'lık tokmağın sağladığı mekanik işi bulmaya yöneliktir.

Saf haldeki bentonit ve saf bentonitin içine uygun uzunluk ve uygun oranlardaki cam lifler atılarak belli oranlarda su ile beraber bentonitin optimum su muhtevası yani sıkışma miktarı bulunmaya çalışılmıştır. Bentonitin içine belirlenen su miktarı ve cam lif atıldıktan sonra homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Karıştırılan zemin kompaksiyon aletine 3 tabaka halinde konulmuş ve her tabaka konulduktan sonra 25

vuruşa tabi tutulmuştur. Darbeler, her tabaka yüzeyine eşit aralıklarla dağıtılmalıdır. Tokmak kılavuzunun, tokmağın serbest düşüşünü engelleyecek biçimde, zeminle tıkanmamasına özen gösterilmelidir.

Deney bittikten sonra hassas bir şekilde sıkıştırılmış zeminden örnek alınır. Bu işlemler bütün oranlarda tek tek uygulanmıştır. Sonrasında kuru birim hacim ağırlık-su muhtevası grafikleri çizilerek optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerine ulaşılmıştır.

Standart proktor deneyinin yapılışı ile alakalı fotoğraflar Şekil 3.10 ve 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.10. Proktor kalıbı ve deney numunesi



Şekil 3.11. Deney numunesinin sıkıştırılması



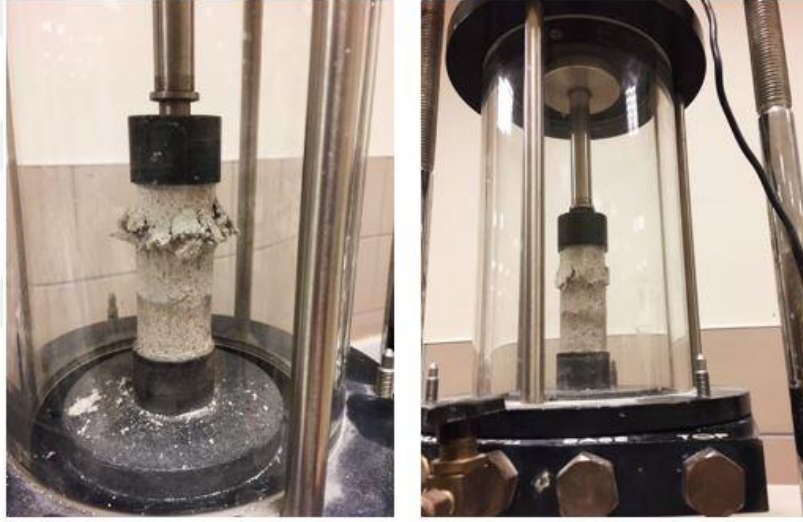
Şekil 3.12. Sıkıştırılmış numune örneği

3.2.3. Serbest basınç deneyi

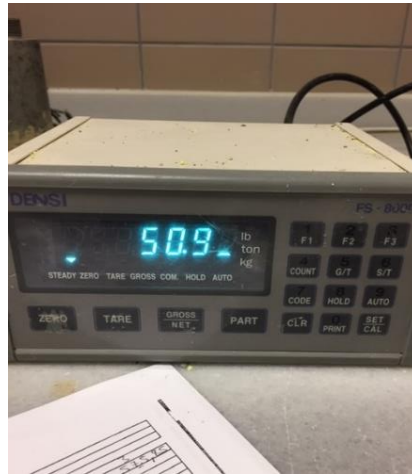
Serbest basınç deneyi aslında yapılan tezin ana amacını görmek için yapılmış bir deneydir. Serbest basınç deneyi ile zeminimizin katılan katkı ile ne kadar dayanım kazandığını görmüş oluruz. Standart proktor deneyi ile belirlenmiş olan optimum su muhtevasında her bir oran ve her bir uzunlukta 6'şar tane numune hazırlanmıştır. Numuneler hazırlanırken uygun şekilde yani içerisinde boşluk kalmadan sıkıştırılmasına özen gösterilmiştir. Cam lif katı ve taneli bir malzeme olduğu için numune içinde homejen bir şekilde dağılmasına ayrıca dikkat edilmiştir. Numunelerin boyu ve eni ölçülmüş ve deney formuna not edilmiştir. Numuneler serbest basınç aletine temas yüzeylerinde boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra yük vermeye başlanmış, uygun aralıklarla değerler okunmuştur. Okunan bu yük değerleri ile birlikte serbest basınç değerleri, yükler ve numune alanları tablolar ve garafikler halinde sunulmuştur.



Şekil 3.13. Deney numunesi



Şekil 3.14. Deney düzeneği ve deney anı



Şekil 3.15. Değer okuma cihazı



Şekil 3.16. Deney sonrası numunelerin görünümü

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, bentonit kilinde fiziksel deneyler, kompaksiyon deneyi ve serbest basınç deneyi ile çıkan sonuçlar irdelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.1. Etüvde Kurutma Metodunda Elde Edilen Sonuçlar

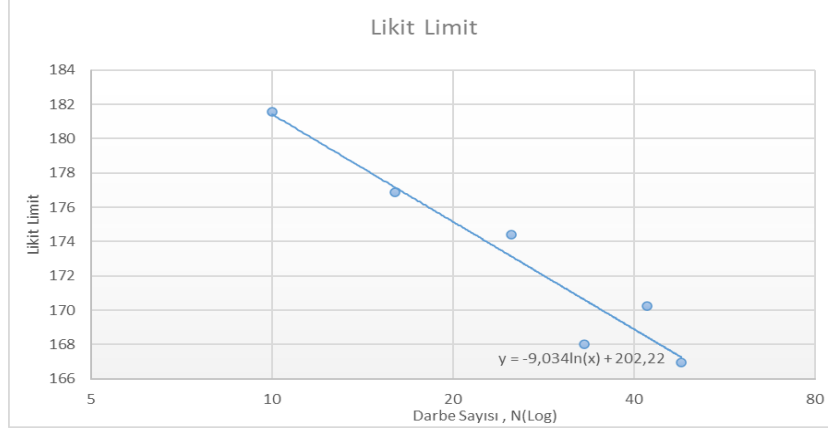
Saf bentonit kilinde, içindeki su içeriği ile alakalı bilgi edinmek adına bu deney yapılmıştır. Deney yapıldıktan sonra kuru numune kütlesi 82,46 g ve su kütlesi ise 5,62 g bulunmuştur. Bulunan bu değerler yüzde olarak oranlandığında %6,85'lik bir su içeriği çıkmıştır. Bu sonuçla beraber numunenin doğal halinin su içeriğinin standartlarda olduğu görülmüştür. Çıkan sonuçlar Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Etüvde kurutma metodu çıkan sonuçlar

Numune no	
Kap no	
Yaş numune + kap kütlesi (M2), g	384,64
Kuru numune + kap kütlesi (M3), g	379,02
Kap kütlesi (M1), g	296,56
Kuru numune kütlesi (M3-M1), g	82,46
Su kütlesi (M2-M3), g	5,62
Su muhtevası ($W= 100M_w/M_k$), %	6,815

4.2. Casagrande Yöntemi İle Likit Limit Deneyi Çıkan Sonuçlar

Casagrande yöntemi ile likit limit deneyine göre 5 farklı vuruşa göre su içerikleri bulunmuştur. Bentonit, montmorillonit türü bir kil olduğu için yüksek su tutuculuğu olan ve şişen bir kildir. Dolayısı ile bu deneyde de çıkan sonuçlar bu duruma kanıt niteliğinde olmuştur. Ayrıca deneyler yapılırken 24 saatlik kür süresine dikkat edilerek gerçekleştirilmiştir. Deneyde çıkan sonuçlar Şekil 4.1 ve Tablo 4.2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.1. Likit limit deneyi çıkan sonuçlar grafiği

Tablo 4.2. Katkısız kilde likit limit deneyi çıkan sonuçlar

Likit Limit KATKISIZ KİL								
Kap No	W _{kap}	Vuruş	W _{yaş+kap}	W _{kuru+kap}	W _{kuru}	W _{yaş}	W _w	W _L
235	33,94	48	45,9	38,42	4,48	11,96	7,48	166,96
80	34,96	42	47,04	39,43	4,47	12,08	7,61	170,25
75	34,84	25	45,46	38,71	3,87	10,62	6,75	174,42
201	34,05	33	46,7	38,77	4,72	12,65	7,93	168,01
227	34,12	16	47,88	39,09	4,97	13,76	8,79	176,86
152	35,96	10	51,56	41,5	5,54	15,6	10,06	181,59

Yukarıdaki tablo ve grafikte görüldüğü gibi 25 vuruşa denk gelen likit limiti (W_L) 174,12 olarak belirlenmiştir.

4.3. Plastik Limit Deney Sonuçları

Bu deney 3 mm kalınlıkta çatlamlar oluncaya kadar yuvarlanmış ve 20 gr kadar numune etüve atılmıştır. 24 saat sonunda yaş ağırlık, kuru ağırlık ve su içeriği oranlandığında plastik limit (w_p) 64,73 olarak bulunmuştur. Yine bu deneyde de görülmüştür ki bentonit kilinin su içeriği fazla gelmiştir. Deney sonuçları Tablo 4.3' de verilmiştir.

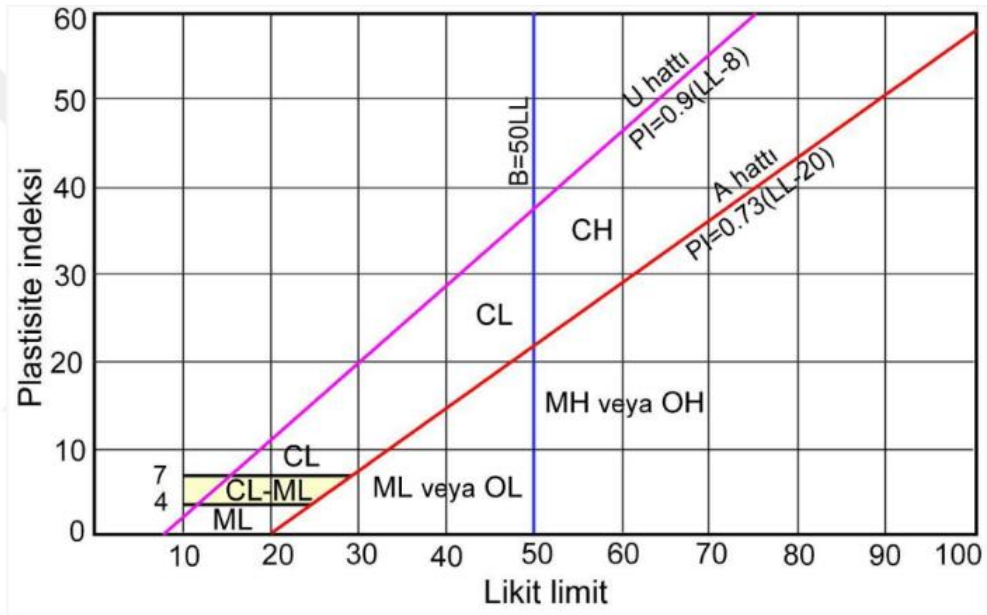
Tablo 4.3. Plastik limit deney sonuçları

Kap No	W _{kap}	W _{yaş+kap}	W _{kuru+kap}	W _{kuru}	W _{yaş}	W _w	W _p
58	37,59	42,2	40,37	2,78	4,61	1,83	65,83
201	34,05	38,55	36,82	2,77	4,5	1,73	62,45
227	34,12	39,13	37,14	3,02	5,01	1,99	65,89
						WP	64,73

4.4. Plastisite İndisi

Bu değer TS 1900-1/2006' ya göre likit limit ve plastik limit arasındaki farktır. Bu değer ile plastisite kartından zemin cinsi bulunmaktadır. Plastisite kartı ince daneli zeminleri sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Bu kart şu şekildedir: Düşey ekseninde plastisite indisi yatay ekseninde ise likit limit bulunur bunlar karşılıklı çakıştırıldığında zemin cinsi o bölgeye karşılık gelen noktadır.

Şekil 4.2'de plastisite kartı görülmektedir. Kullanılan zemin Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemine göre yüksek plastisiteli kil (CH) olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.2. Plastisite kartı

4.5. Kompaksiyon Deneyi

Kompaksiyon deneyi, katkısız kil ve katkısız kile değişik boy ve oranlarda cam fiber katılarak yapılmıştır. Kompaksiyon deneyinde, katkısız için 7 farklı su içeriği kullanılmış olup, cam fiber katkılılarda 6 farklı su içeriği ile deney tamamlanmıştır. Her bir deney de optimum su muhtevaları ve kuru birim hacim ağırlıklar ayrı ayrı tablolastırılmış olup grafiğe de dökülmüştür.

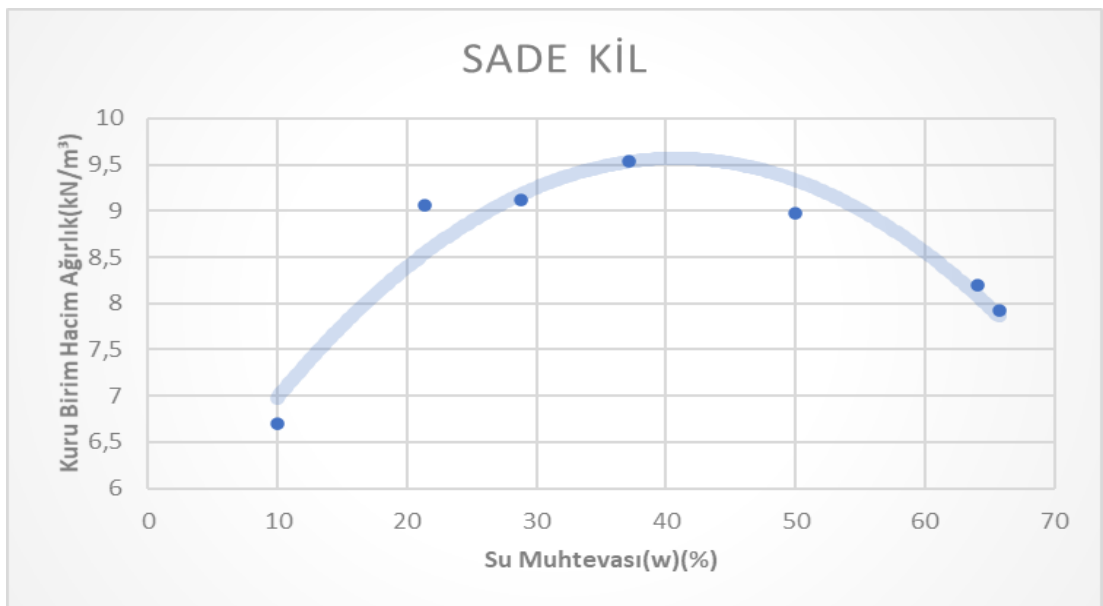
4.5.1. Katkısız kil kompaksiyon deneyi

Katkısız kilde kompaksiyon, 7 farklı su içeriği ile gerçekleştirilmiştir. 150 gr. Bentonit ile %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80 oranlarında su homojen bir şekilde

karıştırılarak kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Deney de kullanılan su içeriklerine göre çeşitli değerler tablo 5.4 de ve bu değerler ile katkısız kilde kompaksiyon deney sonucu Şekil 4.3’de verildiği gibidir. Yapılan bu deneye göre optimum su muhtevası 40 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.4. Katkısız kilde kompaksiyon

Deney No	1	2	3	4	5	6	7
Katılan Su Oranları (mL)	30	45	60	75	90	105	120
Kalıp Ağırlığı	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81
Sıkıştırılmış Zemin + Kalıp Ağırlığı	524,96	550,12	555,35	564,57	567,22	567,15	565,03
Sıkıştırılmış Zemin	51,15	76,31	81,54	90,76	93,41	93,34	91,22
Islak birim hacim ağırlık (kN/m ³)	0,75119	1,12069	1,197498	1,3329	1,37182	1,37079	1,33966
Kap No	21	30	362	45	199	74	363
Kap Ağırlığı (gr)	46,23	46,94	35,48	34,71	33,65	36,09	35,36
Kap + Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	80,84	120,19	115,94	125,12	125,98	124,88	121,24
Kap + Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	77,71	107,32	97,92	100,62	95,19	90,22	87,18
Su Muhtevası (w)(%)	9,942821	21,315	28,85971	37,1719	50,0325	64,031	65,7275
Su Oranı (s)%	9,043629	17,56997	22,39622	27,0988	33,3478	39,0359	39,66
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	6,702729	9,06233	9,116465	9,5324	8,96976	8,19813	7,92991
Kap Hacmi	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092



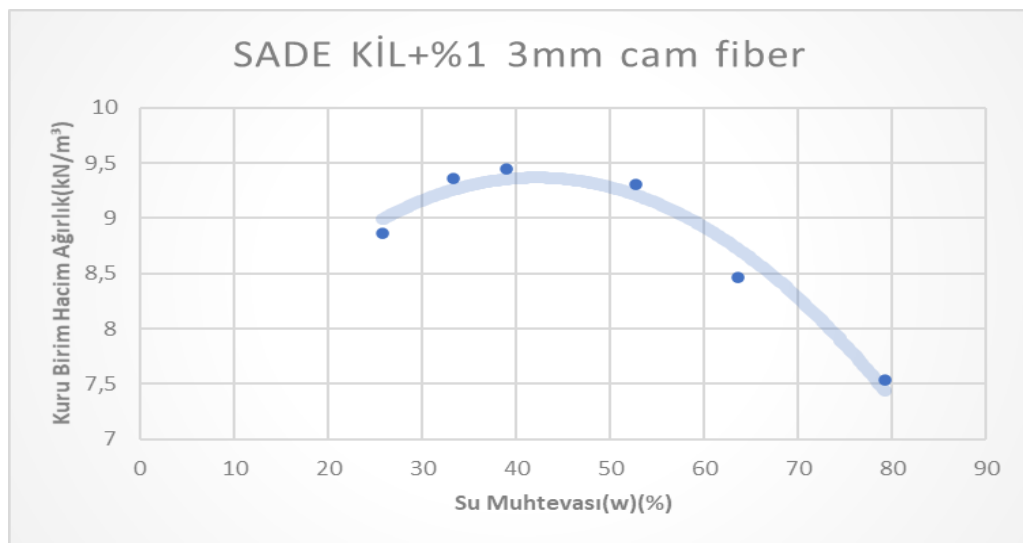
Şekil 4.3. Katkısız kil kompaksiyon deney sonuç grafiği

4.5.2. Katkısız kil ve %1 3mm cam fiber kompaksiyon deneyi

Bu deneyde kompaksiyon yapılırken 6 farklı su içeriği kullanılmıştır. %25, %35, %45, %55, %65, %75 oranlarında su ile bentonit+%1 3 mm cam fiber homojen bir şekilde karışmak koşuluyla deney numunesi hazırlanmıştır. Kompaksiyon deneyinde elde edilen değerler ve bu değerler ile kompaksiyon sonuç grafiği Tablo 4.5 ve Şekil 4.4'de verildiği gibidir. Bu deney ile optimum su muhtevası 41 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.5. Katkısız kil ve %1 3mm cam fiber kompaksiyon

Deney No	1	2	3	4	5	6
Katılan Su Oranları (mL)	37,5	52,5	67,5	82,5	97,5	131,25
Kalıp Ağırlığı	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81
Sıkıştırılmış Zemin + Kalıp Ağırlığı	551,19	560,51	564,92	572,5	569,89	567,56
Sıkıştırılmış Zemin	77,38	86,7	91,11	98,69	96,08	93,75
Islak birim hacim ağırlık (kN/m ³)	1,13640	1,2732	1,33804	1,44936	1,41103	1,37681
Kap No	4	7	3	3	2	4
Kap Ağırlığı (gr)	115	130	201	74	199	20
Kap + Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	34,67	33,93	34,05	36,08	33,65	47
Kap + Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	110,51	120,35	124,72	132,83	127,19	133,89
Su Muhtevası (w)(%)	94,97	98,73	99,28	99,45	90,84	95,48
Su Oranı (s)%	25,7711	33,364	39,0004	52,6747	63,5600	79,2285
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	20,4905	25,0173	7	34,5012	38,8603	44,2053
Kap Hacmi	8,863814	9,3659	9,443	9,31276	8,463084	7,53593
	68,092	68,092	2	68,092	68,092	68,092



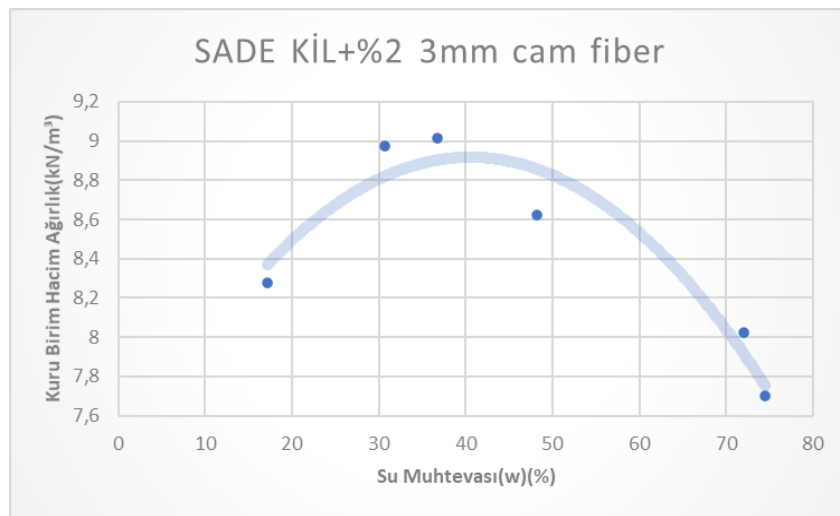
Şekil 4.4. Katkısız kil ve %1 3mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği

4.5.3. Katkısız kil ve %2 3mm cam fiber kompaksiyon deneyi

Bu deneyde kompaksiyon yapılırken 6 farklı su içeriği kullanılmıştır. %15, %25, %35, %45, %55, %65 oranlarında su ile bentonit+%2 3 mm cam fiber homojen bir şekilde karışmak koşuluyla deney numunesi hazırlanmıştır. Kompaksiyon deneyinde elde edilen değerler ve bu değerler ile kompaksiyon sonuç grafiği Tablo 4.6 ve Şekil 4.5’de verildiği gibidir. Bu deney ile optimum su muhtevası 40 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.6. Katkısız kil ve %2 3mm cam fiber kompaksiyon

Deney No	1	2	3	4	5	6
Katılan Su Oranları (mL)	22,5	37,5	52,5	67,5	82,5	97,5
Kalıp Ağırlığı	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81
Sıkıştırılmış Zemin + Kalıp Ağırlığı	541,1	555,23	559,39	562,51	569,6	567,1
Sıkıştırılmış Zemin	67,29	81,42	85,58	88,7	95,79	93,29
Islak birim hacim ağırlık (kN/m ³)	0,98822	1,19573	1,25682	1,30264	1,40677	1,37005
Kap No	99	181	199	201	141	157
Kap Ağırlığı (gr)	34,06	34,13	33,64	34,06	34,3	35,18
Kap + Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	92,36	115,13	118,91	122,2	130,43	127,78
Kap + Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	83,83	96,12	95,99	93,55	90,18	88,25
Su Muhtevası (w)(%)	17,1388	30,6662	36,7602	48,1593	72,0293	74,4865
Su Oranı (s)%	14,6312	23,4691	26,8793	32,5051	41,8703	42,6889
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	8,27603	8,97719	9,01540	8,625166	8,022146	7,702755
Kap Hacmi	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092



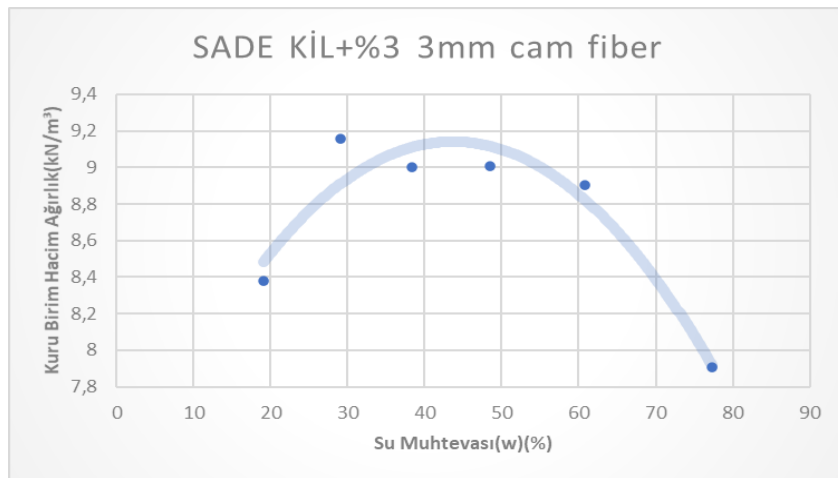
Şekil 4.5. Katkısız kil ve %2 3mm cam fiber kompaksiyon deneyi sonuç grafiği

4.5.4. Katkısız kil ve %3 3mm cam fiber kompaksiyon deneyi

Bu deneyde kompaksiyon yapılırken 6 farklı su içeriği kullanılmıştır. % 15, %25, %35, %45, %55, %65 oranlarında su ile bentonit+%3 3 mm cam fiber homojen bir şekilde karışmak koşuluyla deney numunesi hazırlanmıştır. Kompaksiyon deneyinde elde edilen değerler ve bu değerler ile kompaksiyon sonuç grafiği Tablo 4.7 ve Şekil 4.6'de verildiği gibidir. Bu deney ile optimum su muhtevası 41 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.7. Katkısız kil ve %3 3mm cam fiber kompaksiyon

Deney No	1	2	3	4	5	6
Katılan Su Oranları (mL)	22,5	37,5	52,5	67,5	82,5	97,5
Kalıp Ağırlığı	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81
Sıkıştırılmış Zemin + Kalıp Ağırlığı	543,04	555,83	560,21	566,67	573,15	571,15
Sıkıştırılmış Zemin	69,23	82,02	86,4	92,86	99,34	97,34
Islak birim hacim ağırlık (kN/m ³)	1,01671	1,20454	1,26887	1,36374	0	3
Kap No	181	362	60	113	58	65
Kap Ağırlığı (gr)	34,12	35,47	35,96	34,38	37,58	34,32
Kap + Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	94,07	117,13	121,36	126,8	134,76	124,21
Kap + Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	84,49	98,76	97,71	96,61	98,04	85,02
Su Muhtevası (w)(%)	19,0192	29,0251	38,2996	48,5135	3	8
Su Oranı (s)%	15,9799	22,4957	27,6932	32,6660	37,785	43,597
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	8	1	1	9	5	7
Kap Hacmi	8,38011	9,15837	9,00048	9,00814	8,9040	7,9097



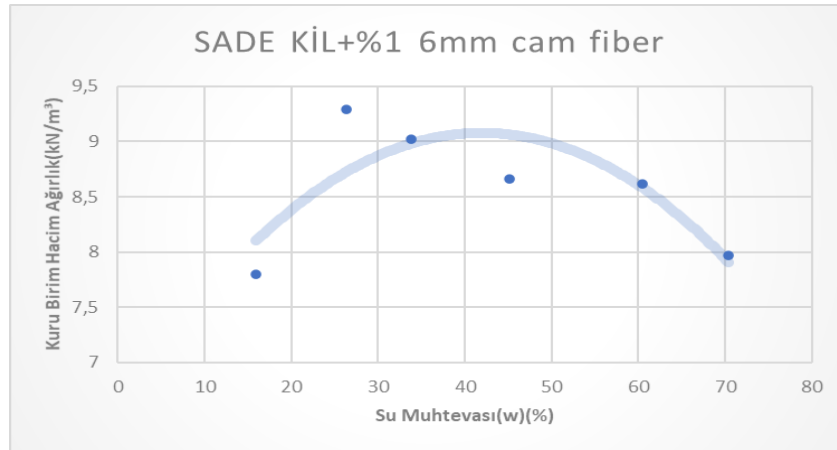
Şekil 4.6. Katkısız kil ve %3 3mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği

4.5.5. Katkısız kil ve %1 6mm cam fiber kompaksiyon deneyi

Bu deneyde kompaksiyon yapılırken 6 farklı su içeriği kullanılmıştır. %15, %25, %35, %45, %55, %65 oranlarında su ile bentonit+%1 6 mm cam fiber homojen bir şekilde karışmak koşuluyla deney numunesi hazırlanmıştır. Cam fiber boyutu arttıkça fiber karışımı zorlaşmaktadır ve boşlukların arttığı gözlemlenmiştir. Kompaksiyon deneyinde elde edilen değerler ve bu değerler ile kompaksiyon sonuç grafiği Tablo 4.8 ve Şekil 4.7 de verildiği gibidir. Bu deney ile optimum su muhtevası 40 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.8. Katkısız kil ve %1 6 mm cam fiber kompaksiyon

Deney No	1	2	3	4	5	6
Katılan Su Oranları (mL)	22,5	37,5	52,5	67,5	82,5	97,5
Kalıp Ağırlığı	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81
Sıkıştırılmış Zemin + Kalıp Ağırlığı	536,57	555,23	557,61	561,11	569,81	568,13
Sıkıştırılmış Zemin	62,76	81,42	83,8	87,3	96	94,32
Islak birim hacim ağırlık (kN/m ³)	0,92169	1,19573	1,23068	1,28208	1,40985	1,38518
Kap No	74	114	140	130	165	199
Kap Ağırlığı (gr)	36,1	34,92	35,81	33,97	34,6	33,65
Kap + Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	85,37	116,04	119,33	118,93	126,92	126,01
Kap + Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	78,6	99,15	98,2	92,48	92,14	87,84
Su Muhtevası (w)(%)	15,929	26,296	33,867	45,205	60,444	70,437
Su Oranı (s)%	13,740	20,821	25,299	31,132	37,673	41,327
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	7,7994	9,2878	9,0186	8,6616	8,6201	7,9728
Kap Hacmi	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092



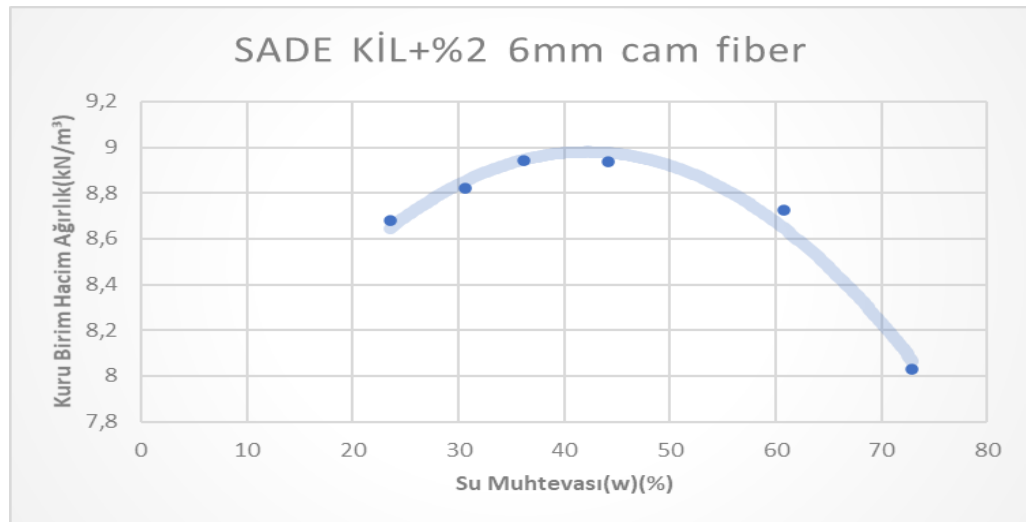
Şekil 4.7. Katkısız kil ve %1 6mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği

4.5.6. Katkısız kil ve %2 6mm cam fiber kompaksiyon deneyi

Bu deneyde kompaksiyon yapılırken 6 farklı su içeriği kullanılmıştır. %15, %25, %35, %45, %55, %65 oranlarında su ile bentonit+%2 6 mm cam fiber homojen bir şekilde karışmak koşuluyla deney numunesi hazırlanmıştır. Cam fiber boyutu arttıkça fiber karışımı zorlaşmaktadır. Kompaksiyon deneyinde elde edilen değerler ve bu değerler ile kompaksiyon sonuç grafiği Tablo 4.9 ve Şekil 4.8’de verildiği gibidir. Bu deney ile optimum su muhtevası 41 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.9. Katkısız kil ve %2 6mm cam fiber kompaksiyon

Deney No	1	2	3	4	5	6
Katılan Su Oranları (mL)	22,5	37,5	52,5	67,5	82,5	97,5
Kalıp Ağırlığı	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81
Sıkıştırılmış Zemin + Kalıp Ağırlığı	548,22	553,8	558,3	563,2	571,18	570,2
Sıkıştırılmış Zemin	74,41	79,99	84,49	89,39	97,37	96,39
Islak birim hacim ağırlık (kN/m ³)	1,09278	1,17473	1,24082	1,31278	1,429977	1,41558
Kap No	99	140	239	333	363	102
Kap Ağırlığı (gr)	34,06	35,81	36,37	37,61	35,35	34,91
Kap + Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	105,35	103,9	120,52	123,42	131,14	128,79
Kap + Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	91,78	87,92	98,19	97,15	94,92	89,2
Su Muhtevası (w)(%)	23,51	30,6659	36,121	44,1216	60,80242	72,9231
Su Oranı (s)%	19,0349	23,4689	26,5359	30,6141	37,81188	42,1708
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	8,67964	8,81954	8,94238	8,93578	8,723796	8,03066
Kap Hacmi	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092



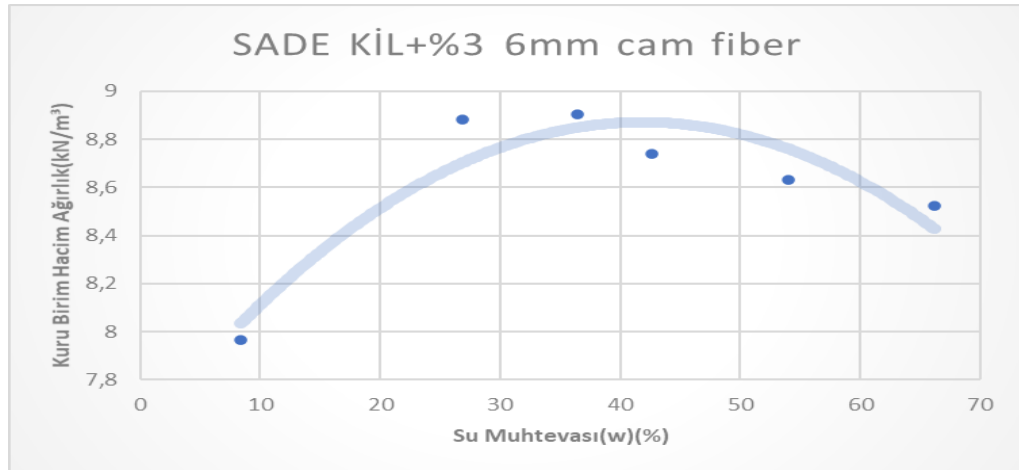
Şekil 4.8. Katkısız kil ve %2 6mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği

4.5.7. Katkısız kil ve %3 6mm cam fiber kompaksiyon deneyi

Bu deneyde kompaksiyon yapılırken 6 farklı su içeriği kullanılmıştır. %15, %25, %35, %45, %55, %65 oranlarında su ile bentonit+%3 6 mm cam fiber homojen bir şekilde karışmak koşuluyla deney numunesi hazırlanmıştır. Ayrıca numuneler hazırlanırken 150 gr bentonit kullanılmıştır. Cam fiber boyutu arttıkça fiber karışımı zorlaşmaktadır. Kompaksiyon deneyinde elde edilen değerler ve bu değerler ile kompaksiyon sonuç grafiği Tablo 4.10 ve Şekil 4.9’de verildiği gibidir. Bu deney ile optimum su muhtevası 40 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.10. Katkısız kil ve %3 6mm cam fiber kompaksiyon

Deney No	1	2	3	4	5	6
Katılan Su Oranları (mL)	22,5	37,5	52,5	67,5	82,5	97,5
Kalıp Ağırlığı	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81
Sıkıştırılmış Zemin + Kalıp Ağırlığı	533,76	552,01	558,12	560,36	566,08	572,11
Sıkıştırılmış Zemin	59,95	78,2	84,31	86,55	92,27	98,3
Islak birim hacim ağırlık (kN/m ³)	0,8804	1,1484	1,23817	1,271	1,35507	1,4436
Kap No	165	141	362	239	102	75
Kap Ağırlığı (gr)	34,59	34,31	35,46	36,37	34,91	34,82
Kap + Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	86,27	111,54	119,61	122,79	126,86	131,94
Kap + Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	82,25	95,2	97,15	96,94	94,62	93,28
Su Muhtevası (w)(%)	8,43474	26,835	36,4078	42,6778	53,994	66,130
Su Oranı (s)%	7,77863	21,157	26,6904	29,912	35,0625	39,806
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	7,96514	8,88259	8,904564	8,739434	8,632345	8,52465
Kap Hacmi	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092



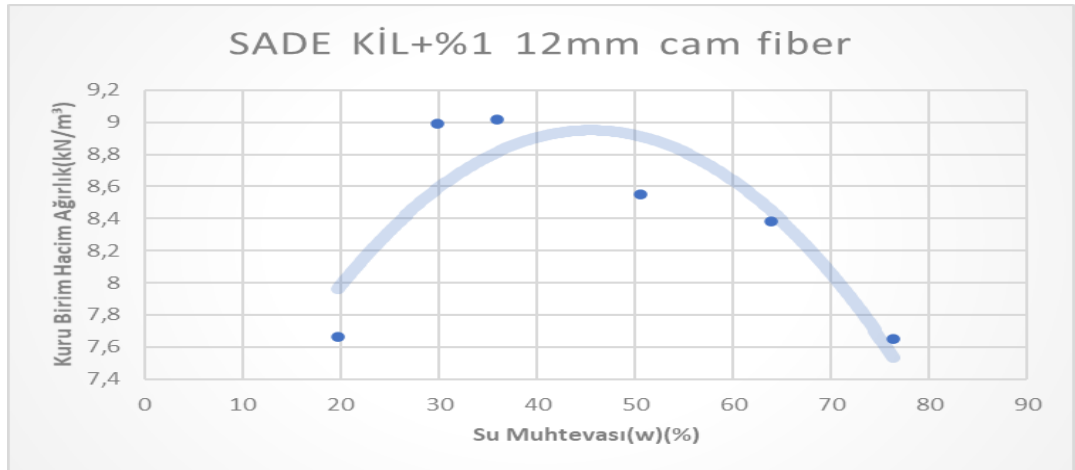
Şekil 4.9. Katkısız kil ve %3 6mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği

4.5.8. Katkısız kil ve %1 12mm cam fiber kompaksiyon deneyi

Bu deneyde kompaksiyon yapılırken 6 farklı su içeriği kullanılmıştır. %15, %25, %35, %45, %55, %65 oranlarında su ile bentonit+%1 12 mm cam fiber homojen bir şekilde karışmak koşuluyla deney numunesi hazırlanmıştır. Fiber boyları arttıkça cam fiber eli acıttığı için karıştırmakta zorluk çekilmiş ve topaklanmanın olabildiğince önüne geçilmeye çalışılmıştır. Kompaksiyon deneyinde elde edilen değerler ve bu değerler ile kompaksiyon sonuç grafiği Tablo 4.11 ve Şekil 4.10'de verildiği gibidir. Bu deney ile optimum su muhtevası 42,5 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.11. Katkısız kil ve %1 12mm cam fiber kompaksiyon

Deney No	1	2	3	4	5	6
Katılan Su Oranları (mL)	22,5	37,5	52,5	67,5	82,5	97,5
Kalıp Ağırlığı	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81
Sıkıştırılmış Zemin + Kalıp Ağırlığı	537,52	554,83	558,92	563,18	569,17	567,45
Sıkıştırılmış Zemin	63,71	81,02	85,11	89,37	95,36	93,64
Islak birim hacim ağırlık (kN/m ³)	0,9356	1,18986	1,24992	1,31248	1,40045	1,37519
Kap No	157	173	235	80	58	99
Kap Ağırlığı (gr)	35,18	34,34	33,94	34,94	37,58	34,06
Kap + Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	88,84	109,64	118,93	124,06	131,76	125,61
Kap + Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	79,99	92,33	96,45	94,14	95,04	85,96
Su Muhtevası (w)(%)	19,75	29,8499	35,9622	50,5405	63,905	76,3969
Su Oranı (s)%	16,492	22,9880	26,4501	33,5727	38,9891	43,3096
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	7,66487	8,989246	9,018518	8,552857	8,38197	7,64792
Kap Hacmi	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092



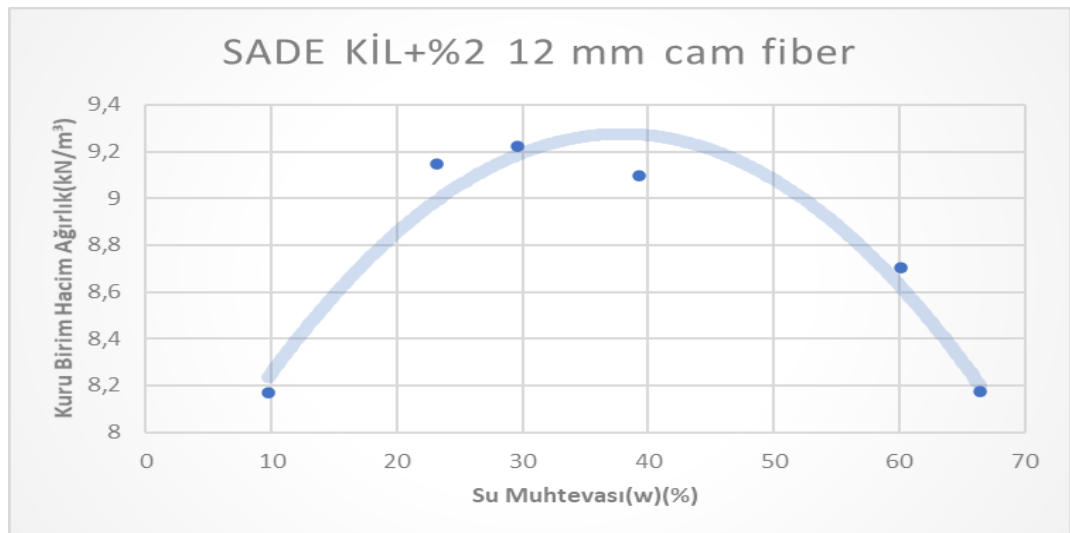
Şekil 4.10. Katkısız kil ve %1 12mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği

4.5.9. Katkısız kil ve %2 12mm cam fiber kompaksiyon deneyi

Bu deneyde kompaksiyon yapılırken 6 farklı su içeriği kullanılmıştır. %15, %25, %35, %45, %55, %65 oranlarında su ile bentonit+%2 12 mm cam fiber homojen bir şekilde karışmak koşuluyla deney numunesi hazırlanmıştır. Kompaksiyon deneyinde elde edilen değerler ve bu değerler ile kompaksiyon sonuç grafiği Tablo 5.12 ve Şekil 5.11’de verildiği gibidir. Bu deney ile optimum su muhtevası 40 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.12. Katkısız kil ve %1 12mm cam fiber kompaksiyon

Deney No	1	2	3	4	5	6
Katılan Su Oranları (mL)	22,5	37,5	52,5	67,5	82,5	97,5
Kalıp Ağırlığı	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81
Sıkıştırılmış Zemin + Kalıp Ağırlığı	536,08	552,03	556,79	561,75	570,52	568,22
Sıkıştırılmış Zemin	62,27	78,22	82,98	87,94	96,71	94,41
Islak birim hacim ağırlık (kN/m ³)	0,9144	1,14874	1,21864	1,29148	1,4202	1,3865
Kap No	77	140	362	102	165	235
Kap Ağırlığı (gr)	34,4	35,82	35,45	34,92	34,6	33,91
Kap + Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	88,38	114,96	117,68	121,57	128,3	128,02
Kap + Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	83,56	100,07	98,88	97,13	93,13	90,46
Su Muhtevası (w)(%)	9,8047	23,1751	29,6389	39,2862	60,0888	66,4191
Su Oranı (s)%	8,9292	18,8147	22,8627	28,2054	37,534	39,9107
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	8,1701	9,14887	9,221695	9,096012	8,703286	8,173118
Kap Hacmi	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092



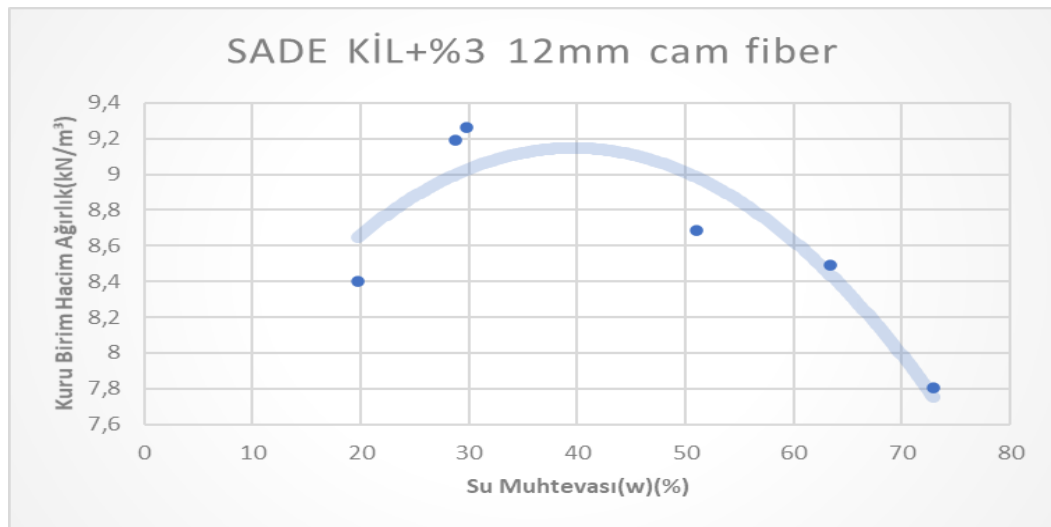
Şekil 4.11. Katkısız kil ve %2 12mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği

4.5.10. Katkısız kil ve %3 12mm cam fiber kompaksiyon deneyi

Bu deneyde kompaksiyon yapılırken 6 farklı su içeriği kullanılmıştır. %15, %25, %35, %45, %55, %65 oranlarında su ile bentonit+%3 12 mm cam fiber homojen bir şekilde karışmak koşuluyla deney numunesi hazırlanmıştır. Kompaksiyon deneyinde elde edilen değerler ve bu değerler ile kompaksiyon sonuç grafiği Tablo 5.13 ve Şekil 5.12’de verildiği gibidir. Bu deney ile optimum su muhtevası 40 olarak bulunmuştur.

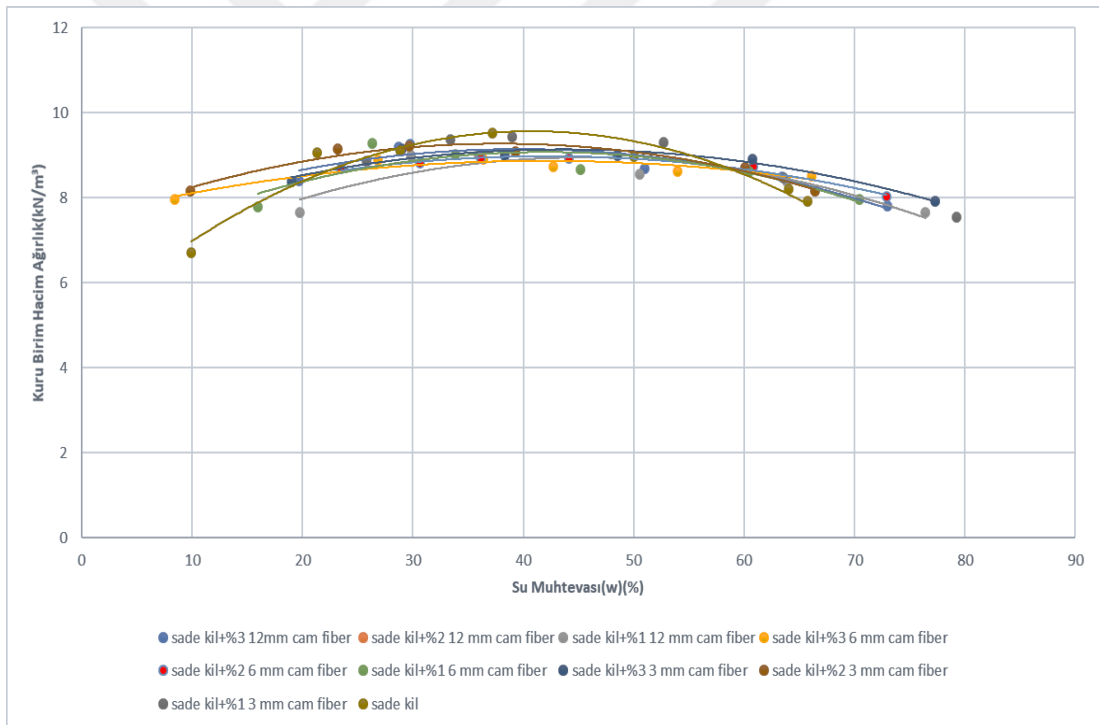
Tablo 4.13. Katkısız kil ve %1 12mm cam fiber kompaksiyon

Deney No	1	2	3	4	5	6
Katılan Su Oranları (mL)	22,5	37,5	52,5	67,5	82,5	97,5
Kalıp Ağırlığı	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81
Sıkıştırılmış Zemin + Kalıp Ağırlığı	543,64	555,94	557,25	564,86	570,12	567,5
Sıkıştırılmış Zemin	69,83	82,13	83,44	91,05	96,31	93,69
Islak birim hacim ağırlık (kN/m ³)	1,02552	1,20616	1,2254	1,33716	1,41441	1,37593
Kap No	235	102	165	362	140	77
Kap Ağırlığı (gr)	33,92	34,91	34,61	35,45	35,81	34,37
Kap + Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	95,94	111,13	117	125,19	130,68	124,87
Kap + Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	85,73	94,12	98,12	94,89	93,87	86,69
Su Muhtevası (w)(%)	19,7066	28,7282	29,7276	50,9757	63,3999	72,974
Su Oranı (s)%	16,4624	22,316	22,9154	33,764	38,8	42,1878
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	8,4042	9,1918	9,26648	8,68851	8,49165	7,80342
Kap Hacmi	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092



Şekil 4.12. Katkısız kil ve %3 12mm cam fiber kompaksiyon deney sonuç grafiği

Yapılacak olan yapının arazisinde yapılacak olan dolgunun kaliteli olması için kontrollü sıkıştırılması gerekir. Bu amaçla, mekanik kompaksiyon (sıkıştırma), zeminin yüzeysel iyileştirme yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılan ekonomik bir yöntemdir. Kompaksiyon parametreleri olan maksimum kurubirim hacim ağırlık (Ykmaks) ve optimum su muhtevası (wopt), laboratuvar şartlarında, Proktor deneyleri ile belirlenir [30]. Bu çalışmada laboratuvar ortamında belirlenen kompaksiyon deneylerinin sonucu tüm boy ve oranlarda Şekil 4.13’de gösterildiği gibidir. Grafikten de görüleceği gibi cam fiberin kompaksiyonun sonucuna artış ya da azalış olarak önemli miktarda etki etmemiştir. Tüm boy ve oranlarda, yaklaşık olarak optimum su muhtevası 40 çıkmış olup kuru birim hacim ağırlık 9,8 kN/m³ dolaylarında çıkmıştır. Bu sonuçla birlikte cam fiber ile zemin kimyasal olarak birbirlerini fazla etkilememişlerdir. İki madde de özelliklerini korumuşlardır.



Şekil 4.13. Cam fiberin tüm boy ve oranlarında kompaksiyon deney sonuçları grafiği

4.6. Cam Fiber Katkılı Numunelerde Serbest Basınç Deneyleri

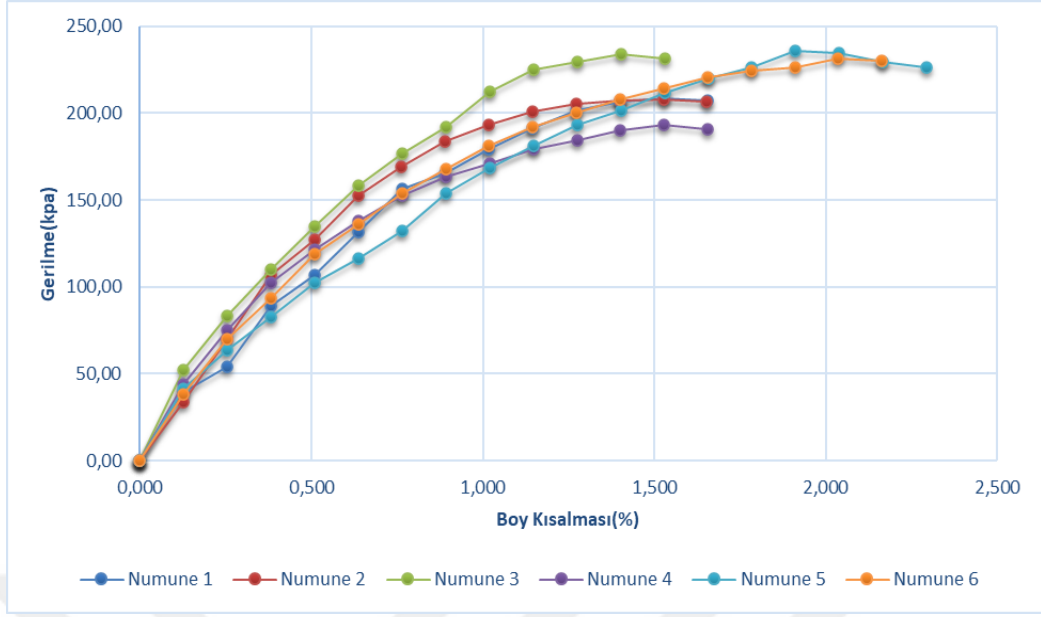
Cam fiber katkıli numunelerde serbest basınç deneyleri yürütülürken kompaksiyon deney sonuçlarından elde edilen optimum su muhtevalarında numuneler hazırlanmış ve yönetmeliğe uygun olarak kırım işlemi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar kaydedilmiştir.

4.6.1. Katkısız numunede serbest basınç deneyi (anlık)

Bu deney 6 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon deneyinde bulunan %40 lık optimum su muhtevasında bu numuneler homojen olarak hazırlanmıştır. Bu numuneler hazırlanırken olabildiğince topaklanmanın önüne geçilmeye çalışılmıştır. Serbest basınç deneyleri sonucunda 6 numune için maksimum gerilme 235,76 kpa olarak gelmiştir. Boy kısalması ise yüzde olarak 2,294 değerlerine kadar gelmiştir. Deney ile alakalı örnek bir değerler tablosu Tablo 4.14'de ve 6 numune için sonuçların gösterildiği grafik Şekil 4.14'de verilmiştir.

Tablo 4.14. Katkısız numune serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)

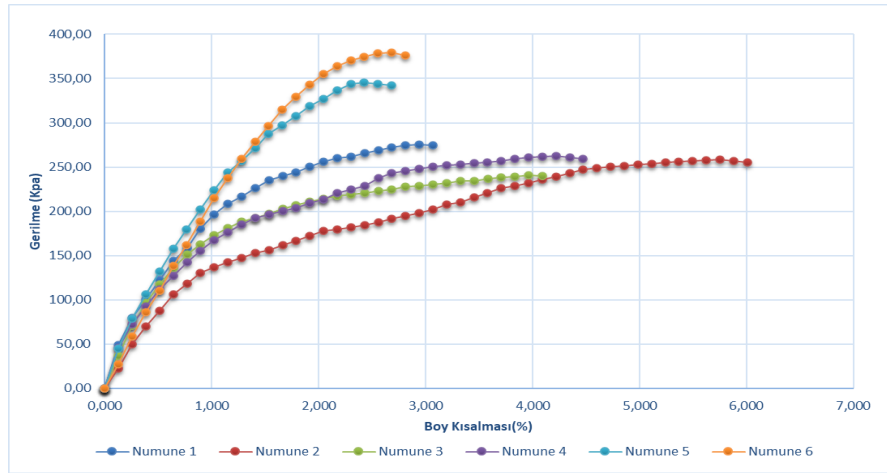
Boy Kısalması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısalması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
0		0	8,77	0	0
0,1	3,7	0,127	8,78	0,036	41,31
0,2	5,7	0,255	8,79	0,056	63,56
0,3	7,4	0,382	8,81	0,073	82,41
0,4	9,2	0,51	8,82	0,09	102,33
0,5	10,5	0,637	8,83	0,103	116,64
0,6	11,9	0,765	8,84	0,117	132,02
0,7	13,9	0,892	8,85	0,136	154,01
0,8	15,2	1,02	8,86	0,149	168,19
0,9	16,4	1,147	8,87	0,161	181,24
1	17,5	1,275	8,89	0,172	193,15
1,1	18,3	1,402	8,9	0,179	201,71
1,2	19,2	1,53	8,91	0,188	211,36
1,3	20	1,657	8,92	0,196	219,88
1,4	20,6	1,785	8,93	0,202	226,19
1,5	21,5	1,912	8,94	0,211	235,76
1,6	21,4	2,04	8,95	0,21	234,36
1,7	21	2,167	8,97	0,206	229,68
1,8	20,7	2,294	8,98	0,203	226,1



Şekil 4.14. Katkısız numune serbest basınç deneyi sonuçları (anlık)

4.6.2. Bentonit kil ve %1 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık)

Bu deney 6 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon deneyinde bulunan %41 lık optimum su muhtevasında bu numuneler homojen olarak hazırlanmıştır. Bu numuneler hazırlanırken olabildiğince topaklanmanın önüne geçilmeye çalışılmıştır. Serbest basınç deneyleri sonucunda 6 numune için maksimum gerilme 379,01 kpa olarak gelmiştir. Boy kısılması ise yüzde olarak 6 değerlerine kadar gelmiştir. Deney ile alakalı örnek bir değerler tablosu Tablo 4.15’de ve 6 numune için sonuçların gösterildiği grafik Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.15. Bentonit kil ve %1 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık)

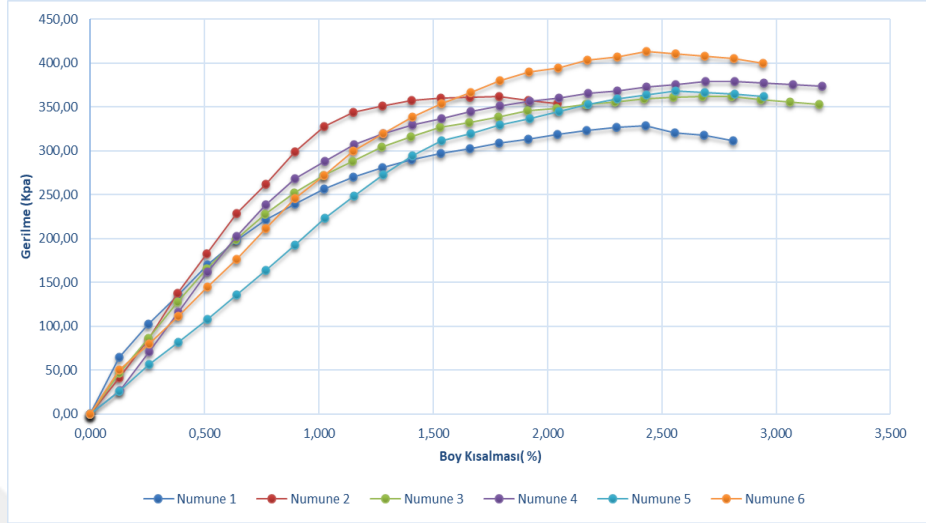
Tablo 4.15. Bentonit kil ve %1 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)

Boy Kısılması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısılması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
0,0		0,000	8,66	0,000	0,00
0,1	2,4	0,128	8,67	0,024	27,14
0,2	5,2	0,255	8,68	0,051	58,72
0,3	7,6	0,383	8,70	0,075	85,71
0,4	9,8	0,511	8,71	0,096	110,38
0,5	12,3	0,638	8,72	0,121	138,36
0,6	14,4	0,766	8,73	0,141	161,78
0,7	16,8	0,894	8,74	0,165	188,50
0,8	19,2	1,021	8,75	0,188	215,15
0,9	21,2	1,149	8,76	0,208	237,25
1,0	23,2	1,277	8,77	0,228	259,30
1,1	25	1,404	8,79	0,245	279,06
1,2	26,6	1,532	8,80	0,261	296,53
1,3	28,3	1,660	8,81	0,278	315,07
1,4	29,6	1,788	8,82	0,290	329,12
1,5	30,9	1,915	8,83	0,303	343,13
1,6	32	2,043	8,84	0,314	354,88
1,7	32,9	2,171	8,85	0,323	364,38
1,8	33,5	2,298	8,87	0,329	370,54
1,9	33,9	2,426	8,88	0,332	374,48
2,0	34,3	2,554	8,89	0,336	378,40
2,1	34,4	2,681	8,90	0,337	379,01
2,2	34,2	2,809	8,91	0,335	376,31

4.6.3. Bentonit kil ve %1 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (7 günlük)

Bu deney 6 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon deneyinde bulunan %41 lık optimum su muhtevasında bu numuneler homojen olarak hazırlanmıştır. Bu numuneler hazırlanırken olabildiğince topaklanmanın önüne geçilmeye çalışılmıştır. Numunelerde kırım işlemi 7 gün bekleddikten sonra yapılmıştır. Burada amaç sürenin gerilme üzerindeki etkisine bakmaktır. Serbest basınç deneyleri sonucunda 6 numune için maksimum gerilme 413,17 kpa olarak gelmiştir. Boy kısılması ise yüzde olarak

3,201 değerlerine kadar gelmiştir. Deney ile alakalı örnek bir değerler tablosu Tablo 4.16'de ve 6 numune için sonuçların gösterildiği grafik Şekil 4.16'de verilmiştir.



Şekil 4.16. Bentonit kil ve %1 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (7 günlük)

Tablo 4.16. Bentonit kil ve %1 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (7 günlük)

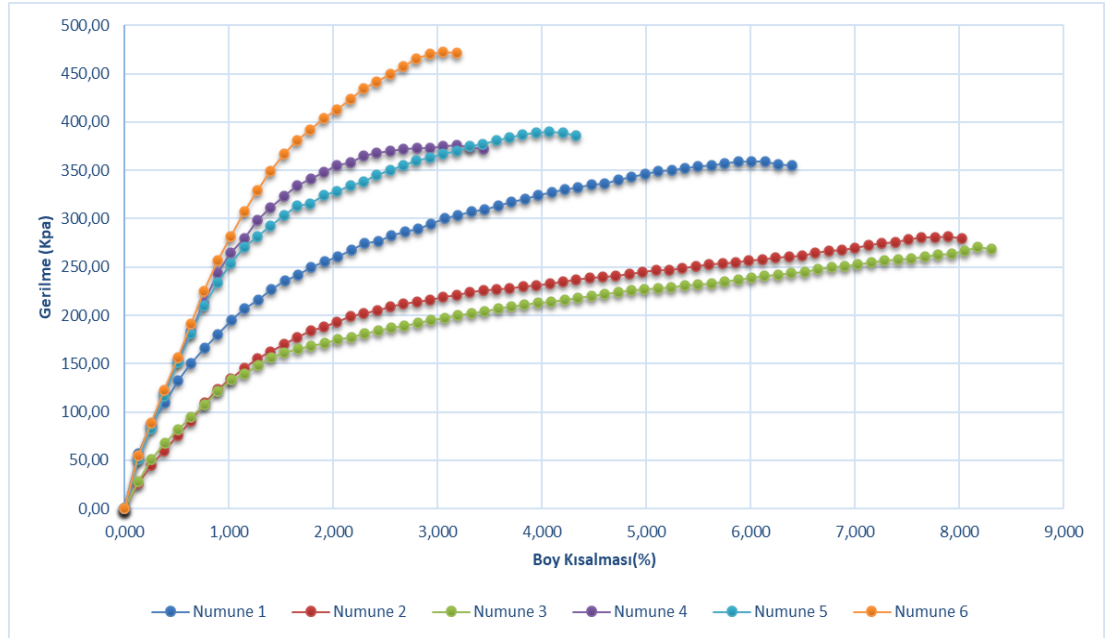
Boy Kısalması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısalması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
0,00		0,000	8,57	0,000	0,00
0,10	4,4	0,128	8,58	0,043	50,29
0,20	7	0,256	8,59	0,069	79,91
0,30	9,8	0,384	8,60	0,096	111,73
0,40	12,7	0,512	8,61	0,125	144,61
0,50	15,5	0,640	8,62	0,152	176,26
0,60	18,6	0,768	8,63	0,182	211,24
0,70	21,7	0,896	8,65	0,213	246,13
0,80	24	1,024	8,66	0,235	271,87
0,90	26,5	1,152	8,67	0,260	299,80
1,00	28,3	1,280	8,68	0,278	319,75
1,10	30	1,408	8,69	0,294	338,52
1,20	31,4	1,536	8,70	0,308	353,85
1,30	32,6	1,663	8,71	0,320	366,90
1,40	33,8	1,791	8,72	0,331	379,91
1,50	34,7	1,919	8,74	0,340	389,52
1,60	35,2	2,047	8,75	0,345	394,61
1,70	36	2,175	8,76	0,353	403,06
1,80	36,4	2,303	8,77	0,357	407,00
1,90	37	2,431	8,78	0,363	413,17

Tablo 4.16.(Devam) Bentonit kil ve %1 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (7 günlük)

Boy Kısalması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısalması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
2,00	36,8	2,559	8,79	0,361	410,40
2,10	36,6	2,687	8,81	0,359	407,63
2,20	36,4	2,815	8,82	0,357	404,87
2,30	36	2,943	8,83	0,353	399,89

4.6.4. Bentonit kil ve %2 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık)

Bu deney 6 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon deneyinde bulunan %40 lık optimum su muhtevasında bu numuneler homojen olarak hazırlanmıştır. Bu numuneler hazırlanırken olabildiğince topaklanmanın önüne geçilmeye çalışılmıştır. Serbest basınç deneyleri sonucunda 6 numune için maksimum gerilme 472,88 kpa olarak gelmiştir. Boy kısalması ise yüzde olarak 8,308 değerlerine kadar gelmiştir. Deney ile alakalı örnek bir değerler tablosu Tablo 4.17’de ve 6 numune için sonuçların gösterildiği grafik Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. Bentonit kil ve %2 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık)

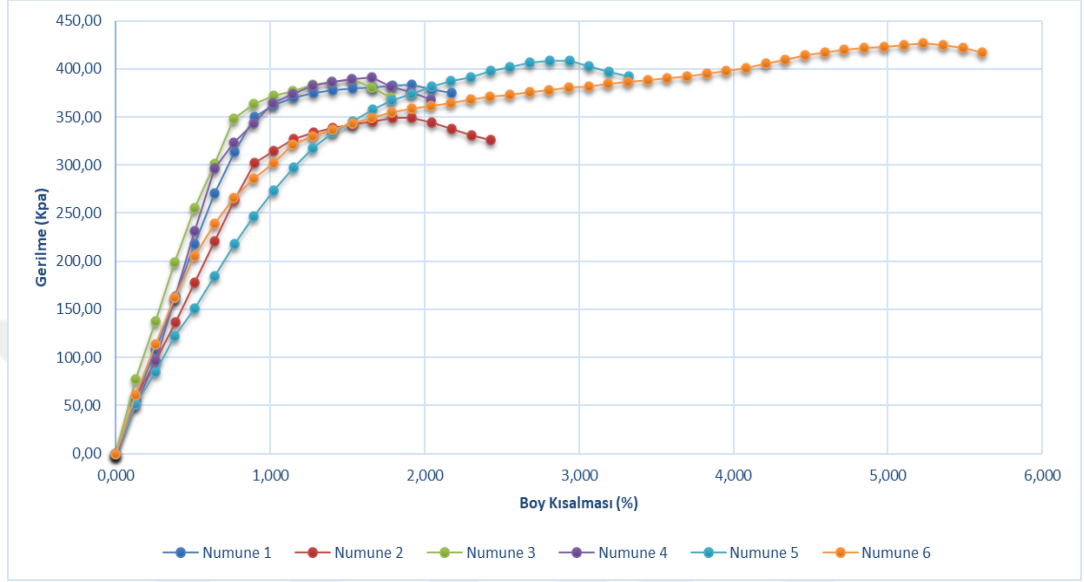
Tablo 4.17. Bentonit kil ve %2 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)

Boy Kısılması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısılması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
0,0		0,000	8,60	0,000	0,00
0,1	4,80	0,127	8,62	0,047	54,63
0,2	7,80	0,254	8,63	0,076	88,67
0,3	10,80	0,382	8,64	0,106	122,61
0,4	13,80	0,509	8,65	0,135	156,47
0,5	16,90	0,636	8,66	0,166	191,38
0,6	19,90	0,763	8,67	0,195	225,06
0,7	22,70	0,891	8,68	0,223	256,40
0,8	25,00	1,018	8,69	0,245	282,01
0,9	27,30	1,145	8,70	0,268	307,56
1,0	29,30	1,272	8,72	0,287	329,67
1,1	31,10	1,399	8,73	0,305	349,47
1,2	32,70	1,527	8,74	0,321	366,98
1,3	34,00	1,654	8,75	0,333	381,08
1,4	35,00	1,781	8,76	0,343	391,78
1,5	36,10	1,908	8,77	0,354	403,57
1,6	37,00	2,036	8,78	0,363	413,09
1,7	38,00	2,163	8,80	0,373	423,70
1,8	39,00	2,290	8,81	0,382	434,29
1,9	39,70	2,417	8,82	0,389	441,51
2,0	40,50	2,545	8,83	0,397	449,82
2,1	41,30	2,672	8,84	0,405	458,10
2,2	42,00	2,799	8,85	0,412	465,26
2,3	42,50	2,926	8,86	0,417	470,18
2,4	42,80	3,053	8,88	0,420	472,88
2,5	42,70	3,181	8,89	0,419	471,16

4.6.5. Bentonit kil ve %2 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (7 günlük)

Bu deney 6 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon deneyinde bulunan %40 lık optimum su muhtevasında bu numuneler homojen olarak hazırlanmıştır. Bu numuneler hazırlanırken olabildiğince topaklanmanın önüne geçilmeye çalışılmıştır. Numunelerde kırım işlemi 7 gün beklemeden sonra yapılmıştır. Numuneler folyo ve naylon ile sarılmış olup bu şekilde su içeriği korunmaya çalışılmıştır. Burada amaç

sürenin gerilme üzerindeki etkisine bakmaktır. Serbest basınç deneyleri sonucunda 6 numune için maksimum gerilme 416,81 kpa olarak gelmiştir. Boy kısalması ise yüzde olarak 5,612 değerlerine kadar gelmiştir. Deney ile alakalı örnek bir değerler tablosu Tablo 4.18’de ve 6 numune için sonuçların gösterildiği grafik Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18. Bentonit kil ve %2 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (7 günlük)

Tablo 4.18. Bentonit kil ve %2 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (7 günlük)

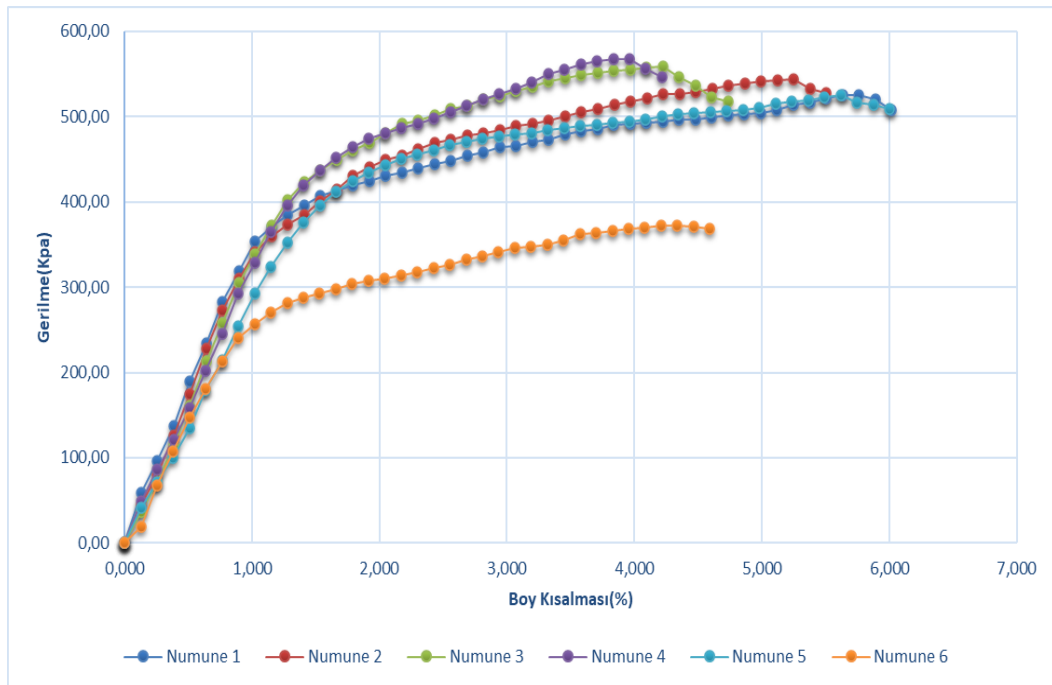
Boy Kısalması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısalması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
0,0		0,000	8,60	0,000	0,00
0,1	4,40	0,127	8,62	0,043	50,08
0,2	8,50	0,255	8,63	0,083	96,62
0,3	14,20	0,382	8,64	0,139	161,21
0,4	20,40	0,509	8,65	0,200	231,31
0,5	26,20	0,637	8,66	0,257	296,69
0,6	28,60	0,764	8,67	0,280	323,45
0,7	30,40	0,891	8,68	0,298	343,37
0,8	32,30	1,018	8,69	0,317	364,36
0,9	33,20	1,146	8,70	0,326	374,03
1,0	34,00	1,273	8,72	0,333	382,55
1,1	34,40	1,400	8,73	0,337	386,55
1,2	34,70	1,528	8,74	0,340	389,42
1,3	34,90	1,655	8,75	0,342	391,16

Tablo 4.18.(Devam) Bentonit kil ve %2 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (7 günlük)

Boy Kısalması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısalması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
1,4	34,10	1,782	8,76	0,334	381,70
1,5	33,60	1,910	8,77	0,330	375,61
1,6	33,00	2,037	8,78	0,324	368,43

4.6.6. Bentonit kil ve %3 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık)

Bu deney 6 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon deneyinde bulunan %41 lık optimum su muhtevasında bu numuneler homojen olarak hazırlanmıştır. Bu numuneler hazırlanırken olabildiğince topaklanmanın önüne geçilmeye çalışılmıştır. Serbest basınç deneyleri sonucunda 6 numune için maksimum gerilme 567,71 kpa olarak gelmiştir. Boy kısalması ise yüzde olarak 6,016 değerlerine kadar gelmiştir. Deney ile alakalı örnek bir değerler tablosu Tablo 4.19'de ve 6 numune için sonuçların gösterildiği grafik Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.19. Bentonit kil ve %3 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık)

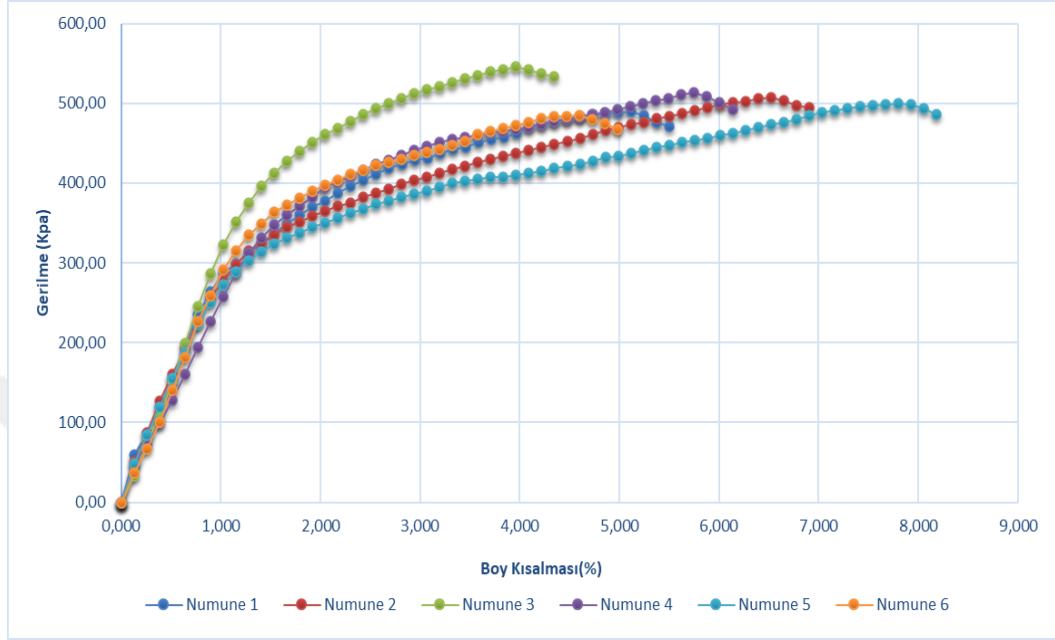
Tablo 4.19. Bentonit kil ve %3 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)

Boy Kısalması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısalması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
0,0		0,000	8,62	0,000	0,00
0,1	5,20	0,128	8,63	0,051	59,08
0,2	8,50	0,256	8,64	0,083	96,45
0,3	12,10	0,384	8,65	0,119	137,12
0,4	16,70	0,512	8,66	0,164	189,01
0,5	20,70	0,640	8,68	0,203	233,98
0,6	25,00	0,768	8,69	0,245	282,21
0,7	28,30	0,896	8,70	0,278	319,05
0,8	31,40	1,024	8,71	0,308	353,55
0,9	33,00	1,152	8,72	0,324	371,08
1,0	34,30	1,280	8,73	0,336	385,20
1,1	35,30	1,408	8,74	0,346	395,92
1,2	36,40	1,536	8,75	0,357	407,72
1,3	37,00	1,664	8,77	0,363	413,91
1,4	37,60	1,792	8,78	0,369	420,07
1,5	38,00	1,920	8,79	0,373	423,99
1,6	38,70	2,048	8,80	0,380	431,23
1,7	39,00	2,176	8,81	0,382	434,01
1,8	39,50	2,304	8,82	0,387	439,00
1,9	40,00	2,432	8,84	0,392	443,97
2,0	40,40	2,560	8,85	0,396	447,82
2,1	41,00	2,688	8,86	0,402	453,88
2,2	41,40	2,816	8,87	0,406	457,70
2,3	42,00	2,944	8,88	0,412	463,72
2,4	42,20	3,072	8,89	0,414	465,32
2,5	42,70	3,200	8,91	0,419	470,21

4.6.7. Bentonit kil ve %3 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (7 günlük)

Bu deney 6 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon deneyinde bulunan %41 lık optimum su muhtevasında bu numuneler homojen olarak hazırlanmıştır. Bu numuneler hazırlanırken olabildiğince topraklanmanın önüne geçilmeye çalışılmıştır. Numunelerde kırım işlemi 7 gün bekledikten sonra yapılmıştır. Numuneler folyo ve naylon ile sarılmış olup bu şekilde su içeriği korunmaya çalışılmıştır. Burada amaç sürenin gerilme üzerindeki etkisine bakmaktır. Serbest basınç deneyleri sonucunda 6

numune için maksimum gerilme 546,32 kpa olarak gelmiştir. Boy kısalması ise yüzde olarak 8,183 değerlerine kadar gelmiştir. Deney ile alakalı örnek bir değerler tablosu Tablo 4.20’de ve 6 numune için sonuçların gösterildiği grafik Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20. Bentonit kil ve %3 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (7 günlük)

Tablo 4.20. Bentonit kil ve %3 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (7 Günlük)

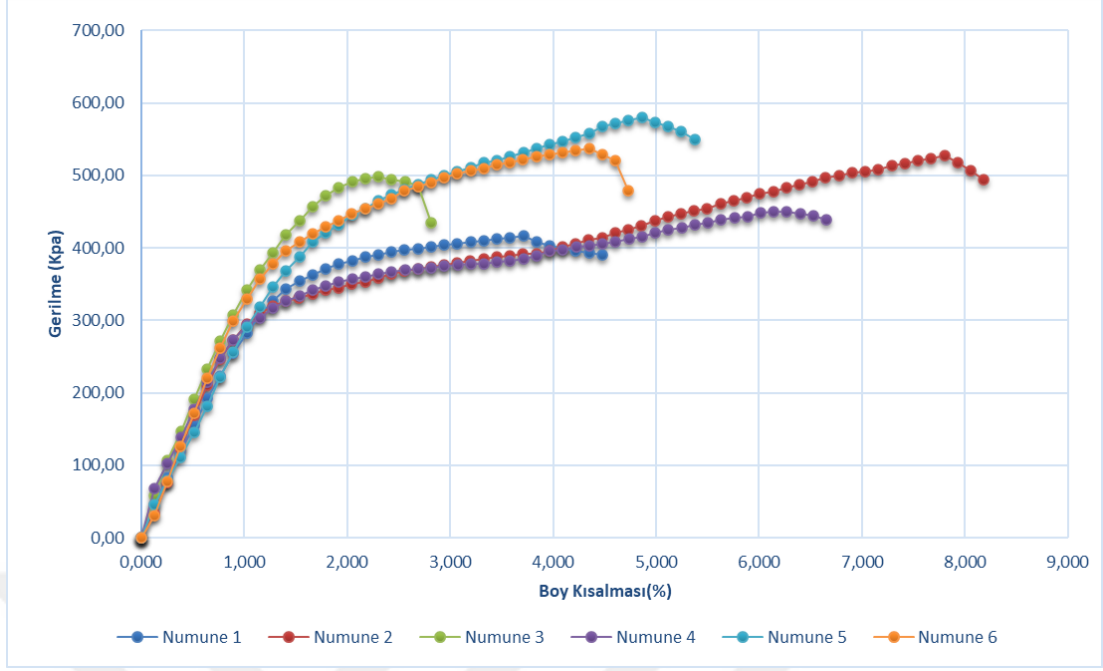
Boy Kısalması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısalması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
0,0		0,000	8,74	0,000	0
0,1	3,00	0,128	8,75	0,029	33,62
0,2	6,70	0,255	8,76	0,066	74,98
0,3	9,70	0,383	8,77	0,095	108,41
0,4	13,60	0,511	8,79	0,133	151,81
0,5	17,80	0,638	8,80	0,175	198,43
0,6	22,00	0,766	8,81	0,216	244,94
0,7	25,80	0,894	8,82	0,253	286,88
0,8	29,00	1,021	8,83	0,284	322,05
0,9	31,70	1,149	8,84	0,311	351,58
1,0	33,90	1,277	8,85	0,332	375,49
1,1	35,80	1,404	8,87	0,351	396,02
1,2	37,30	1,532	8,88	0,366	412,08
1,3	38,70	1,660	8,89	0,380	426,99

Tablo 4.20.(Devam) Bentonit kil ve %3 3 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (7 Günlük)

Boy Kısılması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısılması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
1,4	39,90	1,788	8,90	0,391	439,66
1,5	41,00	1,915	8,91	0,402	451,19
1,6	41,90	2,043	8,92	0,411	460,5
1,7	42,70	2,171	8,93	0,419	468,68
1,8	43,50	2,298	8,95	0,427	476,84
1,9	44,40	2,426	8,96	0,435	486,07
2,0	45,10	2,554	8,97	0,442	493,08
2,1	45,80	2,681	8,98	0,449	500,08
2,2	46,40	2,809	8,99	0,455	505,97
2,3	47,00	2,937	9,01	0,461	511,84
2,4	47,60	3,064	9,02	0,467	517,69
2,5	48,00	3,192	9,03	0,471	521,35
2,6	48,50	3,320	9,04	0,476	526,09
2,7	49,00	3,447	9,05	0,481	530,81
2,8	49,40	3,575	9,06	0,484	534,44
2,9	49,90	3,703	9,08	0,489	539,13
3,0	50,30	3,830	9,09	0,493	542,73
3,1	50,70	3,958	9,10	0,497	546,32
3,2	50,40	4,086	9,11	0,494	542,37
3,3	50,00	4,213	9,13	0,490	537,34
3,4	49,70	4,341	9,14	0,487	533,41

4.6.8. Bentonit kil ve %1 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık)

Bu deney 6 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon deneyinde bulunan %40 lık optimum su muhtevasında bu numuneler homojen olarak hazırlanmıştır. Bu numuneler hazırlanırken olabildiğince topaklanmanın önüne geçilmeye çalışılmıştır. Serbest basınç deneyleri sonucunda 6 numune için maksimum gerilme 579,41 kpa olarak gelmiştir. Boy kısılması ise yüzde olarak 8,182 değerlerine kadar gelmiştir. Deney ile alakalı örnek bir değerler tablosu Tablo 4.21’de ve 6 numune için sonuçların gösterildiği grafik Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.21. Bentonit kil ve %1 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık)

Tablo 4.21. Bentonit kil ve %1 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)

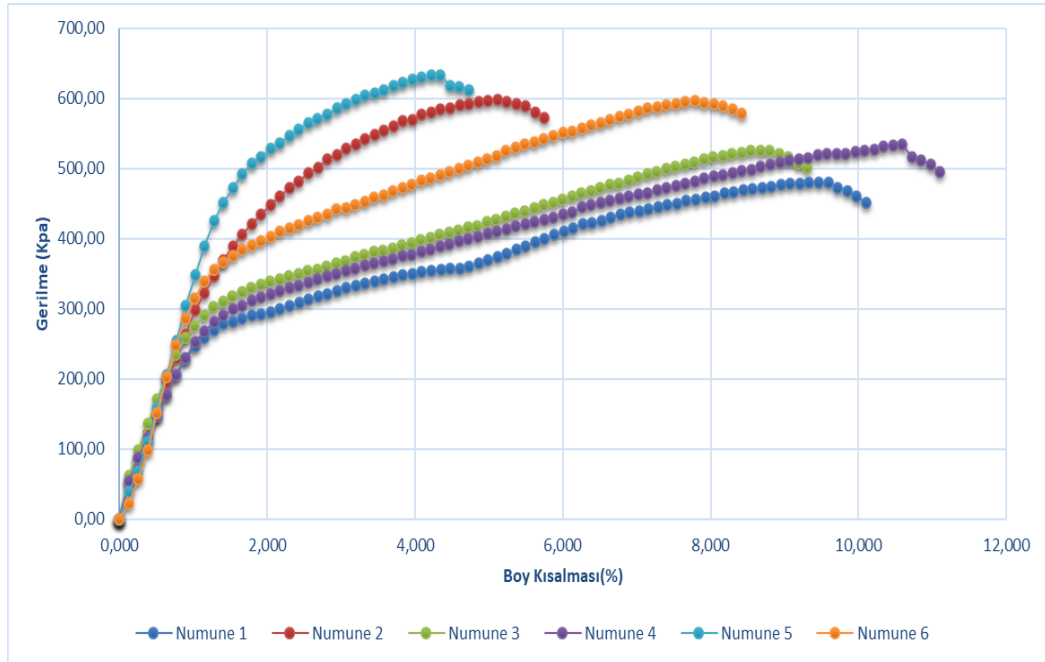
Boy Kısalması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısalması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
0,0		0,000	8,66	0,000	0,00
0,1	5,20	0,128	8,67	0,051	58,79
0,2	9,50	0,256	8,67	0,093	107,28
0,3	13,00	0,384	8,70	0,127	146,61
0,4	17,00	0,512	8,71	0,167	191,48
0,5	20,70	0,640	8,72	0,203	232,85
0,6	24,20	0,768	8,73	0,237	271,87
0,7	27,40	0,896	8,74	0,269	307,42
0,8	30,50	1,024	8,75	0,299	341,76
0,9	33,00	1,152	8,76	0,324	369,30
1,0	35,20	1,280	8,77	0,345	393,41
1,1	37,50	1,408	8,79	0,368	418,57
1,2	39,30	1,536	8,80	0,385	438,09
1,3	41,00	1,664	8,81	0,402	456,45
1,4	42,40	1,792	8,82	0,416	471,42
1,5	43,50	1,920	8,83	0,427	483,02
1,6	44,30	2,048	8,84	0,434	491,26
1,7	44,80	2,176	8,85	0,439	496,15

Tablo 4.21.(Devam) Bentonit kil ve %1 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)

Boy Kısalması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısalması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
1,8	45,00	2,304	8,87	0,441	497,72
1,9	44,70	2,432	8,88	0,438	493,75
2,0	44,50	2,560	8,89	0,436	490,90
2,1	44,10	2,688	8,90	0,432	485,84
2,2	39,50	2,816	8,91	0,387	434,59

4.6.9. Bentonit kil ve %2 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık)

Bu deney 6 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon deneyinde bulunan %41 lık optimum su muhtevasında bu numuneler homojen olarak hazırlanmıştır. Bu numuneler hazırlanırken olabildiğince topaklanmanın önüne geçilmeye çalışılmıştır. Serbest basınç deneyleri sonucunda 6 numune için maksimum gerilme 633,64 kpa olarak gelmiştir. Boy kısalması ise yüzde olarak 11,104 değerlerine kadar gelmiştir. Deney ile alakalı örnek bir değerler tablosu Tablo 4.22’de ve 6 numune için sonuçların gösterildiği grafik Şekil 4.22’de verilmiştir.



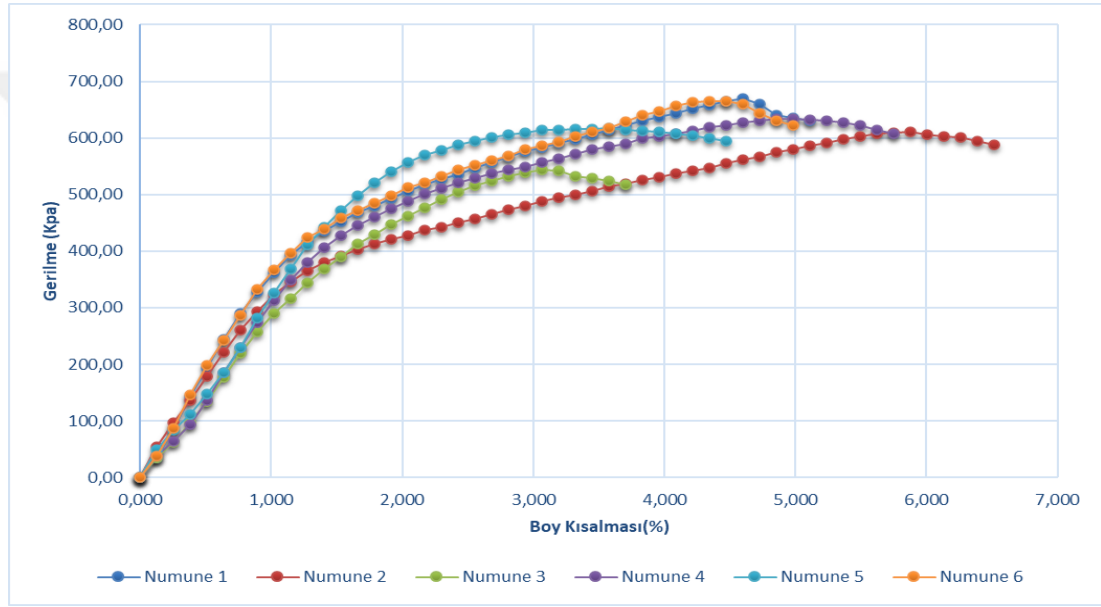
Şekil 4.22. Bentonit kil ve %2 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuçları (anlık)

Tablo 4.22. Bentonit kil ve %2 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)

Boy Kısılması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısılması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
0,0		0,000	8,63	0,000	0,00
0,1	3,40	0,128	8,64	0,033	38,58
0,2	6,00	0,256	8,65	0,059	68,00
0,3	9,70	0,383	8,66	0,095	109,79
0,4	14,00	0,511	8,68	0,137	158,26
0,5	18,30	0,639	8,69	0,179	206,60
0,6	22,60	0,767	8,70	0,222	254,82
0,7	27,00	0,894	8,71	0,265	304,04
0,8	31,00	1,022	8,72	0,304	348,63
0,9	34,70	1,150	8,73	0,340	389,74
1,0	38,00	1,278	8,74	0,373	426,25
1,1	40,30	1,406	8,75	0,395	451,46
1,2	42,30	1,533	8,77	0,415	473,25
1,3	44,00	1,661	8,78	0,431	491,63
1,4	45,40	1,789	8,79	0,445	506,62
1,5	46,40	1,917	8,80	0,455	517,10
1,6	47,50	2,044	8,81	0,466	528,67
1,7	48,30	2,172	8,82	0,474	536,87
1,8	49,30	2,300	8,83	0,483	547,27
1,9	50,20	2,428	8,85	0,492	556,54
2,0	51,00	2,556	8,86	0,500	564,66
2,1	51,70	2,683	8,87	0,507	571,66
2,2	52,30	2,811	8,88	0,513	577,54
2,3	53,10	2,939	8,89	0,521	585,60
2,4	53,70	3,067	8,90	0,527	591,44
2,5	54,40	3,194	8,92	0,533	598,36
2,6	55,00	3,322	8,93	0,539	604,16
2,7	55,30	3,450	8,94	0,542	606,65
2,8	55,90	3,578	8,95	0,548	612,42
2,9	56,50	3,706	8,96	0,554	618,18
3,0	57,00	3,833	8,97	0,559	622,82
3,1	57,40	3,961	8,99	0,563	626,36
3,2	57,80	4,089	9,00	0,567	629,88
3,3	58,20	4,217	9,01	0,571	633,40
3,4	58,30	4,344	9,02	0,572	633,64
3,5	57,00	4,472	9,03	0,559	618,68
3,6	56,80	4,600	9,05	0,557	615,69
3,7	56,50	4,728	9,06	0,554	611,62

4.6.10. Bentonit kil ve %3 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık)

Bu deney 6 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon deneyinde bulunan %40 lık optimum su muhtevasında bu numuneler homojen olarak hazırlanmıştır. Bu numuneler hazırlanırken olabildiğince topaklanmanın önüne geçilmeye çalışılmıştır. Serbest basınç deneyleri sonucunda 6 numune için maksimum gerilme 669,07 kpa olarak gelmiştir. Boy kısalması ise yüzde olarak 6,517 değerlerine kadar gelmiştir. Deney ile alakalı örnek bir değerler tablosu Tablo 4.23’de ve 6 numune için sonuçların gösterildiği grafik Şekil 4.23’de verilmiştir.



Şekil 4.23. Bentonit kil ve %3 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık)

Tablo 4.23. Bentonit kil ve %3 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)

Boy Kısalması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısalması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
0,0		0,000	8,64	0,000	0,00
0,1	3,00	0,128	8,65	0,029	34,00
0,2	7,50	0,256	8,66	0,074	84,90
0,3	12,60	0,383	8,67	0,124	142,44
0,4	17,20	0,511	8,69	0,169	194,20
0,5	21,70	0,639	8,70	0,213	244,69
0,6	25,70	0,767	8,71	0,252	289,42
0,7	29,20	0,895	8,72	0,286	328,41

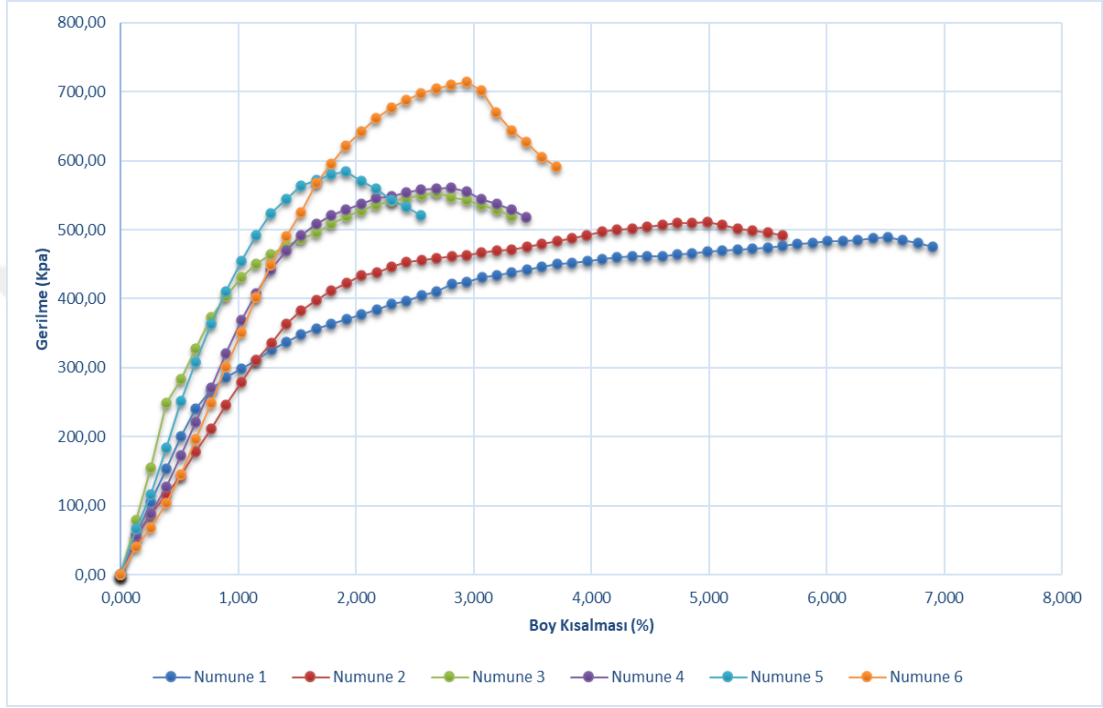
Tablo 4.23.(Devam) Bentonit kil ve %3 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)

Boy Kısılması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısılması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
0,8	32,30	1,022	8,73	0,317	362,81
0,9	35,00	1,150	8,74	0,343	392,63
1,0	37,10	1,278	8,75	0,364	415,65
1,1	39,00	1,406	8,76	0,382	436,37
1,2	40,50	1,534	8,78	0,397	452,57
1,3	41,90	1,662	8,79	0,411	467,60
1,4	43,10	1,789	8,80	0,423	480,37
1,5	44,30	1,917	8,81	0,434	493,10
1,6	45,50	2,045	8,82	0,446	505,80
1,7	46,60	2,173	8,83	0,457	517,35
1,8	47,60	2,301	8,84	0,467	527,76
1,9	48,40	2,428	8,86	0,475	535,93
2,0	49,40	2,556	8,87	0,484	546,29
2,1	50,40	2,684	8,88	0,494	556,81
2,2	51,40	2,812	8,89	0,504	566,91
2,3	52,30	2,940	8,90	0,513	576,08
2,4	53,00	3,067	8,91	0,520	583,02
2,5	53,80	3,195	8,93	0,528	591,04
2,6	54,50	3,323	8,94	0,534	597,94
2,7	55,30	3,451	8,95	0,542	605,92
2,8	56,10	3,579	8,96	0,550	613,87
2,9	56,90	3,707	8,97	0,558	621,80
3,0	57,70	3,834	8,99	0,566	629,70
3,1	58,40	3,962	9,00	0,573	636,50
3,2	59,20	4,090	9,01	0,581	644,36
3,3	60,00	4,218	9,02	0,588	652,19
3,4	60,60	4,346	9,03	0,594	657,84
3,5	61,40	4,473	9,05	0,602	665,63
3,6	61,80	4,601	9,06	0,606	669,07
3,7	61,00	4,729	9,07	0,598	659,52
3,8	59,30	4,857	9,08	0,582	640,28
3,9	59,00	4,985	9,09	0,579	636,19
4,0	58,50	5,112	9,11	0,574	629,95

4.6.11. Bentonit kil ve %1 12 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık)

Bu deney 6 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon deneyinde bulunan %42,5 lık optimum su muhtevasında bu numuneler homojen olarak hazırlanmıştır. Bu

numuneler hazırlanırken olabildiğince topaklanmanın önüne geçilmeye çalışılmıştır. Serbest basınç deneyleri sonucunda 6 numune için maksimum gerilme 714,23 kpa olarak gelmiştir. Boy kısalması ise yüzde olarak 6,904 değerlerine kadar gelmiştir. Deney ile alakalı örnek bir değerler tablosu Tablo 4.24’de ve 6 numune için sonuçların gösterildiği grafik Şekil 4.24’de verilmiştir.



Şekil 4.24. Bentonit kil ve %1 12 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık)

Tablo 4.24. Bentonit kil ve %1 12 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)

Boy Kısalması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısalması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
0,0		0,000	8,64	0,000	0
0,1	3,50	0,128	8,65	0,034	39,69
0,2	6,00	0,255	8,66	0,059	67,96
0,3	9,20	0,383	8,67	0,090	104,07
0,4	12,80	0,511	8,68	0,126	144,61
0,5	17,40	0,638	8,69	0,171	196,32
0,6	22,10	0,766	8,70	0,217	249,03
0,7	26,80	0,894	8,71	0,263	301,6
0,8	31,20	1,021	8,73	0,306	350,67
0,9	35,80	1,149	8,74	0,351	401,85

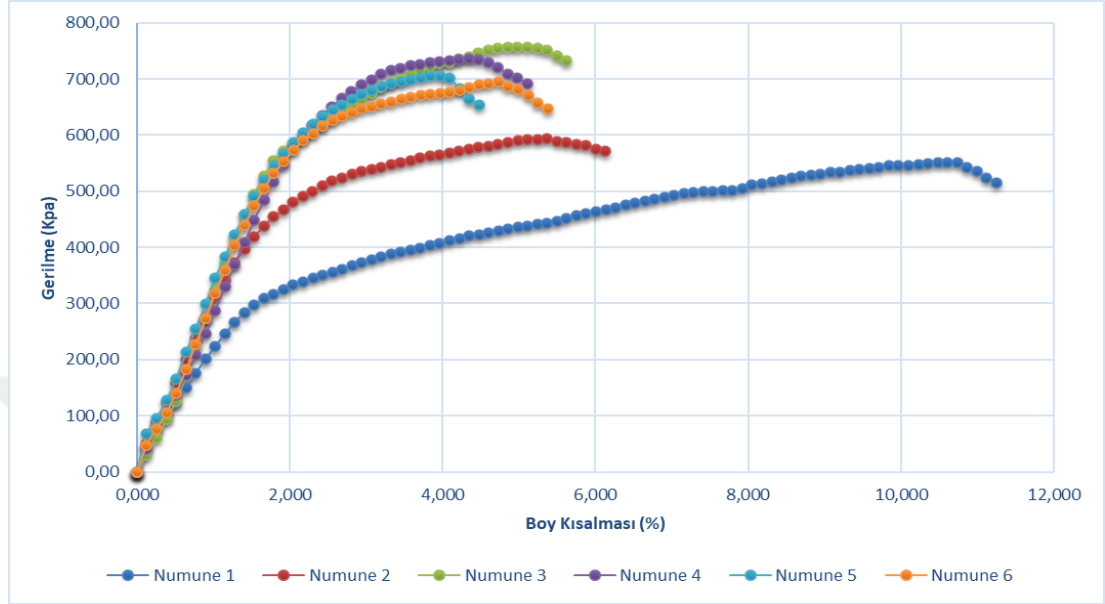
Tablo 4.24.(Devam) Bentonit kil ve %1 12 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)

Boy Kısılması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısılması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
0,4	12,80	0,511	8,68	0,126	144,61
0,5	17,40	0,638	8,69	0,171	196,32
0,6	22,10	0,766	8,70	0,217	249,03
0,7	26,80	0,894	8,71	0,263	301,6
0,8	31,20	1,021	8,73	0,306	350,67
0,9	35,80	1,149	8,74	0,351	401,85
1,0	40,10	1,276	8,75	0,393	449,54
1,1	43,80	1,404	8,76	0,430	490,38
1,2	47,00	1,532	8,77	0,461	525,53
1,3	50,90	1,659	8,78	0,499	568,4
1,4	53,40	1,787	8,79	0,524	595,54
1,5	55,80	1,915	8,80	0,547	61,5
1,6	57,70	2,042	8,82	0,566	641,82
1,7	59,50	2,170	8,83	0,583	660,98
1,8	61,00	2,298	8,84	0,598	676,76
1,9	62,10	2,425	8,85	0,609	688,07
2,0	63,00	2,553	8,86	0,618	697,13
2,1	63,80	2,681	8,87	0,626	705,05
2,2	64,30	2,808	8,89	0,631	709,65
2,3	64,80	2,936	8,90	0,635	714,23
2,4	63,70	3,064	8,91	0,625	701,18
2,5	61,00	3,191	8,92	0,598	670,57
2,6	58,60	3,319	8,93	0,575	643,34
2,7	57,20	3,447	8,94	0,561	627,14
2,8	55,30	3,574	8,96	0,542	605,51
2,9	54,10	3,702	8,97	0,531	591,58

4.6.12. Bentonit kil ve %2 12 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık)

Bu deney 6 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon deneyinde bulunan %40 lık optimum su muhtevasında bu numuneler homojen olarak hazırlanmıştır. Bu numuneler hazırlanırken olabildiğince topaklanmanın önüne geçilmeye çalışılmıştır. Serbest basınç deneyleri sonucunda 6 numune için maksimum gerilme 757,37 kpa

olarak gelmiştir. Boy kısalması ise yüzde olarak 11,247 değerlerine kadar gelmiştir. Deney ile alakalı örnek bir değerler tablosu Tablo 4.25’de ve 6 numune için sonuçların gösterildiği grafik Şekil 4.24’de verilmiştir.



Şekil 4.25. Bentonit kil ve %2 12 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık)

Tablo 4.25. Bentonit kil ve %2 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)

Boy Kısalması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısalması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
0,0		0,000	8,66	0,000	0,00
0,1	2,70	0,128	8,67	0,026	30,53
0,2	5,40	0,255	8,68	0,053	60,98
0,3	8,30	0,383	8,7	0,081	93,61
0,4	11,20	0,511	8,71	0,110	126,15
0,5	15,10	0,639	8,72	0,148	169,86
0,6	19,50	0,766	8,73	0,191	219,07
0,7	24,30	0,894	8,74	0,238	272,65
0,8	28,80	1,022	8,75	0,282	322,72
0,9	33,10	1,150	8,76	0,325	370,42
1,0	37,20	1,277	8,77	0,365	415,77
1,1	41,10	1,405	8,79	0,403	458,76
1,2	44,40	1,533	8,8	0,435	494,96
1,3	47,40	1,660	8,81	0,465	527,71
1,4	49,90	1,788	8,82	0,489	554,83

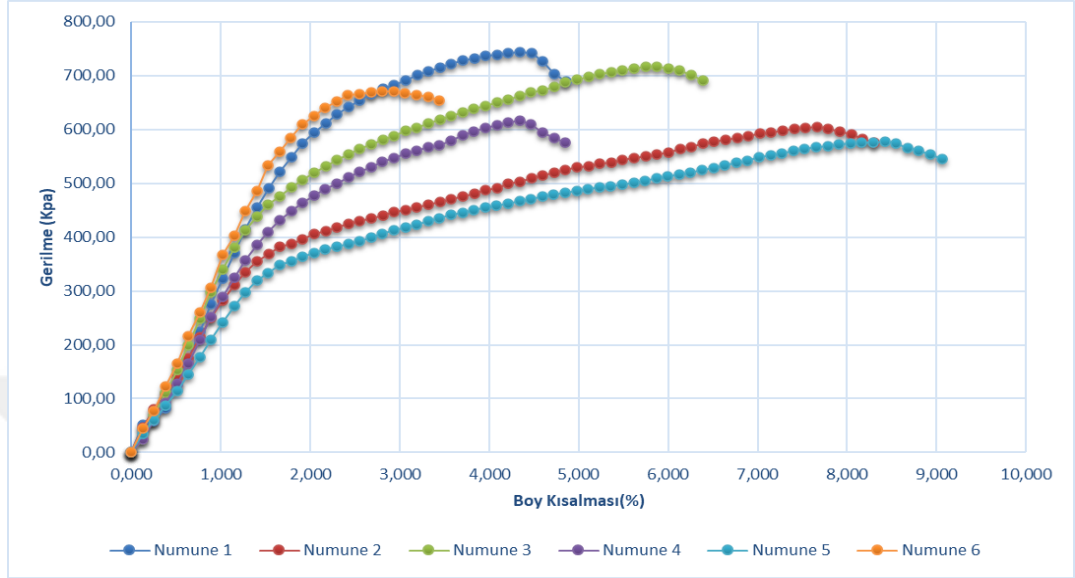
Tablo 4.25.(Devam) Bentonit kil ve %2 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)

Boy Kısılması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısılması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
1,5	51,50	1,916	8,83	0,505	571,87
1,6	52,80	2,044	8,84	0,518	585,54
1,7	53,90	2,171	8,85	0,529	596,96
1,8	54,90	2,299	8,87	0,538	607,24
1,9	56,00	2,427	8,88	0,549	618,60
2,0	57,10	2,555	8,89	0,560	629,93
2,1	58,40	2,682	8,9	0,573	643,42
2,2	59,30	2,810	8,91	0,582	652,48
2,3	60,40	2,938	8,92	0,592	663,71
2,4	61,40	3,066	8,94	0,602	673,81
2,5	62,50	3,193	8,95	0,613	684,98
2,6	63,30	3,321	8,96	0,621	692,83
2,7	64,10	3,449	8,97	0,629	700,66
2,8	65,00	3,576	8,98	0,637	709,56
2,9	65,80	3,704	9	0,645	717,34
3,0	66,30	3,832	9,01	0,650	721,83
3,1	66,90	3,960	9,02	0,656	727,40
3,2	67,10	4,087	9,03	0,658	728,60
3,3	67,80	4,215	9,04	0,665	735,22
3,4	68,30	4,343	9,06	0,670	739,66
3,5	69,00	4,471	9,07	0,677	746,24
3,6	69,60	4,598	9,08	0,683	751,72
3,7	70,00	4,726	9,09	0,686	755,03
3,8	70,20	4,854	9,1	0,688	756,17
3,9	70,40	4,981	9,12	0,690	757,31
4,0	70,50	5,109	9,13	0,691	757,37
4,1	70,40	5,237	9,14	0,690	755,27
4,2	70,10	5,365	9,15	0,687	751,04
4,3	69,20	5,492	9,17	0,679	740,40
4,4	68,50	5,620	9,18	0,672	731,92

4.6.13. Bentonit kil ve %3 12 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi (anlık)

Bu deney 6 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon deneyinde bulunan %40 lık optimum su muhtevasında bu numuneler homojen olarak hazırlanmıştır. Bu numuneler hazırlanırken olabildiğince topaklanmanın önüne geçilmeye çalışılmıştır. Serbest basınç deneyleri sonucunda 6 numune için maksimum gerilme 743,53 kpa

olarak gelmiştir. Boy kısalması ise yüzde olarak 9,058 değerlerine kadar gelmiştir. Deney ile alakalı örnek bir değerler tablosu Tablo 4.26’da ve 6 numune için sonuçların gösterildiği grafik Şekil 4.26’da verilmiştir.



Şekil 4.26. Bentonit kil ve %3 12 mm cam fiber karışımı serbest basınç deney sonuçları (anlık)

Tablo 4.26. Bentonit kil ve %3 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)

Boy Kısalması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısalması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
0,0		0,000	8,67	0,000	0,00
0,1	4,50	0,128	8,68	0,044	50,85
0,2	5,10	0,256	8,69	0,050	57,56
0,3	7,30	0,383	8,70	0,072	82,28
0,4	11,2	0,511	8,71	0,110	126,07
0,5	15,4	0,639	8,72	0,151	173,13
0,6	20,0	0,767	8,73	0,196	224,55
0,7	24,5	0,894	8,75	0,240	274,72
0,8	28,8	1,022	8,76	0,282	322,52
0,9	33,1	1,150	8,77	0,325	370,20
1,0	37,1	1,278	8,78	0,364	414,40
1,1	40,8	1,405	8,79	0,400	455,14
1,2	44,0	1,533	8,80	0,431	490,20
1,3	46,8	1,661	8,81	0,459	520,72
1,4	49,4	1,789	8,83	0,484	548,93
1,5	51,7	1,916	8,84	0,507	573,74

Tablo 4.26.(Devam) Bentonit kil ve %3 6 mm cam fiber karışımı serbest basınç deneyi sonuç tablosu örneği (anlık)

Boy Kısılması mm	Yük Okuması (kg)	Boy kısılması e (%)	Düzeltilmiş Alan (cm ²)	Kalibrasyon (kN)	Gerilme (kPa)
1,6	53,6	2,044	8,85	0,526	594,05
1,7	55,2	2,172	8,86	0,541	610,99
1,8	56,8	2,300	8,87	0,557	627,88
1,9	58,1	2,427	8,88	0,570	641,41
2,0	59,3	2,555	8,89	0,582	653,80
2,1	60,4	2,683	8,91	0,592	665,05
2,2	61,4	2,811	8,92	0,602	675,18
2,3	62,2	2,939	8,93	0,610	683,08
2,4	63,0	3,066	8,94	0,618	690,95
2,5	64,0	3,194	8,95	0,628	700,99
2,6	64,8	3,322	8,97	0,635	708,82
2,7	65,5	3,450	8,98	0,642	715,53
2,8	66,1	3,577	8,99	0,648	721,13
2,9	66,8	3,705	9,00	0,655	727,80
3,0	67,2	3,833	9,01	0,659	731,19
3,1	67,9	3,961	9,02	0,666	737,82
3,2	68,1	4,088	9,04	0,668	739,01
3,3	68,5	4,216	9,05	0,672	742,36
3,4	68,7	4,344	9,06	0,674	743,53
3,5	68,6	4,472	9,07	0,673	741,46
3,6	67,3	4,599	9,09	0,660	726,44
3,7	65,3	4,727	9,10	0,640	703,90
3,8	64,0	4,855	9,11	0,628	688,97

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

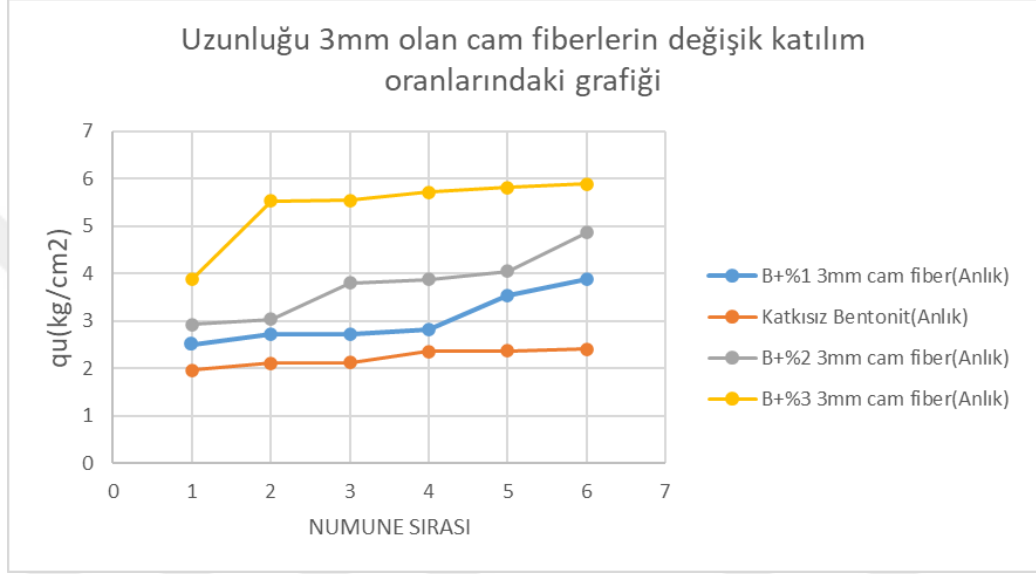
Serbest Basınç Deneyleri yapılarak saf haldeki bentonitin yapılan takviyeler ile dayanım arasındaki ilişki görülmüştür. Şekil 5.1’de serbest basınç deneylerinde elde edilen sonuçlar tek bir tabloda gösterilmiştir. Katkısız bentonitte en yüksek dayanım $2,4 \text{ kg/cm}^2$ iken %1 3mm cam fiber ile karışımında $3,88 \text{ kg/cm}^2$, %2 3mm cam fiber ile $4,86 \text{ kg/cm}^2$, %3 3mm cam fiber ile $5,89 \text{ kg/cm}^2$, %1 6mm cam fiber ile $6,06 \text{ kg/cm}^2$, %2 6mm cam fiber ile $6,6 \text{ kg/cm}^2$, %3 6mm cam fiber ile $6,98 \text{ kg/cm}^2$, %1 12mm cam fiber ile $7,34 \text{ kg/cm}^2$, %2 12mm cam fiber ile $7,94 \text{ kg/cm}^2$, %3 12mm cam fiber ile $7,74 \text{ kg/cm}^2$ değerlerine ulaşmıştır. Yine tablodan görüleceği üzere yük değerleride cam fiber katılım ve boy miktarına göre artış göstermiştir. Tablodan görüldüğü üzere cam fiber ile bentonitin dayanımı önemli oranda artmıştır. Cam fiberlerin basınca karşı dayanımı, bentonitin dayanımına katkı sağlamıştır. Henüz araştırma kapsamında olan cam fiberin zeminde kullanımı, teknolojinin gelişimi ile beraber saha uygulamalarında da kullanılmaya başlayacaktır.

DENEY ADI	NUMUNE 1		NUMUNE 2		NUMUNE 3		NUMUNE 4		NUMUNE 5		NUMUNE 6	
	qu(kg/cm2)	yük(kg)	qu(kg/cm2)	yük(kg)	qu(kg/cm2)	yük(kg)	qu(kg/cm2)	yük(kg)	qu(kg/cm2)	yük(kg)	qu(kg/cm2)	yük(kg)
KATKISIZ BENTONİT(ANLIK)	1,96	17,5	2,11	18,7	2,12	18,7	2,36	20,8	2,37	21,2	2,4	21,5
BENTONİT+%1 3 MM FİBER NUMUNE(ANLIK)	2,5	22,5	2,73	24,2	2,73	24,4	2,83	25	3,53	31,3	3,88	34,4
BENTONİT+%1 3 MM FİBER NUMUNE(7 GÜNLÜK)	3,36	29,6	3,68	33	3,72	33,2	3,77	33,5	3,89	34,4	4,22	37
BENTONİT+%2 3 MM FİBER NUMUNE(ANLIK)	2,92	26,1	3,03	27,1	3,8	33,6	3,87	34,3	4,05	35,7	4,86	42,8
BENTONİT+%2 3 MM FİBER NUMUNE(7 GÜNLÜK)	3,55	31,1	3,9	34,4	3,95	34,7	3,97	34,9	4,2	37,2	4,48	39,9
BENTONİT+%3 3 MM FİBER NUMUNE(ANLIK)	3,88	34,2	5,53	48,9	5,54	49	5,71	50	5,81	51,1	5,89	51,9
BENTONİT+%3 3 MM FİBER NUMUNE(7 GÜNLÜK)	5,05	44,6	5,13	46,1	5,38	47,7	5,39	48,1	5,41	48,3	5,67	50,7
BENTONİT+%1 6 MM FİBER NUMUNE(ANLIK)	4,31	38,7	4,77	42,2	5,08	45	5,59	49,3	5,67	50,6	6,06	53,6
BENTONİT+%2 6 MM FİBER NUMUNE(ANLIK)	5,26	46,7	5,71	50,8	5,91	52,8	6,27	55,5	6,42	56,8	6,6	58,3
BENTONİT+%3 6 MM FİBER NUMUNE(ANLIK)	5,59	49,5	6,37	56,5	6,45	57,2	6,64	58,8	6,94	61,2	6,98	61,8
BENTONİT+%1 12 MM FİBER NUMUNE(ANLIK)	5,2	46,2	5,35	47,5	5,67	50	5,76	50,7	5,95	52,4	7,34	64,8
BENTONİT+%2 12 MM FİBER NUMUNE(ANLIK)	6,12	54,6	6,23	55,4	7,26	64,2	7,31	64,5	7,66	67,7	7,94	70,5
BENTONİT+%3 12 MM FİBER NUMUNE(ANLIK)	6,26	56	6,41	57,2	6,5	57,8	6,88	61,1	7,58	67,4	7,74	68,7

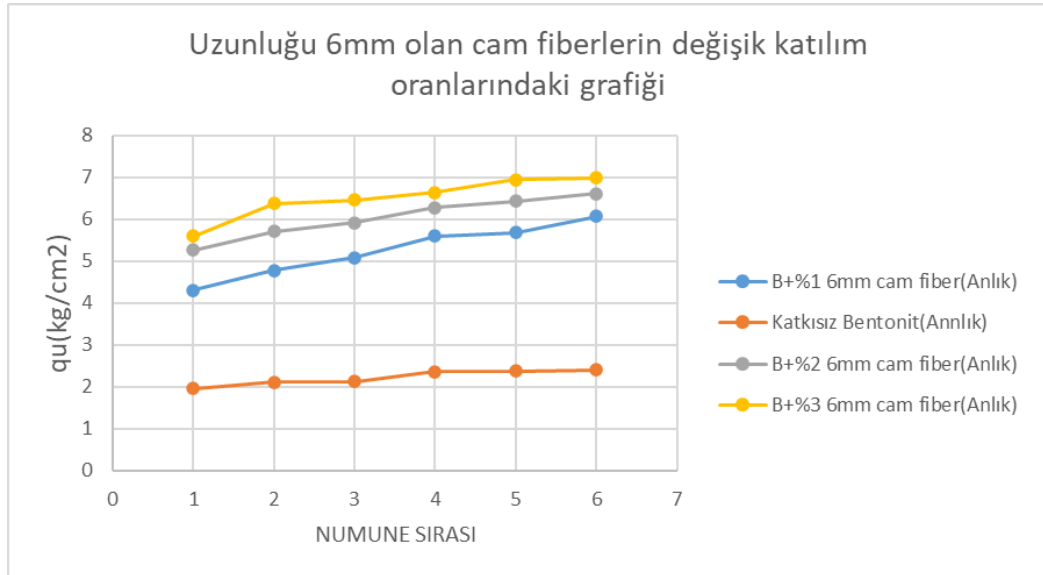
Şekil 5.1. Serbest basınç deney sonuçları

Cam fiber uzunluklarının sabit kaldığı durumda Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’de görüldüğü gibi 3 ve 6mm uzunluklarında katılım oranlarının artması ile serbest basınç

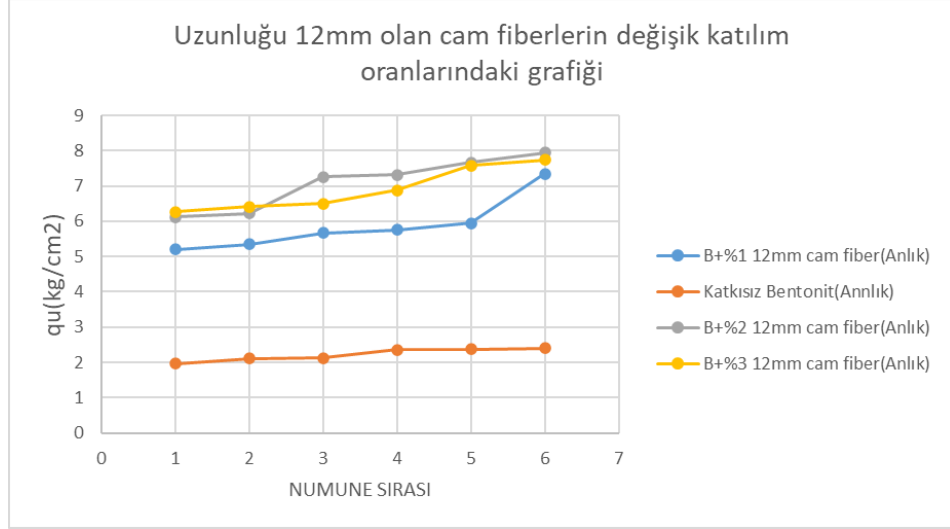
dayanımında artmıştır. Fakat 12mm cam fiber de durum bundan biraz ters olmuştur, %1 ve %2 12mm cam fiber bentonit içine atıldığında serbest basınç dayanımında artış sağlanmıştır fakat %3 12mm cam fiber bentonit içerisine atıldığında azalışa geçmiştir. Buda göstermiştir ki cam fiber katı ve bentonit içinde belli bir alan kapladığı için boşluk oluşturmuştur bu boşluk oranında cam fiberin boyutu ile doğru orantılı olduğu için serbest basınç dayanımında azalış göstermiştir.



Şekil 5.2. Uzunluğu 3mm olan cam fiberin değişik katılım oranlarındaki serbest basınç deney sonuçları

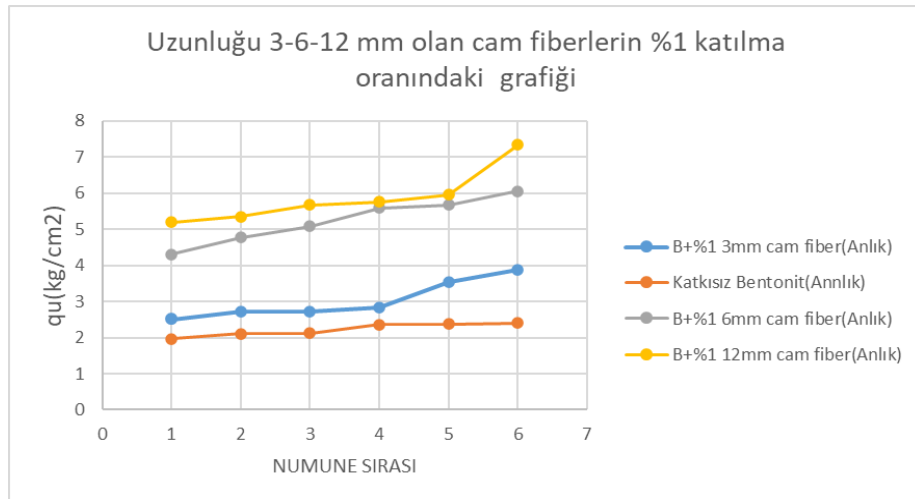


Şekil 5.3. Uzunluğu 6mm olan cam fiberin değişik katılım oranlarındaki serbest basınç deney sonuçları

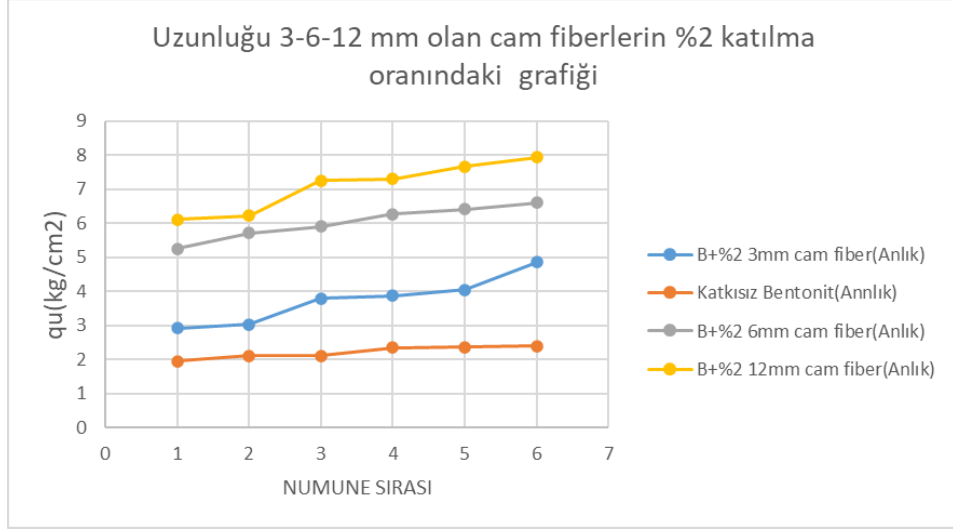


Şekil 5.4. Uzunluğu 12mm olan cam fiberin değişik katılım oranlarındaki serbest basınç deney sonuçları

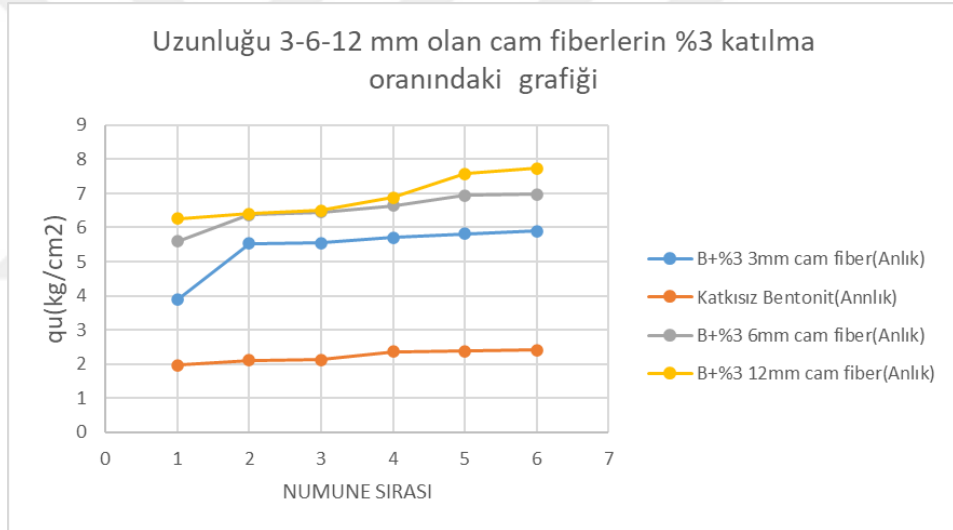
Cam fiber uzunluklarının değiştiği katılım oranlarının sabit kaldığı durumda Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da görüldüğü gibi %1 ve %2 katılımda fiber uzunlukları arttıkça dayanımda doğru orantılı olarak artış göstermiştir. Fakat Şekil 5.7’de görüldüğü üzere %3 oranında katıldığında 6-12 mm birbirine çok yakın çıktığı gözükmiştir. %3 oranı büyük boy fiberlerde numune içinde büyük boşluklar bırakmış buda bentonitin birlikte hareket etmesini engellemiş ve dayanımı azaltmıştır. Oran ne kadar artarsa dayanımda o kadar artar demek yanlış bir ifadedir. Bu tez kapsamında amaç bu optimum değeri bulmaktır.



Şekil 5.5. Uzunluğu 3-6-12 mm olan cam fiberlerin %1 katılma oranındaki serbest basınç deney sonuçları



Şekil 5.6. Uzunluğu 3-6-12 mm olan cam fiberlerin %2 katılma oranındaki serbest basınç deney sonuçları



Şekil 5.7. Uzunluğu 3-6-12 mm olan cam fiberlerin %3 katılma oranındaki serbest basınç deney sonuçları

Serbest basınç deney sonuçlarına genel bir bakıldığında;

3 mm uzunluğundaki cam fiber katkısıyla oluşturulan numuneler üzerinde gerçekleştirilen serbest basınç deneyleri sonucunda en yüksek dayanım artışı 41 ml su kullanılarak hazırlanan %3 cam fiberli karışımda gerçekleşmiş olup saf numuneye göre serbest basınç dayanımında 2,5 kat artış olmuştur.

6 mm uzunluğundaki cam fiber katkısıyla oluşturulan numuneler üzerinde gerçekleştirilen serbest basınç deneyleri sonucunda en yüksek dayanım artışı 40 ml su

kullanılarak hazırlanan %3 cam fiberli karışımda gerçekleşmiş olup saf numuneye göre serbest basınç dayanımında 2,9 kat artış olmuştur.

12 mm uzunluğundaki cam fiber katkısıyla oluşturulan numuneler üzerinde gerçekleştirilen serbest basınç deneyleri sonucunda en yüksek dayanım artışı 40 ml su kullanılarak hazırlanan %2 cam fiberli karışımda gerçekleşmiş olup saf numuneye göre serbest basınç dayanımında 3,3 kat artış olmuştur.

Cam fiber katkısının zeminin serbest basınç dayanımı üzerinde olumlu etkileri olduğu anlaşılmıştır. Serbest basınç deney verilerine göre en yüksek dayanım artışı 12 mm cam fiberin ağırlıkça %2 oranında kullanıldığı numunelerde gerçekleşmiştir.

Deneysel çalışma başlangıcında numune hazırlama sürecinde cam fiber oranının artırılması ile kil numunelerin cam fiber karışımlarında numune içerisinde eşit bir şekilde dağıtılmasında sıkıntılar ile karşılaşıldığı görülmüştür.

Numuneler hazırlanırken cam fiber cam alt yapısı ile hazırlanan malzeme olduğu için elleri acıtmaktadır. Bu noktada daima eldiven ile çalışılmasına dikkat edilmiştir.

Bentonit gibi bol miktarda su tutan zeminlerde, üzerine yapılacak yapı özelliklerine ve zemin su miktarına bağlı olarak şişme, oturma ve dayanımın aşılması problemleri çevreye bakıldığında fazla miktarda görülmektedir. Bu tez kapsamında cam fiberin zemin dayanımını önemli oranda arttırdığı görülmüştür. Bununla birlikte zeminde meydana gelen oturmaları önleyebileceği düşünülmektedir. Cam fiberin belli bir oranın üstüne çıkıldığında dayanımında artış olmadığı aksine azalışa geçtiği görülmüştür.

Cam fiberin diğer plastik alt yapıları fiberlerin aksine doğa dostu oluşu, çevreye minimum düzeyde zarar vermesi cam fiberin kullanılma oranını arttıracaklarını düşünülmüştür. Cam alt yapıları diğer malzemeler olan cam küreler veya cam kumlarında zemin iyileştirmesinde zemine katkı verip vermeyeceği diğer yapılması gereken çalışmalar arasına eklenebilir diye düşünülmüştür.

Cam fiberlerin zeminin kayma ve çekme dayanımlarına etkisi bununla birlikte permeabilitiye etkisi bundan sonraki çalışmalar arasına eklenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ergun, U., Settlement of a Tower Using Different Finite Element Softwares, *6th Turkish Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, İzmir, Turkey, October 24-25.
- [2] Mayne, P. W., Jones Jr, J. S., Dumas, J., C., Ground Response To Dynamic Compaction, *Journal of Geotechnical Engineering*, 1984, **110**(6), 757-774.
- [3] Geçkil, T., Sarıcı, T., Yıldırım, E. S., Kireç Katkısı ile Kil Bir Zeminin Dayanımının İyileştirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **34**(4), 2019, 171-179.
- [4] Vural, P., Şişme ve Dispersif Karakteristikteki Kil Zeminlerin Mühendislik Özelliklerine Çimento ve Zeolitin (Doğal Puzolan) Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2009, 432246.
- [5] Tumluer, G., Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2006, 183645.
- [6] Anonymous, *ASTM C 618-Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete*, ASTM Philadelphia, 2001.
- [7] Eskişar, T., Çimento, Kireç Ve Uçucu Kül İle İyileştirilen Kaolin Bentonit Karışımı Zeminlerin Mekanik Özellikleri, *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 2020, **22**(1), 92-105.
- [8] Yıldırım, B., Alataş, T., Dağdelen, Ş., Zemin Stabilizasyonunda Bitümün Kullanılması İle Üstyapıda Sağlanacak Ekonominin Araştırılması, *İnşaat Mühendisleri Odası Dergisi*, 2007, **1**, 495-504.
- [9] Esengün, A. S., Katkı Maddeleri İle Stabilize Edilmiş Kohezyonsuz Zeminlerde Kayma Mukavemeti Parametrelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ata Türk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2001, 105314.
- [10] Geçkil, T., Seloğlu, M., Reaktif Terpolimerin Bitümün Kıvamına ve Sıcaklık Duyarlılığına Etkisi, *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 2019, **31**(1), 203-213.
- [11] Özaydın, K., Zeminlerin İyileştirilmesi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 14. Ulusal Kongresi*, 2012.

- [12] Aral, M., Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı – Bir Optimum Tasarım, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2006, 222138.
- [13] Kurt, G., Lif İçerigi Ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2006, 223839.
- [14] Santos, P., A., Giriolli, J., C., Amarasekera, J., Moraes, G., Natural Fibers Plastic Composites In Automotive Applications, *SPE Automotive Composites Conference & Exhibition Troy*, MI, USA, 2008, 1-9.
- [15] Lucintel, *Opportunities In Natural Fiber Composites*, Las Colinas, USA, 2011.
- [16] Dönmez Ç., A., Boran S., Doğal Liflerin Otomotiv Sanayinde Kullanımı, *Kastamonu Uni. Orman Fakültesi Dergisi*, 2016.
- [17] Corbiere, N., T., Laban, B., G., Lundquist, L., Leterrier, Y., Manson, J., A., E., Jolliet, O., Lifecycle Assessment Of Biofibers Replacing Glass Fibers As Reinforcement In Plastics, *Resources, Conservation and Recycling*, 2001, **33**, 267-287.
- [18] Bismarck, A., Baltazar, A., Jimenez, Y., Sarikakis, K., Green Composites As Panacea Socio-Economic Aspects Of Green Materials, *Environment Development and Sustainability*, 2006, **8**, 445-463.
- [19] Çelikkanat, A. B., Teknik Tekstiller, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003, 142728.
- [20] Gündüz, O., Şişen Zeminlerin Tinkal Atığı ile Stabilizasyonu ve Meşelik Killerine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2008, 177253.
- [21] Kılıç, G., Çimento İle Zemin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 213300.
- [22] Çakıroğlu, İ., Yüksek Plastisiteli Killerin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2007, 216270.
- [23] Başer, O., Stabilization Of Expansive Soils Using Waste Marble Dust, Master Of Science Thesis, Middle East Technical University, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Ankara, 2009, 238729.
- [24] Gümüşer, C., Uçucu Kül Ve Polipropilen Elyaflarla Zayıf Zeminlerin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 2009, 245938.
- [25] DemirBaş, G., Stabilization Of Expansive Soils Using Bigadic Zeolite (Boron By-Product), Master Of Science Thesis, Middle East Technical University, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Ankara, 2009, 255839.

- [26] Şengül, E., Yüksek Su Muhtevalı Killi Yol Taban Zemininin Kireç Stabilizasyonu Ve Hücresel Dolgu Sistemiyle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2010, 270694.
- [27] Kızılcılık, M., M., Yüksek Plastisiteli Bir Kilin Kireç İle Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010, 275771.
- [28] Günaydın, M., İyi Derecelenmiş Zeminlerin Silis Dumanı Ve Fosfojips İle Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 2011, 291747.
- [29] Çetin, A., Y., Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerin Alternatif Malzemeler İle Yüzeysel Zemin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 295471.
- [30] Özkan, İ., Improvement Of Expansive Soils By Using Phosphogypsum, Master Of Science Thesis, Middle East Technical University, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Ankara, 2015, 416620.
- [31] Karaçoban, H., P., Stabilization Of Dredged Material Of İzmir Bay Soils Using Cement And Lime Mixtures, Dokuz Eylül University, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, İzmir, 2018, 504897.
- [32] Acar., F., Kutlubey-Yazıcılar Bölgesi Killerinin Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Çatalağzi Uçucu Külü İle Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 2019, 562097.
- [33] Can, B., Sülfat İçeriği Ve Sıkıştırma Su Muhtevasinin Killi Zeminlerin Kireç Stabilizasyonuna Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017, 485280.
- [34] Tüylüce, F., Deniz Killerinin Kireç Stabilizasyonu İle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010, 275774.
- [35] Taş, M., Uçucu Kül, Bayburt Taşı Ve Mermer Tozu Endüstriyel Atıklarının Zemin Stabilizasyonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Bayburt Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bayburt, 2020, 609976.
- [36] Demir., E., Yüksek Plastisiteli Kil Stabilizasyonunda Silis Dumanı ve Mermer Atıklarının Kireçle Beraber Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Bayburt Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bayburt, 2019, 576017.
- [37] Taş, M., Fidan D., Yılmaz, F., Zemin Stabilizasyonunda Puzolanik Katkı İnceliğinin Dayanıma Etkisi, *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2018, 1(1).

- [38] Yılmaz, F., Uçucu Kül ve Bayburt Taşı ile Zemin Stabilizasyonu, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, DOI: 10.5578/fmbd.64080
- [39] Bağrıaçık, B., Ulaşım Yapıları Temel/Alt Temel Zeminlerinin Kireçle Stabilizasyonu, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2017, **32**(1), 39-47.
- [40] Şenol, A., Effects of Calcined Phosphogypsum on the Geotechnical Parameters of FineGrained Soils, *Cumhuriyet Sci. J.*, 2019, **40**(3), 768-775, Doi: 10.17776/csj.523979
- [41] Yılmaz, F., Demir, E., Freezing-Thawing and Wetting-Drying Behavior of Clayey Soil Stabilized with Lime and Silica Fume, *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 2019, **12**(3), 1724-1732, DOI: 10.18185/erzifbed.654104
- [42] Yılmaz, F., Uçucu Kül ve Mermer Tozu Katkılarının Zeminin Stabilizasyonuna ve Donma-Çözülmesine Etkisinin Araştırılması, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 2020, **8**(1), 56-61
- [43] Saygılı, A., Killi zeminlerin polimerik metil difenil izosiyanat sıvı polimeri ile iyileştirilmesi, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 2018, **9**(1), 475-482.
- [44] Ünal, B., Çelik Tel Ve Polipropilen Lif İçerikli Beton Yolların Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2003, 138917.
- [45] Öztürk, S., Engineering Properties Of Kaolinite Clay Reinforced With Polypropylene Fibers, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 200255.
- [46] Sevensan, Ü., Polipropilen Fiber Ve Uçucu Kül Katkılı Ankara Kilinin Geoteknik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 2009, 258975.
- [47] Gerkuş, H., Dynamic Properties And Static Behavior Of Fiber Reinforced Sand, Master Of Science Thesis, İstanbul Technical University, Institute Of Science And Technology, İstanbul, 2011, 295336.
- [48] Torabı, M., Cyclic And Post Cyclic Static Behavior Of Fibre Reinforced Sand, Master Of Science Thesis, İstanbul Technical University, Institute Of Science And Technology, İstanbul, 2011, 311900.
- [49] Darvishi, A., Behavior Of Fiber Reinforced Sand Under Static Load, Master Of Science Thesis, Istanbul Technical University, Institute Of Science And Technology, İstanbul, 2014, 356142.
- [50] Ayraçma, B. B., Sentetik Fiber Ve Çimento Katkılı Kumların Mukavemet Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, 421266.

- [51] Artuk, F., Lif Ve Uçucu Kül Katkili Polimer İçi Boş Kazıkların Yumuşak Kil Zemin Numunelerindeki Davranışının Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016, 434839.
- [52] Fedakar, H. İ., Performance of Marginal Sand Improved with Wastewater Sludge Ash and Polypropylene Fiber, Master Of Science Thesis, University of Gaziantep, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, 2016, 434839.
- [53] Ardabili, H. F., Tensile Strength Of Cement-Fiber Treated Sands, Master Of Science Thesis, Istanbul Technical University, Institute Of Science And Technology, İstanbul, 2017, 472819.
- [54] Ndepete, C. P., Bazalt Fiber Katkısının Siltli Zeminlerde Kayma Direncine Etkisi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2017, 488408.
- [55] Öztürk, O., Fiber Katkılarının Temiz Kum Zeminlerin Dinamik Davranışlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2018, 496629.
- [56] Kenan, A., Bazalt Fiber Katkısının Siltli Zeminlerin Kayma Direnci Parametrelerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2018, 523153.
- [57] Türkel, M., U., Bazalt Fiber Ve Çimento Katkısının Zayıf Zeminlerin Geoteknik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 2019, 537592.
- [58] Küçükosmanoğlu, M., Bazalt Fiberin Zemin İyileştirilmesinde Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2019, 593720.
- [59] Ocakbaşı, P., Bazalt Fiber Katkısının Killi Zeminlerin Drenajsız Kayma Direncine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2019, 603718.
- [60] Yılmaz, M., İkizler, S. F., Teymür B., Fiber İle İyileştirilmiş Kum Zeminde Gömülü Boruların Dinamik Davranışının Sarsma Tablasi Deneyleri İle İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 2020, **25**(1), DOI: 10.17482/uumfd.631236
- [61] Serin, S., Macit, M. E., Çınar E. C., Çelik, S., Doğal Kenevir Lifi Kullanımının Asfalt Beton Karışımlara Etkisi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2018, **6**, 732-744.
- [62] Işık, F., Akbulut R.K., Zaimoğlu, A. Ş. ve Arasan, S., Kil Zeminlerin İyileştirmesinde Atık Doğal Liflerin Kullanabilirliği, *6. Geoteknik Sempozyumu*, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2015.

- [63] Arslan N., Serbest Cam Tasarımı ve Endüstriyel Cam Tasarımı Eğitiminde Sıcak Cam Atölyesinin Önemi, *Sanat-Tasarım Dergisi*, 2013, **1**(4), 39-46.
- [64] Karaağaç M., Düz Camın Yüksek Basıncılı Su (Waterjet) ile Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, AİBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bolu, 2017.
- [65] Cam Teknolojisi,
<https://avesis.erciyes.edu.tr/resume/downloadfile/lsendogdular?key=55cd5ce9-84cd-4aa6-8e6c-67a298493116>, (Ziyaret tarihi: 13 Nisan 2020)
- [66] Milli Eğitim Bakanlığı, *Kimya Teknolojisi: Cam Analizleri*, Ankara, 2012.
- [67] Macfarlane, A., Martin, G., A world of glass, *Science*, 2004, **305**(5689), 1407-1408.
- [68] Cam, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Cam>, (Ziyaret tarihi: 15 Nisan 2020)
- [69] Feldispat (Feldspat), <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/feldispat> (Ziyaret tarihi: 03 Nisan 2020)
- [70] Doğanay S, Lif Takviyeli Marina Kompozitlerin Aşınma Ve Yorulma Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2007, 202286.
- [71] Özdemir D., Mecit, H. D., Cam Lifleri, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 2006, **1**, 281-287.
- [72] Cam Lifleri (Glass Fibers), <http://arelyaf.com/cam-lifleri-glass-fibers/> (Ziyaret tarihi: 15 Mayıs 2020)
- [73] Seventekin N., *Kimyasal Lifler*, E.Ü. Teks. ve Konf. Araş. Uyg. Merk., 2001, 128-134.
- [74] Harmancıoğlu M., *Tekstil Maddeleri 2, Rejenere ve Sentetik Lifler*, 1981, 338-347.
- [75] Advanced Glassfiber Yarns Llc, Technical Paper, High Strength Glass Fibers, 2003, 2-11, March.
- [76] Johns Manville Sales Gmbh Katalogları
- [77] <https://www.google.com/imghp?hl=tr>, (Ziyaret tarihi: 18 Mart 2020)
- [78] Aydın, F., Cam Lifi Takviyeli Plastik (Gfrp) Kompozit Vebeton İle Üretilen Hibrit Yapı Elemanlarının Mekanik Performansının Araştırılması, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2011, 294963.
- [79] Yarımoğlu, M., Cam Lif Takviyeli Polimer (Gfrp) Kutu Profil İle Sarılmış Hibrit Kirişlerin Eğilme Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek

Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2018, 513725.

- [80] Aydın, A., Kumlanmış Ve Helisel Sargılı Yüzey Özelliğine Sahip Cam Lifli Polimer Kompozit Donatıların Aderans Performanslarının Mafsallı Kiriş Yöntemiyle Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 2018, 520344.
- [81] Yıldırım, Y. F., Cam Lifi Ve Cam Tozunun Polimer Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2019, 592240.
- [82] Hakimi, A. R., Concrete Filled Glass Fiber Reinforced Polymer (Gfrp) Short Column, Master Of Science Thesis, University of Gaziantep, Graduate School Of Natural & Applied Science, Gaziantep, 2017, 477718.
- [83] Yaman, C., Cam Fiber Plakalarla Kesmeye Karşı Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerde Ankraj Sayısının Etkisinin Analitik Olarak Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, 2016, 430131.
- [84] Kankal, Z. Ç., Betonarme Kirişlerin Cam Fiber Plakalarla Kesmeye Karşı Güçlendirilmesinde Ankraj Sayısının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, 2011, 325474.
- [85] Demiral, A., Killerin Elektrokinetik Özellikleri ve Flokülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2013, 348578.
- [86] İpekoğlu, B., Kurşun, İ., Bilge, Y., Barut, A., Türkiye Bentonit Potansiyeline Genel Bir Bakış, 2. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 1997.
- [87] <http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/634.pdf>, (Ziyaret tarihi: 17 Nisan 2020)
- [88] TS 5360, Döküm Bentoniti, *Türk Standartları Enstitüsü*, 1987, Ankara.
- [89] Çimen, Ö., Dereli, B., Bentonitin Mühendislik Özelliklerine Mikronize Kolemanitin Etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 2014, 4(2), 12-17.
- [90] Bentonit, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bentonit> (Ziyaret tarihi: 03 Nisan 2020)
- [91] Vatansever, A., Reşadiye Bentonitinden Organofilik Bentonit Sentezi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 251572.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Fındıkçı B., Bentonit Kilinin Cam Fiber ile İyileştirilmesi, *Uluslararası Mühendislik Fen Bilimleri ve Mimarlık Sempozyumu*, Kocaeli, 16 Nisan 2020.



ÖZGEÇMİŞ

Burak FINDIKCI, ilköğretimini, İstanbul Malazgirt İlköğretim Okulun'da tamamladı. Lise eğitimini ise Hüseyin Bürge Anadolu Lisesin'de tamamladı. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat mühendisliğini kazandı ve 2018 yılında başarı ile mezun oldu. 2018 yılından beri İzmit İsu Şantiyesinde çalışmaktadır.

