

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

**BAZALT FİBER KATKISININ KİLLİ ZEMİNLERİN
DRENAJSIZ KAYMA DİRENCİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Pınar OCAKBAŞI

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Sedat SERT

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZALT FİBER KATKISININ KİLLİ ZEMİNLERİN
DRENAJSIZ KAYMA DİRENCİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Pınar OCAKBAŞI

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Bu tez 28.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



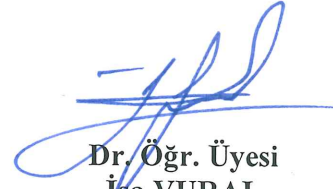
**Doç. Dr.
Sedat SERT**

Jüri Başkanı



**Doç. Dr.
Ertan BOL**

Üye



**Dr. Öğr. Üyesi
İsa VURAL**

Üye

BEYAN

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

Pınar OCAKBAŞI

28.05.2019

TEŞEKKÜR

Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Enstitü Anabilim Dalı, Geoteknik Bilim Dalında hazırlanan bu tezin amacı bazalt fiberle güçlendirilmiş kil zeminin drenajsız kayma direncindeki değişimin araştırılmasıdır.

Çalışmalarım boyunca benden desteğini hiçbir zaman sakınmayan Danışman Hocam Doç. Dr. Sedat SERT'e, deneylerin yapılması sırasında yardımcı olan Cyrille Prosper NDEPETE ve Recep EYÜPLER'e, her zaman yanımda desteğini hissettiğim çok sevgili eşim Emrullah OCAKBAŞI'na ve üretme gayretimi perçinlediği için oğlum Atlas OCAKBAŞI'na çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ VE AMAÇ	1
BÖLÜM 2.	
KATKI MALZEMELERİ İLE ZEMİN İYİLEŞTİRME VE FİBER KATKISI.....	3
2.1. Zemin İyileştirme.....	3
2.2. Zemin İyileştirme Yöntemleri.....	4
2.2.1. Uygulama derinliğine göre zemin iyileştirme yöntemleri	4
2.2.1.1. Derin zemin iyileştirme yöntemleri	5
2.2.1.2. Yüzeysel zemin iyileştirme yöntemleri.....	5
2.3. Elyaf lar (Fiberler)	6
2.3.1. Yapay fiberler.....	7
2.3.2. Doğal fiberler.....	7
2.4. Katkı Malzemesi ile Zemin İyileştirme Çalışmaları	8
2.5. Fiberlerin Katkı Malzemesi Olarak Kullanıldığı Çalışmalar.....	10
2.5.1. Yapay fiberlerin kullanıldığı çalışmalar.....	10
2.5.2. Doğal fiberlerin kullanıldığı çalışmalar.....	11

BÖLÜM 3. BAZALT VE BAZALT FİBERLER	13
3.1. Bazalt Fiberin Tarihçesi ve Üretimi	14
3.1.1. Bazalt fiberin kullanım alanları	16
3.2. Bazalt Fiberlerin Betonda Katkı Malzemesi Olarak Kullanıldığı Örnek Çalışmalar.....	17
3.3. Bazalt Fiber Katkısı ile Zemin İyileştirme Çalışmaları	18
BÖLÜM 4.	
MALZEMELER VE METOT	21
4.1. Malzemeler	21
4.1.1. Kil zemin.....	21
4.1.2. Bazalt fiber.....	22
4.2. Deneysel Çalışmanın Amacı ve İçeriği.....	24
4.2.1. Atterberg limitleri.....	25
4.2.1.1. Likit limit	25
4.2.1.2. Plastik limit	28
4.2.1.3. Plastisite indisi	29
4.2.2. Kompaksiyon deneyi ve hesaplamaları	30
4.2.3. Serbest basma deneyi ve hesaplamaları.....	31
4.3. Serbest Basma Deneyinin Aşamaları	33
BÖLÜM 5.	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	39
5.1. Kilin ve Bazalt Fiberin Mineral ve Mikro Yapı Özellikleri	39
5.2. UC Deneyinde Makroskopik Davranış	42
5.3. Serbest Basma Deneyinde Elde Edilen Sonuçlar.....	43
5.3.1. Gerilme ve şekil değiştirme ilişkisi	53
5.3.2. Numune dayanımlarında bazalt fiber katkısı ile artış oranları	55
5.3.3. Fiber oranı etkisi	69
5.3.4. Fiber boyu etkisi	72

5.3.5. Farklı su muhtevalarının numunelerin dayanımlarına Etkisi.....	80
5.3.6. Farklı su muhtevsındaki 24 mm fiber ile hazırlanan numunelerin dayanımları.....	86
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	88
KAYNAKLAR.....	90
ÖZGEÇMİŞ.....	93



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı
A	: Düzeltilmiş alan
A_0	: Numune ilk alanı
c	: Kohezyon
CH	: Yüksek plastisiteli kil
CL	: Düşük plastisiteli kil
e	: Boşluk oranı
ϵ	: Düşey birim boy değişimi
G_s	: Özgül ağırlık
H	: Numune boyu
I_p	: Plastisite indisi
n	: Porozite
P	: Yük
PE	: Polietilen
PET	: Polyester
PP	: Polipropilen
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu (Scanning electron microscope)
S_r	: Doygunluk derecesi
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UCS	: Serbest basma dayanımı (Unconfined compressive strength)
V	: Numune hacmi
V_e	: Boşluk hacmi
V_s	: Dane hacmi

w	: Su muhtevası
w_L	: Likit limit
w_{opt}	: Optimum su muhtevası
w_p	: Plastik limit
W_s	: Kuru örnek ağırlığı
W_w	: Su ağırlığı
σ	: Toplam normal gerilme
ϕ	: Kayma direnci açısı
γ_{kmax}	: Maksimum kuru birim hacim ağırlık
γ_n	: Yaş birim hacim ağırlık
γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı
τ_{max}	: Kayma direnci



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Dane boyutlarına uygun zemin iyileştirme teknikleri.....	5
Şekil 3.1. Kayaç haldeki bazalt ve bazalt içerikli lav hali	13
Şekil 3.2. Bazalt liflerin (a) makroskopik görünümü (b) mikroskopik görünümü	14
Şekil 3.3. Bazalt fiberin üretim aşamaları	15
Şekil 3.4. Kullanım amacına göre üretilen bazı bazalt formlar.....	15
Şekil 3.5. Korozyon riski yüksek sahada bazalt donatı kullanımı	16
Şekil 4.1. Kil zemin numunesi	21
Şekil 4.2. Kil zeminin dane dağılım eğrisi	22
Şekil 4.3. Bazalt fiberin mikroskopik görünümleri.....	23
Şekil 4.4. Casagrande yöntemi ile likit limit deneylerinin yapılışı	26
Şekil 4.5. Koni düşürme yöntemi ile likit limit deneylerinin yapılışı	27
Şekil 4.6. Casagrande likit limit deneyi sonuçları	27
Şekil 4.7. Koni penetrasyon likit limit deneyi sonuçları	28
Şekil 4.8. Plastik limit deneylerinin yapılışı	29
Şekil 4.9. Plastisite kartı (TS 1500/2000)	30
Şekil 4.10. Kil numunesinin elenerek deney için hazırlanması	34
Şekil 4.11. Bazalt fiberin zemine karıştırılması	35
Şekil 4.12. Serbest basma deneyinin aşamaları	36
Şekil 4.13. Serbest basma deneyinin aşamaları	37
Şekil 4.14. Serbest basma deneyinin aşamaları	38
Şekil 5.1. Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Müh. Laboratuvarında bulunan SEM.....	39
Şekil 5.2. Kil zemin mikro yapısı.....	40
Şekil 5.3. SEM analizi: farklı çözünürlüklerde bazalt fiber- kil karışımları.....	41
Şekil 5.4. Bazalt fiber ve kil zemin arasındaki temas ve reaksiyon yüzeyleri	41
Şekil 5.5. UC Deneyleri sonunda numunelerin kayma yüzeyleri	42

Şekil 5.6. Tüm numunelerin görünümü	43
Şekil 5.7. 300 ml su eklenerek hazırlanmış numunelerde gerilme - şekil değiştirme ilişkisi.....	54
Şekil 5.8. Doğal zeminin farklı su muhtevalarında dayanımı	55
Şekil 5.9. 200 ml su eklenmiş doğal ve %1 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri	56
Şekil 5.10. 200 ml su eklenmiş doğal ve %2 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri	57
Şekil 5.11. 200 ml su eklenmiş doğal ve %3 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri	58
Şekil 5.12. 300 ml su eklenmiş doğal ve %1 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri	59
Şekil 5.13. 300 ml su eklenmiş doğal ve %2 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri	60
Şekil 5.14. 300 ml su eklenmiş doğal ve %3 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri	61
Şekil 5.15. 400 ml su eklenmiş doğal ve %1 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri	62
Şekil 5.16. 400 ml su eklenmiş doğal ve %2 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri	63
Şekil 5.17. 400 ml su eklenmiş doğal ve %3 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri	64
Şekil 5.18. 500 ml su eklenmiş doğal ve %1 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri	65
Şekil 5.19. 500 ml su eklenmiş doğal ve %2 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri	65
Şekil 5.20. 500 ml su eklenmiş doğal ve %3 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri	66
Şekil 5.21. 600 ml su eklenmiş doğal ve %1 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri	67
Şekil 5.22. 600 ml su eklenmiş doğal ve %2 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri	67

Şekil 5.23. 600 ml su eklenmiş doğal ve %3 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri.....	68
Şekil 5.24. Doğal zemin ve 24 mm fiber ağırlıkça %1- %2 ve %3 katkılı 300 ml su eklenmiş numunelerin dayanımı.....	69
Şekil 5.25. Dayanım- fiber oranı ilişkisi (Su: 200 ml).....	70
Şekil 5.26. Dayanım- fiber oranı ilişkisi (Su: 300 ml).....	70
Şekil 5.27. Dayanım- fiber oranı ilişkisi (Su: 400 ml).....	71
Şekil 5.28. Dayanım- fiber oranı ilişkisi (Su: 500 ml).....	71
Şekil 5.29. Dayanım- fiber oranı ilişkisi (Su: 600 ml).....	72
Şekil 5.30. %1 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 200 ml).....	73
Şekil 5.31. %2 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 200 ml).....	73
Şekil 5.32. %3 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 200 ml).....	74
Şekil 5.33. %1 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 300 ml).....	74
Şekil 5.34. %2 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 300 ml).....	75
Şekil 5.35. %3 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 300 ml).....	75
Şekil 5.36. %1 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 400 ml).....	76
Şekil 5.37. %2 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 400 ml).....	76
Şekil 5.38. %3 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 400 ml).....	77
Şekil 5.39. %1 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 500 ml).....	77
Şekil 5.40. %2 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 500 ml).....	78

Şekil 5.41. %3 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 500 ml).....	78
Şekil 5.42. %1 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 600 ml).....	79
Şekil 5.43. %2 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 600 ml).....	79
Şekil 5.44. %3 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 600 ml).....	80
Şekil 5.45. Doğal zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı.....	81
Şekil 5.46. 6 mm %1 bazalt fiber katkılı zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı	82
Şekil 5.47. 6 mm %2 bazalt fiber katkılı zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı	82
Şekil 5.48. 6 mm %3 bazalt fiber katkılı zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı	82
Şekil 5.49. 12 mm %1 bazalt fiber katkılı zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı	83
Şekil 5.50. 12 mm %2 bazalt fiber katkılı zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı	83
Şekil 5.51. 12 mm %3 bazalt fiber katkılı zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı	84
Şekil 5.52. 24 mm %1 bazalt fiber katkılı zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı	84
Şekil 5.53. 24 mm %2 bazalt fiber katkılı zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı	85
Şekil 5.54. 24 mm %3 bazalt fiber katkılı zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı	85
Şekil 5.55. Doğal zeminin farklı su muhtevalarında gerilme-şekil değiştirme ilişkisi	86
Şekil 5.56. 24 mm uzunluğunda bazalt fiberin %2 oranında katkılı zeminin farklı su muhtevalarında gerilme-şekil değiştirme ilişkisi	87

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Fiber çeşitleri	6
Tablo 2.2. Değişik fiber çeşitlerine ait tipik özellikler.....	7
Tablo 4.1. Kil zeminin fiziksel özellikleri	22
Tablo 4.2. Bazalt fiberlerin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	22
Tablo 4.3. Numunelerdeki kil ve fiber ağırlığı, fiber boy ve oranları.....	24
Tablo 5.1. Kil zemini oluşturan mineraller (SEM – EDS analizi).....	40
Tablo 5.2. 200 ml su katılmış doğal zemin ve 6 mm - 12 mm - 24 mm fiberli numunelerin fiziksel özellikleri.....	44
Tablo 5.3. 300 ml su katılmış doğal zemin ve 6 mm -12 mm - 24 mm fiberli numunelerin fiziksel özellikleri.....	45
Tablo 5.4. 400 ml su katılmış doğal zemin ve 6 mm -12 mm - 24 mm fiberli numunelerin fiziksel özellikleri.....	46
Tablo 5.5. 500 ml su katılmış doğal zemin ve 6 mm -12 mm - 24 mm fiberli numunelerin fiziksel özellikleri.....	47
Tablo 5.6. 600 ml su katılmış doğal zemin ve 6 mm -12 mm - 24 mm fiberli numunelerin fiziksel özellikleri.....	48
Tablo 5.7. Doğal zemin ve 6 mm - 12 mm %1- %2- %3 fiber katkılı zeminlerin deney sonuçları.....	49
Tablo 5.8. 24 mm %1- %2- %3 fiber katkılı zeminlerin deney sonuçları	50
Tablo 5.9. Numunelerin dayanımlarında bazalt fiber katkısı ve artış oranları.....	50
Tablo 5.10. Ortalama değerler özet tablosu (σ_d (kPa) ortalama)	52
Tablo 5.11. Ortalama değerlere göre fiber katkılı zeminlerdeki dayanım değişimleri tablosu.....	53

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kil, Serbest Basma Deneyi, Zemin İyileştirme, Bazalt Fiber

Her alanda olduğu gibi geoteknik mühendisliğinde de çevre dostu malzemelere olan ihtiyaç her geçen gün artmakta olduğundan, zeminlerin mukavemet davranışlarını iyileştirmek için doğal ve kompozit çevre dostu katkı malzemelerinin kullanımı üzerine yapılan çalışmaların sayısı da hızla artmaktadır. Doğal ve yapay elyaflar (fiberler) farklı kullanım alanları yanında zeminlerin bazı mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek için de kullanılabilirler. Doğal bazalttan elde edilen fiberlerin zemin iyileştirmesinde kullanımına yönelik çalışmalar özellikle son 10 yılda literatürde artan sayıda yer almaya başlamıştır.

Bu çalışmada, killi bir zeminin serbest basma dayanımına rastgele dağıtılmış bazalt fiber eklenmesinin etkilerini araştırmak için deneysel bir program uygulanmıştır. Çalışma için bir kil zemin örnek olarak seçilmiş ve bu zemin farklı yüzdelerde olmak üzere 6 mm, 12 mm, 24 mm uzunluğunda bazalt fiber ile karıştırılmıştır. Çalışma toplamda 200 adet serbest basma (UC) deneyi içermektedir. Bu çalışmada kullanılan zemin, Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemine (USCS) ve Türk Standardına (TS1500) göre yüksek plastisiteli kil (CH) olarak sınıflandırılmıştır. 6 mm, 12 mm ve 24 mm uzunluklarındaki fiberler, doğal zemine ağırlıkça %1, %2 ve %3 oranlarında karıştırılmış ve kil bazalt karışımı farklı su muhtevalarında hazırlanarak standart sıkıştırma (Proktor) enerjisi ile sıkıştırılmıştır. Sıkıştırmadan sonra kalıp içinde sıkıştırılmış her zeminden dört numune alınmış ve bu numuneler üzerinde serbest basma (UC) deneyi yapılmıştır. Ayrıca makroskopik görüntüler ve mikro yapı arasındaki ilişkiyi oluşturmak için, doğal zemin örnekleri ve bazalt fiberleri ile güçlendirilmiş örnekler üzerinde Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizleri yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda bazalt fiber katkısının kullanılan tüm uzunluk ve oranlar için kayma direncini arttırdığı; kuru zemin ağırlığına göre %2 oranında bazalt fiber eklenen zeminlerin mukavemetinde maksimum gelişme sağlandığı gösterilmiştir. Çalışma ile bazalt liflerinin zemin özelliklerini iyileştirmek için diğer lif ve katkı türlerine alternatif olabileceği ortaya konmuştur.

THE EFFECT OF BASALT FIBER ADDITION ON UNDRAINED SHEAR STRENGTH OF CLAYEY SOILS

SUMMARY

Keywords: Clay, Unconfined Compression Test, Soil Improvement, Basalt Fiber

As the need for environmentally friendly materials is increasing day by day in geotechnical engineering as in every field, the number of studies on the use of natural and composite environmentally friendly additives to improve the strength behavior of soils is increasing rapidly.

Natural and man-made fibers can be used to improve some of the mechanical and physical properties of soils as well as different uses. Studies on the use of natural basalt fibers in soil improvement have been increasing in the literature especially in the last 10 years.

In this study, a clayey sample was chosen and this clayey soil was mixed, in different percentages, with 6 mm, 12 mm and 24 mm long basalt fiber. The study covers approximately 200 unconfined compression (UC) tests in total. The soil used in this study was classified as high plasticity clay (CH) according to both Turkish Standard (TS1500) and Unified Soil Classification System (USCS). %1, %2 and %3 basalt fiber added mixtures were prepared and compacted with standard compaction (Proctor) energy. After compaction, four samples were taken from every compacted soil and UC tests were conducted on these samples. In addition, to determine the relationship between macroscopic images and microstructure, Scanning Electron Microscopy (SEM) analyzes were carried out with natural ground samples and samples reinforced with basalt fibers.

As a result of the experiments, it was observed that basalt fiber addition increased shear resistance for all lengths and ratios used. It has been shown that the maximum improvement in the shear strength of soils with basalt fiber addition is at the rate of 2% according to dry soil weight. The study showed that basalt fibers can be an alternative to other fiber and additive types to improve soil properties.

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Gelişen teknoloji ve hızla artan nüfusla birlikte her geçen gün doğal kaynaklar üzerinde insan eliyle tahribat artmaktadır. Nüfus artışıyla birlikte canlıların her türlü barınma ihtiyaçlarını karşılamak ve yeni yaşam alanları yaratmak amacıyla kısa süreler içinde hızla pek çok yapı yapılmaktadır. Yapılar tasarlanırken tasarıma etki eden birçok unsur bulunmaktadır. Zeminin özellikleri, kullanılacak malzemelerin kalitesi, can güvenliğinin sağlanması gerekliliği yanı sıra ekonomik olma şartı da önem taşıyan unsurlardan birkaçı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Özellikle gelişmekte olan büyük şehirlerde çeşitli nedenlerden (göç, nüfus artışı, iş imkanı) doğan ihtiyaçlar doğrultusunda yapılaşmanın giderek artması ve bunun sonucu olarak inşai faaliyetlerin sürdürüleceği arsaların azalması sonucu kentsel dönüşüm ya da yeni yerlerin imara açılması durumu ortaya çıkmaktadır. Üretilen yapılarda dikkat edilecek temel unsurlardan biri yapının inşa edileceği ortam zeminlerinin mevcut durumunun çok iyi değerlendirilmesi gerektiğidir. Bina temellerinin geoteknik açıdan yetersiz zeminler üzerine yapılmasının zorunlu olduğu durumlarda zemini bina için elverişli hale getirmeye zemin iyileştirme denir. Uzun yıllardır pek çok zemin iyileştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bazalt fiberler son zamanlarda kompozit malzemelerin güçlendirilmesi, betonların dayanımlarının arttırılması gibi birçok alanda alternatif katkı maddesi olarak yer almaya başlayan doğal bir malzemedir.

Tez çalışması kapsamında, bazalt fiberlerin mühendislik özellikleri ve çevresel değerlendirmesi yapılmış, yüzeysel zemin stabilizasyonunda alternatif doğal bir malzeme olarak bazalt fiberin kullanılmasının araştırılmasına yönelik serbest basma deneyleri ile çalışma tamamlanmıştır. Teze konu olan tüm deneyler Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Laboratuvarında yapılmıştır.

Deneysel çalışmanın ilk aşamasında zeminin fiziksel özellikleri belirlenmiş ve sonrasında mekanik deneyler için doğal zemin örnekleri farklı su muhtevalarında hazırlanarak karıştırılmış ve standart Proktor aleti ile sıkıştırılmıştır. Kompaksiyondan elde edilen her bir numuneden 4'er adet silindirik numune alınarak serbest basma deneyleri yapılmıştır. Çalışmanın 2. aşamasında ise 6 mm - 12 mm ve 24 mm boylarında kırılmış bazalt fiberler, doğal zemine %1 - %2 ve %3 oranlarında eklenerek farklı su muhtevalarında karıştırılmıştır. Hazırlanan numuneler standart Proktor enerjisi ile sıkıştırılmış ve kompaksiyon sonucunda oluşturulan numuneden alınan silindirik numuneler üzerinde serbest basma deneyleri yapılmıştır.

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, doğal kil zeminin sıkışabilirlik ve mukavemet özellikleri ile bazalt fiber katkılı kil zeminin sıkışabilirlik ve mukavemet özellikleri karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda bazalt fiberin alternatif iyileştirme malzemesi olarak kullanılabilceğinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

Ayrıca makroskopik görüntüler ve mikroyapı arasında bir bağlantı oluşturmak için SEM analizleri hem doğal zemin hem de bazalt ile güçlendirilmiş zemin üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın her geçen gün kirliliği artan dünyamızda çevreci malzemelerin kullanımıyla ilgili çalışmalara örnek olması beklenmektedir.

BÖLÜM 2. KATKI MALZEMELERİ İLE ZEMİN İYİLEŞTİRME VE FİBER KATKISI

2.1. Zemin İyileştirme

Günümüzde ülkemizde yürütülen müteahhitlik hizmetlerinin hemen hepsinde yapılacak yapılarda sağlamlık ve depreme dayanıklılıktan çok estetiğe önem verilmektedir. Üretilen birçok yapıda kalite değerlendirmesinde bilgi açısından yetersiz insanlar görev alabilmektedir. Oysa yaşanan pek çok felaket tasarımın bir bütün olduğunu ve yapının yapılacağı zeminin de bu bütünün en önemli parçası olduğunu göstermiştir. İnşaat yapılacak alanlar zemin açısından her zaman istenilen elverişli özelliklere sahip olmamaktadır. Bunun sonucu olarak zeminin gerekli değerlendirmeler yapılarak mühendislik çözümleri ile yapılacak yapıya göre en uygun ve elverişli hale getirilmesi zemin iyileştirme olarak adlandırılabilir.

Bir araziye yapılması düşünülen bir yapının, yüzeysel temellerle taşınmasının mümkün olmadığı durumlarda zemin iyileştirme seçeneği düşünülmeden önce şu yollar denenebilir:

1. Yapılması düşünülen binanın zemin koşulları yönünden uygun başka bir araziye yapılması.
2. Jeolojik açıdan çok genç dolayısıyla niteliksiz olan üst tabakaların kaldırılarak daha nitelikli zeminle değiştirilmesi.
3. Üst yapı ve/veya yüzeysel temel özelliklerinin temel ortamına göre değiştirilmesi (Önalp ve Sert, 2016).

Zemin iyileştirmede hedefler aşağıdaki şekilde değerlendirilebilir;

1. Zayıf zeminin taşıma kapasitesini artırmak,
2. Toplam oturmayı azaltıp konsolidasyonu hızlandırmak,
3. Dolgu ve şevlerin stabilitesini sağlamak,

4. Zeminin potansiyel sıvılaşma riskini azaltmak.

Sağlamer'e (2011) göre zemin iyileştirme yöntemleri uygulandığında zeminin;

1. Kayma mukavemeti artar,
2. Kumlu zeminlerin sıkılığı, killi zeminlerin kıvamı iyileşir,
3. Sıkışabilirliği azalır,
4. Şişme ve büzülme potansiyeli düşer,
5. Permeabilitesi azalır,
6. Borulanmaya karşı mukavemeti artar,
7. Sıvılaşma potansiyeli azalır.

2.2. Zemin İyileştirme Yöntemleri

Zemin iyileştirmede amaçlanan temel unsur, mekanik araçlarla zeminde bulunan boşluk oranının azaltılması veya boşlukların çeşitli katkı malzemeleri ile bertaraf edilmesidir (Demiröz ve Karaduman, 2009).

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

1. Geçici etkili,
2. Kalıcı etkili, zemine yabancı madde eklemeyen yapılan,
3. Kalıcı etkili, zemine yabancı madde veya katkı maddesi ekleyerek yapılan.

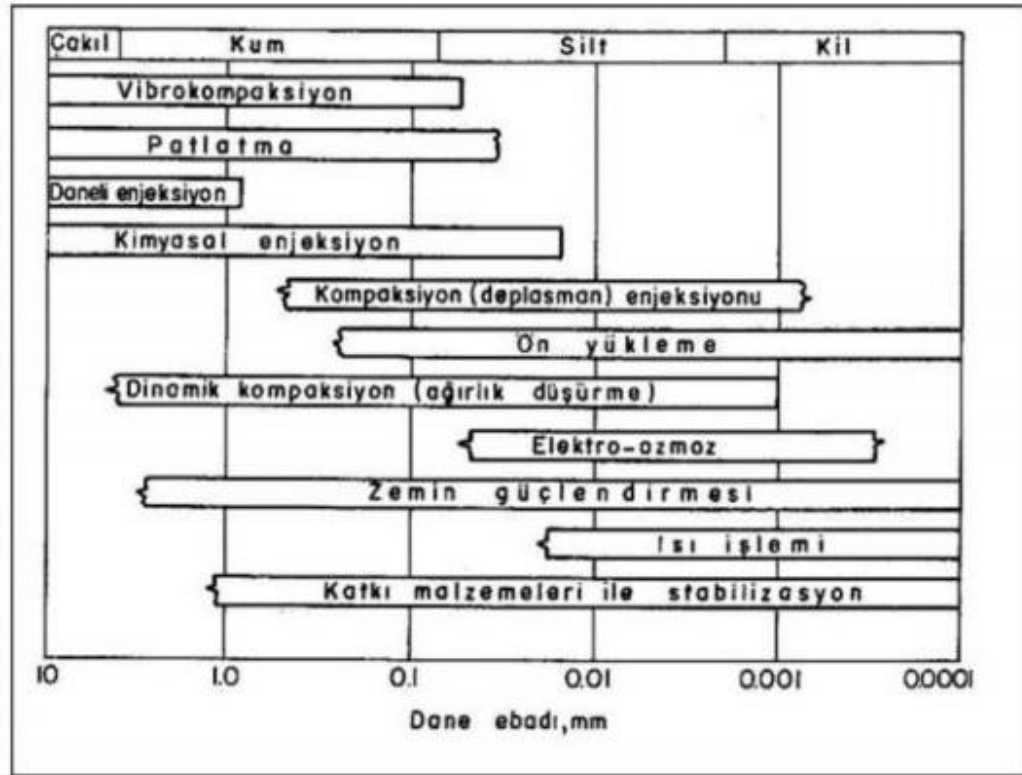
Bu çalışmada zemine katkı maddesi ekleyerek yapılan kalıcı etkili yöntem seçilerek kil zemine bazalt elyaf takviyesinin zeminin drenajsız kayma direncine etkisi incelenmiştir.

2.2.1. Uygulama derinliğine göre zemin iyileştirme yöntemleri

Zemin iyileştirme teknikleri uygulama derinlikleri baz alınarak derin zemin iyileştirme ve yüzeysel zemin iyileştirme olarak iki şekilde sınıflandırılabilir.

2.2.1.1. Derin zemin iyileştirme yöntemleri

Teknolojik değişim ve bilimsel çalışmalar sonucu uygulanmakta olan pekçok sayıda zemin iyileştirme yöntemleri mevcuttur. Seçilecek yöntem zeminin dane çapları ile de yakından ilişkilidir.



Şekil 2.1. Dane boyutlarına uygun zemin iyileştirme teknikleri (Mitchell ve Katti, 1981)

Başlıca derin iyileştirme yöntemleri şu şekilde sıralanabilir; patlatma ile sıkıştırma, dinamik kompaksiyon, düşey drenler, elektro-osmoz, ısıtma – dondurma, enjeksiyon teknikleri, ön yükleme, kompaksiyon kazıkları, vibro-kompaksiyon, jet grouting, derin karıştırma (Sağlamer, 2011).

2.2.1.2. Yüzeysel zemin iyileştirme yöntemleri

Yüzeysel zemin iyileştirmesi kalın olmayacak şekilde tabakalar halinde serilen katkılı veya katkısız zeminin kompaksiyon ile sıkıştırılması ve drenaj uygulaması olarak tanımlanmaktadır.

Yüzeysel yöntemler; kompaksiyon, kireç-uçucu kül ile stabilizasyon, çimento stabilizasyonu, bitümlü stabilizasyon, fiberler ile stabilizasyon olarak sınıflandırılabilir. Mekanik stabilizasyonda, çimento, kireç-uçucu kül, bitüm ve fiberler ile karıştırılan zemin kompaksiyon ile sıkıştırılarak boşluk oranı azaltılıp özellikleri iyileştirilmektedir. Drenaj ise genel olarak zeminden suyun uzaklaştırılması işlemidir.

2.3. Elyaf (Fiberler)

Fiberler, eğilip bükülebilen ve mukavemeti olan doğal kaynaklardan elde edilen ya da istenilen özelliklerde insan eliyle endüstriyel olarak üretilen maddelerdir (Türker ve Balanlı, 1992).

Fiberler yapay ve doğal olmak üzere iki grupta incelenebilir. Doğal lifler; bitkisel, hayvansal ve madensel olarak üç alt gruba ayrılabilirler. Tablo 2.1.'de fiberler alt grupları ile beraber örnekler ile sunulmaktadır. Doğal ve yapay fiber türlerinin tipik özelliklerinden bazıları da Tablo 2.2.'de örnek olarak gösterilmektedir (Aral, 2006; Kurt, 2006).

Tablo 2.1. Fiber çeşitleri (Aral, 2006)

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

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

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

2.3.1. Yapay fiberler

Kimyasal yapısı, yapısı ve özellikleri üretim süreci boyunca insan eliyle değiştirilmiş olan fiberlere yapay fiberler denir. Cam fiberler ve polimer fiberler olarak son zamanlarda inşaat mühendisliği sektöründe kullanılmaya başlanmış fiberlerdir (URL-1).

2.3.2. Doğal fiberler

Doğal fiberler sebze, hayvan ya da minerallerden doğrudan elde edilebilen çeşitli işlemlerle fibere dönüştürülen ham maddelerden yapılan fiberlerdir (URL-2).

Bitkilerden üretilen, hayvan kılları ve tüylerinden üretilen ve madenlerden üretilenler olarak üç farklı kategoride değerlendirilebilirler.

Killi zeminler inşaat mühendisliği alanında taşıma gücü ve oturma açısından soruna neden olabilmektedir. Bu sorunları çözmek için çeşitli zemin iyileştirme teknikleri geçmiş zamanlardan beri uygulanmaktadır. Bu tekniklerden biri, zeminlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini değiştirmek için (sentetik veya doğal) elyafların kullanılması ile olmaktadır. Öte yandan bu işlem, “zemin iyileştirmesi; doğal özelliklerini

değiştirmek için zemine farklı özelliklere ve arzulanan yüzdelere sahip bazı malzemeleri dahil etmektir (Jones, 1999)” tanımına uymaktadır.

Zemini iyileştirmek için en çok kullanılan malzemeler elyaf, metal, çeşitli geosentetikler, geotekstilller ve benzer malzemelerdir. Bazalt fiberler son zamanlarda mükemmel mekanik özellikleri ve çevreye saygılı bir üretim süreci nedeniyle beton sektöründe yerini almıştır (Ross, 2006).

Burada sunulan deneysel çalışmanın amacı doğal kil zemin ve bazalt fiberle güçlendirilmiş bu zeminin mekanik davranışını serbest basma (UC) deneyi altında incelemektir.

2.4. Katkı Malzemesi ile Zemin İyileştirme Çalışmaları

Keskin ve ark. (2009) çalışmalarında ısıl iyileştirme ve kireçle iyileştirmenin serbest basınç mukavemetine (UCS) etkisi üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında sırasıyla ısıl iyileştirme, % 4 kireç katkılı iyileştirme, son olarak da % 4 kireç katkılı kaolin kilinin ısıl iyileştirmesini yapmışlardır. İlk olarak 105 ile 1050 °C arasındaki 6 farklı işlem sıcaklığında 3'er adet numuneye 6 saat boyunca ısıl işlem gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem sonunda serbest basma direncinin sıcaklık arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. Sonrasında %4 oranında kireç katılan kaolin kili bir saat bekletildikten sonra sıkıştırılmış ve 1 gün, 7 gün, 28 gün kürde tutulduktan sonra 12 adet numunenin serbest basma deneyleri yapılmıştır. Kür süresi arttıkça kireç katkılı kilin serbest basma direncinin arttığı gözlemlenmiştir. Yalnızca ısıl işleme tabi tutulan veya yalnızca kireç katkılı kil numunelerinin serbest basma dirençlerinde ortalama 3000 kPa artışlar gözlemlenmiştir. Son olarak hem kireç katkılı, hem de ısıl işlem uygulanmış kilin dayanımı ölçülmüştür. %4 oranında kireç katılan kaolin killerinden alınan 60 adet numune 1, 7, 28 günlük kürlere tabi tutulduktan sonra 105- 1050 °C arasında 6 saat boyunca ısıl işleme tabi tutulmuştur. Yapılan serbest basma deneylerinin sonunda kireç katkılı kaolin killerinin serbest basma dirençlerinde 12000 kPa'a varan artış olduğu bildirilmiştir.

Kurt, Albayrak ve Altun (2018) çalışmalarında biyopolimer ile etkileştirilmiş kil-mermer tozu karışımlarının bazı geoteknik özelliklerini araştırmışlardır. Araştırmacılar Erzurum bölgesinden aldıkları CH kile yine Erzurum bölgesinden aldıkları mermer tozunu belirli yüzdelerde (%5, %15, %25) kuru halde karıştırarak mermer katkılı kil numuneler elde etmişlerdir. Biyopolimer katkılı numuneleri elde etmek içinse deneylerde kullanılan su yüzdesi oranında (%0,5, 1,0, 1,5) keçiyoynuzu gam suyla birlikte numunelere ilave edilmiştir. Oluşturulan kil/mermer/biyopolimer katkılı numunelerde kıvam limitleri ve standart proktor deneyleri yapmışlardır. Mermer yüzdesi arttıkça likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri azalma göstermiştir. Keçiyoynuzu gam yüzdesindeki artışla numunelerin likit limitlerinin arttığı, %1,0 gam yüzdesinden sonra ise likit limitlerde kısmi azalma olduğu görülmüştür. Serbest basınç deneyi sonuçları incelendiğinde keçiyoynuzu gam miktarı arttıkça maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri azalmış, %1 gam katkıdan sonra ise artmıştır. Keçiyoynuzu gam yüzdesinin artmasıyla katkısız ve mermer katkılı numunelerin su muhtevalarında artış olduğu görülmüştür.

Balatan ve Akbulut (2018) çalışmalarında kurşun-çinko katkılarının bir kil zeminin dayanımına etkisini araştırmışlardır. Balıkesir bölgesinde maden atığı olarak ortaya çıkan kurşun-çinko (Pb-Zn) malzemesini yüksek plastisiteli bir kil zemin (CH) ile farklı oranlarda (%0, %10, %20, %30, %40, %60, %80) karıştırmışlardır. Oluşturulan numuneler üzerinde kıvam limiti deneyleri, standart kompaksiyon deneyi, serbest basınç deneyi, üç eksenli hücre kesme deneyi yapmışlardır. Deney sonuçları incelendiğinde %20 oranında kurşun-çinko atık malzemesi katkılı numunelerde katkısız numuneye oranla dayanımda %15 artış görülmüştür. Yazarlar, bunun ardından %20 oranında kurşun-çinko katkılı numunelere değişik oranlarda (%1, %2, %3) çimento eklemiştir. Çimento eklenen numuneleri 1 gün ve 7 gün süreyle desikatörde bekletmişler ve kür uygulanan numuneler üzerinde serbest basma deneyi gerçekleştirmişlerdir. Kür süresi arttıkça numunelerin serbest basma dayanımlarının arttığı görülmüş, en yüksek dayanıma %3 çimento + % 20 kurşun çinko atığı + %77 kil olarak hazırlanan numunede ulaşılmıştır. Kil - kurşun - çinko - çimento karışımları 24 saat desikatörde bekletildikten sonra değişen çevre basınçlarında (50 kPa, 100 kPa, 200 kPa) üç eksenli hücre kesme deneyi uygulamışlardır. UU deneyi sonucunda en

yüksek dayanıma %3 çimento + %77 kil + %20 kurşun-çinko karışım numunelerinde ulaşılmıştır. Tüm deney sonuçları incelendiğinde çimento katkılı numunelerin dayanımlarının çimento katkısız kil numunelerine göre %60 ile %200 oranında arttığı görülmüştür.

Göktepe ve ark. (2018) çalışmalarında uçucu kül katkılı Kutlubey Bölgesi kilinin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Bartın Kutlubey bölgesine ait kile ağırlıkça çeşitli yüzdelerde (%5, %10, %15, %20, %25) F sınıfı uçucu kül ilave edilmiştir. Elde edilen numuneler üzerinde elek analizi deneyleri ve kıvam limitleri deneyleri yapılmıştır. Elde edilen karışımlar optimum su muhtevalarında sıkıştırılmıştır. Kompaksiyondan elde edilen numuneler streç filme sarılarak oda sıcaklığında 1, 8, 16 ve 32 gün süreyle kürde bekletilmiştir. Kür işlemi sonunda numunelere serbest basma deneyi ve üç eksenli hücre kesme deneyi uygulanmıştır. Serbest basma deneyi sonucunda bütün karışımlar için kür süresi arttıkça serbest basma dayanımının arttığı görülmüştür. En yüksek dayanıma %10 kül katkılı 32 gün süreyle kür uygulanmış numunelerde ulaşılmıştır. Üç eksenli hücre kesme deneyi sonuçları incelendiğinde %5 uçucu kül katkılı kür süresi 8 gün olan numunede drenajsız kayma mukavemeti değerinde (c_u) %174 oranında bir artış söz konusu olmuştur.

2.5. Fiberlerin Katkı Malzemesi Olarak Kullanıldığı Çalışmalar

2.5.1. Yapay fiberlerin kullanıldığı çalışmalar

Zaimoğlu (2010) çalışmasında, polipropilen fiber ve katkı malzemeleriyle iyileştirilmiş ince daneli zeminlerin serbest basma dayanımının değişimini araştırmıştır. Polipropilen fiber, borojips, katkısız çimento ve uçucu kül ince daneli zeminlere belli oranlarda eklenerek 7 günlük serbest basma dayanımına etkileri incelenmiştir. %10 - %20 oranında borojips, %10 - %20 oranında uçucu kül, %1 - %3 oranında katkısız çimento, %0,15 - %0,25 oranlarında polipropilen fiber ince daneli zemine eklenerek elde edilen homojen karışımlar üzerinde serbest basma deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, %10 borojips, %0 uçucu kül, %0,25 polipropilen ve %0 çimento içeren karışımın optimum şartı sağladığı belirtilmiştir.

Ayrıca 7 günlük serbest basınç dayanımı üzerinde en etkili parametrenin polipropilen fiber oranı olduğu ve uçucu külün dayanıma hiçbir etkisinin olmadığı ortaya konmuştur.

Yılmaz ve Sevcen (2010) çalışmalarında uçucu kil ve polipropilen fiber katkılı yüksek plastisiteli Ankara kilinin bazı geoteknik özelliklerini araştırmışlardır. Uçucu kül katkısız ve %10, %20, %30 oranlarında uçucu kül katkılı Ankara kili üzerinde standart kompaksiyon deneyleri yapılarak optimum su muhtevası, maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra uzunluğu 19 mm olan M tipi ve F tipi polipropilen fiberler bu karışımlara %0.0 %0.5 ve %1 oranlarında karıştırılmıştır. Fibersiz uçucu kül-kil karışımları 1, 7, 14 ve 28'er gün, fiberli uçucu kül - kil karışımlarıysa sadece 28 gün küre tabi tutulmuşlardır. Kür sonunda alınan numuneler üzerinde tek eksenli serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonunda uçucu kül - kil karışımlarında karışımın maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının uçucu kül oranıyla doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Ayrıca uçucu kül - kil karışımlarında optimum su muhtevası, uçucu kül oranı arttıkça azalmıştır. Fiberlerin numune içindeki dağılımına bağlı olarak da serbest basma dayanımının azalıp artabildiği bildirilmiştir.

2.5.2. Doğal fiberlerin kullanıldığı çalışmalar

Işık ve ark. (2015) çalışmalarında tavuk teleği ve tüy lifinin CH kilin dayanımına etkisini araştırmışlardır. 4 mm ve 8 mm boyutlarında kesilen tavuk telekleri ve gelişigüzel kesilen tavuk tüyleri %1 ve %2 oranlarında kil zemine ilave edilerek rastgele donatılanmış zemin numuneleri hazırlanmıştır. Kil zemin ile tavuk teleği ve tüy fiberlerinin homojen karışması için karışım kuru halde hazırlanmış daha sonra azar azar su ilave edilerek optimum su muhtevasında karışımlar hazırlanmıştır. Daha sonra elde edilen karışım üzerinde standart Proktor deneyleri yapılarak oluşturulan numunelere serbest basınç deneyi ve donma - çözülme deneyleri yapılmıştır. Serbest basınç deneyleri sonunda 4 mm telek ile donatılanmış numunelerin serbest basınç dayanımında olumlu bir artış gözlenmemiş, 8 mm'lik telek ile donatılanmış kil zeminlerin serbest basınç dayanımında ise kayda değer bir artışa rastlanmamıştır. Tüy

fiber ile rastgele donatlandırılmış numunelerin serbest basınç dayanımları donma - çözülme çevrimlerinin tümünde artış göstermiştir. Donatılı zeminler donatısız zeminlere göre daha sünek davranış göstermişlerdir. Donma - çözülme çevrimlerine maruz bırakılan donatılı ve donatısız zeminlerde serbest basma dayanımının azaldığını görmüşlerdir.



BÖLÜM 3. BAZALT VE BAZALT FİBERLER

Bazalt volkanik lavların kayalar üzerinde birikmesiyle oluşan doğal bir malzemedir. (URL-3).

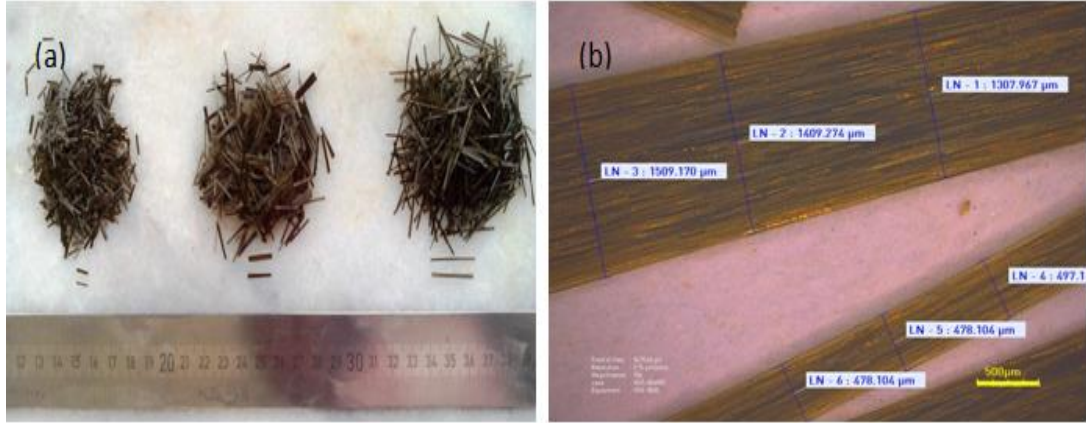


Şekil 3.1. Kayaç haldeki bazalt ve bazalt içerikli lav hali (URL-4)

Bazalt dünya üzerinde en yaygın bulunan kayadır. Bazalt kaya özellikleri, lav kaynağından soğuma hızının tarihsel öyküsüne göre farklılık gösterir. Bazalt fiberler yüksek kaliteli bazalt birikintilerinden yapılır (URL-5).

Bazalt lifleri doğal bazalt kayalarından elde edilir ve cam elyaf gibi diğer malzemelerin aksine esasen başka hiçbir malzeme ilave edilmez. Bazalt elyaflar cam elyaflardan daha iyi mekanik özelliklere sahiptir. Cam elyaflardan daha iyidir, ayrıca karbon veya camdan çok daha ucuzdur. Bununla birlikte, bazaltın iyi termal özellikleri olması nedeniyle ve elyafı yanmadığı için, çoğunlukla yangına dayanıklı uygulamalarda kullanılan bir malzemedir (URL-6).

Şekil 3.2.'de bazalt liflerin makroskopik ve mikroskopik görünümü sunulmuştur.



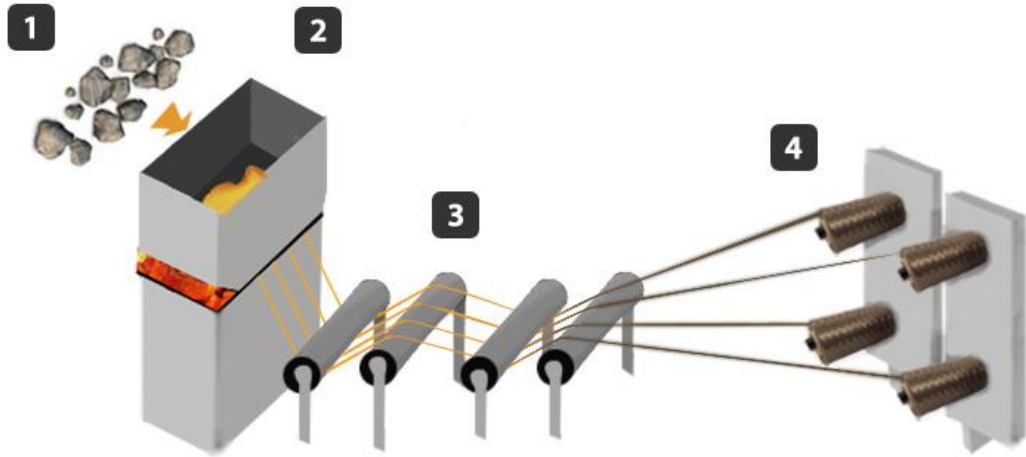
Şekil 3.2. Bazalt liflerin (a) makroskopik görünümü (b) mikroskopik görünümü

3.1. Bazalt Fiberin Tarihi ve Üretimi

1923 yılında Fransız Paul Dhe; bazalt kayalardan elyaf çıkarma fikrini ortaya atmış ve ABD’de patentini almıştır. 1960’lı yıllarda hem Amerika, hem de eski SSCB’de bazalt fiberin özellikle askeri donanımlarda katkısının etkisi araştırılmaya başlanmıştır. ABD’de bazaltın kimyasal ve fiziksel özellikleriyle ilgili pek çok araştırma yapılmıştır. Ancak 1970’lere gelindiğinde ABD’li cam şirketlerinin etkisiyle bazalt fiber ile ilgili çalışmalar terkedilmiştir. Yine aynı yıllarda SSCB Savunma Bakanlığı ve Kiev’deki bilim insanları tarafından araştırmaya bağımsız olarak devam edilmiştir. 1991’de SSCB’nin dağılmasıyla birlikte enstitü ve fabrikalarda üretim ve araştırmalar geliştirilmeye başlanmıştır (Ross, 2006).

Bazalt fiber üretiminde; 5 - 20 mm büyüklüğünde kırılan bazalt parçaları yıkanarak, kurutma işlemine tabi tutulurlar. Sonra, 1400-1600 °C’de fırınlarda eritilerek, erimiş olan hammaddeler platin alaşım deliklerinden geçirilir ve bu deliklerden akışı sağlanarak istenilen çaplarda filament olarak çekilme işlemi yapılarak bazalt filamentleri meydana getirilir (URL-7).

Şekil 3.3.’de bazalt fiber üretiminin aşamaları görülmektedir. Kırılan bazaltların eritilerek çekilmesi ile üretim yapılmaktadır.



Şekil 3.3. Bazalt fiberin üretim aşamaları (URL-8)

Bazalttan elyaf üretmek için gereken sıcaklık camdan daha yüksek olmasına rağmen, yapılan araştırmalarda bazalttan yapılan elyaf üretiminde cam elyaflara göre daha az enerjiye ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir (URL-8).



Şerit Lif



Takviyeli Polimer Çubuk



Bazalt Kumaş



Kıyılmış Şerit



Bazalt Keçe



Güçlendirici Ağ

Şekil 3.4. Kullanım amacına göre üretilen bazı bazalt formları (URL-9)

3.1.1. Bazalt fiberin kullanım alanları

Bazalt fiberler, yüksek mekanik dayanım, süneklik, kimyasal dayanım, yüksek sıcaklık dayanımı ve çevreye uyumluluk gibi özellikleri dolayısıyla her geçen gün kullanım alanı artmakta olan bir üründür. Üretim kolaylığı, çevresel uyumu ve ekonomik oluşu dolayısıyla kompozit endüstrisinde kullanılan elyaf malzemeler için bir alternatif oluşturmaktadır.

İnşaat sektöründe yapıların imalatında betonun demir çubuklar ile desteklenmesi geleneksel bir yöntemdir. İnşaat sektöründe nervürlü demir formunda üretilen bazalt filamentlerinden yapılmış bazalt donatılar kullanılmaya başlanmıştır. Bazalt donatılar yapının süneklik özelliğini geliştirirler. Yapıyı korozif etkilerden metallere kıyasla daha iyi korurlar.

Bazalt donatılar elyafın kimyasal komponentlerle sarmal olarak sarılması yöntemlerinin kombine edilmesi ile üretilmektedirler. Bazalt donatı olarak kullanımın yanı sıra bazalt fiberler geniş atkı ve çözgü aralıkları ile dokunup karayolu ve kaldırımlarda trafik dolayısıyla meydana gelebilecek çatlamaı engellemek, kaldırım ömrünü uzatmak ve sıcaklık değişimleri ile meydana gelen genleşmelerin oluşturduğu çatlamaı engellemek amacıyla kullanılırlar. Ayrıca oluşabilecek oturmaları en aza indirmektedirler (URL-10).



Şekil 3.5. Korozyon riski yüksek sahada bazalt donatı kullanımı (URL-11)

3.2. Bazalt Fiberlerin Betonda Katkı Malzemesi Olarak Kullanıldığı Örnek Çalışmalar

Beycioğlu ve Aruntaş (2014) tarafından yapılan bir çalışmada bazalt fiberli donatının yüksek dayanımlı betonla olan aderans ilişkisi çelik donatının yüksek dayanımlı betonla olan aderansı ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada 28 günlük basınç dayanımı 75,38 MPa, 90 günlük basınç dayanımı 79,84 MPa olan yüksek dayanımlı beton ve çapları 12 mm olan S420a nervürlü çelik donatı ve epoksi reçine kullanılarak üretilen bazalt fiberli donatı kullanılmıştır. Bazalt fiberli donatıların kullanıldığı yüksek performanslı betonlarda 28 günlük ve 90 günlük kür sürelerinde bazalt donatılı betonun çekme dayanımı çelik donatılı betonlardan daha yüksek elde edilmiştir. 20φ kenetlenme boyunda bazalt fiber donatılı betonun, çelik donatılı betonda olduğu gibi betondan sıyrılmadığı görülmüştür.

Ayup ve ark. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada su-çimento oranı 0,4 olan silis dumani veya kaolin katkılı yüksek performanslı betonlara 18 µm çap, 25 mm uzunluklarında bazalt fiber hacimce %1, %2 ve %3 oranlarında eklenerek hazırlanan betonların mekanik özellikleri araştırılmıştır. Hazırlanan karışımlar boyutları 100 mm x 200 mm olan silindir kalıplara dökülmüş ve bu numuneler 24 saat bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak 28 günlük ıslak küre tabii tutulmuşlardır. Kür işleminin sonunda kurutulan numuneler üzerinde mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda %2 bazalt fiber ilavesine kadar silindir basınç dayanımlarının arttığı, hacimce %3 bazalt fiber ilavesindeyse azaldığı görülmüştür. Elastisite modülü ile bazalt fiber oranı arasında belirgin bir bağlantı görülmemiştir. Betonun çekme ve basınca maruz kaldığında maksimum kuvvet altında bazalt fiber etkisiyle sünek davranış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Arslan (2016) tarafından yürütülen bir çalışmada geleneksel betona eklenen bazalt fiberin betonun kırılma enerjisi ve bazı mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Fiber katkısız ve 0,5, 1, 2, 3 kg/m³ oranlarında 24 mm uzunluğunda bazalt fiber katkılı betonlardan 15 adet 50 x 100 x 480 mm boyutlarında çentikli kiriş numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde üç nokta eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir.

28 günlük standart küre tabi tutulan beton numunelerinde bazalt fiber katkısının betonun basınç dayanımında önemli bir artışa neden olmadığı fakat yine de normal betona göre yükselttiği gözlemlenmiştir. Bazalt fiberli betonların bazalt fiber katkısız betona göre daha sünek davrandığı görülmüştür. Yarmada çekme dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı 2 kg/m³ katkıya kadar artmış, 3 kg/m³'de ise azalmıştır. Bazalt fiberli betonun kırılma enerjileri normal betonun kırılma enerjisine göre 2 kg/m³ katkıya kadar artmış ve 2 kg/m³ bazalt fiberli betonda, normal betonun kırılma enerjisine göre %29 daha fazla çıkmıştır. Bu çalışmada en uygun bazalt fiber oranı 2 kg/m³ olarak bulunmuştur.

Dias ve Thamaturgo (2005) tarafından yapılan bir çalışmada %0, %0,5, %1 oranlarında, ortalama uzunluğu 45 mm, ortalama çapı 9 µm olan bazalt fiber katkılı normal ve geopolimer betonlardan oluşan numuneler üzerinde üç noktalı eğme deneyleri yapılarak betonun mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bazalt fiberin %0,5 oranında kullanımında geopolimer betonların çekme dayanımlarının %34,4, %1 bazalt fiber kullanıldığında ise %25 arttığı gözlemlenmiştir. Bazalt fiber kullanımında basınç dayanımında önemli bir artış kaydedilmemiştir. Eğilme dayanımı %0,5 bazalt fiber katkısında %34,38 artarken, %1 bazalt fiber katkısında %31 oranında artmıştır. Bazalt fiberin %0,5 oranında kullanımında normal betonda basınç dayanımı %3,9 oranında azalırken, %1 oranında kullanımında %26,5 oranında azalmıştır. Çekme dayanımı %0,5 bazalt fiber oranında %0,08 oranında artmış, %1 bazalt fiber katkısında %12 oranında azalmıştır. Eğilme dayanımı %0,5 bazalt fiber katkısında %30,2 oranında, %1 bazalt fiber katkısında ise %45,8 oranında artmıştır.

3.3. Bazalt Fiber Katkısı ile Zemin İyileştirme Çalışmaları

Özdemir ve ark. (2016), bazalt fiber ve kireç ile iyileştirilmiş kil zeminin dayanım özellikleri üzerine araştırma yapmışlar ve çalışmalarında %0 kireç katkılı ve ağırlıkça %9 kireç katkılı kaolin killere; 6 mm uzunluğunda, 1,6 mm çapındaki bazalt elyafı %0, %0,5, %1 oranlarında ekleyerek oluşturdukları örnekleri standart Proktor enerjisi ile sıkıştırmışlardır. Maksimum kuru birim hacim ağırlık - optimum su muhtevasında hazırlanan numuneler sabit sıcaklık (20 °C) ve nem (%95 ±2) ayarlı kür odalarında 1,

7, 28 gün süreyle küre tabi tutmuşlardır. Kür süresi tamamlanan numuneler üzerinde serbest basma deneyleri yapılmış. Deneylerin sonunda 28 gün kür uygulanan %1 bazalt elyaf ve %9 kireç katkılı örneğin dayanımı diğer örneklere göre daha fazla çıkmıştır. Kireç ve bazalt katkılı örneklerin yalnızca bazalt katkılı örneklere nazaran daha yüksek dayanıma sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Gao ve ark. (2015) tarafından yürütülen bir çalışmada; kil zemine eklenen bazalt fiberin oranı ve uzunluğunun serbest basma dayanımına etkisi incelenmiştir. Kil zemine eklenen bazalt fiber oranının etkisini araştırmak için %0, %0,05, %0,1, %0,15, %0,20, %0,25, %0,30 ve %0,35 oranlarında 12 mm uzunluğunda fiber katkılı kil zeminin maksimum kuru birim hakim ağırlık - optimum su muhtevasında sıkıştırılan numunelerinden 3'er adet alınarak serbest basma deneyi yapılmıştır. Bazalt fiber uzunluğunun serbest basma dayanımına etkisini araştırmak içinse 4 mm, 8 mm ve 15 mm uzunluklarındaki bazalt fiber kil zemine %0,05 oranında eklenerek numuneler üzerinde UC deneyi yapılmış ve serbest basma dayanımları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçları, bazalt liflerinin kil zeminin dayanımını arttırdığını, en iyi sonucu veren içerik ve uzunluğun sırasıyla %0,25 ve 12 mm olduğunu ortaya koymuştur.

Ndepete ve Sert (2017), yaptıkları çalışmada 6 - 12 - 24 mm uzunluklarındaki bazalt fiberi, siltli zemine %0,0, %1, %1,5 ve %2 oranlarında ilave etmişlerdir. 2000 gr zemin numunesine sırasıyla 100 ml, 200 ml, 300 ml, 400 ml, 500 ml su ekleyerek fiberli siltli karışımlar elde etmişler ve bu zeminleri standart Proktor enerjisiyle sıkıştırmışlardır. Kompaksiyon sonucunda her kalıptan 4'er adet silindirik numune olarak 100 kPa ile 400 kPa arasında değişen çevre basıncında 240 adet üç eksenli hücre kesme (UU) deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneylerin ikinci aşamasında aynı uzunluk ve oranlarda bazalt fiber eklenerek oluşturulan fiberli siltli zemin karışımlarını %40 oranında su ekleyerek doymun hale getirmişler ve bir hafta süren yüklemede üç farklı konsolidasyon basıncı altında (100 kPa - 200 kPa - 300 kPa) tek yönlü konsolidasyona tabi tutmuşlardır. Konsolidasyon sonucu her bir numuneden 4'er adet silindirik numune olarak elde edilen 120 adet silindirik numuneye 100 kPa ile 400 kPa arasında değişen çevre basıncında UU deneyi uygulamışlardır. Doymun olmayan numunelerde 100 ml su eklenen karışımlarda çevre basıncının 100 kPa olduğu durumda %1,5

oranında, 24 mm bazalt fiber katkısında dayanım %104,71'lere kadar artmıştır. Doygun numunelerde 100 kPa konsolidasyon basıncıyla sıkıştırılmış %1,5 oranında 24 mm bazalt fiber içeren numunelerde 100 kPa çevre basıncında dayanım artışı %74,24'lere ulaşmıştır. Deneylerin sonucunda tüm fiber boyları için %1,5 oranında maksimum artışa ulaşıldığı, ayrıca dayanımda en yüksek artışın 24 mm boyunda fiber içeren numunelerde görüldüğü bildirilmiştir.

Gisymol ve Ramya (2017) çalışmalarında doğal bazalt fiberin yüksek plastisiteli silt zeminin geoteknik özelliklerine etkisini farklı boy ve oranlarda fiber katkıları kullanarak serbest basma deneyi sonuçları ile irdelemişlerdir. Doğal zemine farklı boylarda (10 mm, 20 mm ve 30 mm uzunlukta bazalt fiber) ve ağırlıkça farklı oranlarda (%0,05, %0,10 ve %0,15) fiber katarak hazırladıkları numuneler üzerinde çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışma sonucunda bazalt fiber katkısının dayanıma etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. 10 mm ve 20 mm bazalt fiber boyu için dayanımın %26'ya kadar arttığı tespit edilmiş, 30 mm boylu fiberlerde katkı oranı arttıkça dayanımda düşüşler görülmüştür. Fiber katkısı oranının artırılması ile dayanımın %94'e kadar arttığı tespit edilmiştir.

PanditVinod ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada Hindistan'ın en önemli çökel zeminlerinden biri olan "Black Cotton" zemine bazalt fiber katılmasıyla sıkıştırma özelliklerinde meydana gelen değişimi standart Proktor deneyi ile belirlemişlerdir. Çalışma, 12 mm uzunluğunda bazalt fiber kullanılarak yapılmış ve ağırlıkça %0, %2, %4, %6 ve %8 bazalt fiber katılmış zemin örneklerinden oluşan beş farklı karışımın optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları karşılaştırılmıştır. En yüksek kuru birim hacim ağırlık değerine ağırlıkça %4 bazalt fiber kullanılan numunede ulaşılmış ve doğal zemine oranla % 9,56 artış elde edilmiştir. Bu numunede optimum su muhtevasının doğal zemine oranla %41 daha az olduğu gözlenmiştir.

BÖLÜM 4. MALZEMELER VE METOT

Bu bölümde kullanılan malzemelerin özellikleri, numunelerin karışımı ve hazırlanışı hakkında bilgiler verilmiştir. Kullanılan deney düzenekleri ve deney yöntemleri anlatılmış, deney sonucu veriler tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur. Kil zemine bazalt fiber katkısının etkisi, fiber boyu ve katkı oranı değişkenlerine bağlı olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada, doğal zemine 6 mm - 12 mm ve 24 mm uzunluğundaki bazalt fiberler %1 - %2 ve %3 oranlarında katılarak numuneler hazırlanmış ve bu numuneler üzerinde serbest basma deneyleri yapılmıştır.

4.1. Malzemeler

4.1.1. Kil zemin

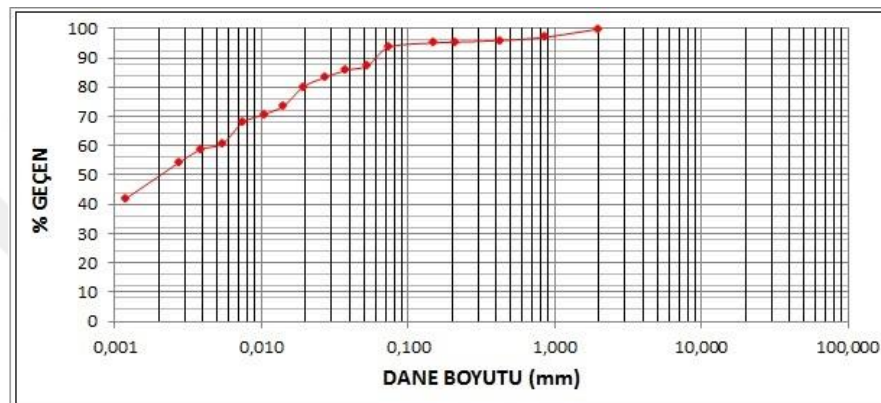
Bu çalışmada kullanılan kil numuneler Düzce'den getirilmiştir. Deneylerde kullanılacak miktarda kil laboratuvarında 40 no'lu elekten elenerek hazırlanmıştır. (Şekil 4.1.) Bu çalışmada kullanılan kil zeminin fiziksel özellikleri Tablo 4.1.'de, dane dağılım eğrisi Şekil 4.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Kil zemin numunesi

Tablo 4.1. Kil zeminin fiziksel özellikleri

Kil Zemin		
Özellik	Değer	Birim
Likit limit (LL)	54	%
Plastik limit (PL)	23	%
Plastisite indisi (PI)	31	%
Maksimum kuru birim hacim ağırlık ($\gamma_{k,maks}$)	15,40	kN/m ³
Optimum su muhtevası (w_{opt})	25	%
USCS ve TS sınıflamasına göre (CH)		



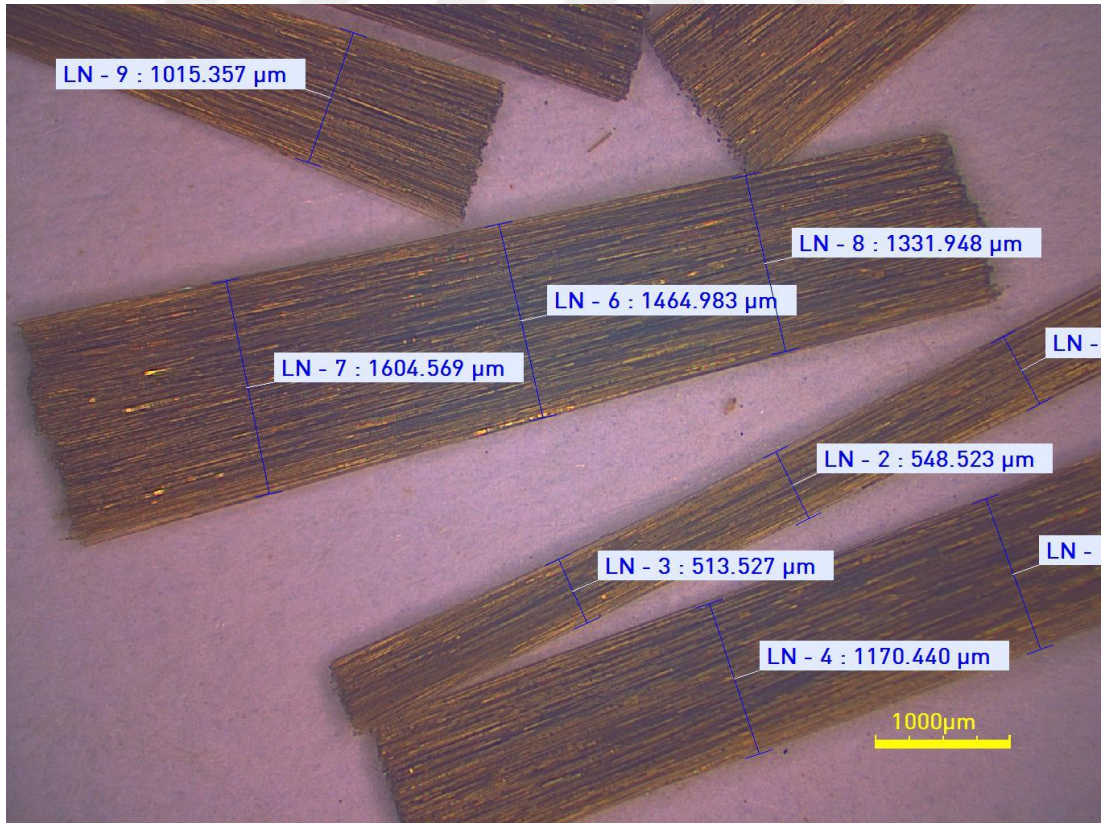
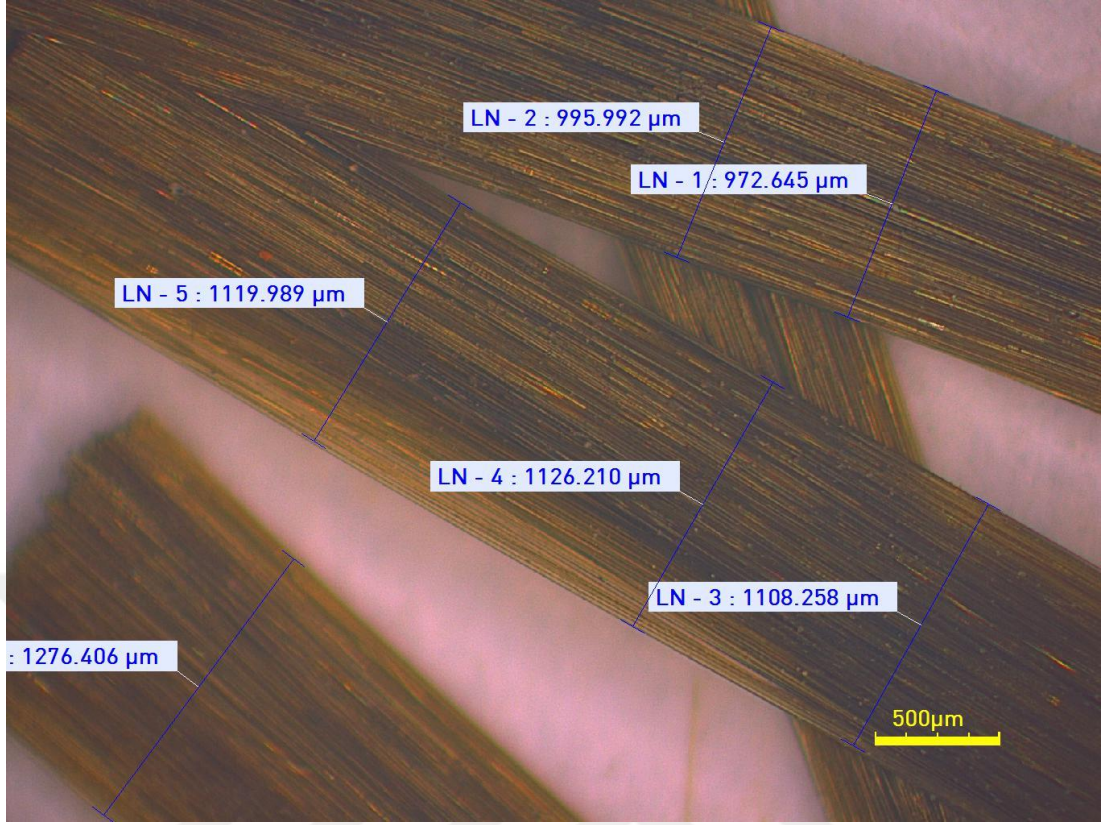
Şekil 4.2. Kil zeminin dane dağılım eğrisi

4.1.2. Bazalt fiber

Çalışmalarda kullanılan bazalt fiberler 6 mm - 12 mm ve 24 mm uzunluklarında Spinteks Tekstil İnşaat San. ve Tic Anonim Şirketinden (Türkiye) temin edilmiştir. Tablo 4.2.'de bazalt fiberin fiziksel ve mekanik özellikleri gösterilmektedir. Şekil 4.3.'de çalışmada kullanılan bazalt fiberlerin farklı görünüşleri sunulmaktadır.

Tablo 4.2. Bazalt fiberlerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Bazalt fiber		
Özellik	Değer	Birim
Özgül ağırlık	2,60 - 2,65	
Elastisite modülü	70 - 90	GPa
Çekme dayanımı	2800 - 3000	MPa
Kopma uzaması	3,1 - 6	%
Çapı	6 - 25	μ m
Uygulamanın sıcaklığı	450 - 550	$^{\circ}$ C
Erime noktası	1350	$^{\circ}$ C



Şekil 4.3. Bazalt fiberin mikroskopik görünümüleri

4.1.3. Deneysel Çalışmanın Amacı ve İçeriği

Deneysel çalışmada öncelikle kullanılan zeminin sınıfını belirlemek için TS 1900-1 uyarınca likit limit, plastik limit ve elek analizi deneyleri yapılmış, ayrıca kil yüzdesinin belirlenmesi için hidrometre ve pipet analizi, özgül ağırlığın belirlenmesi için de piknometre deneyleri yapılmıştır. Daha sonra doğal zemin ve fiber katkıli zeminler üzerinde kompaksiyon deneyleri yapılarak optimum su içerikleri ve maksimum birim hacim ağırlıklar belirlenmiştir.

Çalışmada öncelikle doğal kil zeminin drenajsız kayma direncini belirlemek üzere hazırlanan numuneler üzerinde serbest basma (UC) deneyleri yapılmıştır. Bu aşamada 2000 gr kurutulmuş doğal numuneye 200 ml - 300 ml - 400 ml - 500 ml ve 600 ml su katılarak farklı su içeriklerinde karışımlar hazırlanmış, bu karışımlar hava almayacak şekilde paketlenerek kür süresi beklenilmiştir. Kür süresi tamamlanan karışımlar üzerinde standart Proktor deneyi yapılmıştır. Deney sonunda elde edilen her bir numuneden 4'er adet silindir numune alınarak UC deneyleri yapılmıştır. Doğal numuneler üzerinde deneyler bitirildikten sonra çalışmanın ikinci safhasında aynı işlemler 6 mm - 12 mm ve 24 mm boylarında bazalt fiberlerin, doğal zemine ağırlıkça %1 - %2 ve %3 oranlarında karıştırılarak elde edilmiş numuneler üzerinde tekrarlanmıştır. Numunelerde kullanılan bazalt fiber boyları ile oranları Tablo 4.3.'de verilmiştir.

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

Karışım No	Numune tanımı	Kil ağırlığı (gr)	Fiber ağırlığı (gr)	Fiber uzunluğu (mm)	Fiber oranı (%)
1	Doğal zemin (kil)	2000	0	0	0
2	%1 Fiber katkıli kil	2000	20	6	1
3	%2 Fiber katkıli kil	2000	40	6	2
4	%3 Fiber katkıli kil	2000	60	6	3
5	%1 Fiber katkıli kil	2000	20	12	1
6	%2 Fiber katkıli kil	2000	40	12	2
7	%3 Fiber katkıli kil	2000	60	12	3
8	%1 Fiber katkıli kil	2000	20	24	1
9	%2 Fiber katkıli kil	2000	40	24	2
10	%3 Fiber katkıli kil	2000	60	24	3

Bunun yanı sıra makroskopik görüntüler elde edilmiş ve sonrasında doğal zemin örnekleri ve bazalt fiber katkılı örnekler üzerinde SEM analizleri gerçekleştirilerek mikroyapı hakkında bilgi edinilmiştir.

Burada sunulan deneysel çalışmanın amacı; doğal kil zemin ve bazalt lifler ile takviye edilmiş kil zeminin mekanik davranışını serbest basma (UC) deneyi ile incelemektir.

4.1.4. Atterberg limitleri

4.1.4.1. Likit limit

Likit limit, TS 1900-1 /2006'da zeminin plastik durumdan sıvı hale geçtiği andaki su muhtevası olarak tanımlanmıştır. Numunenin No. 40 elek altına geçen kısmı üzerinde yapılan likit limit deneyinde başlangıç su muhtevası likit limit değerinin altında olmakta, daha sonra su muhtevası arttırılarak en az 4 deney yapılmaktadır (Şekil 4.4.). Bu çalışmada zeminin likit limit değerinin ölçümü için hem Casagrande yöntemi, hem de düşen koni penetrasyon yöntemi kullanılmıştır. Casagrande yönteminde yaklaşık 200 gr zemin numunesi damıtılmış su ile yoğrulmakta, ardından 24 saat boyunca desikatörde bekletilmektedir. Desikatörden çıkarılan numune deney öncesinde yine yoğrulmaktadır. Ardından bir miktar numune alınarak Casagrande kabının içine yaklaşık 1 cm kalınlığında yerleştirilir ve yüzeyi bir spatula yardımıyla düzeltilir. Sonra oluk bıçağıyla kabın ortasından iki yarım daire görünümü olacak şekilde yukarıdan aşağıya doğru tabanı 2 mm olan bir yarık açılır. Ardından cihaz kolu 2 tur/sn hızla 1 cm yukarıdan düşürülür. Açılan yarığın 13 mm civarında bir uzunluk ile kapandığı anda deney sonlandırılmaktadır. Bu deney dört farklı su muhtevası için tekrarlanmıştır. Deney sonlarında kapanan kısımdan bir miktar numune alınarak etüvde kurutulmuş ve kuru ağırlıkları bulunarak su muhtevası hesaplanmıştır. Düşey eksen su muhtevası- yatay eksen darbe sayısı olmak üzere 25 vuruşa karşılık gelen su muhtevası değeri likit limit değeri olarak bulunmaktadır.

Düşen koni penetrasyon yöntemi; koni şekilli bir metalin kendi ağırlığı altında damıtılmış su ile yoğrularak homojen bir şekilde hazırlanan zemin numunesine

batırılması esasına dayanmaktadır. Deney numunesi homojen bir şekilde yoğrulur ve deney kabına konulur ve üzeri spatula yardımıyla düzeltilir. Ardından koni 5 sn süreyle zemine batırılmakta ve batma miktarı ölçülmektedir. Aynı zemin numunesi için bu işlem üç kez tekrarlanır (Şekil 4.5.). Deney sonunda numune üzerinde üçgen şekli olacak şekilde üç adet nokta bulunmaktadır. Batma miktarı ortalama değer olarak dikkate alınır. Deney sonunda bir miktar numune alınarak etüve konulmakta ve su muhtevası değeri hesaplanmaktadır. Bu işlem artan su muhtevaları için üç kez tekrarlanmakta ve 20 mm batmaya karşılık gelen su muhtevası değeri likit limit olarak alınmaktadır. Şekil 4.6’da Casagrande deneyinin sonuçları, Şekil 4.7’de ise düşen koni deneyinin sonuçları grafik olarak gösterilmektedir. Su muhtevası değeri aşağıdaki (Denklem 4.1) yardımıyla hesaplanır.

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

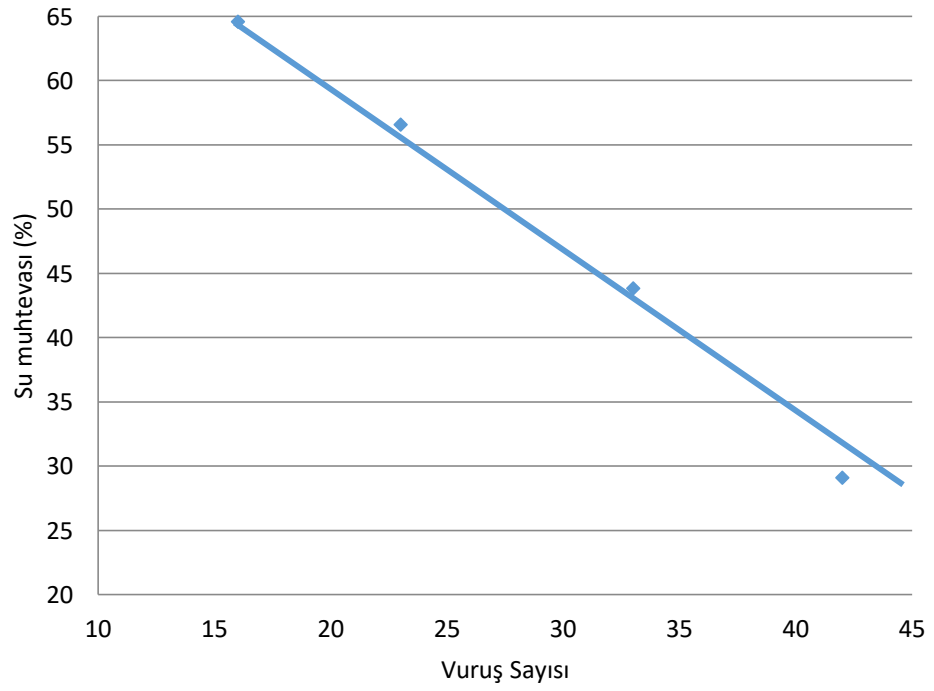
Burada M_w suyun kütlesini, M_s dane kütlesini belirtmektedir.



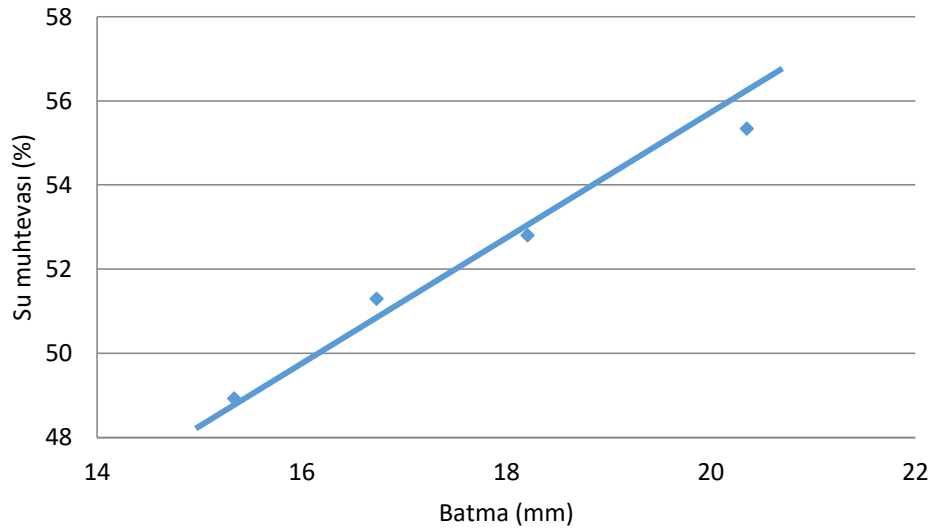
Şekil 4.4. Casagrande yöntemi ile likit limit deneylerinin yapılışı



Şekil 4.5. Koni düşürme yöntemi ile likit limit deneylerinin yapılışı



Şekil 4.6. Casagrande likit limit deneyi sonuçları



Şekil 4.7. Koni penetrasyon likit limit deneyi sonuçları

4.1.4.2. Plastik limit

Plastik limit, TS1900-1/2006'da kurumakta olan zeminin plastik limit deneyi ile ölçülen plastik halden katı hale geçtiği andaki su muhtevası olarak tanımlanmıştır.

Bu deneyde 40 nolu elekten geçen zemin damıtılmış su ile homojen hale gelecek şekilde yoğrulup cam bir levha üzerine serildikten sonra top haline getirilmekte ve 3 mm kalınlığında çubuklar oluştuğunda çatlayacak şekilde yuvarlanmaktadır. Çatlaklar oluşan çubuklar daha sonra yaş halde ve ardından 105 °C'de etüvde kurutulduktan sonra tartılmakta ve hesaplanan su muhtevası doğrudan plastik limit olarak bulunmaktadır. Şekil 4.8.'de plastik limit deneyinin yapılışı gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Plastik limit deneylerinin yapılışı

4.1.4.3. Plastisite indisi

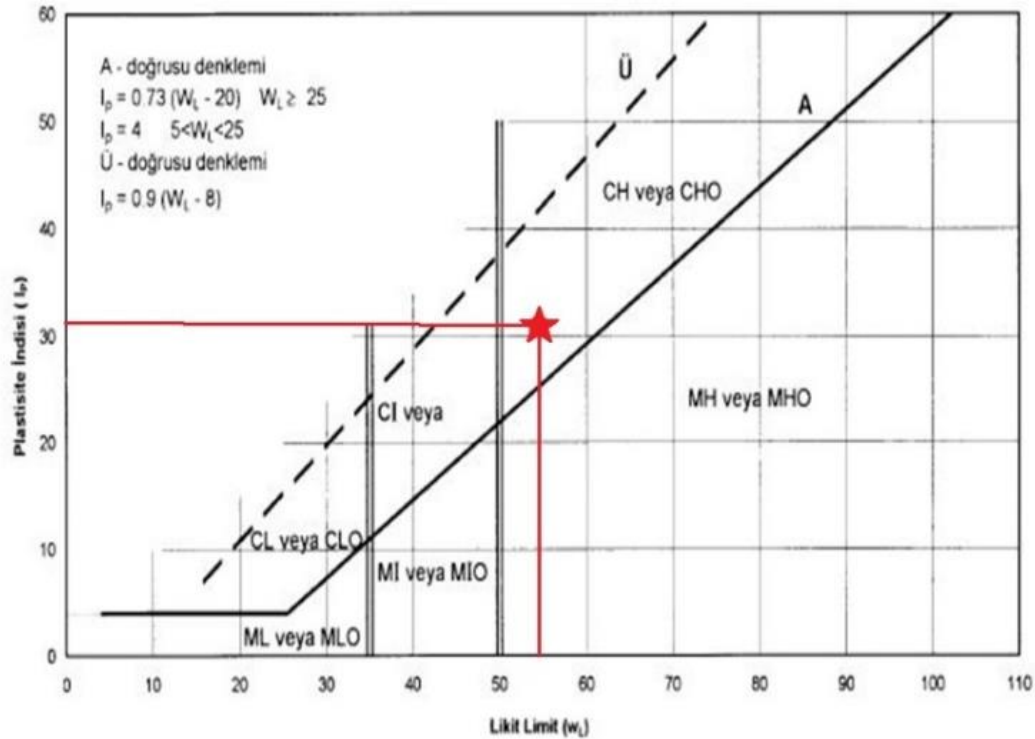
Plastisite İndisi TS 1900-1/2006’da zeminin likit limiti ve plastik limiti arasındaki fark olarak tanımlanmıştır. Plastisite indisi (Denklem 4.2) kullanılarak hesaplanır.

$$I_p = w_L - w_P \quad (4.2)$$

Burada w_L likit limiti, w_P plastik limiti ifade etmektedir.

İnce daneli zeminleri sınıflandırmak için plastisite kartı kullanılır. Plastisite kartında düşeyde plastisite indisi, yatayda likit limit değerleri yer alır. Bu iki değer kesiştiği noktanın bulunduğu bölge zeminin sınıfını verir. Deneylerde kullanılan kil numunesi

yüksek plastisiteli kil olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 4.9’da kilin TS1500/2000’e göre plastisite kartındaki yeri görülmektedir.



Şekil 4.9. Plastisite kartı (TS 1500/2000)

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

4.1.5. Kompaksiyon deneyi ve hesaplamaları

Standart Proktor deneyi mekanik enerjiden faydalanarak zeminde bulunan hava boşluklarının azaltılmasını sağlayan bir deneydir. Kompaksiyonda amaç, zemindeki hava boşluklarını azaltarak zemin yoğunluğunu arttırmaktır. Standart kompaksiyon deneyi için yaklaşık 2000 gr zemin numunesi 5 farklı yüzdede su ile homojen bir karışım elde edilinceye dek karıştırılmış, su muhtevasının eşit yayılması amacıyla da numuneler 24 saat hava geçirmez plastik poşetlerde bekletilmiştir. Fiber katkılı zeminlerde ise beş ayrı kaba konulan 2000’er gr zemin numunesine örneğin 24 mm boyunda bazalt fiber %2 oranında (2000 gr x 0,02 = 40 gr) eklenerek yine farklı

oranlarda suyla homojen karışım oluncaya dek karıştırılmış, ardından 24 saat poşetlerde bekletilmiştir. Numuneler bu sürenin sonunda 3 tabaka halinde kompaksiyon kalıbına sıkıştırılmıştır. İlk tabakayı sıkıştırırken zemin numunesinden belli bir miktar alınarak kaba aktarılmış ve darbeler öncelikle kalıbın karşılıklı dört kenarına, diğerleri saat yönünde (veya saat yönünün tersine) olacak şekilde vurularak sıkışma sağlanmıştır. Kompaksiyon tamamlandıktan sonra kalıp ve zemin birlikte tartılmıştır. Kompaksiyondan sonra sıkışmış numune içine çelik tüpler batırılır ve sonrasında çelik tüpler kriko yardımıyla çıkarılır. Bu esnada bir miktar yaş numune de su muhtevası ölçümü amacıyla bir kaba ayrılarak kap ve numune birlikte tartıldıktan sonra etüve atılır. 105 °C’ de 24 saat kurutulduktan sonra etüvden çıkarılan numune kuru halde kap ile birlikte tartılarak su muhtevasının hesaplanması sağlanır.

Her bir sıkıştırma işlemi sonunda sıkıştırılmış zeminin yaş birim hacim ağırlığı aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 4.3) elde edilir.

$$\gamma_n (\text{kN/m}^3) = \frac{M_{(\text{kalıp+zemin})} - M_{(\text{kalıp})}}{V_{(\text{kalıp})}} * 9,81 \quad (4.3)$$

Zeminin su muhtevası % cinsinden aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 4.4) ifade edilir:

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

Zeminin kuru birim hacim ağırlığı aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 4.5) ifade edilir:

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

Burada M kütle, V hacmi ifade etmektedir.

4.1.6. Serbest basma deneyi ve hesaplamaları

Serbest basma deneyi genellikle ince daneli zeminlerde drenajsız kayma direncinin belirlenmesinde kullanılır.

Serbest basma deneylerinin yapılabilmesi için standart Proktor enerjisi ile sıkıştırılan zemin ve fiber karışımlarına çapı 3,50 cm, yüksekliği 7,00 cm olan ince cidarlı çelik tüpler saplanmıştır. Her bir numune için doldurulmuş kalıp içine 4 adet çelik tüp pres yardımıyla itirilerek içlerinin numune ile dolması sağlanmıştır. Daha sonra ise kriko yardımıyla çelik tüpler dışarıya alınmışlardır. Çıkarılan numune dolu her çelik tüp içindeki numune yüksekliği çapının yaklaşık iki katı olacak şekilde elde edilmiştir. Çıkarılan her numunenin kumpasla çapları ve boyları ölçülmüş ve hassas terazide ağırlıkları tartılmıştır. İçerdiği suyu kaybetmemesi için numuneler çelik tüplerden çıkarıldıktan sonra hızlı bir şekilde deneye tabi tutulmuşlardır. Deney hücresine alınan numune hücrenin alt kısmına merkezleştikten sonra üst başlık numune üst yüzüne tam değecek şekilde indirilmiş ve deney hücresi kapatılmıştır. Serbest basma deneyi deformasyon kontrollü olarak yapılmakta ve deneyde zemin numunesine yalnızca aksenal basınç (σ_1) uygulanmaktadır. Deney, deformasyonlar numune boyunun %20'sine ulaşınca ya da yenilme/akma (kırılma) gerçekleşinceye dek sürdürülmüştür. Deney sona erdikten sonra numunenin göçme şekli çizilir. Deformasyonlara karşılık gelen yük değerlerinden basınç değerleri hesaplanarak gerilme-şekil değiştirme (σ - ϵ) grafikleri oluşturulur.

Mohr – Coulomb yenilme kriterine göre genel durumda zeminlerin kayma direnci Denklem 4.6 ile ifade edilmektedir.

$$\tau = c + \sigma \tan\phi \quad (4.6)$$

Burada τ zeminin kayma dayanımı; c kohezyon değeri; σ normal gerilme; ϕ ise içsel sürtünme açısıdır.

Numunede düşey yönde birim şekil değiştirme aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 4.7) ifade edilmiştir:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100 \quad (4.7)$$

Burada, ΔH : numunede ölçülen aksenal boy değişimi (mm), H_0 : numunenin ilk boyudur (mm).

Yenilme anında numunenin kesit alanı ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 4.8) hesaplanmıştır:

$$A = \frac{A_0}{1-\varepsilon} \quad (4.8)$$

Burada, ε : dűsey yűndeki aksenal birim řekil deęiřtirmesi, A_0 : numunenin deney bařındaki kesit alanıdır (m^2).

Numunenin serbest basma dayanımı aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 4.9) ifade edilmiştir:

$$q_u = \frac{P}{A} \text{ (kPa)} \quad (4.9)$$

Burada P, gűçmeyi saęlayan yűk (kN), A ise numunenin yenilme anındaki kesit alanıdır.

4.2. Serbest Basma Deneyinin Aşamaları

Araziden doğal haliyle gelen zemin numunesi ۆncelikle 40 nolu (425 μm) elekten elenerek depolanmıştır (şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Kil numunesinin elenerek deney için hazırlanması

Çalışmada kullanılacak fiberler ise kullanılmadan önce hava basıncıyla ayrıştırılmıştır. Ayrıştırılan bu fiberlerden %1 oranında fiber katkısı için 20 gr fiber tartılmış ve kuru zeminle homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Sırasıyla tüm kaplara kuru ağırlığın %10, %15, %20, %25 ve %30'u oranında su azar azar eklenerek beş farklı su muhtevasında homojen karışımlar oluşturulmuş ve karışımlar hava geçirmez kaplarda 24 saat kür işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 4.11.'de bazalt fiberin zemine karıştırılması işleminin aşamaları görülmektedir.



Şekil 4.11. Bazalt fiberin zemine karıştırılması

Kür süresi tamamlanan karışımlar üzerinde standart kompaksiyon uygulaması ile zemin metal silindir kalıba 3 kademe ve her kademe için tokmakla 25 vuruş yapılarak sıkıştırılmıştır. Kompaksiyon tamamlandıktan sonra sıkıştırılmış zemin kalıp ile birlikte tartılmıştır. Standart kompaksiyon deneyi sonunda sıkıştırılmış 4 adet silindirik numune alınmıştır. Bu numunelere tek eksenli serbest basma deneyi uygulanmadan önce uzunluk ve çapları ölçülmüş, ağırlıkları tartılmıştır. Serbest basma deneyi %20 boy kısalmasına kadar sürdürülmüştür. Serbest basma deneyi (UC) uygulandıktan sonra düzenden çıkarılan numuneler etüvde 24 saat kurutulmuştur. 24 saat sonunda etüvden çıkarılan numuneler tartılarak su muhtevası hesaplanmıştır. Benzer olarak kuru ağırlıkça %2 fiber katkısı için 40 gr ve %3 fiber katkısı içinse 60'ar gram tartılan fiberler yukarıda anlatıldığı gibi hazırlanmış ve deneyler tekrarlanmıştır. Şekil 4.12., Şekil 4.13. ve 4.14.'de serbest basma deneyinin aşamaları görülmektedir. Buna göre Şekil 4.12. numunelerin sıkıştırılmasını ve çelik tüplere numune alınmasını göstermektedir.



Şekil 4.12. Serbest basma deneyinin aşamaları

Şekil 4.13. serbest basma deneyi için çelik tüplere alınan numunelerin kriko yardımıyla tüp dışına alınmasını göstermektedir.



Şekil 4.13. Serbest basma deneyinin aşamaları

Şekil 4.14. numuneler üzerinde serbest basma deneyi yapılışını göstermektedir. Şekil 4.14.c.'de bir numunenin deney sonundaki kırılmış hali görülmektedir.



Şekil 4.14. Serbest basma deneyinin aşamaları

BÖLÜM 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

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

5.1. Kilin ve Bazalt Fiberin Mineral ve Mikro Yapı Özellikleri

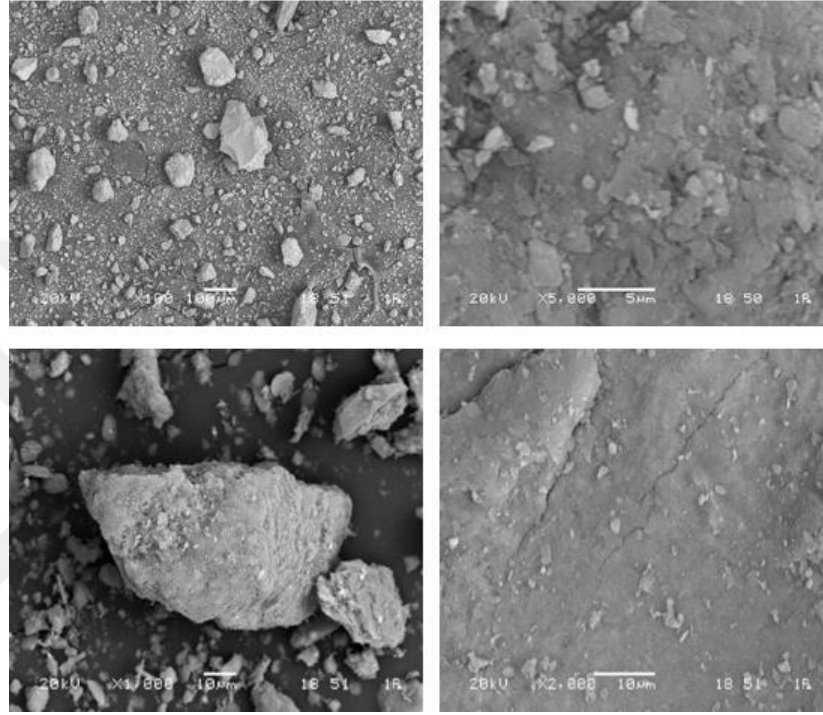
Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM; Scanning Electron Microscope) ile çalışma yöntemi bir elektron kaynağından salınan elektronların incelenecek malzeme yüzeyi üzerine gönderilip taranarak malzemenin görüntüsünün oluşturulması şeklindedir. (URL-12).

Şekil 5.1.'de Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Bölümü Laboratuvarında bulunan SEM görülmektedir.



Şekil 5.1. Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Müh. Laboratuvarında bulunan SEM

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analiziyle kil zemini ve bazalt fiberleri oluşturan yapı ve mineraller gösterilmiştir. Şekil 5.2.'de kil zemin numunelerinin farklı çözünürlüklerde mikroskobik yapısı görülmektedir. Tablo 5.1.'de ise kil zeminin SEM fotoğrafı ile EDS (Energy Dispersive Spectrometry) analizi sonrasında belirlenen mineral içeriği görülmektedir.

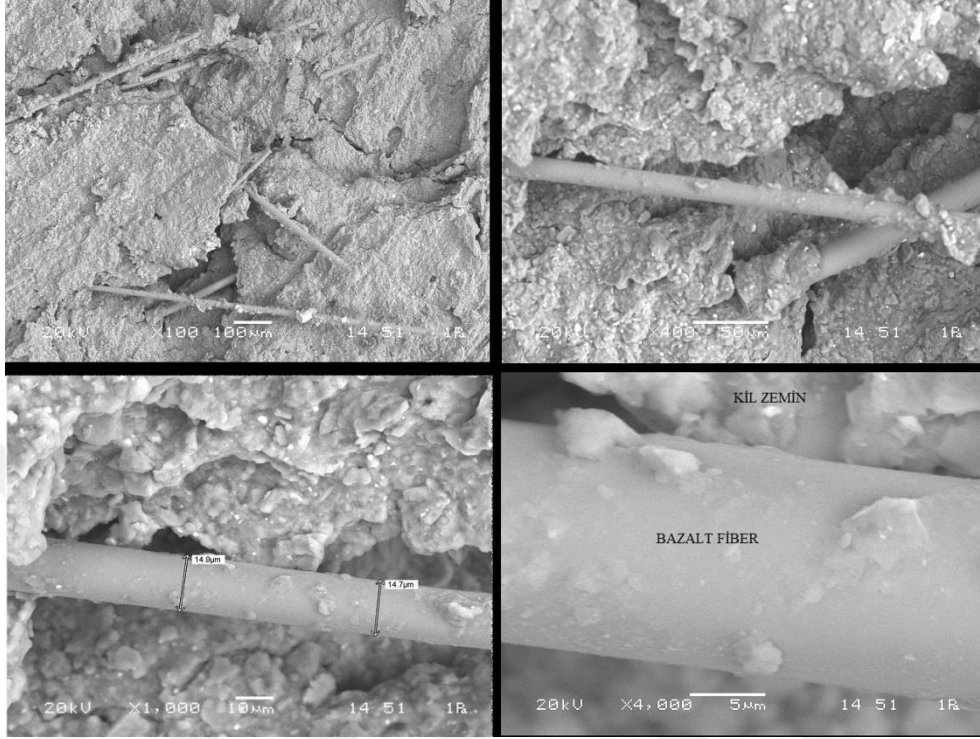


Şekil 5.2. Kil zemin mikro yapısı

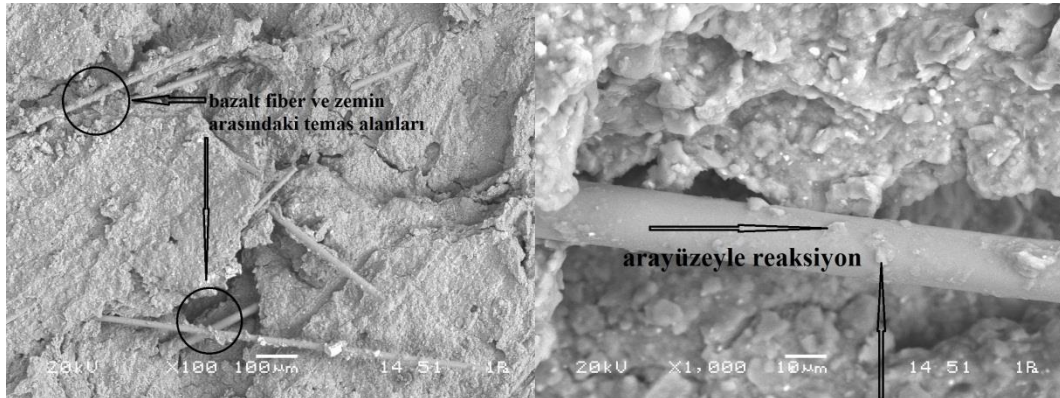
Tablo 5.1. Kil zemini oluşturan mineraller (SEM – EDS analizi)

Element	Yoğunluk (c/s)	Ağırlıkça (%)
O	101,16	34,797
Na	1,16	0,274
Mg	3,86	0,606
Al	119,34	15,598
Si	158,69	21,337
K	7,95	0,972
Ca	1,89	0,231
Fe	115,92	26,186
Toplam	509.970	100.000

Şekil 5.3.'de bazalt fiber ve zemin karışımlarının farklı çözünürlükte mikroskobik yapısı gösterilmektedir.



Şekil 5.3. SEM analizi: farklı çözünürlüklerde bazalt fiber- kil karışımları



Şekil 5.4. Bazalt fiber ve kil zemin arasındaki temas ve reaksiyon yüzeyleri

Ayrıca şekil 5.3. ve 5.4.'de kil zemin ile bazalt liflerin etkileşimi ve zemin içerisinde dağılımları gözlemlenmektedir. Yapılan karışımlarda bazalt liflerle zemin arasında reaksiyon yüzeyleri oluşmaktadır. Bu etkileşim sonucu kullanılan katkı oranının

optimum seviyelerde olması durumunda daneler arasında fiberler iskelet yapı oluşturarak zeminin drenajsız kayma dirençlerine olumlu yönde etki etmektedir.

5.2. UC Deneyinde Makroskopik Davranış

Şekil.5.5.'de deney sonunda kayma yüzeyleri oluşmuş bazı numunelerin görüntüsü sunulmaktadır. Şekil 5.6.'da tez çalışması kapsamında yapılan serbest basma deneylerinde kullanılan silindirik numune örneklerinin tamamı sunulmaktadır.



Şekil 5.5. UC Deneyleri sonunda numunelerin kayma yüzeyleri



Şekil 5.6. Tüm numunelerin görünümü

5.3. Serbest Basma Deneyinde Elde Edilen Sonuçlar

Yürütülen deneysel çalışmada 20 tanesi doğal zemin ve 180 tanesi 6 mm – 12 mm ve 24 mm uzunluğundaki fiberlerin zemine ağırlıkça %1-%2-%3 oranlarında eklenerek hazırlanan toplam 200 tane numune üzerinde çalışılmıştır. Numunelere ait fiziksel özelliklerin özeti Tablo 5.2., 5.3., 5.4., 5.5. ve 5.6.'da sunulmaktadır. Tablolarda D harfi ile belirtilen numuneler deney esnasında parçalanıp dağılan numuneleri temsil etmektedir.

Tablo 5.7. ve 5.8.'de yapılan 200 deneyde elde edilen her bir numuneye ait serbest basma dayanımı, kırılmada boy değişimi yüzdesi ve su muhtevası değerleri sunulmuştur.

Tablo 5.2. 200 ml su katılmış doğal zemin ve 6 mm - 12 mm - 24 mm fiberli numunelerin fiziksel özellikleri

	Çap (cm)	Yükseklik (cm)	M _{doğal} (gr)	M _{kuru} (gr)	w (%)	e ₀	n (%)	ρ _n (kN/m ³)	ρ _k (kN/m ³)	ρ _d (kN/m ³)	S _r (%)
DOĞAL	3,51	7,15	126,50	113,98	10,98	0,62	38,30	17,94	16,16	19,92	47,25
	3,50	7,29	123,35	111,07	11,06	0,69	40,69	17,25	15,54	19,53	43,03
	3,50	7,25	127,63	115,03	10,95	0,62	38,24	17,95	16,18	19,93	47,24
	3,50	7,21	126,49	114,07	10,89	0,62	38,41	17,89	16,13	19,90	46,61
6 mm %1	3,49	7,40	125,92	113,71	10,74	0,66	39,84	17,45	15,76	19,67	43,29
	3,50	7,20	123,60	111,80	10,55	0,65	39,55	17,50	15,83	19,71	43,07
6 mm %2	3,50	7,40	118,43	106,11	11,61	0,79	44,18	16,32	14,62	18,95	39,17
	3,50	6,20	99,16	89,01	11,40	0,79	44,11	16,31	14,64	18,97	38,57
6 mm %3	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
12 mm %1	3,50	7,30	128,82	117,01	10,09	0,60	37,60	17,99	16,34	20,03	44,72
	3,50	7,21	123,92	111,48	11,16	0,66	39,81	17,52	15,77	19,67	45,05
	3,51	7,30	130,65	118,41	10,34	0,59	37,22	18,14	16,44	20,10	46,56
	3,50	7,20	130,02	119,03	9,23	0,55	35,64	18,41	16,86	20,35	44,51
12 mm %2	3,50	7,39	132,86	120,00	10,72	0,58	36,79	18,33	16,56	20,17	49,17
	3,50	7,15	129,14	116,71	10,65	0,57	36,46	18,42	16,64	20,22	49,56
	3,50	7,30	127,81	115,62	10,54	0,62	38,34	17,85	16,15	19,91	45,26
	3,50	7,30	125,37	113,10	10,85	0,66	39,69	17,51	15,80	19,69	44,02
12 mm %3	3,50	7,40	125,95	114,09	10,40	0,67	39,98	17,35	15,72	19,64	41,66
	3,50	7,30	123,58	111,79	10,55	0,68	40,39	17,26	15,61	19,58	41,56
	3,50	7,30	120,36	108,84	10,58	0,72	41,96	16,81	15,20	19,32	39,09
	3,51	7,20	126,96	114,65	10,74	0,62	38,37	17,88	16,14	19,91	46,06
24 mm %1	3,50	7,25	126,75	113,65	11,53	0,64	38,98	17,83	15,98	19,81	48,18
	3,50	7,20	119,16	106,70	11,68	0,73	42,31	16,87	15,11	19,26	42,51
	3,50	7,20	120,79	108,36	11,47	0,71	41,41	17,11	15,35	19,41	43,33
	3,50	7,21	121,17	108,31	11,87	0,71	41,52	17,14	15,32	19,39	44,65
24 mm %2	3,50	7,40	129,29	116,43	11,05	0,63	38,75	17,81	16,04	19,84	46,61
	3,50	7,30	126,28	113,66	11,10	0,65	39,39	17,64	15,88	19,74	45,62
	3,50	7,20	119,96	107,69	11,39	0,72	41,78	16,99	15,25	19,35	42,40
	3,49	7,20	119,36	107,17	11,37	0,72	41,72	17,00	15,26	19,36	42,42
24 mm %3	3,50	7,20	125,95	112,96	11,50	0,64	38,93	17,84	16,00	19,82	48,17
	3,50	7,30	128,46	115,15	11,56	0,63	38,59	17,94	16,08	19,87	49,10
	3,50	7,20	126,46	113,54	11,38	0,63	38,61	17,91	16,08	19,87	48,30
	3,49	7,00	118,88	105,67	12,50	0,69	40,90	17,42	15,48	19,49	48,23

Tablo 5.3. 300 ml su katılmış doğal zemin ve 6 mm -12 mm - 24 mm fiberli numunelerin fiziksel özellikleri

	Çap (cm)	Yükseklik (cm)	M _{doğal} (gr)	M _{kuru} (gr)	w (%)	e ₀	n (%)	ρ _n (kN/m ³)	ρ _k (kN/m ³)	ρ _d (kN/m ³)	S _r (%)
DOĞAL	3,50	7,15	136,48	118,50	15,17	0,55	35,48	19,46	16,90	20,38	73,66
	3,49	7,31	137,12	118,87	15,35	0,57	36,33	19,24	16,68	20,24	71,83
	3,50	7,21	137,50	119,43	15,13	0,55	35,52	19,45	16,89	20,37	73,34
	3,51	7,25	136,65	118,47	15,35	0,58	36,75	19,11	16,57	20,17	70,52
6 mm %1	3,50	7,33	127,83	110,59	15,59	0,70	41,27	17,78	15,38	19,43	59,24
	3,51	7,09	126,60	109,46	15,66	0,67	40,24	18,10	15,65	19,60	62,08
6 mm %2	3,49	7,30	132,80	114,32	16,17	0,63	38,69	18,66	16,06	19,85	68,40
	3,50	7,32	135,42	116,15	16,59	0,62	38,23	18,86	16,18	19,93	71,57
	3,50	7,18	134,88	115,80	16,48	0,59	37,22	19,15	16,44	20,10	74,22
6 mm %3	3,49	7,11	126,75	108,07	17,29	0,68	40,49	18,28	15,59	19,56	67,83
	3,51	7,23	137,65	117,91	16,74	0,58	36,88	19,30	16,53	20,15	76,52
	3,49	7,21	137,78	118,25	16,52	0,56	35,79	19,60	16,82	20,33	79,12
	3,50	7,35	137,29	117,71	16,63	0,60	37,66	19,05	16,33	20,02	73,53
12 mm %1	3,50	7,30	143,66	125,38	14,58	0,50	33,14	20,07	17,51	20,76	78,54
	3,50	7,30	139,56	121,75	14,63	0,54	35,08	19,49	17,01	20,45	72,30
	3,50	7,30	134,74	115,22	16,94	0,63	38,56	18,82	16,09	19,88	72,08
	3,50	7,20	139,67	121,80	14,67	0,52	34,15	19,78	17,25	20,60	75,55
12 mm %2	3,50	7,30	141,67	122,11	16,02	0,54	34,88	19,79	17,06	20,48	79,84
	3,50	7,40	140,45	121,21	15,87	0,57	36,24	19,35	16,70	20,26	74,58
	3,50	7,25	141,13	121,53	16,13	0,53	34,75	19,85	17,09	20,50	80,87
	3,50	7,30	141,17	122,16	15,56	0,54	34,86	19,72	17,06	20,48	77,65
12 mm %3	3,50	7,19	131,43	114,39	14,90	0,61	38,07	18,64	16,22	19,96	64,71
	3,50	7,30	134,77	117,35	14,84	0,60	37,42	18,82	16,39	20,06	66,28
	3,50	7,20	135,12	117,67	14,83	0,57	36,38	19,14	16,66	20,23	69,24
	3,50	7,30	139,27	121,43	14,69	0,54	35,25	19,45	16,96	20,42	72,07
24 mm %1	3,50	7,10	139,42	120,66	15,55	0,51	33,84	20,02	17,33	20,65	81,15
	3,49	7,23	139,06	120,30	15,59	0,54	34,86	19,72	17,06	20,48	77,82
	3,50	7,40	140,82	121,88	15,54	0,56	35,88	19,40	16,79	20,31	74,13
	3,50	7,35	140,15	122,40	14,50	0,54	35,17	19,44	16,98	20,43	71,36
24 mm %2	3,50	7,15	133,20	115,62	15,20	0,59	37,05	19,00	16,49	20,12	68,97
	3,50	7,30	131,93	114,45	15,27	0,64	38,97	18,43	15,99	19,81	63,87
	3,50	7,30	133,20	115,71	15,12	0,62	38,30	18,60	16,16	19,92	65,03
	3,49	7,20	124,29	107,72	15,38	0,71	41,43	17,70	15,34	19,41	58,07
24 mm %3	3,50	7,20	124,44	107,81	15,43	0,72	41,71	17,62	15,27	19,36	57,56
	3,50	7,21	136,46	118,14	15,51	0,57	36,21	19,30	16,71	20,26	72,93
	3,50	7,20	130,67	113,25	15,38	0,63	38,77	18,50	16,04	19,84	64,86
	3,50	7,21	124,42	107,74	15,48	0,72	41,83	17,60	15,24	19,34	57,48

Tablo 5.4. 400 ml su katılmış doğal zemin ve 6 mm -12 mm - 24 mm fiberli numunelerin fiziksel özellikleri

	Çap (cm)	Yükseklik (cm)	M _{doğal} (gr)	M _{kuru} (gr)	w (%)	e ₀	n (%)	ρ _n (kN/m ³)	ρ _k (kN/m ³)	ρ _d (kN/m ³)	S _r (%)
DOĞAL	3,50	7,10	141,42	117,20	20,67	0,56	35,74	20,31	16,83	20,34	99,20
	3,50	7,10	141,27	117,22	20,52	0,56	35,73	20,29	16,83	20,34	98,54
	3,50	7,20	143,94	119,08	20,88	0,55	35,62	20,38	16,86	20,36	100,76
	3,49	7,19	140,15	116,27	20,54	0,58	36,69	19,99	16,58	20,18	94,63
6 mm %1	3,50	6,80	134,11	112,33	19,39	0,56	35,69	20,11	16,84	20,35	93,27
	3,50	7,50	136,83	114,66	19,34	0,68	40,49	18,60	15,59	19,56	75,89
	3,50	7,18	131,98	110,43	19,51	0,67	40,13	18,74	15,68	19,62	77,74
	3,50	7,53	141,66	118,80	19,24	0,63	38,58	19,18	16,09	19,87	81,78
6 mm %2	3,50	7,14	137,69	112,85	22,01	0,63	38,47	19,66	16,12	19,89	93,99
	3,50	7,18	141,03	115,17	22,45	0,60	37,56	20,03	16,36	20,04	99,67
	3,49	7,14	138,46	113,32	22,18	0,61	37,86	19,89	16,28	19,99	97,21
	3,50	7,20	140,69	115,37	21,95	0,60	37,62	19,92	16,34	20,03	97,15
6 mm %3	3,51	7,21	143,05	117,54	21,70	0,58	36,90	20,11	16,53	20,15	99,10
	3,50	7,24	142,68	117,49	21,44	0,58	36,83	20,09	16,55	20,16	98,19
	3,49	7,20	141,44	116,48	21,43	0,58	36,66	20,15	16,59	20,19	98,85
	3,49	7,20	141,94	117,04	21,27	0,57	36,36	20,22	16,67	20,24	99,43
12 mm %1	3,51	7,21	144,45	119,49	20,89	0,56	35,85	20,31	16,80	20,32	99,79
	3,50	7,21	144,06	119,43	20,62	0,55	35,52	20,37	16,89	20,37	99,97
	3,51	7,20	143,27	118,45	20,95	0,57	36,32	20,17	16,68	20,24	98,08
	3,49	7,28	142,82	117,72	21,32	0,58	36,69	20,12	16,58	20,18	98,23
12 mm %2	3,50	7,31	142,71	118,29	20,64	0,59	37,01	19,91	16,50	20,13	93,83
	3,50	7,20	141,99	116,82	21,55	0,58	36,84	20,11	16,54	20,16	98,63
	3,51	7,31	145,51	119,88	21,38	0,58	36,52	20,18	16,63	20,21	99,21
	3,50	7,30	143,83	119,52	20,34	0,57	36,26	20,09	16,69	20,25	95,44
12 mm %3	3,51	7,20	144,82	120,47	20,21	0,54	35,24	20,39	16,96	20,42	99,19
	3,50	7,09	142,49	118,85	19,89	0,53	34,74	20,49	17,09	20,50	99,74
	3,50	7,20	142,79	118,69	20,30	0,56	35,83	20,22	16,81	20,32	97,10
	3,50	7,19	140,30	117,20	19,71	0,58	36,55	19,90	16,62	20,21	91,37
24 mm %1	3,50	7,40	142,00	113,73	24,86	0,67	40,17	19,57	15,67	19,61	98,84
	3,49	7,27	142,42	116,52	22,23	0,59	37,25	20,09	16,44	20,09	99,98
	3,49	7,21	140,08	114,63	22,20	0,61	37,75	19,92	16,30	20,01	97,73
	3,50	7,20	141,76	115,91	22,30	0,60	37,33	20,08	16,41	20,08	99,96
24 mm %2	3,50	7,30	143,29	117,86	21,58	0,59	37,15	20,01	16,46	20,11	97,46
	3,50	7,30	143,16	117,49	21,85	0,60	37,35	20,00	16,41	20,07	97,86
	3,50	7,21	140,54	115,60	21,57	0,60	37,59	19,88	16,35	20,04	95,66
	3,50	7,10	138,82	113,78	22,01	0,60	37,62	19,94	16,34	20,03	97,45
24 mm %3	3,50	7,20	142,62	117,45	21,43	0,57	36,50	20,20	16,63	20,21	99,55
	3,49	7,11	138,83	114,14	21,63	0,59	37,15	20,02	16,46	20,11	97,72
	3,50	7,35	145,20	119,32	21,69	0,58	36,80	20,14	16,55	20,16	99,44
	3,50	7,20	138,93	114,16	21,70	0,62	38,28	19,67	16,17	19,92	93,42

Tablo 5.5. 500 ml su katılmış doğal zemin ve 6 mm -12 mm - 24 mm fiberli numunelerin fiziksel özellikleri

	Çap (cm)	Yükseklik (cm)	M _{doğal} (gr)	M _{kuru} (gr)	w (%)	e ₀	n (%)	ρ _n (kN/m ³)	ρ _k (kN/m ³)	ρ _d (kN/m ³)	S _r (%)
DOĞAL	3,51	7,20	138,10	109,53	26,08	0,70	41,12	19,45	15,42	19,46	99,73
	3,50	7,30	138,85	110,07	26,15	0,70	41,30	19,39	15,37	19,43	99,21
	3,51	7,12	136,71	108,54	25,95	0,69	40,99	19,47	15,46	19,48	99,74
	3,50	7,11	135,83	108,00	25,77	0,69	40,87	19,48	15,49	19,50	99,55
6 mm %1	3,51	7,25	136,78	107,19	27,61	0,75	42,77	19,13	14,99	19,19	98,61
	3,50	7,20	133,77	104,89	27,53	0,76	43,29	18,94	14,85	19,10	96,31
	3,50	7,05	130,83	102,44	27,71	0,77	43,44	18,92	14,82	19,08	96,36
	3,50	7,00	131,24	102,72	27,76	0,75	42,88	19,12	14,96	19,17	98,77
6 mm %2	3,51	7,32	136,02	104,47	30,20	0,81	44,76	18,84	14,47	18,86	99,52
	3,50	7,10	132,94	104,79	26,86	0,74	42,55	19,09	15,05	19,22	96,86
	3,51	7,14	135,96	107,00	27,07	0,72	41,99	19,31	15,19	19,31	99,82
	3,50	7,22	136,80	107,78	26,93	0,72	41,89	19,32	15,22	19,33	99,73
6 mm %3	3,49	7,10	133,63	105,63	26,51	0,72	41,75	19,30	15,26	19,35	98,74
	3,50	7,19	136,58	107,99	26,47	0,71	41,53	19,37	15,31	19,39	99,51
	3,50	7,19	135,72	107,25	26,55	0,72	41,93	19,25	15,21	19,32	98,15
12 mm %1	3,50	7,11	135,22	107,81	25,42	0,69	40,97	19,39	15,46	19,48	97,80
	3,50	7,21	136,39	108,54	25,66	0,71	41,40	19,29	15,35	19,41	96,98
	3,49	7,20	136,92	109,11	25,49	0,69	40,67	19,50	15,54	19,53	99,28
	3,50	7,29	139,06	110,83	25,47	0,69	40,82	19,45	15,50	19,51	98,61
12 mm %2	3,49	7,25	137,54	109,98	25,06	0,68	40,61	19,45	15,56	19,54	97,85
	3,49	7,29	139,01	111,86	24,27	0,66	39,92	19,55	15,74	19,65	97,51
	3,49	7,29	139,01	111,20	25,01	0,67	40,28	19,55	15,64	19,59	99,00
	3,49	7,15	136,91	109,59	24,93	0,67	39,99	19,64	15,72	19,64	99,88
12 mm %3	3,51	7,20	136,31	107,64	26,64	0,73	42,13	19,19	15,16	19,29	97,67
	3,50	7,25	137,72	108,98	26,37	0,71	41,48	19,37	15,33	19,40	99,32
	3,50	7,22	136,94	107,89	26,93	0,72	41,83	19,34	15,24	19,34	99,98
	3,50	7,30	138,19	109,23	26,51	0,72	41,75	19,30	15,26	19,35	98,76
24 mm %1	3,50	7,30	137,33	107,59	27,64	0,74	42,63	19,18	15,03	19,21	99,34
	3,50	7,20	135,53	106,05	27,80	0,74	42,66	19,19	15,02	19,20	99,75
	3,50	7,30	137,27	107,80	27,34	0,74	42,51	19,17	15,06	19,23	98,69
	3,50	7,05	132,40	103,88	27,45	0,74	42,64	19,15	15,02	19,21	98,61
24 mm %2	3,50	7,21	136,44	107,39	27,05	0,72	42,02	19,30	15,19	19,31	99,67
	3,50	7,13	134,06	105,10	27,55	0,74	42,62	19,17	15,03	19,21	99,06
	3,50	7,19	135,39	106,02	27,70	0,74	42,60	19,20	15,03	19,21	99,67
	3,48	7,21	135,13	106,91	26,40	0,71	41,61	19,33	15,29	19,38	98,89
24 mm %3	3,50	7,30	136,58	107,54	27,00	0,74	42,65	19,08	15,02	19,20	96,94
	3,50	7,20	134,61	106,39	26,53	0,74	42,48	19,06	15,07	19,23	95,90
	3,50	7,20	136,04	107,04	27,09	0,73	42,13	19,27	15,16	19,29	99,38
	3,50	7,09	134,10	105,92	26,60	0,72	41,84	19,29	15,23	19,34	98,73

Tablo 5.6. 600 ml su katılmış doğal zemin ve 6 mm -12 mm - 24 mm fiberli numunelerin fiziksel özellikleri

	Çap (cm)	Yükseklik (cm)	M _{doğal} (gr)	M _{kuru} (gr)	w (%)	e ₀	n (%)	ρ _n (kN/m ³)	ρ _k (kN/m ³)	ρ _d (kN/m ³)	S _r (%)
DOĞAL	3,49	7,11	128,95	98,19	31,33	0,85	45,93	18,60	14,16	18,67	98,46
	3,49	7,19	130,36	99,13	31,50	0,85	46,02	18,59	14,14	18,65	98,66
	3,49	7,11	129,50	98,32	31,71	0,85	45,86	18,68	14,18	18,68	99,96
	3,50	7,11	129,79	98,72	31,47	0,85	45,95	18,61	14,16	18,66	98,85
6 mm %1	3,50	7,01	126,10	95,71	31,75	0,88	46,85	18,34	13,92	18,52	96,18
	3,50	7,19	130,83	99,35	31,69	0,86	46,21	18,55	14,09	18,62	98,48
	3,50	7,01	126,44	95,88	31,87	0,88	46,76	18,39	13,95	18,53	96,91
	3,49	7,15	127,32	96,60	31,80	0,89	47,10	18,26	13,85	18,48	95,35
6 mm %2	3,50	7,10	130,07	98,88	31,54	0,84	45,79	18,68	14,20	18,69	99,72
	3,49	7,19	129,60	98,62	31,41	0,86	46,30	18,48	14,07	18,61	97,28
	3,48	7,09	128,75	98,08	31,27	0,84	45,53	18,73	14,27	18,73	99,89
	3,49	7,08	126,66	96,42	31,36	0,88	46,68	18,35	13,97	18,55	95,65
6 mm %3	3,48	7,05	127,19	96,93	31,22	0,85	45,86	18,61	14,18	18,68	98,40
	3,49	7,21	130,75	99,64	31,22	0,85	45,89	18,60	14,17	18,67	98,28
	3,49	7,10	129,24	98,29	31,49	0,85	45,80	18,67	14,20	18,69	99,49
	3,50	7,19	130,36	98,85	31,88	0,87	46,48	18,49	14,02	18,58	98,00
12 mm %1	3,49	7,19	129,57	99,06	30,80	0,85	46,06	18,48	14,13	18,65	96,31
	3,49	7,19	130,08	99,58	30,63	0,84	45,78	18,55	14,20	18,69	96,87
	3,50	7,10	129,08	99,13	30,21	0,84	45,65	18,54	14,24	18,71	96,05
	3,49	7,29	129,89	99,30	30,81	0,88	46,67	18,27	13,97	18,55	93,99
12 mm %2	3,49	7,25	132,10	101,86	29,69	0,82	44,99	18,68	14,41	18,82	96,91
	3,50	7,15	130,85	100,01	30,84	0,84	45,55	18,66	14,26	18,73	98,42
	3,49	7,15	129,82	99,66	30,26	0,83	45,43	18,62	14,29	18,75	97,06
	3,50	7,20	132,79	102,10	30,06	0,81	44,80	18,81	14,46	18,85	98,90
12 mm %3	3,49	7,10	128,30	97,26	31,91	0,86	46,37	18,53	14,05	18,60	98,56
	3,50	7,20	130,92	99,29	31,86	0,86	46,32	18,54	14,06	18,60	98,58
	3,50	7,20	130,67	99,44	31,41	0,86	46,24	18,50	14,08	18,62	97,51
	3,50	7,25	133,01	101,26	31,35	0,84	45,63	18,71	14,24	18,72	99,75
24 mm %1	3,50	7,25	131,88	99,96	31,93	0,86	46,33	18,55	14,06	18,60	98,78
	3,50	7,20	128,37	97,31	31,92	0,90	47,39	18,18	13,78	18,43	94,62
	3,50	7,15	130,43	98,56	32,34	0,86	46,34	18,60	14,06	18,60	99,98
	3,50	7,20	129,72	98,00	32,37	0,89	47,01	18,37	13,88	18,49	97,40
24 mm %2	3,50	7,00	127,42	96,85	31,56	0,86	46,14	18,56	14,11	18,63	98,38
	3,50	7,10	129,45	97,96	32,15	0,86	46,29	18,59	14,07	18,61	99,59
	3,50	7,20	130,95	99,27	31,91	0,86	46,33	18,54	14,06	18,60	98,72
	3,49	7,20	131,05	100,03	31,01	0,84	45,61	18,67	14,25	18,72	98,75
24 mm %3	3,50	7,15	128,93	97,86	31,75	0,88	46,72	18,39	13,96	18,54	96,67
	3,50	7,25	131,39	99,90	31,52	0,86	46,36	18,48	14,05	18,60	97,38
	3,50	7,30	130,01	98,68	31,75	0,90	47,38	18,16	13,78	18,43	94,15
	3,50	7,29	131,65	100,24	31,33	0,87	46,47	18,41	14,02	18,58	96,36

Tablo 5.7. Doğal zemin ve 6 mm - 12 mm %1- %2- %3 fiber katkıli zeminlerin deney sonuçları

Doğal														
w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}
10,98	1,40	556,40	15,17	1,05	356,90	20,67	4,23	265,80	26,08	13,89	111,20	31,33	12,66	41,10
11,06	2,06	305,40	15,35	2,05	505,80	20,52	4,23	233,90	26,15	13,70	114,80	31,50	13,91	44,10
10,95	1,03	151,20	15,13	2,08	591,30	20,88	4,17	273,90	25,95	9,83	85,70	31,71	12,66	27,40
10,89	0,69	187,90	15,35	2,07	425,10	20,54	2,78	260,20	25,77	11,25	104,20	31,47	14,06	31,30
6 mm %1														
w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}
10,74	1,35	246,50	15,59	1,88	295,80	19,39	5,00	498,60	27,61	19,31	86,70	31,75	19,97	43,30
10,55	1,33	492,30	15,66	2,21	464,90	19,34	4,00	327,30	27,53	15,28	77,50	31,69	19,47	51,10
D	D	D	D	D	D	19,51	4,74	323,80	27,71	19,86	98,30	31,87	19,97	37,40
D	D	D	D	D	D	19,24	3,98	344,30	27,76	20,00	74,00	31,80	19,58	47,10
6 mm %2														
w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}
11,61	3,24	215,20	16,17	3,85	533,70	22,01	6,58	235,90	30,20	19,13	98,60	31,54	19,72	36,70
11,40	3,47	344,10	16,59	3,39	556,30	22,45	6,96	227,20	26,86	14,08	75,00	31,41	19,47	34,50
D	D	D	16,48	3,06	567,20	22,18	8,40	273,90	27,07	18,21	81,20	31,27	19,75	38,00
D	D	D	D	D	D	21,95	6,94	244,60	26,93	15,24	82,80	31,36	19,77	35,20
6 mm %3														
w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}
D	D	D	17,29	5,20	457,80	21,70	10,06	335,60	26,51	19,72	93,20	31,22	19,86	37,10
D	D	D	16,74	4,15	617,10	21,44	8,29	311,70	26,47	19,47	92,10	31,22	19,42	46,30
D	D	D	16,52	4,16	641,20	21,43	9,72	401,10	26,55	19,47	97,90	31,49	19,72	50,40
D	D	D	16,63	4,46	626,60	21,27	8,33	357,40	D	D	D	31,88	19,47	39,30
12 mm %1														
w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}
10,09	2,74	636,90	14,58	1,37	567,90	20,89	8,32	302,20	25,42	18,28	95,10	30,80	15,30	31,00
11,16	1,39	595,50	14,63	2,05	490,70	20,62	8,32	293,50	25,66	16,64	112,60	30,63	18,08	48,80
10,34	1,37	682,90	16,94	4,11	627,90	20,95	8,33	305,00	25,49	16,67	122,80	30,21	16,90	50,10
9,23	1,39	717,50	14,67	1,40	360,00	21,32	9,62	309,90	25,47	19,20	96,60	30,81	16,46	51,50
12 mm %2														
w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}
10,72	0,68	771,20	16,02	2,74	657,10	20,64	8,21	394,00	25,06	17,93	147,60	29,69	19,31	59,00
10,65	1,05	718,90	15,87	4,05	658,20	21,55	8,33	256,30	24,27	13,72	147,00	30,84	19,58	60,20
10,54	1,03	448,50	16,13	2,76	728,70	21,38	9,58	373,80	25,01	16,46	138,90	30,26	19,58	58,00
10,85	1,03	794,20	15,56	2,74	541,80	20,34	6,85	262,40	24,93	16,78	135,70	30,06	19,44	56,10
12 mm %3														
w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}	w (%)	ϵ_z	σ_{max}
10,40	1,01	399,20	14,90	1,39	304,40	20,21	5,56	286,00	26,64	12,50	81,40	31,91	19,72	44,50
10,55	2,05	394,00	14,84	1,37	299,30	19,89	5,64	343,30	26,37	16,55	102,40	31,86	18,06	46,00
10,58	1,37	307,50	14,83	1,39	382,30	20,30	4,17	338,70	26,93	15,24	98,70	31,41	18,06	46,00
10,74	0,69	208,30	14,69	1,37	380,30	19,71	4,17	224,10	26,51	15,07	98,90	31,35	19,31	44,50

Tablo 5.8. 24 mm %1- %2- %3 fiber katkılı zeminlerin deney sonuçları

24 mm %1														
W (%)	ϵ_z	σ_{max}	W (%)	ϵ_z	σ_{max}	W (%)	ϵ_z	σ_{max}	W (%)	ϵ_z	σ_{max}	W (%)	ϵ_z	σ_{max}
11,53	1,38	781,10	15,55	4,23	955,60	24,86	9,46	362,30	27,64	19,18	131,90	31,93	19,31	55,40
11,68	1,39	724,60	15,59	2,77	720,70	22,23	8,25	273,30	27,80	19,44	134,00	31,92	19,44	56,10
11,47	0,69	607,90	15,54	4,05	847,70	22,20	9,71	283,20	27,34	19,18	117,60	32,34	18,18	54,40
11,87	1,04	700,50	14,50	4,08	912,20	22,30	9,72	320,90	27,45	19,86	120,80	32,37	19,44	51,10
24 mm %2														
W (%)	ϵ_z	σ_{max}	W (%)	ϵ_z	σ_{max}	W (%)	ϵ_z	σ_{max}	W (%)	ϵ_z	σ_{max}	W (%)	ϵ_z	σ_{max}
11,05	1,35	512,70	15,20	4,20	964,90	21,58	6,85	430,80	27,05	15,26	167,40	31,56	20,00	68,20
11,10	2,05	649,50	15,27	5,48	1002,10	21,85	6,85	417,30	27,55	16,83	166,00	32,15	15,49	72,90
11,39	2,78	581,00	15,12	2,74	709,70	21,57	6,93	392,70	27,70	19,47	133,90	31,91	19,44	66,10
11,37	2,78	726,70	15,38	4,17	783,40	22,01	8,45	430,10	26,40	19,42	130,50	31,01	19,44	69,10
24 mm %3														
W (%)	ϵ_z	σ_{max}	W (%)	ϵ_z	σ_{max}	W (%)	ϵ_z	σ_{max}	W (%)	ϵ_z	σ_{max}	W (%)	ϵ_z	σ_{max}
11,50	2,78	508,30	15,43	9,72	469,20	21,43	8,33	298,20	27,00	19,18	117,60	31,75	19,58	60,20
11,56	2,05	527,30	15,51	4,16	811,90	21,63	8,44	335,00	26,53	19,44	118,10	31,52	19,31	57,00
11,38	1,39	530,90	15,38	5,56	638,10	21,69	14,97	424,20	27,09	19,44	120,60	31,75	19,18	63,80
12,50	2,14	425,50	15,48	6,93	592,00	21,70	15,28	385,70	26,60	19,75	116,00	31,33	17,83	61,50

Tablo 5.7. ve 5.8. birlikte değerlendirildiğinde yapılan deneylerde su muhtevasının artışı, optimum su muhtevasına ulaşıncaya kadar dayanımı olumlu yönde etkilese de su miktarı arttıkça daneler arasındaki bağlar zayıfladığından dayanımda azalmalar görülmüştür. En yüksek değere 24 mm fiber katılmış %15,27 su muhtevasına sahip numunede ulaşılmıştır.

Kil ve fiber katkılı kil zeminin serbest basma deneyinden elde edilen hazırlanışı itibari ile eşdeğer numuneler arasında en yüksek deviatör gerilme değerlerinin seçilerek oluşturulmuş dayanımda oransal artışları Tablo 5.9.'da sunulmaktadır.

Tablo 5.9. Numunelerin dayanımlarında bazalt fiber katkısı ve artış oranları

Eklenen Su (ml)	Fiber Boyu (mm)	Fiber Oranı(%)	$\sigma_{d max}$ (kPa)	Dayanım Artışı (%)
	0	0	556,4	0,00%
	6	1	492,3	-11,52%
200	6	2	344,1	-38,16%
	6	3	-	-
	12	1	717,5	28,95%

Tablo 5.9. (Devamı)

	12	2	794,2	42,74%
	12	3	399,2	-28,25%
	24	1	781,1	40,38%
	24	2	726,7	30,61%
	24	3	530,9	-4,58%
	0	0	591,3	0,00%
	6	1	464,9	-21,38%
	6	2	567,2	-4,08%
	6	3	641,2	8,44%
300	12	1	627,9	6,19%
	12	2	728,7	23,24%
	12	3	382,3	-35,35%
	24	1	955,6	61,61%
	24	2	1002,1	69,47%
	24	3	811,9	37,31%
	0	0	273,9	0,00%
	6	1	344,3	25,70%
	6	2	273,85	-0,02%
	6	3	401,1	46,44%
400	12	1	309,9	13,14%
	12	2	394	43,85%
	12	3	343,3	25,34%
	24	1	362,3	32,27%
	24	2	430,8	57,28%
	24	3	424,2	54,87%
	0	0	114,8	0,00%
	6	1	98,3	-14,37%
	6	2	98,6	-14,11%
	6	3	97,9	-14,72%
500	12	1	122,8	6,97%
	12	2	147,6	28,57%
	12	3	102,4	-10,80%
	24	1	131,9	14,90%
	24	2	167,4	45,82%
	24	3	120,6	5,05%
	0	0	44,1	0,00%
	6	1	51,1	15,87%
	6	2	38	-13,83%
	6	3	50,4	14,29%
600	12	1	51,5	16,78%
	12	2	60,2	36,51%
	12	3	46	4,31%
	24	1	56,1	27,21%
	24	2	72,9	65,31%
	24	3	63,8	44,67%

Tablo 5.9. incelendiğinde bazalt fiberin kil numunelerin drenajsız kayma direncini belirli oranlarda arttırdığı görülmektedir. Bu bağlamda en yüksek artış oranı 300 ml su katılarak hazırlanan numunelerde 24 mm'lik fiberin ağırlıkça %2 oranında katıldığı durumlarda %69,47'dir. Tablo 5.9. incelendiğinde her bir serideki en yüksek deviator gerilmenin farklı karışımlarda elde edildiği görülmektedir. Bunun sebebi kıyaslanan numunelerin her birinin aynı fiziksel özelliklere sahip olmaması, yapılan fiber katkısının zemin içerisinde her numunede aynı şekilde homojen olarak dağılmamış olması, numune boyu, çapı gibi birçok değer değişikliği göstermektedir. Ayrıca numune hazırlanırken bazalt fiberler zemin içerisinde rastgele dağılmaktadırlar.

Tablo 5.10.'da aynı miktar su eklenen ve aynı oranda fiber katkısı yapılarak hazırlanan numuneler üzerinde yapılan deneylerde ulaşılan maksimum deviator gerilmeler ortalamaları hesaplanarak sunulmuştur.

Tablo 5.10. Ortalama değerler özet tablosu (σ_d (kPa) ortalama)

Eklenen Su Miktarı (ml)		200	300	400	500	600
Doğal Zemin	-	300,23	469,78	258,48	103,98	35,98
6 mm fiber	1%	369,40	380,35	373,50	84,13	44,73
	2%	279,65	552,40	245,40	84,40	36,10
	3%	D	585,68	351,45	94,40	43,28
12 mm fiber	1%	658,20	511,63	302,65	106,78	45,35
	2%	683,20	646,45	321,63	142,30	58,33
	3%	327,25	341,58	298,03	95,35	45,25
24 mm fiber	1%	703,53	859,05	309,93	126,08	54,25
	2%	617,48	865,03	417,73	149,45	69,08
	3%	498,00	627,80	360,78	118,08	60,63

Tablo 5.10. incelendiğinde aynı miktarda su katılarak hazırlanan kil zemine yapılan fiber katkısının maksimum deviator gerilmeleri olumlu yönde etkilediği ve kil zeminin drenajsız kayma direncini arttırdığı görülmektedir. Ayrıca en yüksek deviator gerilme değerlerine 24 mm fiber katkılı numunelerde ulaşıldığı da anlaşılmaktadır.

Tablo 5.11.'de aynı miktar su eklenen ve aynı oranda fiber katkısı yapılarak hazırlanan numuneler üzerinde yapılan deneylerde ulaşılan maksimum deviator gerilmeleri

ortalamaları baz alınarak drenajsız kayma direncindeki oransal artışlar gösterilmektedir.

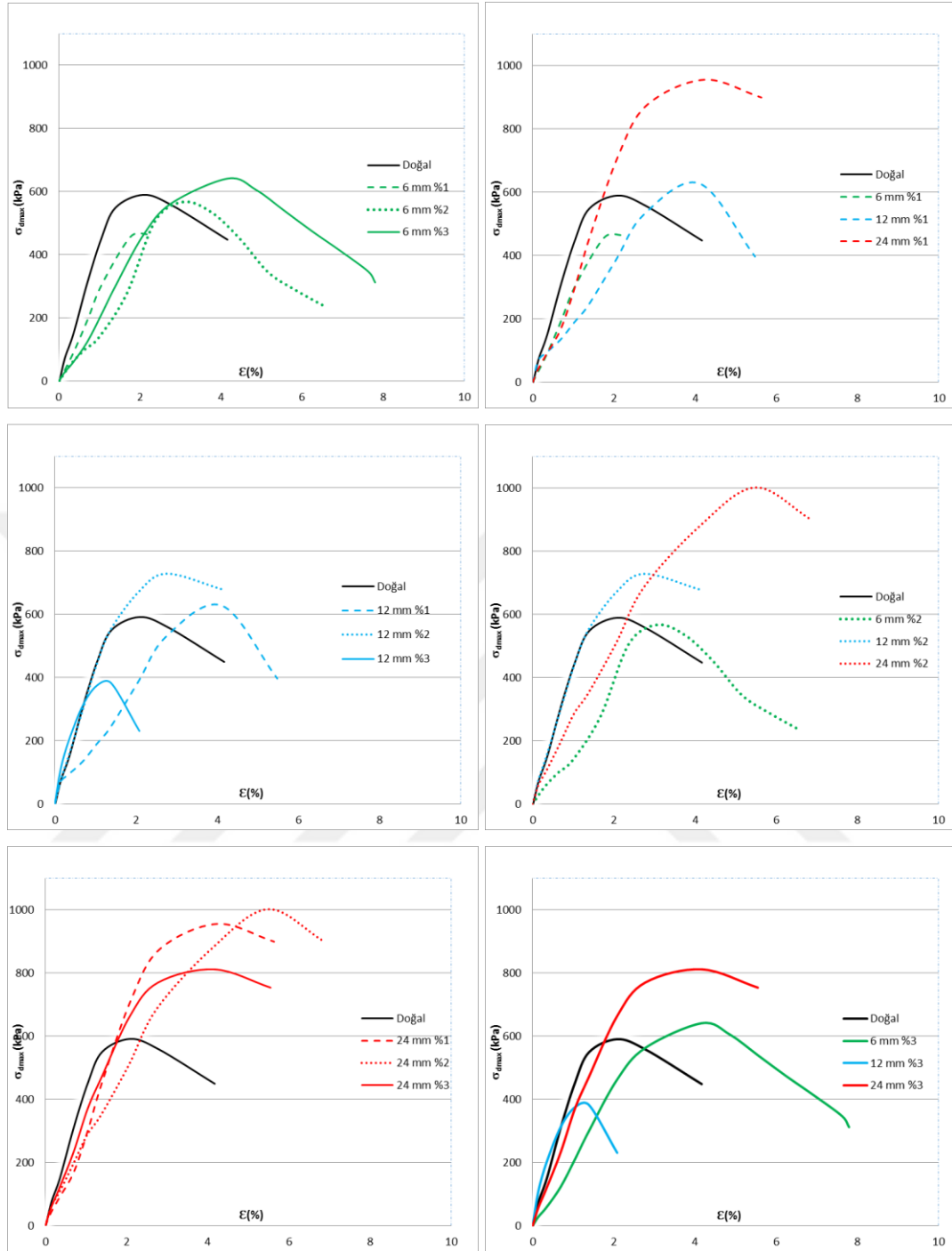
Tablo 5.11. Ortalama değerlere göre fiber katkılı zeminlerdeki dayanım değişimleri tablosu

Zemin		Eklenen Su (200 ml)	Dayanım Artışı (%)	Eklenen Su (300 ml)	Dayanım Artışı (%)	Eklenen Su (400 ml)	Dayanım Artışı (%)	Eklenen Su (500 ml)	Dayanım Artışı (%)	Eklenen Su Miktarı (600 ml)	Dayanım Artışı (%)
Doğal		300,23	-	469,78	-	258,48	-	103,98	-	35,98	-
6 mm Fiber	1%	369,40	23,04%	380,35	-19,04%	373,50	44,50%	84,13	-19,09%	44,73	24,32%
	2%	279,65	-6,85%	552,40	17,59%	245,40	-34,30%	84,40	-18,83%	36,10	0,35%
	3%	D	-	585,68	24,67%	351,45	35,97%	94,40	-9,21%	43,28	20,29%
12 mm Fiber	1%	658,20	119,24%	511,63	8,91%	302,65	17,09%	106,78	2,69%	45,35	26,06%
	2%	683,20	127,56%	646,45	37,61%	321,63	24,43%	142,30	36,86%	58,33	62,13%
	3%	327,25	9,00%	341,58	-27,29%	298,03	15,30%	95,35	91,70%	45,25	25,78%
24 mm Fiber	1%	703,53	134,33%	859,05	82,86%	309,93	19,91%	126,08	21,26%	54,25	50,80%
	2%	617,48	105,67%	865,03	84,14%	417,73	61,61%	149,45	43,74%	69,08	92,01%
	3%	498,00	65,88%	627,80	33,64%	360,78	39,58%	118,08	13,56%	60,63	68,52%

Tablo 5.11.'de genel olarak bazalt fiber katkısı ilave edilmiş kil zeminlerde drenajsız kayma direncinin arttığı gözlemlenmiştir. 6 mm ve 24 mm fiber eklenmiş numuneler kendi içlerinde değerlendirildiğinde en yüksek değerlere 300 ml su eklenmiş numunelerden elde edilen ortalama değerlerde ulaşılmıştır. 12 mm fiber eklenmiş numunelerde ise en yüksek drenajsız kayma direncine 200 ml su eklenmiş numunelerden elde edilen ortalama değerlerde ulaşılmıştır. Bütün varyasyonlar irdelendiğinde eşit miktarda su eklenmiş numuneler arasında da en iyi değerlere 24 mm fiber ilave edilmiş örneklerde ulaşılmıştır.

5.3.1. Gerilme ve şekil değiştirme ilişkisi

Şekil 5.7.'de 300 ml su ilave edilerek sıkıştırılmış hazırlanmış numunelerde gerilme-şekil değiştirme grafikleri örnek olarak sunulmaktadır.

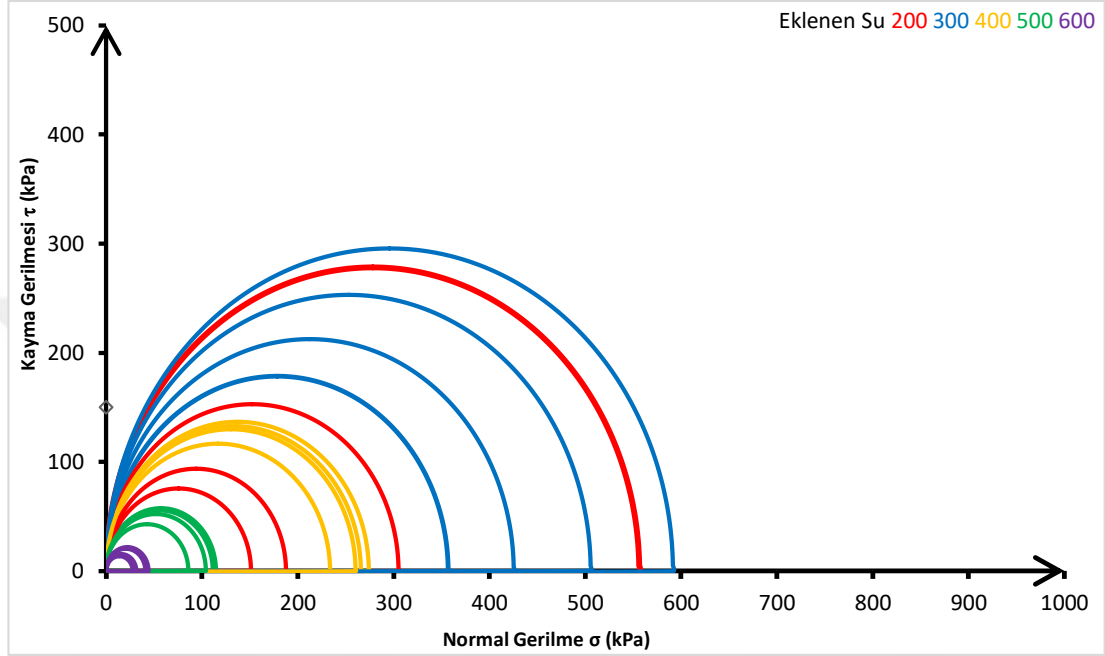


Şekil 5.7. 300 ml su eklenerek hazırlanmış numunelerde gerilme - şekil değiştirme ilişkisi

Şekil 5.7.'de 300 ml su eklenerek hazırlanan numunelerde maksimum gerilme için boy değişimleri %20 seviyelerine ulaşamadığı anlaşılmaktadır. Grafikler değerlendirildiğinde en yüksek gerilmelerin ve deplasmanların 24 mm fiber eklenen numunelerde gerçekleştiği gözlemlenmektedir.

5.3.2. Numune dayanımlarında bazalt fiber katkısı ile artış oranları

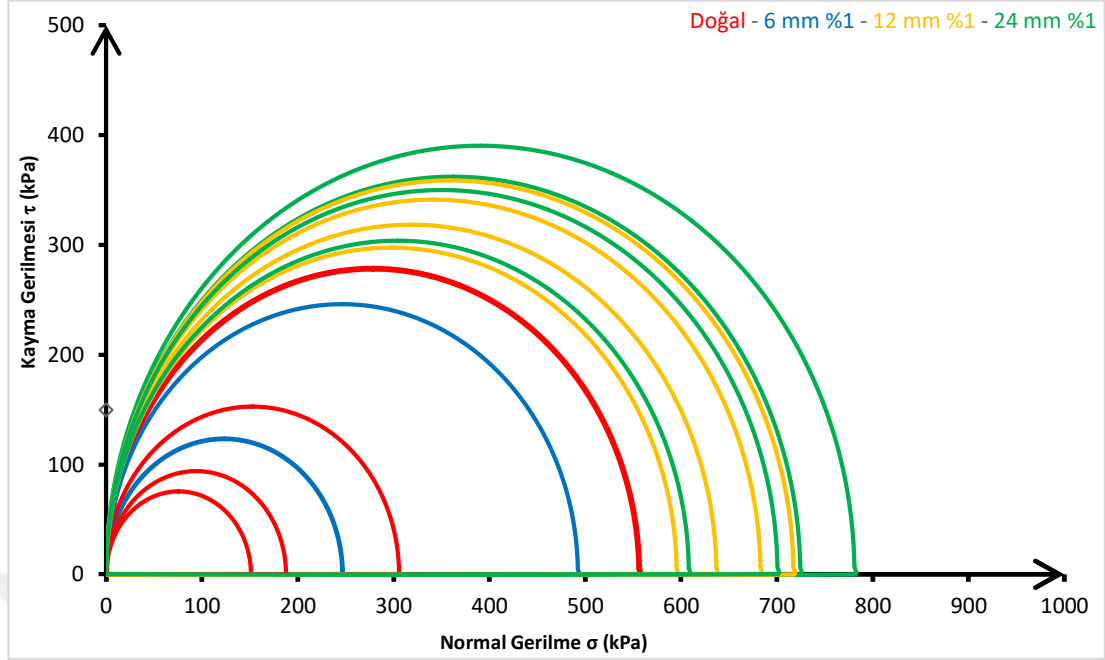
Doğal zemin numunelerinde ulaşılan sonuçlar baz alınarak eklenen su miktarlarına göre dayanımdaki değişimler Şekil 5.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Doğal zeminin farklı su muhtevalarında dayanımı

Şekil 5.8.'de doğal zemin numunelerin eklenen su miktarının artırılması durumunda 300 ml su eklenen numunelere kadar deviyör gerilmelerde artış gözlenmektedir. Su miktarının daha da artırılması deviyör gerilmelerde azalmaya sebep olmaktadır.

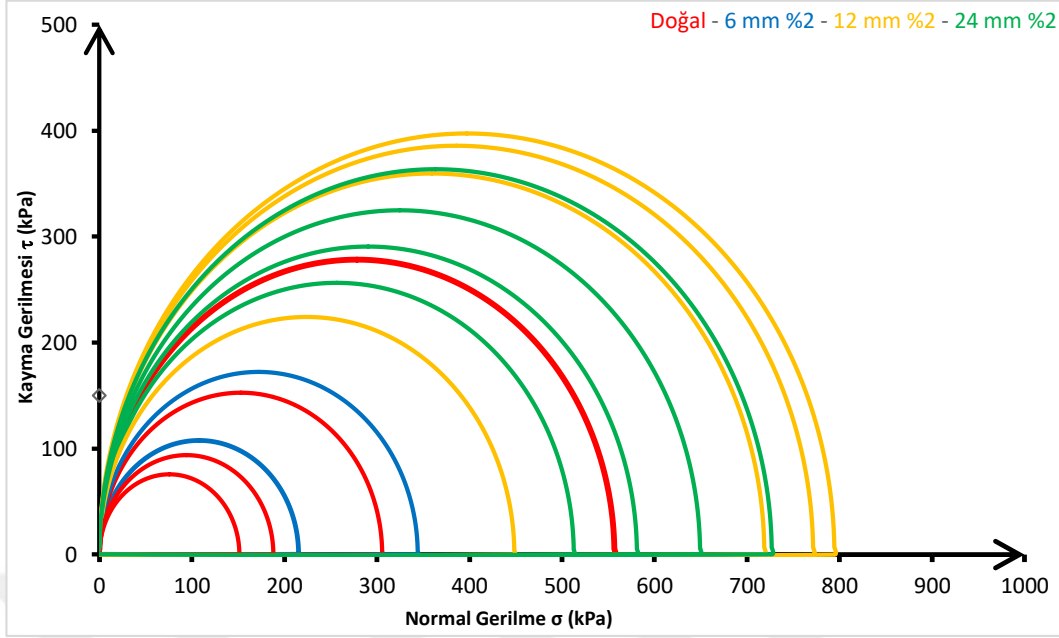
Şekil 5.9.'da doğal zemin ve ağırlıkça %1 oranında 6-12-24 mm fiber katılarak 200 ml su eklenmiş numunelerin deviyör gerilmelerindeki değişimler sunulmuştur.



Şekil 5.9. 200 ml su eklenmiş doğal ve %1 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri

Şekil 5.9.'da 200 ml su eklenerek hazırlanan doğal zemin ve 6-12-24 mm boylarında %1 oranında fiber içeren numunelerde bazalt fiberin zeminin drenajsız kayma direncini olumlu yönde arttırdığı gözlemlenmiştir. Kıyaslanan bu grupta en yüksek değerlere 24 mm fiber boylarında ulaşılmıştır.

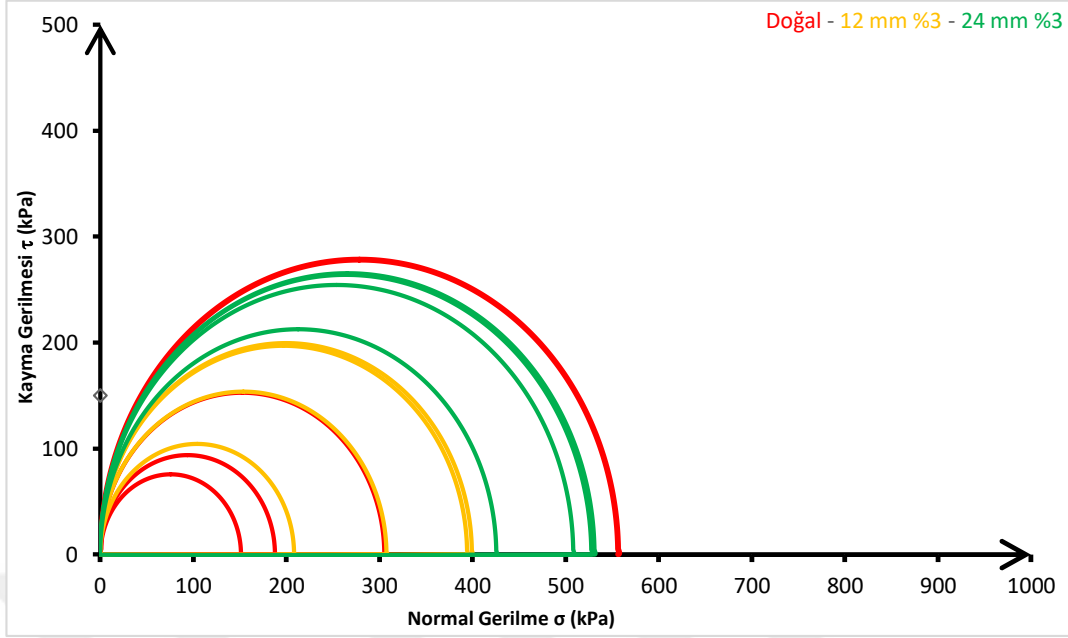
Şekil 5.10.'da doğal zemin ve ağırlıkça %2 oranında 6-12-24 mm fiber katılarak 200 ml su eklenmiş numunelerin deviatör gerilmelerindeki değişimler sunulmuştur.



Şekil 5.10. 200 ml su eklenmiş doğal ve %2 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri

Şekil 5.10.'da 200 ml su eklenerek hazırlanan doğal zemin ve 6-12-24 mm boylarında %2 oranında fiber içeren numunelerde bazalt fiberin zeminin drenajsız kayma direncini olumlu yönde arttırdığı gözlemlenmiştir. Kıyaslanan bu grupta en yüksek değerlere 12 mm fiber boylarında ulaşılmıştır.

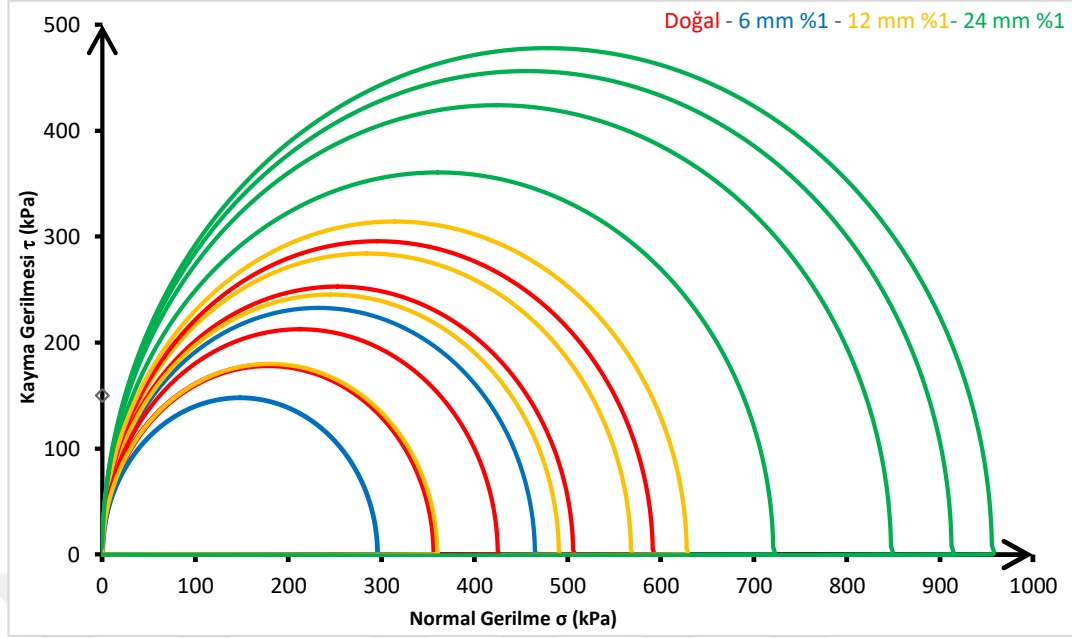
Şekil 5.11.'de doğal zemin ve ağırlıkça %3 oranında 6-12-24 mm uzunluğunda fiber katılarak 200 ml su eklenmiş numunelerin deviator gerilmelerindeki değişimler sunulmuştur. Bu dağılımda 6 mm fiber kullanarak hazırlanan numuneler deney sırasında dağıldığından aşağıdaki şekilde verilerine yer verilememiştir.



Şekil 5.11. 200 ml su eklenmiş doğal ve %3 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri

Şekil 5.11.'de 200 ml su eklenerek hazırlanan doğal zemin ve 12-24 mm boylarında %3 oranında fiber içeren numunelerde bazalt fiberin zeminin drenajsız kayma direncini olumlu yönde arttırdığı gözlemlenmiştir. 6 mm fiber kullanılan numuneler deney esnasında dağıldığı için bu aşamada 6 mm fiber değerlendirilememiştir. Şekil 5.11. incelendiğinde %1 ve %2 oranlarında fiber kullanılmış numunelere kıyasla %3 fiber kullanılan numunelerin deviator gerilmelerinde bir miktar azalma gözlenmiştir. Kıyaslama yapıldığında yüksek değerlere 24 mm fiber boylarında ulaşılmıştır.

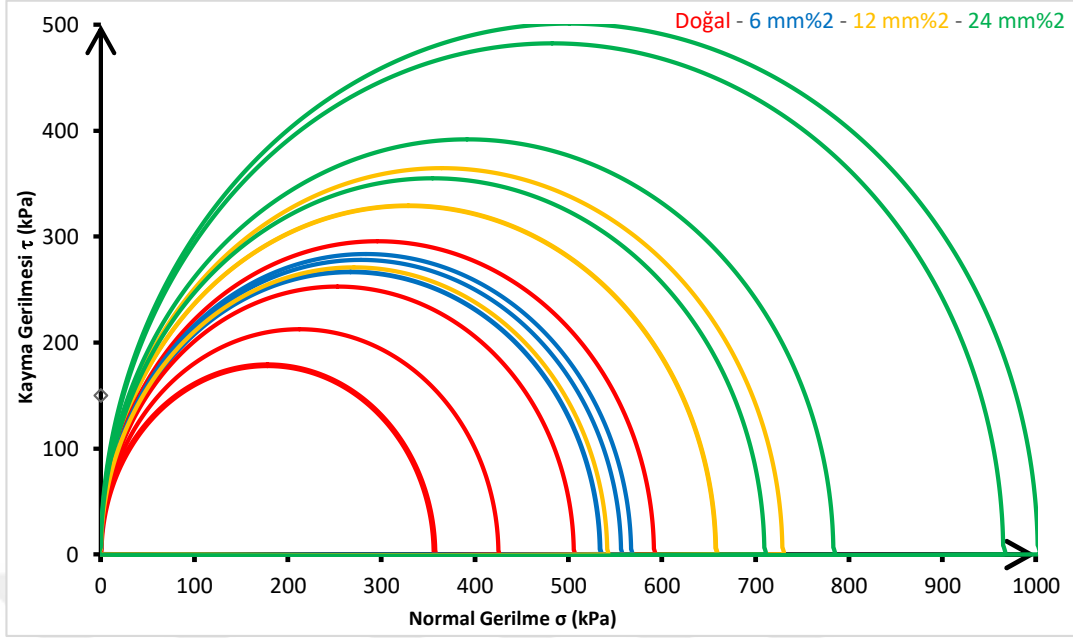
Şekil 5.12.'de doğal zemin ve ağırlıkça %1 oranında 6-12-24 mm fiber katılarak 300 ml su eklenmiş numunelerin deviator gerilmelerindeki değişimler sunulmuştur.



Şekil 5.12. 300 ml su eklenmiş doğal ve %1 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri

Şekil 5.12.'de 300 ml su eklenerek hazırlanan doğal zemin ve 6-12-24 mm boylarında %1 oranında fiber içeren numunelerde bazalt fiberin zeminin drenajsız kayma direncini olumlu yönde arttırdığı gözlemlenmiştir. Kıyaslanan bu grupta en yüksek değerlere 24 mm fiber boylarında ulaşılmıştır.

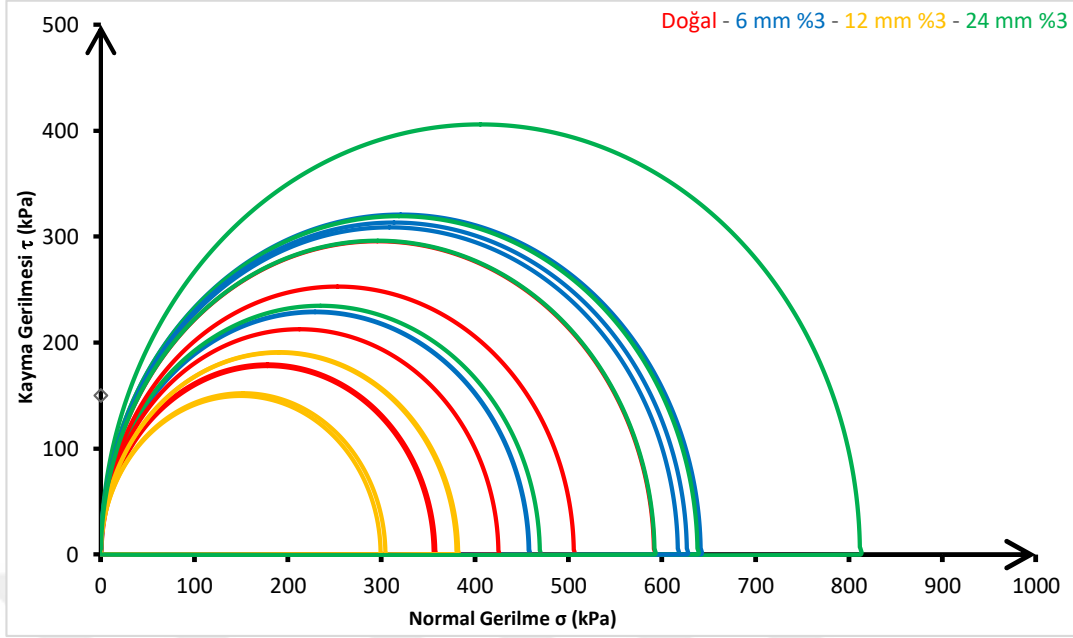
Şekil 5.13.'de doğal zemin ve ağırlıkça %2 oranında 6-12-24 mm fiber katılarak 300 ml su eklenmiş numunelerin deviatör gerilmelerindeki değişimler sunulmuştur.



Şekil 5.13. 300 ml su eklenmiş doğal ve %2 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri

Şekil 5.13.'de 300 ml su eklenerek hazırlanan doğal zemin ve 6-12-24 mm boylarında %1 oranında fiber içeren numunelerde bazalt fiberin zeminin drenajsız kayma direncini olumlu yönde arttırdığı gözlemlenmiştir. Kıyaslanan bu grupta en yüksek değerlere 24 mm fiber boylarında ulaşılmıştır. Tüm deney sonuçları ele alındığında %2 oranında 24 mm fiber kullanılarak hazırlanan numunelerde en yüksek deviatör gerilme değerlerine ulaşılmıştır.

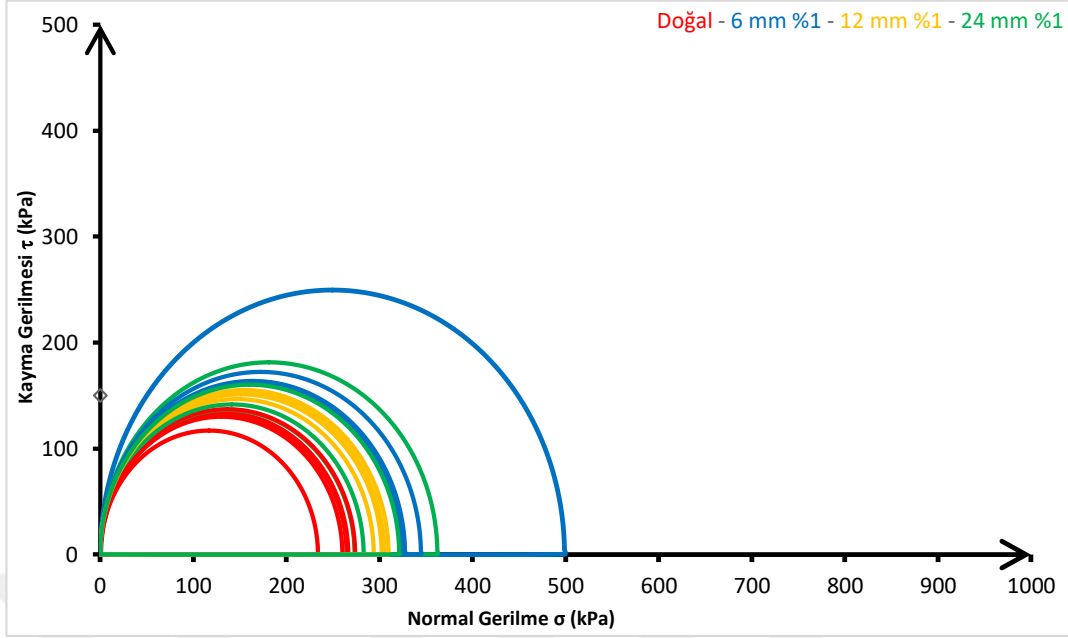
Şekil 5.14.'de doğal zemin ve ağırlıkça %3 oranında 6-12-24 mm fiber katılarak 300 ml su eklenmiş numunelerin deviatör gerilmelerindeki değişimler sunulmuştur.



Şekil 5.14. 300 ml su eklenmiş doğal ve %3 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri

Şekil 5.14.'de 300 ml su eklenerek hazırlanan doğal zemin ve 6-12-24 mm boylarında %3 oranında fiber içeren numunelerde bazalt fiberin zeminin drenajsız kayma direncini olumlu yönde arttırdığı gözlemlenmiştir. Kıyaslanan bu grupta en yüksek değerlere 24 mm fiber boylarında ulaşılmıştır.

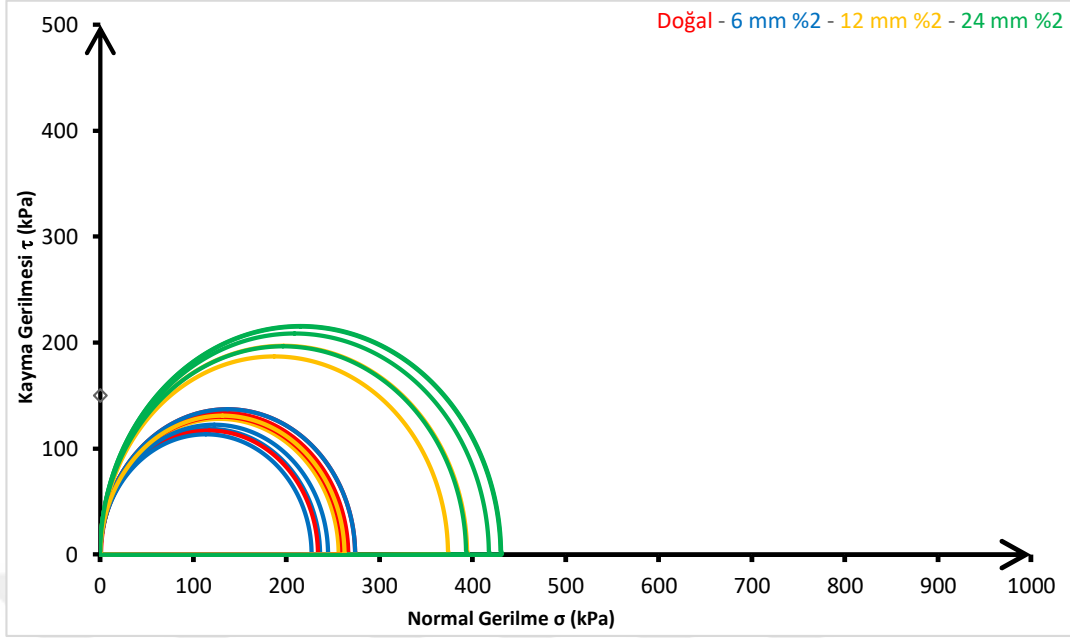
Şekil 5.15.'de doğal zemin ve ağırlıkça %1 oranında 6-12-24 mm fiber katılarak 400 ml su eklenmiş numunelerin deviator gerilmelerindeki değişimler sunulmuştur.



Şekil 5.15. 400 ml su eklenmiş doğal ve %1 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri

Şekil 5.15.'de 400 ml su eklenerek hazırlanan doğal zemin ve 6-12-24 mm boylarında %1 oranında fiber içeren numunelerde bazalt fiberin zeminin drenajsız kayma direncini olumlu yönde arttırdığı gözlemlenmiştir. Kıyaslanan bu grupta en yüksek değere tüm davranışa benzemez olarak 6 mm fiber kullanılan bir numunede ulaşılmıştır.

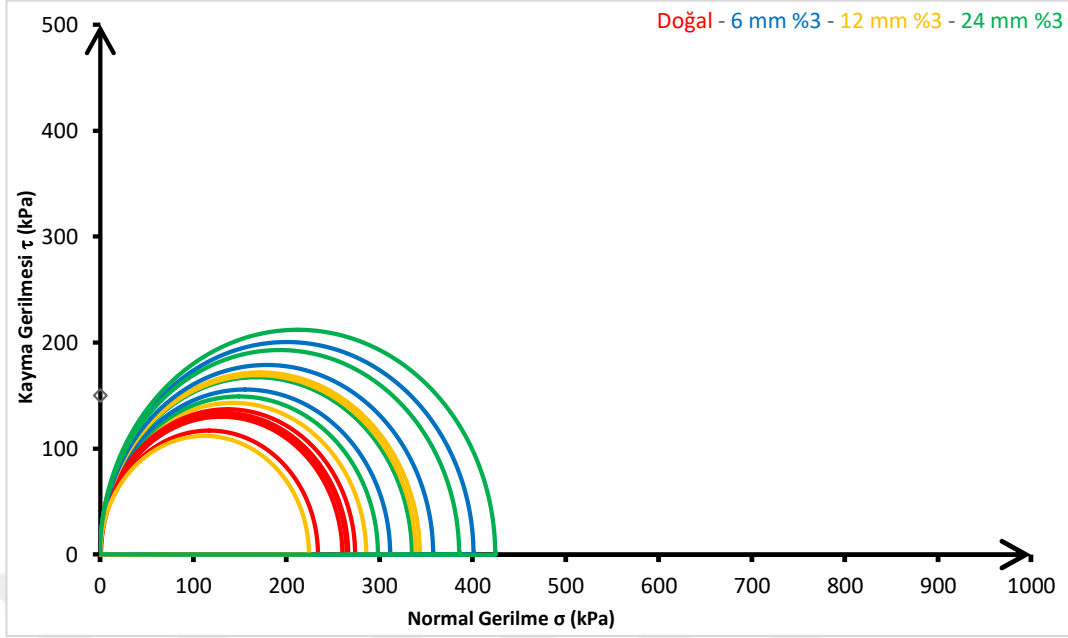
Şekil 5.16.'da doğal zemin ve ağırlıkça %2 oranında 6-12-24 mm fiber katılarak 400 ml su eklenmiş numunelerin deviator gerilmelerindeki değişimler sunulmuştur.



Şekil 5.16. 400 ml su eklenmiş doğal ve %2 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri

Şekil 5.16.'da 400 ml su eklenerek hazırlanan doğal zemin ve 6-12-24 mm boylarında %2 oranında fiber içeren numunelerde bazalt fiberin zeminin drenajsız kayma direncini olumlu yönde arttırdığı gözlemlenmiştir. Kıyaslanan bu grupta en yüksek değerlere 24 mm fiber boylarında ulaşılmıştır.

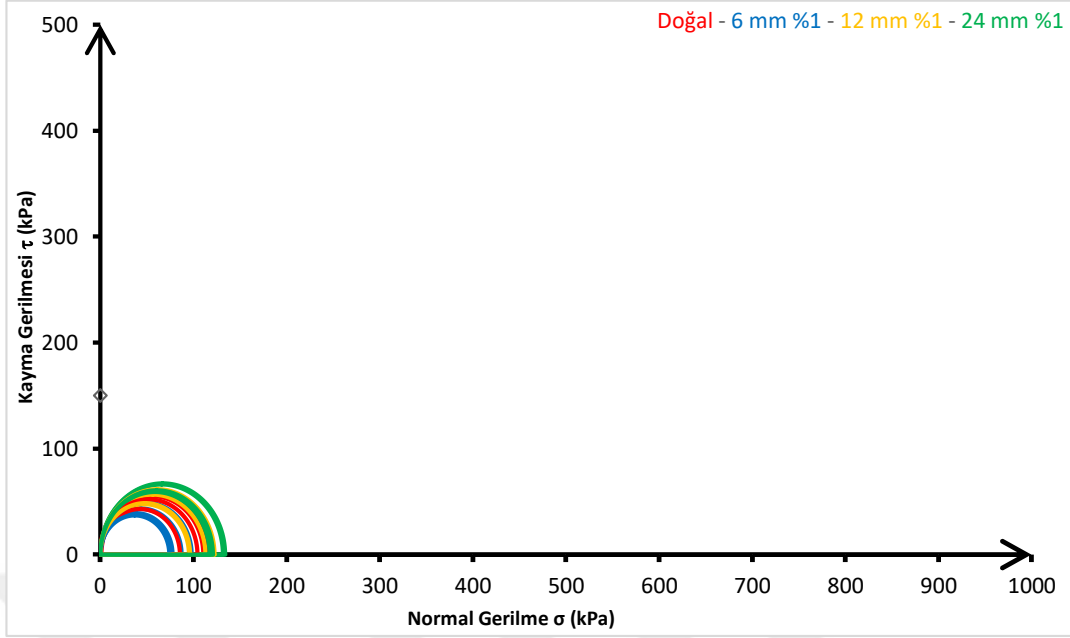
Şekil 5.17.'de doğal zemin ve ağırlıkça %3 oranında 6-12-24 mm fiber katılarak 400 ml su eklenmiş numunelerin deviator gerilmelerindeki değişimler sunulmuştur.



Şekil 5.17. 400 ml su eklenmiş doğal ve %3 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri

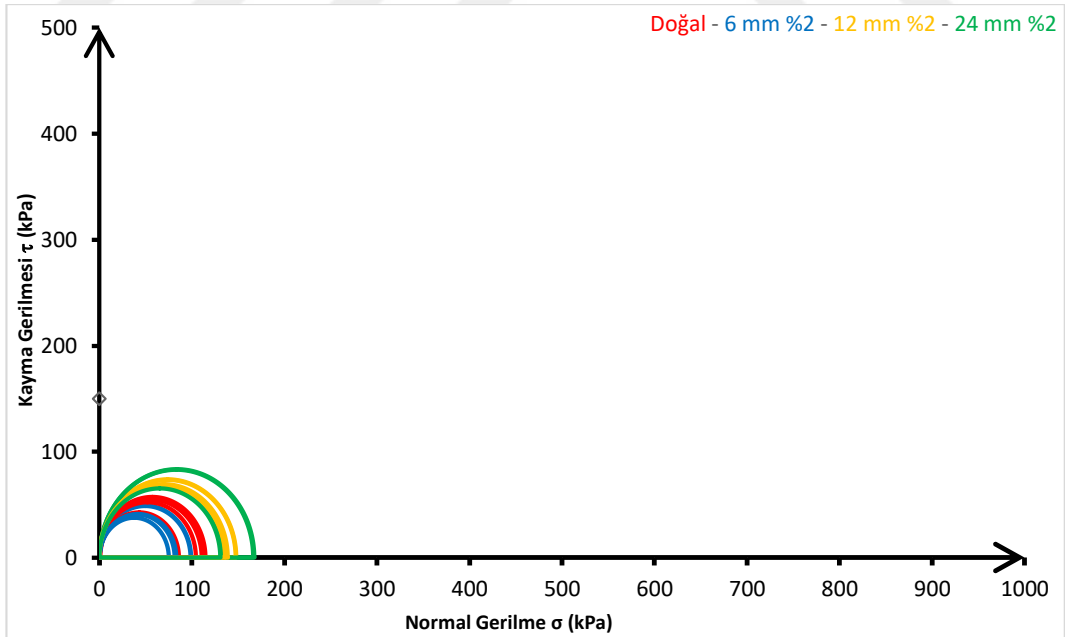
Şekil 5.17.'de 400 ml su eklenerek hazırlanan doğal zemin ve 6-12-24 mm boylarında %3 oranında fiber içeren numunelerde bazalt fiberin zeminin drenajsız kayma direncini olumlu yönde arttırdığı gözlemlenmiştir. Kıyaslanan bu grupta en yüksek değere 24 mm fiber boylarında ulaşılmıştır. Kullanılan su miktarı ve fiber oranı arttırıldığında gözlemlenen zeminin drenajsız kayma direncine olan olumlu etkiler azalma eğilimi göstermektedir.

Şekil 5.18.'de doğal zemin ve ağırlıkça %1 oranında 6-12-24 mm fiber katılarak 500 ml su eklenmiş numunelerin deviator gerilmelerindeki değişimler sunulmuştur. Kullanılan su miktarındaki artış numunelerin içerisindeki bazalt fiberlerin bir arada toplanmasına ve doğal zemine göre deviator gerilmelerde düşüşe sebep olmaktadır. Olumsuz etki en belirgin olarak 6 mm fiber kullanılan numunelerde gözlenmiştir.



Şekil 5.18. 500 ml su eklenmiş doğal ve %1 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri

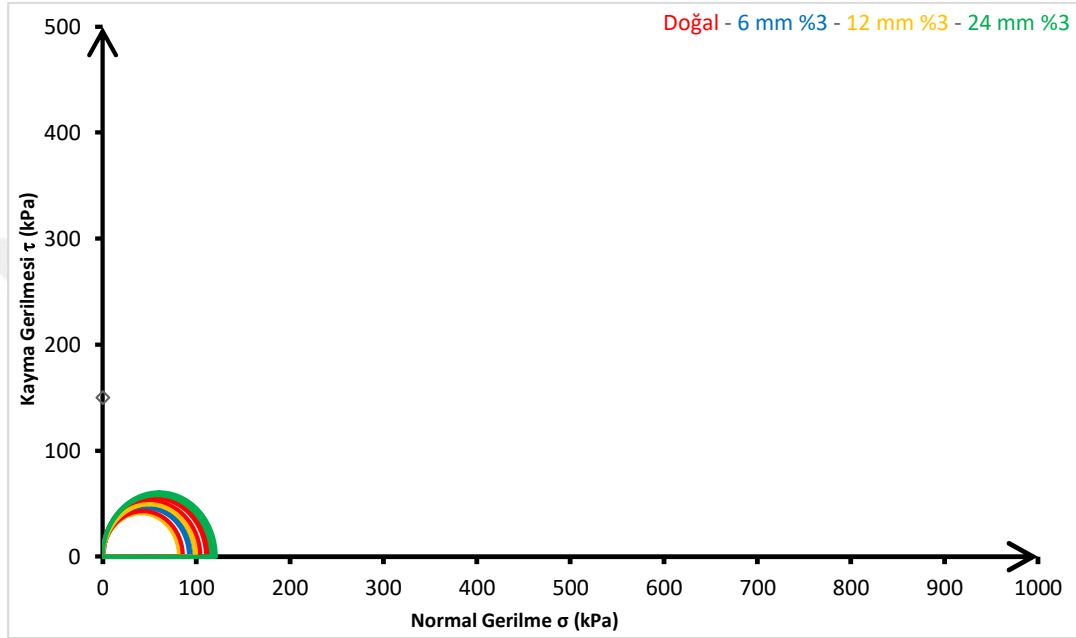
Şekil 5.19.'da doğal zemin ve ağırlıkça %2 oranında 6-12-24 mm fiber katılarak 500 ml su eklenmiş numunelerin deviatör gerilmelerindeki değişimler sunulmuştur.



Şekil 5.19. 500 ml su eklenmiş doğal ve %2 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri

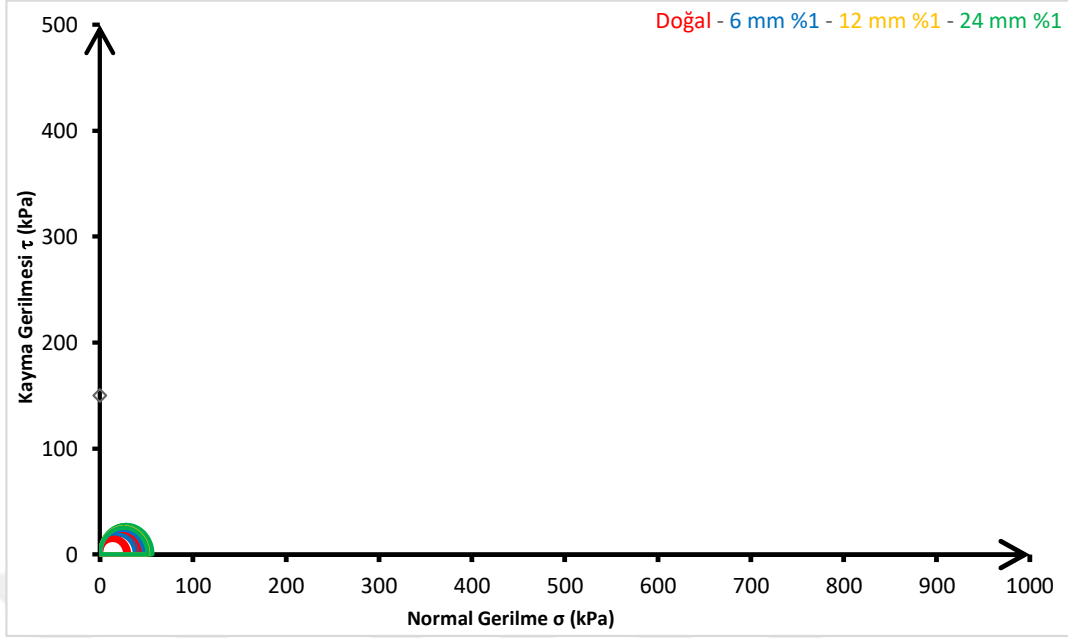
Şekil 5.19.'da 6 mm fiber kullanılan numuneler haricinde 12 mm ve 24 mm fiberlerin zeminin drenajsız kayma direncini olumlu yönde arttırdıkları gözlemlenmiştir.

Şekil 5.20.'de doğal zemin ve ağırlıkça %3 oranında 6-12-24 mm fiber katılarak 500 ml su eklenmiş numunelerin deviatör gerilmelerindeki değişimler sunulmuştur.

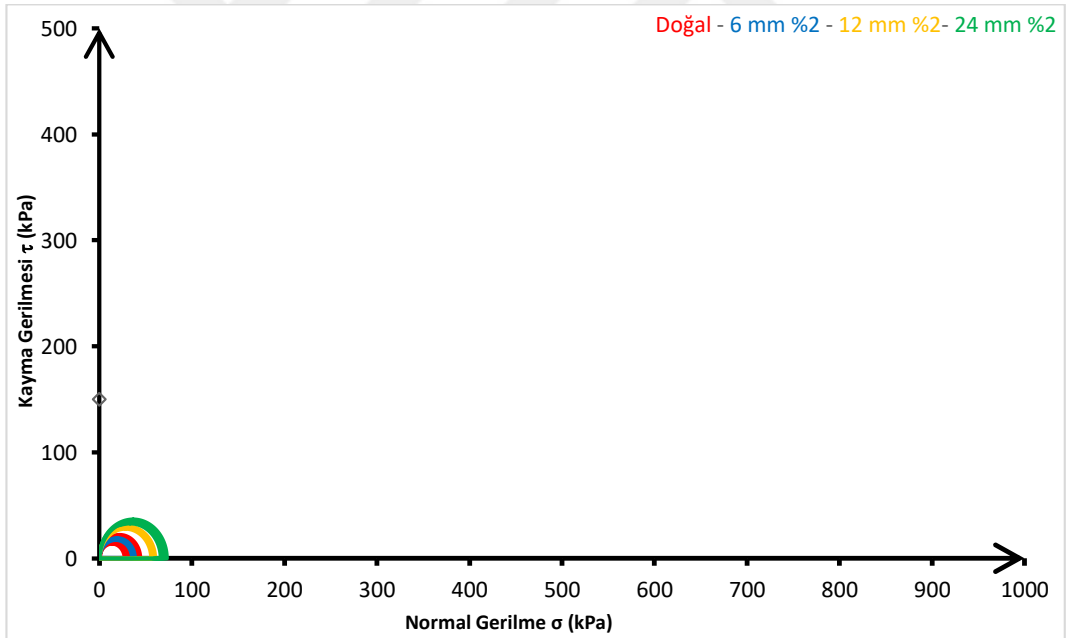


Şekil 5.20. 500 ml su eklenmiş doğal ve %3 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri

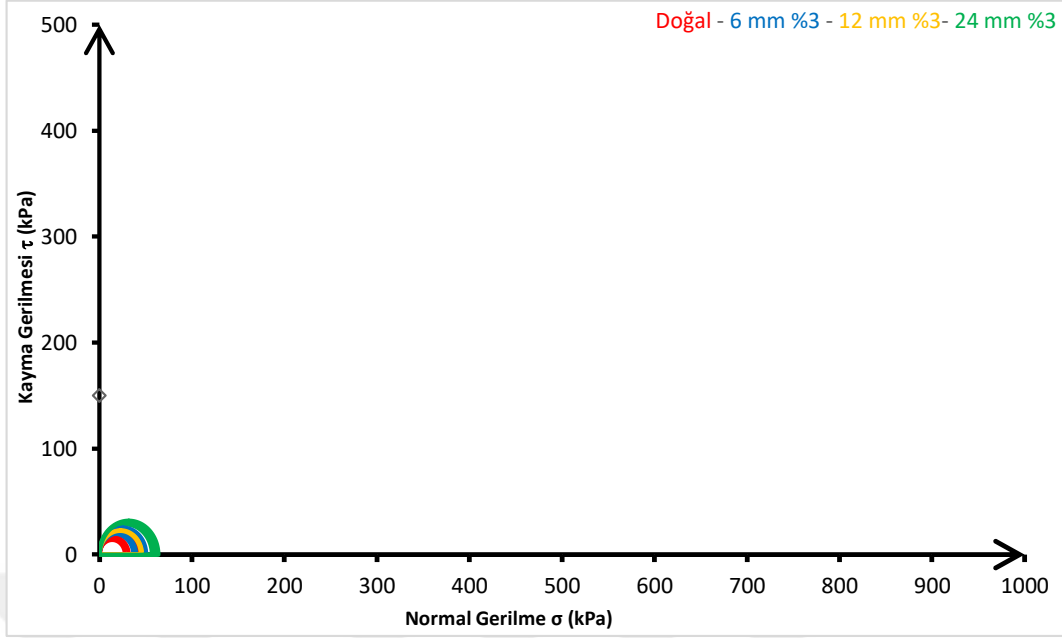
Şekil 5.21. Şekil 5.22. ve Şekil 5.23.'de doğal zemin ve ağırlıkça %1 - %2 ve %3 oranında 6-12-24 mm fiber katılarak 600 ml su eklenmiş numunelerin deviatör gerilmelerindeki değişimler sunulmuştur.



Şekil 5.21. 600 ml su eklenmiş doğal ve %1 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri



Şekil 5.22. 600 ml su eklenmiş doğal ve %2 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri

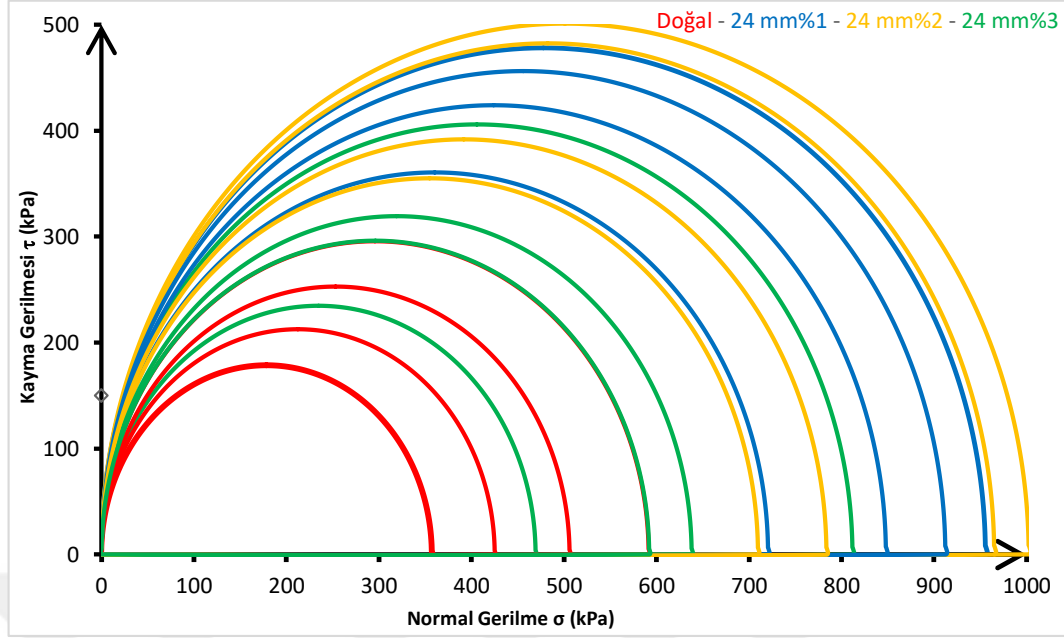


Şekil 5.23. 600 ml su eklenmiş doğal ve %3 fiber içerikli karışımlarda Mohr daireleri

Bazalt fiber eklenmiş bütün gruplardaki numunelerin genelinde fiber takviyesinin zeminin drenajsız kayma direncini olumlu yönde arttırdığı tespit edilmiştir.

Yapılan deneyler içerisinde en yüksek deviatör gerilme değerlerine 24 mm bazalt fiber kullanılan numunelerde ulaşılmıştır.

Şekil 5.24.'de doğal zemin ve ağırlıkça %1 - %2 ve %3 oranında 24 mm fiber katılarak 300 ml su eklenmiş numunelerin deviatör gerilmelerindeki değişimler sunulmuştur.



Şekil 5.24. Doğal zemin ve 24 mm fiber ağırlıkça %1- %2 ve %3 katkılı 300 ml su eklenmiş numunelerin dayanımı

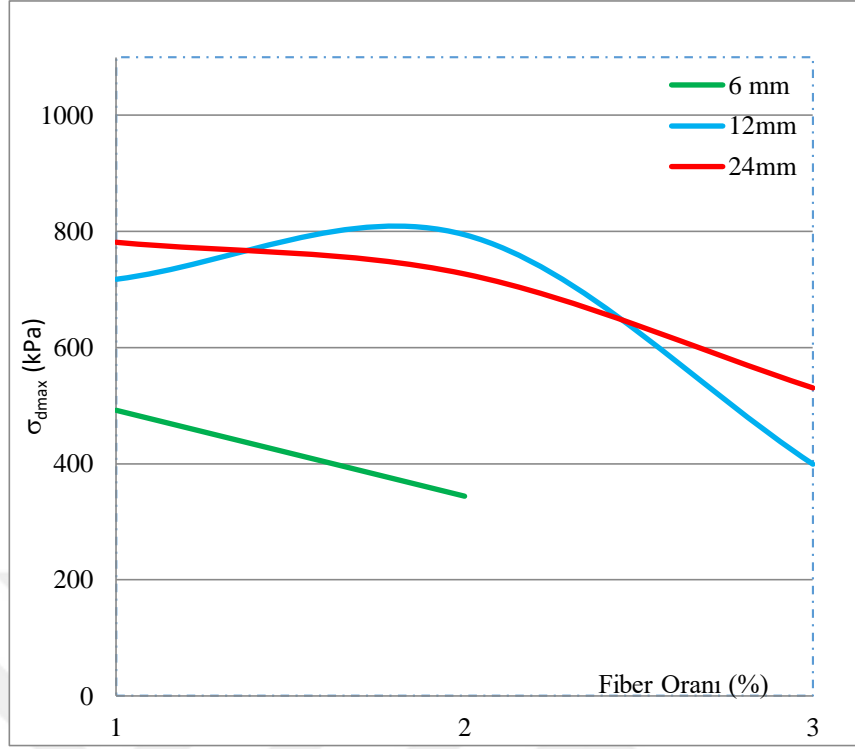
Şekil 5.24’de görüldüğü üzere 24 mm bazalt fiberler kendi içinde değerlendirildiğinde ise ağırlıkça %2 bazalt fiber eklenmiş numunelerde en yüksek kayma direnci değerlerine ulaşılmıştır.

5.3.3. Fiber oranı etkisi

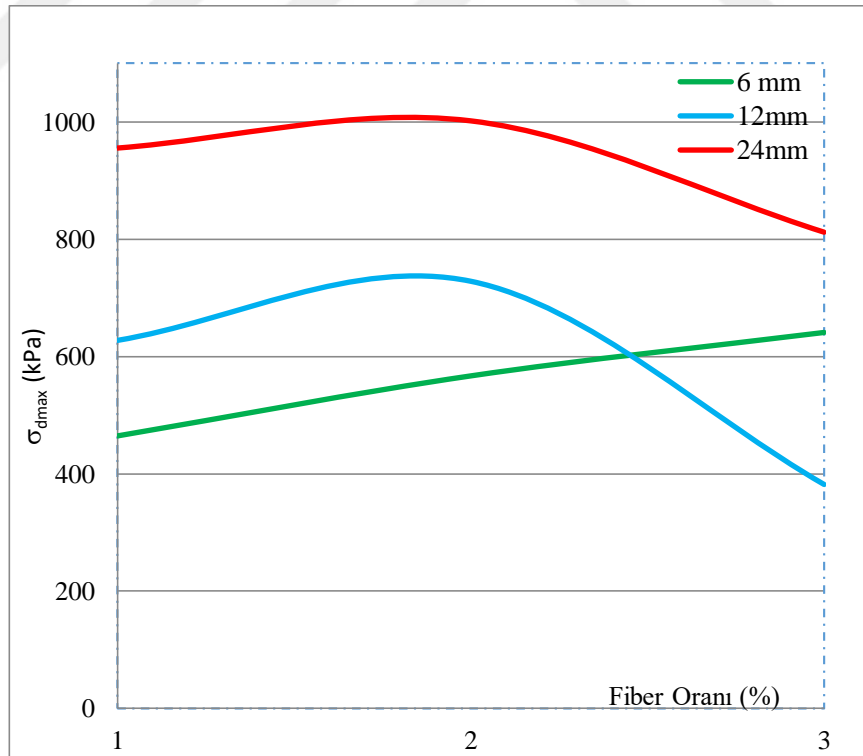
Farklı su muhtevalarında hazırlanmış killi zeminlerin drenajsız kayma direncine bazalt fiber katılmasının etkisi Şekil 5.25., 5.26., 5.27., 5.28. ve 5.29.’da gösterilmektedir.

12 mm uzunluğunda fiber kullanılan numunelerde fiber içeriği arttıkça dayanımlar önce artmakta ve sonrasında düşmektedir. 12 mm fiber uzunluğu kullanılan numunelerde fiber oranı %2 olduğunda maksimum deviator gerilme değerlerine ulaşılmıştır.

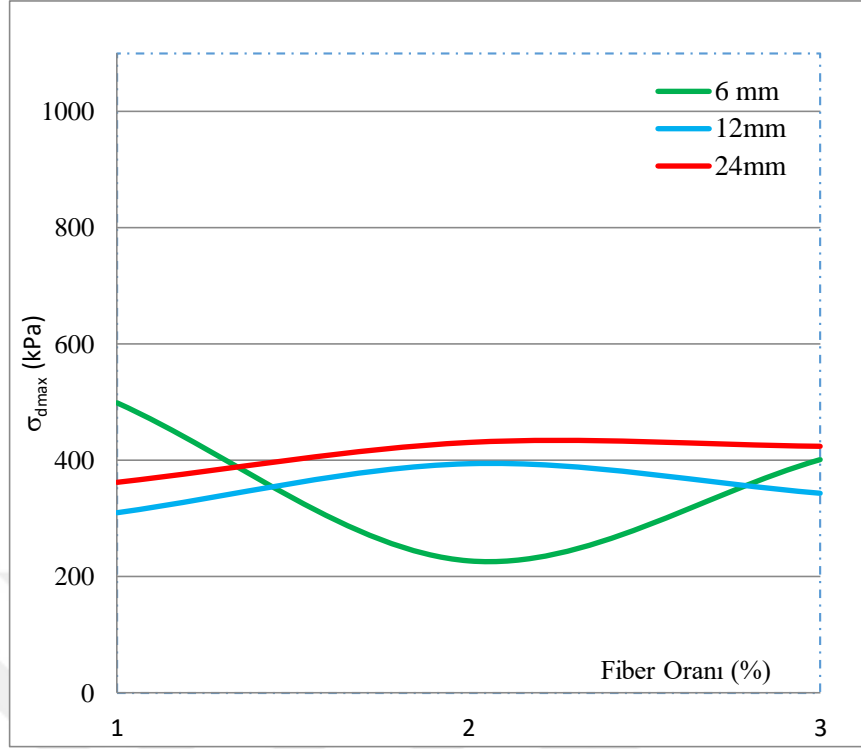
24 mm uzunluğunda fiber içeren numunelerde 200 ml su katkısıyla oluşturulan numuneler haricinde fiber oranı arttıkça dayanımlar önce artmakta sonra azalmaktadır.



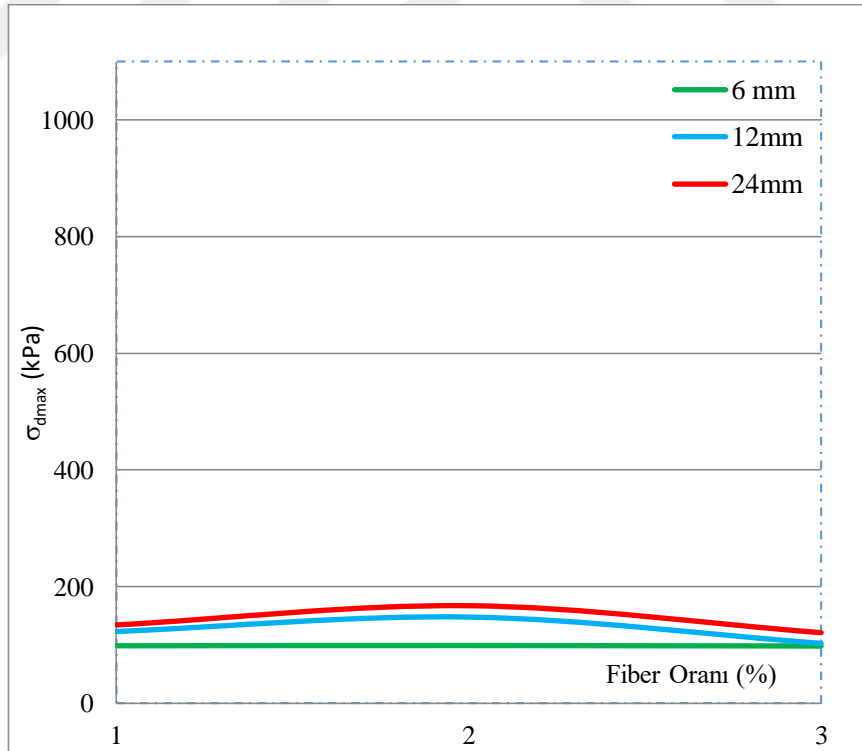
Şekil 5.25. Dayanım- fiber oranı ilişkisi (Su: 200 ml)



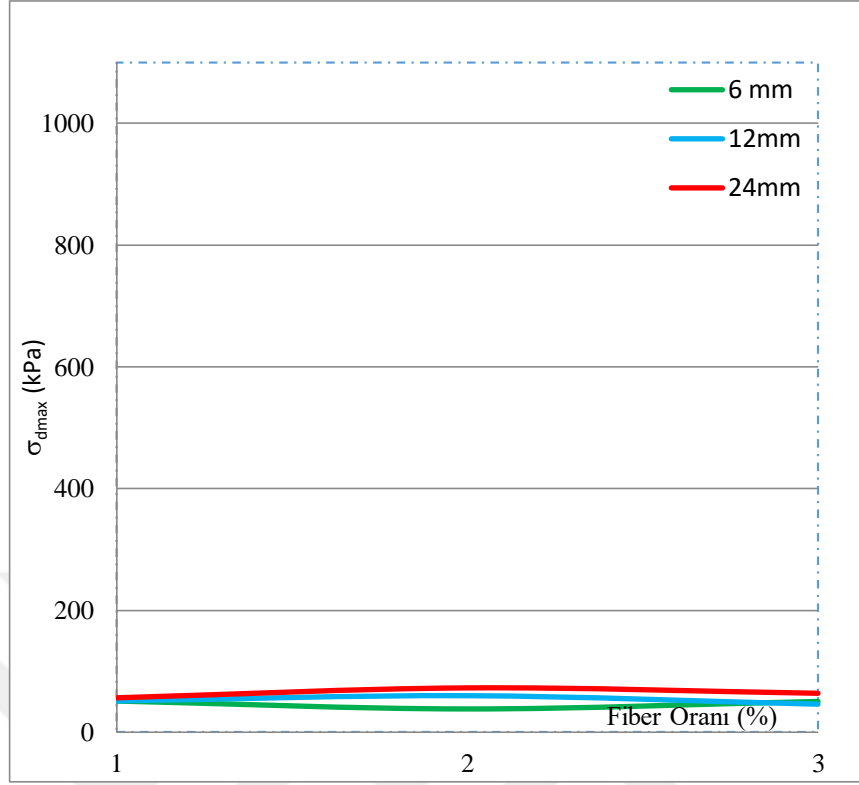
Şekil 5.26. Dayanım- fiber oranı ilişkisi (Su: 300 ml)



Şekil 5.27. Dayanım- fiber oranı ilişkisi (Su: 400 ml)



Şekil 5.28. Dayanım- fiber oranı ilişkisi (Su: 500 ml)

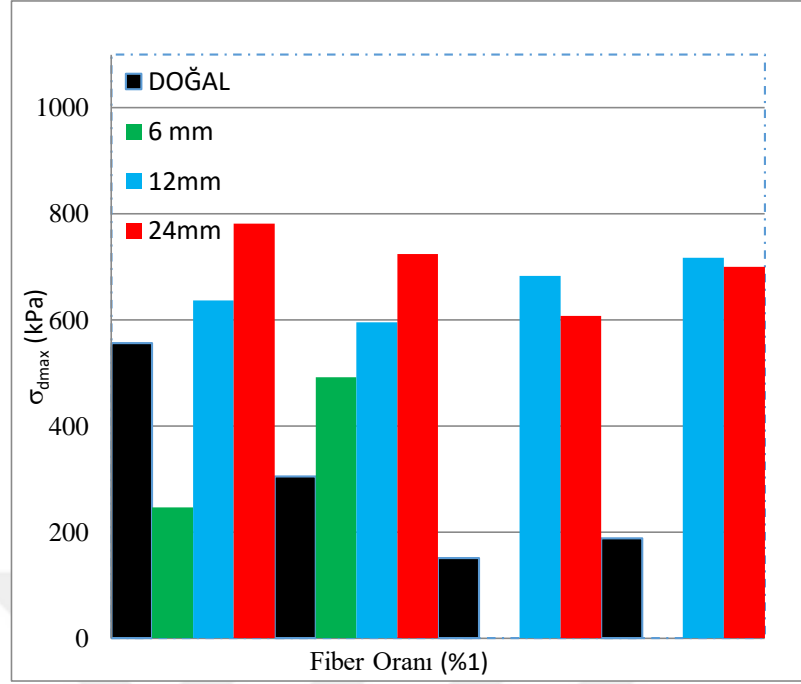


Şekil 5.29. Dayanım- fiber oranı ilişkisi (Su: 600 ml)

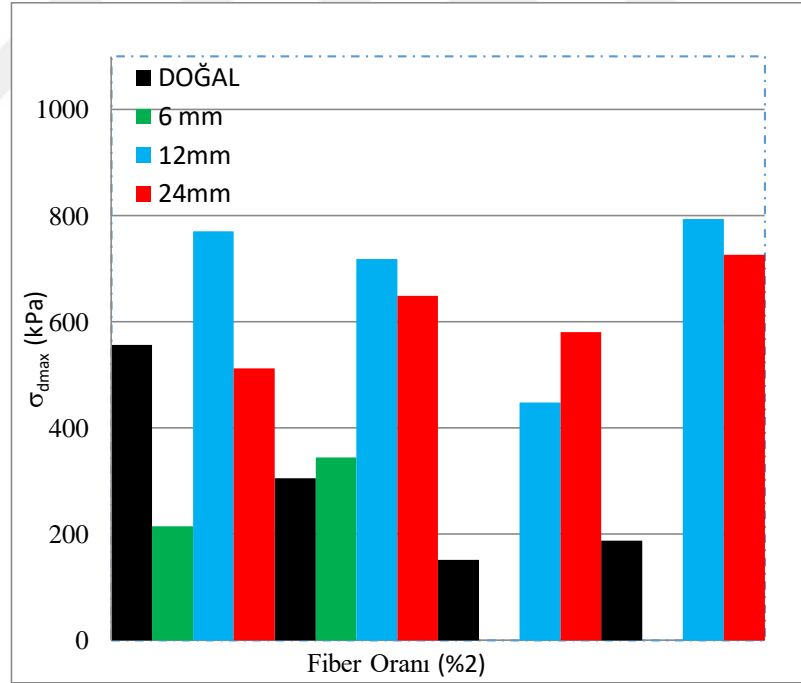
Çalışma ile bazalt fiber oranının belli bir değere kadar dayanımın arttığı, dayanımda maksimuma ulaşıldıktan sonra fiber oranı ve dayanımın doğru orantılı olmadığı görülmüştür. Fiber oranı arttıkça fiberlerin zemin içinde homojen dağılımı zorlaşmaktadır. Bu sebeple fiber takviyesinin %2 fiber oranı için optimum gerilmelere ulaştığı ve en yüksek dayanım değerlerine 24 mm'lik fiber eklenmiş numunelerde ulaşıldığı görülmektedir.

5.3.4. Fiber boyu etkisi

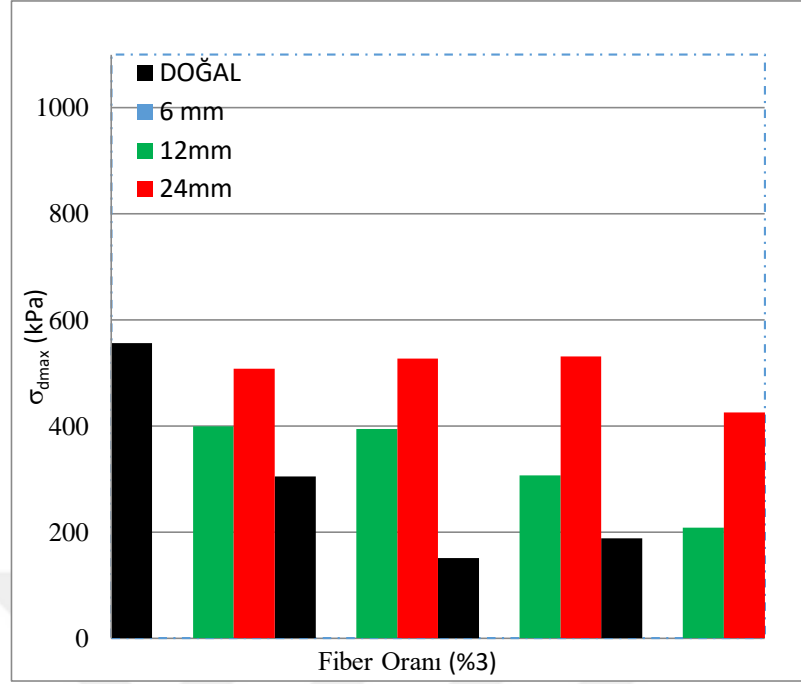
Farklı su muhtevalarındaki bazalt fiberli numunelerde fiber boyunun killi zeminin drenajsız kayma direnci üzerindeki etkisi Şekil 5.30., 5.31., 5.32., 5.33., 5.34., 5.35., 5.36., 5.37., 5.38., 5.39., 5.40., 5.41., 5.42., 5.43. ve 5.44.'de gösterilmektedir.



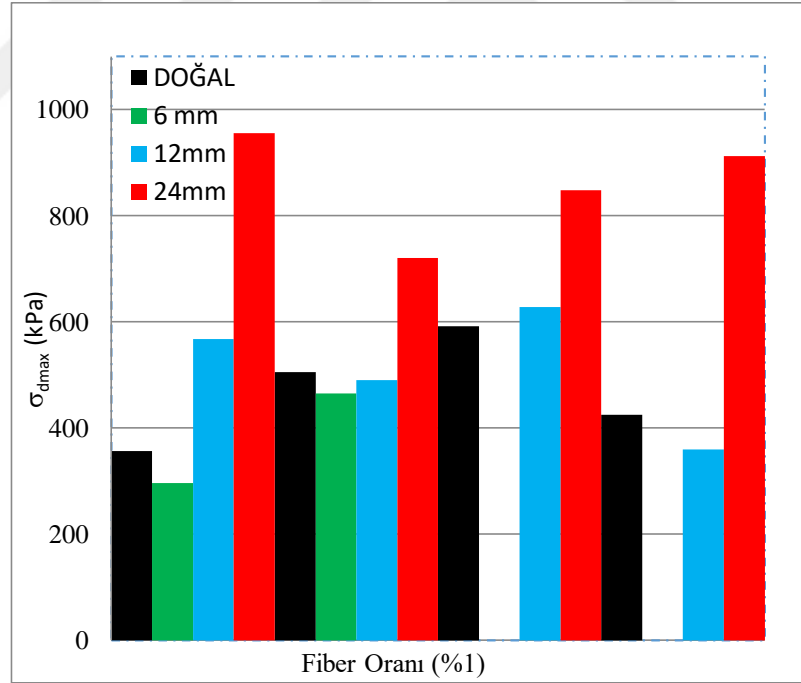
Şekil 5.30. %1 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 200 ml)



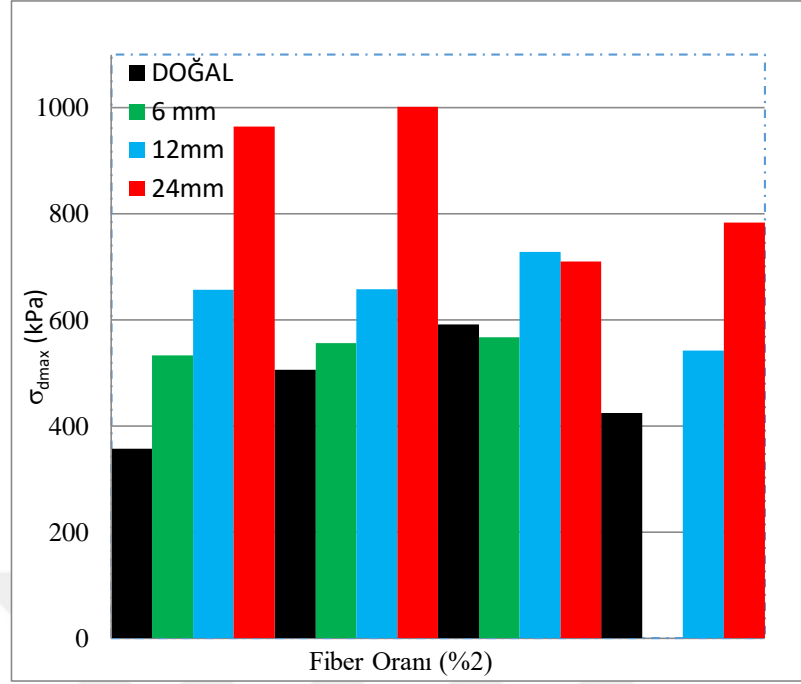
Şekil 5.31. %2 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 200 ml)



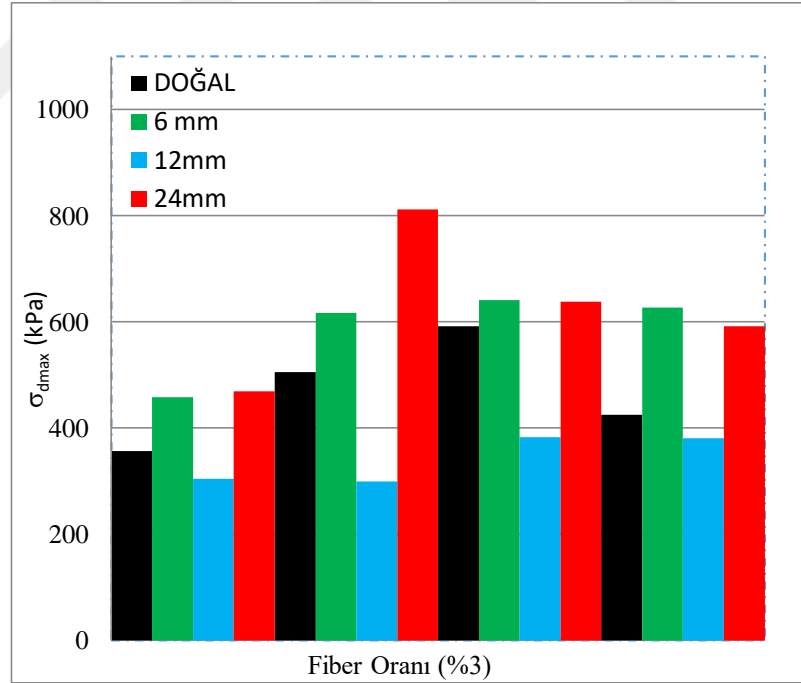
Şekil 5.32. %3 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 200 ml)



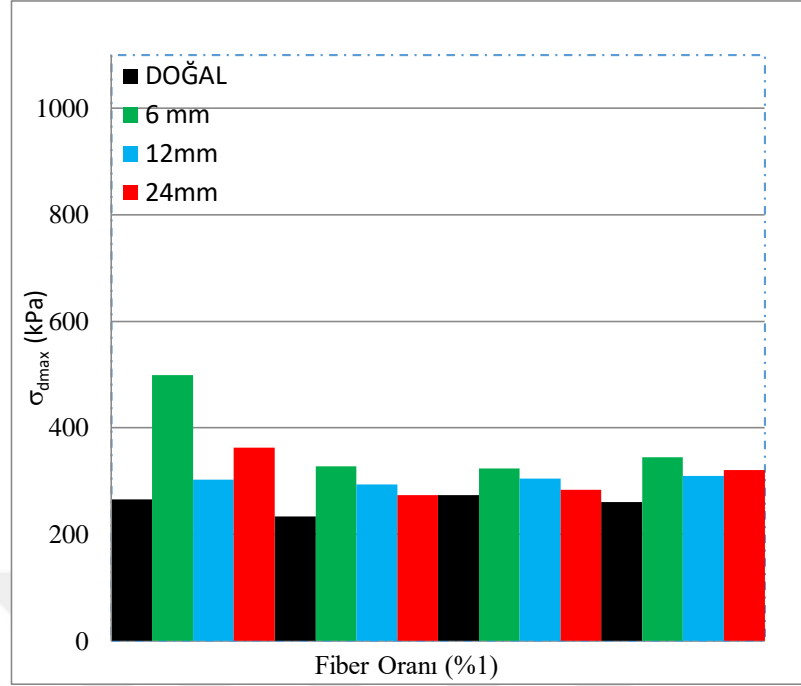
Şekil 5.33. %1 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 300 ml)



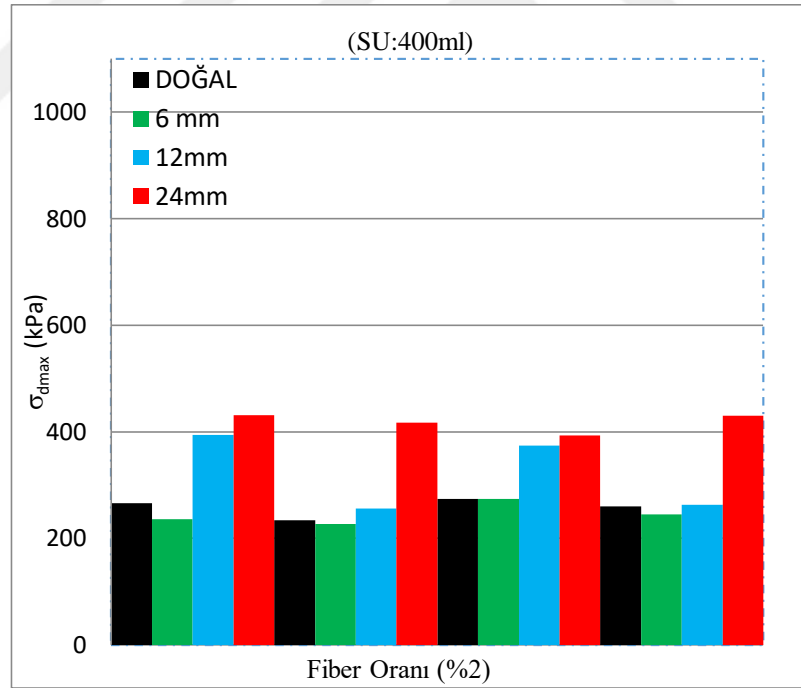
Şekil 5.34. %2 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 300 ml)



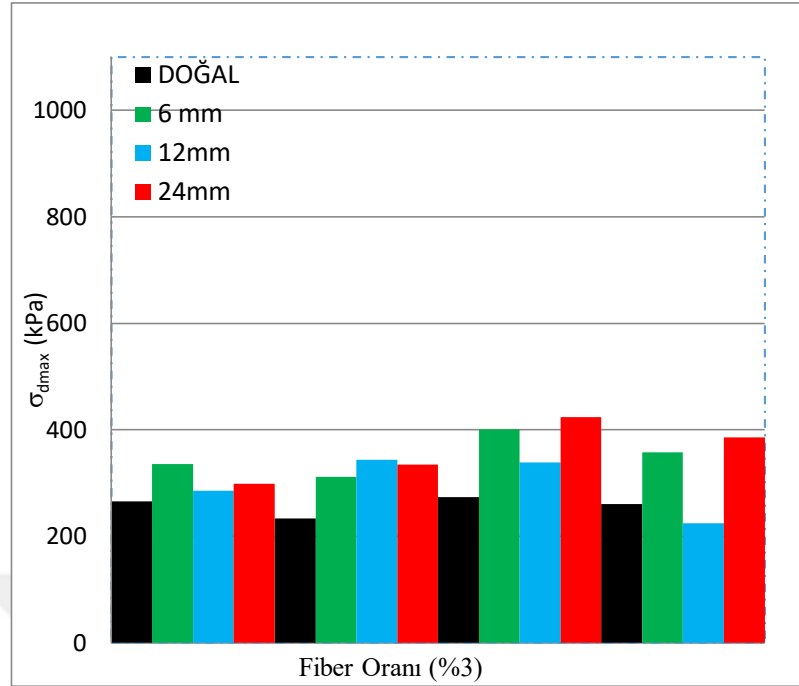
Şekil 5.35. %3 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 300 ml)



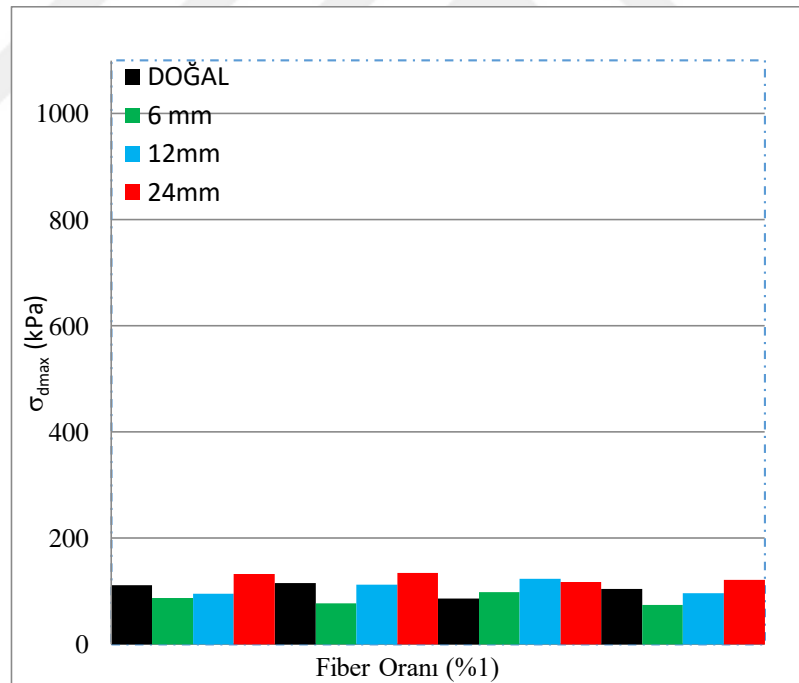
Şekil 5.36. %1 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 400 ml)



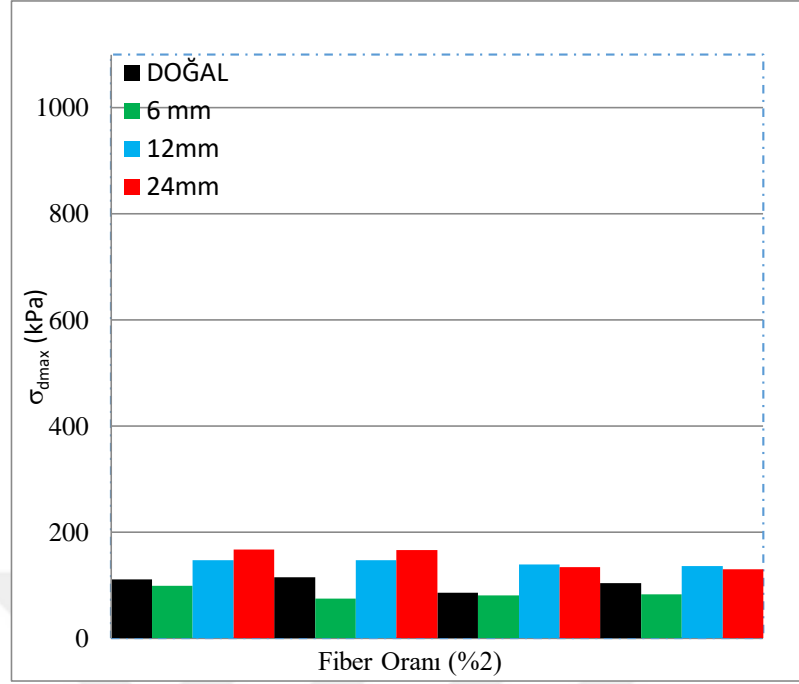
Şekil 5.37. %2 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 400 ml)



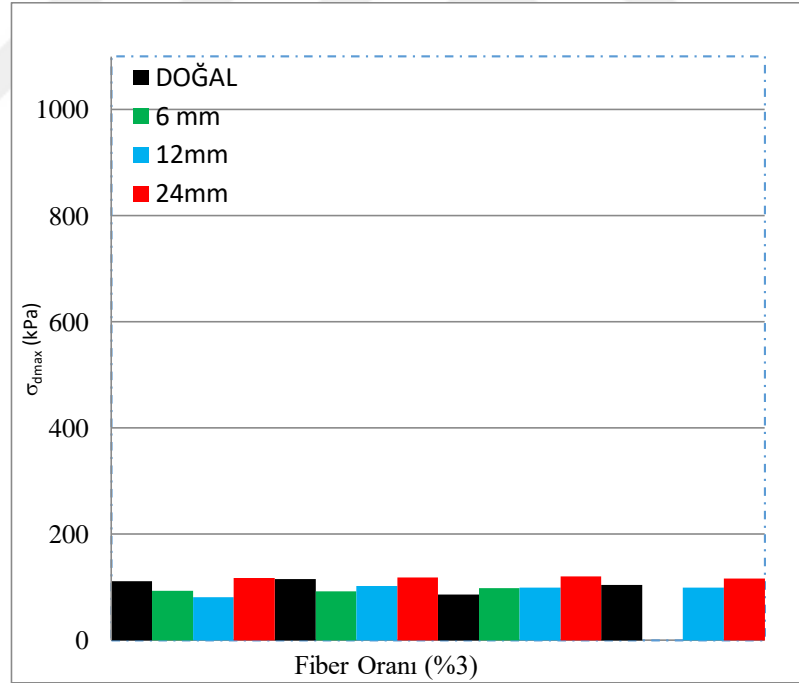
Şekil 5.38. %3 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 400 ml)



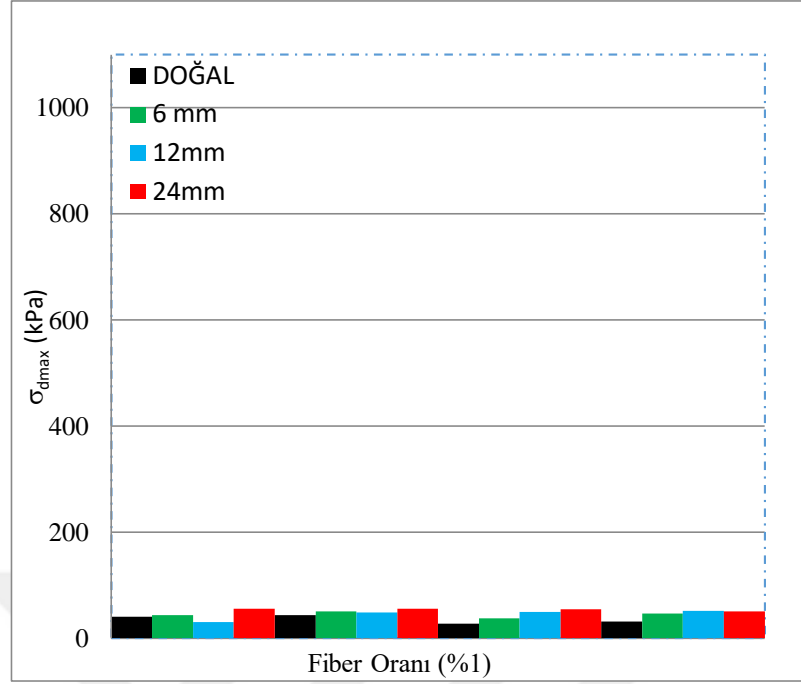
Şekil 5.39. %1 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 500 ml)



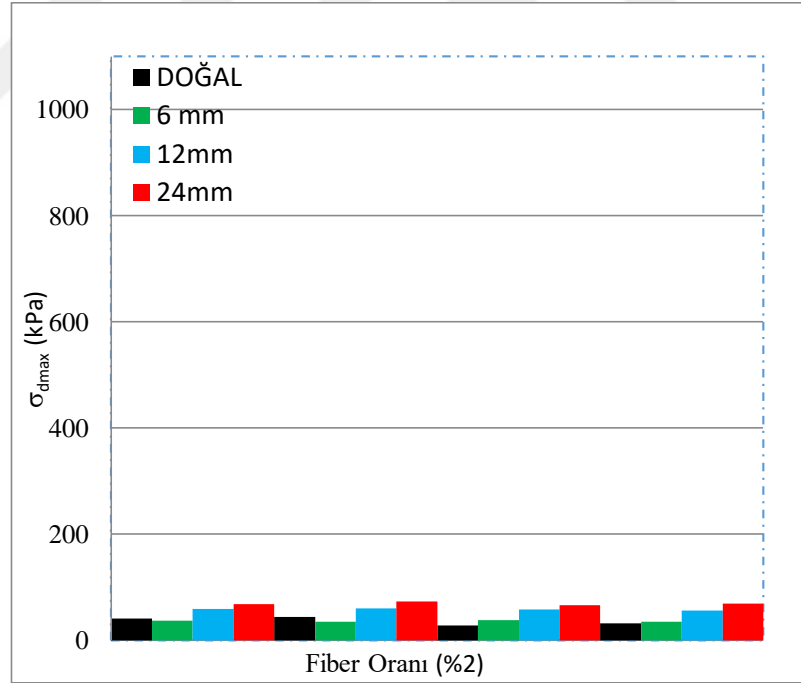
Şekil 5.40. %2 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 500 ml)



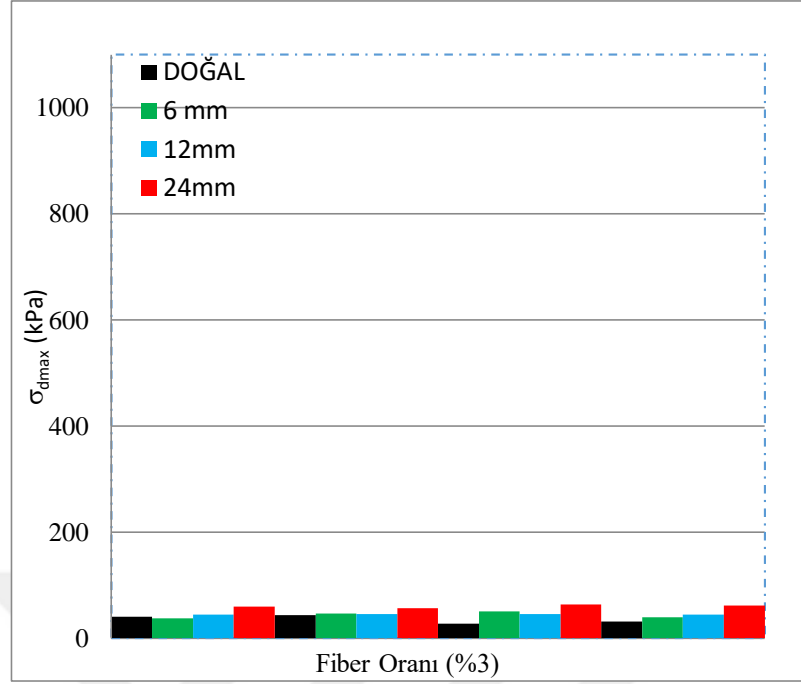
Şekil 5.41. %3 fiber katkılı zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 500 ml)



Şekil 5.42. %1 fiber katkıli zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 600 ml)



Şekil 5.43. %2 fiber katkıli zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 600 ml)



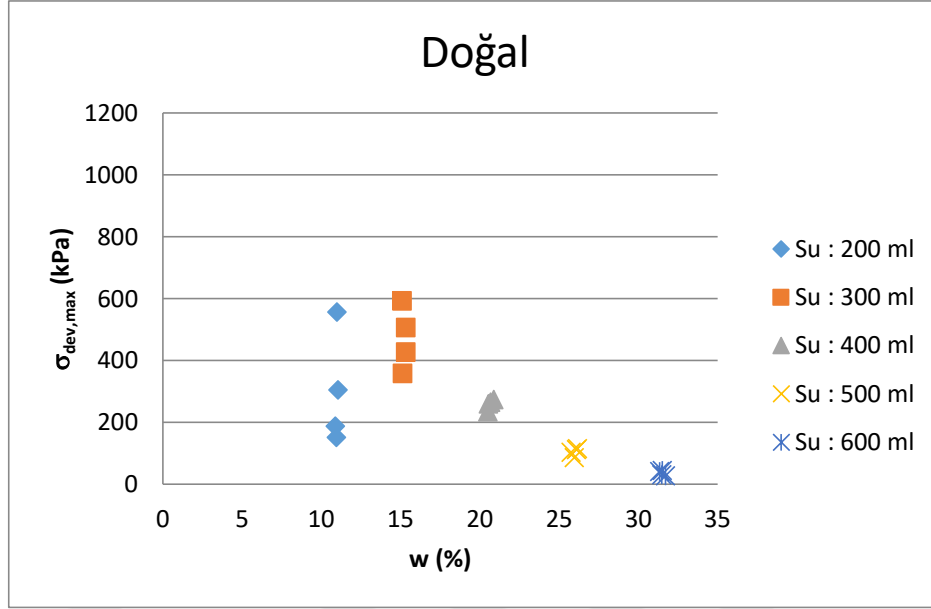
Şekil 5.44. %3 fiber katkıli zeminde dayanım-fiber boyu ilişkisi (Su: 600 ml)

Fiber boyunun dayanıma etkisi ile ilgili yukarıdaki şekiller incelendiğinde, fiber oranları aynı olduğu durumlarda, fiber katkıli killi zemin numunelerinin dayanımlarının fiber boyunun artırılması sonucu sürekli olarak arttığı gözlenmektedir.

Kullanılan fiber boylarını arttırmak kil zeminin drenajsız kayma direncine pozitif yönde etki etmektedir. Genel eğilime bakıldığında en yüksek değerlere 24 mm fiber kullanılan numunelerde ulaşılmakla birlikte bu grupta bu eğilime ters olarak en yüksek değere 6 mm uzunluğundaki fiberlerin kullanıldığı bir numunede ulaşılmıştır.

5.3.5. Farklı su muhtevalarının numunelerin dayanımlarına etkisi

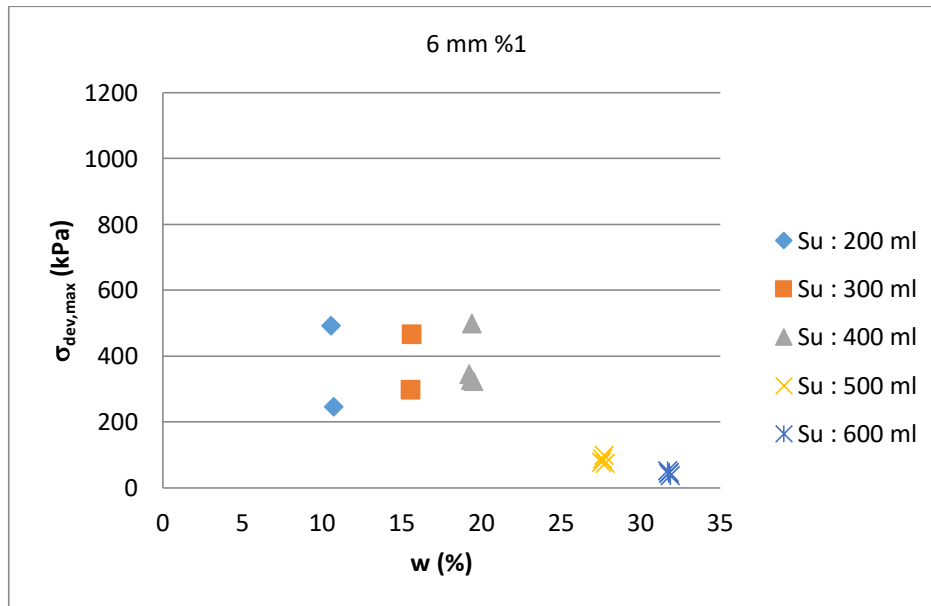
Şekil 5.45. doğal zemin numunelerinin farklı su muhtevalarındaki davranışlarını göstermektedir.



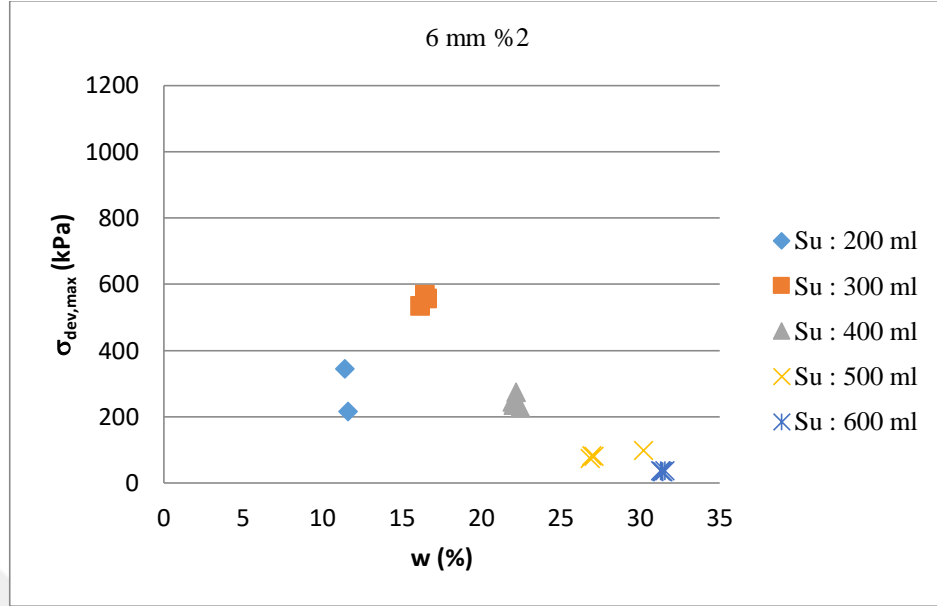
Şekil 5.45. Doğal zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı

Doğal zemin için su muhtevası %15 seviyelerine yaklaştığında Şekil 5.45.'de görüldüğü gibi maksimum deviator gerilmelere ulaşılmış, su muhtevsındaki devam eden artış daneler arasındaki bağları zayıflatmış ve dayanımını giderek azaltmıştır.

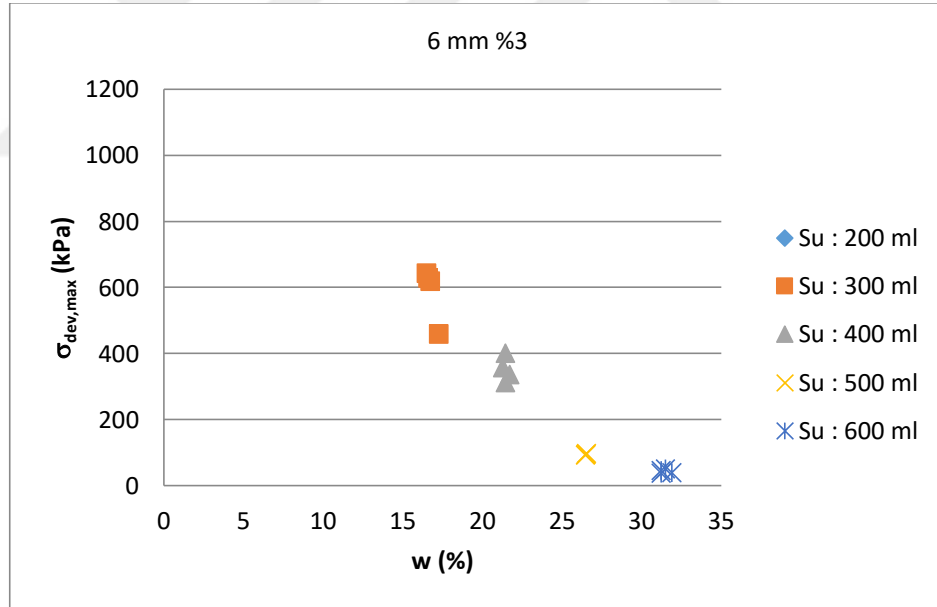
Şekil 5.46., Şekil 5.47. ve Şekil 5.48. ağırlıkça %1 - %2 ve %3 oranlarında 6 mm bazalt fiber kullanılmış zemin numunelerinin farklı su muhtevalarındaki davranışlarını göstermektedir.



Şekil 5.46. 6 mm %1 bazalt fiber katkıli zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı

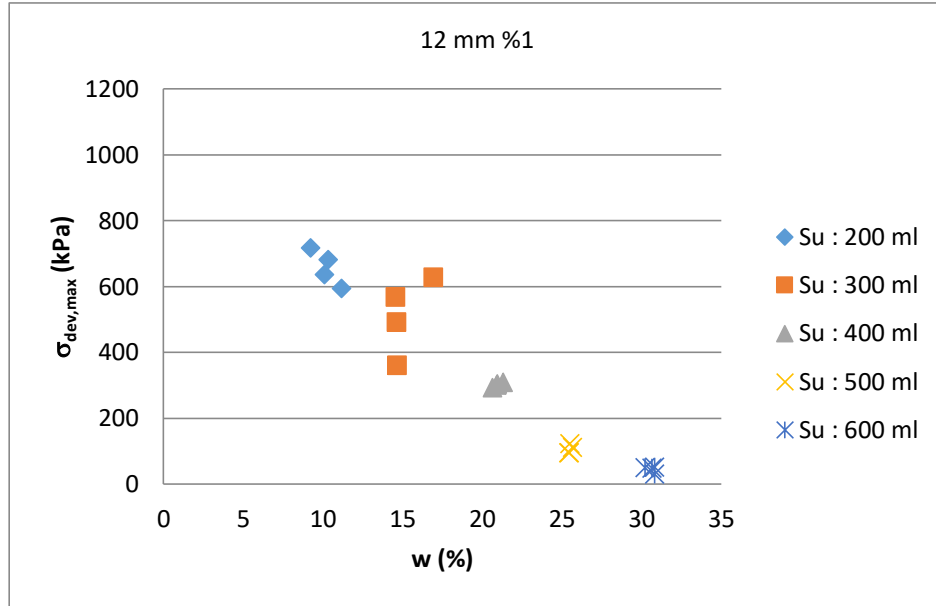


Şekil 5.47. 6 mm %2 bazalt fiber katkıli zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı

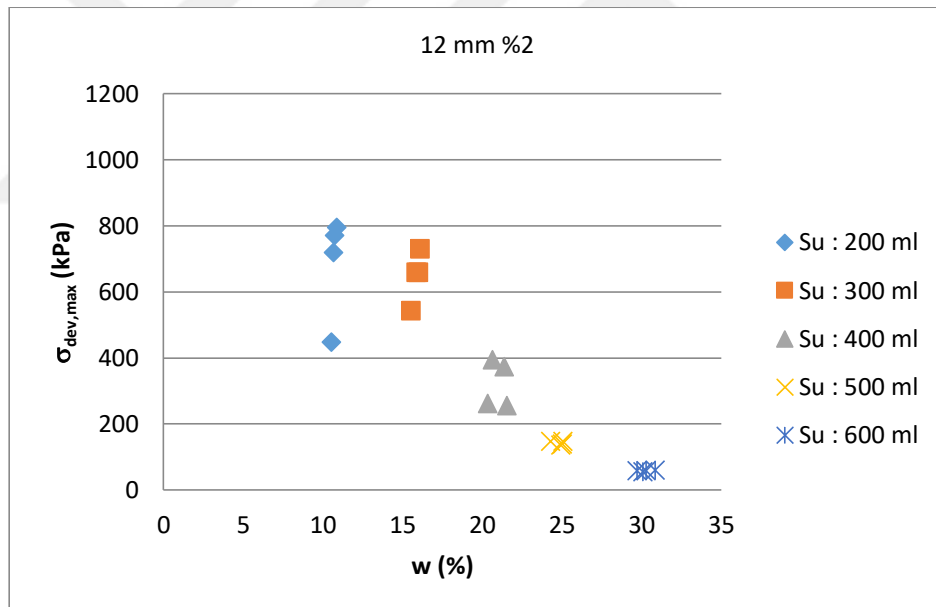


Şekil 5.48. 6 mm %3 bazalt fiber katkıli zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı

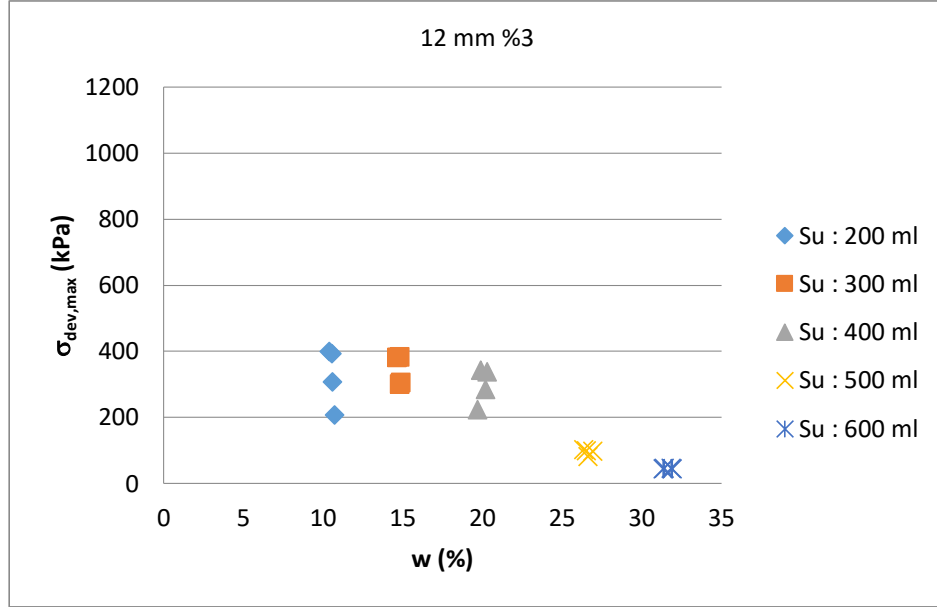
Şekil 5.49., Şekil 5.50. ve Şekil 5.51. ağırlıkça %1 - %2 ve %3 oranlarında 12 mm bazalt fiber kullanılmış zemin numunelerinin farklı su muhtevalarındaki davranışlarını göstermektedir.



Şekil 5.49. 12 mm %1 bazalt fiber katkıli zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı

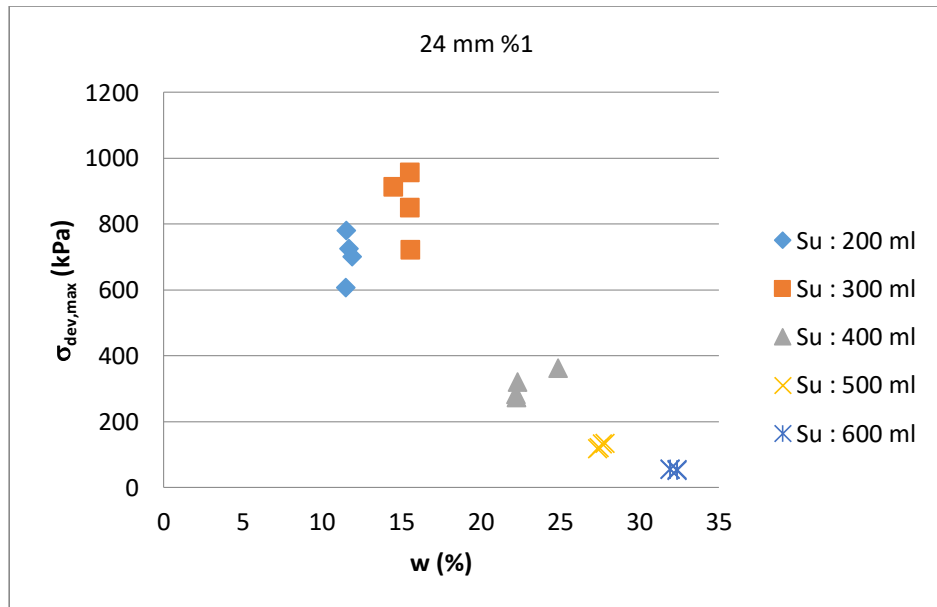


Şekil 5.50. 12 mm %2 bazalt fiber katkıli zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı

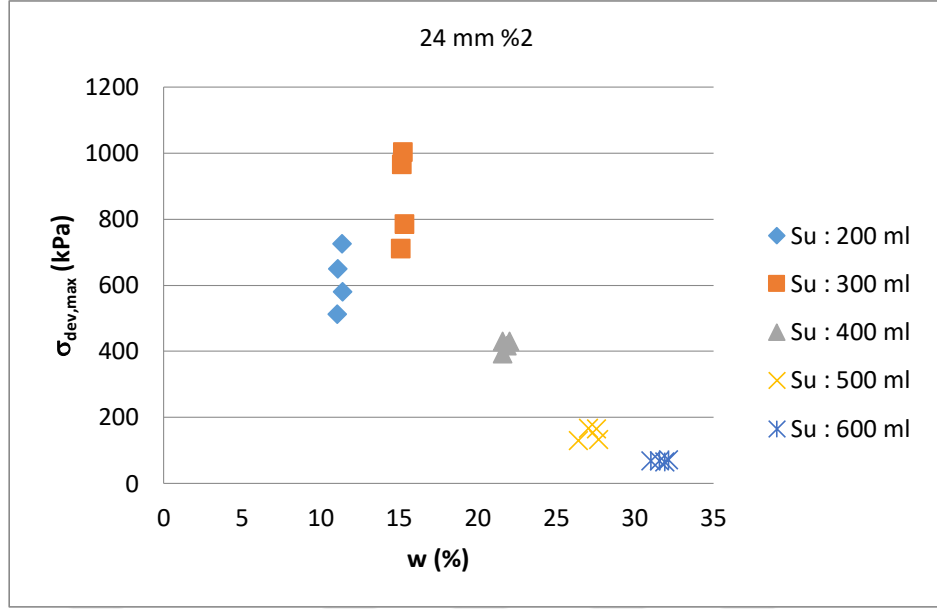


Şekil 5.51. 12 mm %3 bazalt fiber katkılı zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı

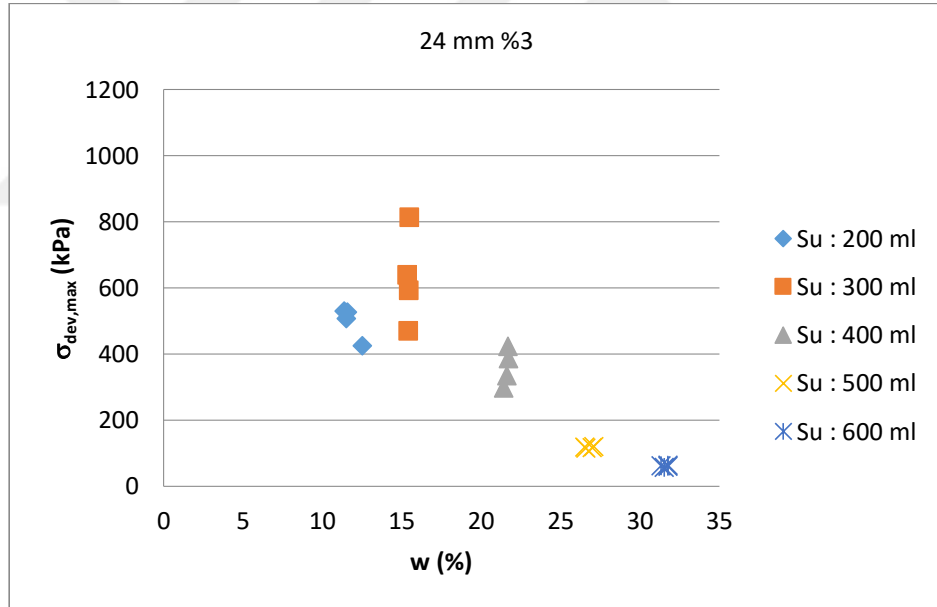
Şekil 5.52., Şekil 5.53. ve Şekil 5.54. ağırlıkça %1 - %2 ve %3 oranlarında 24 mm bazalt fiber kullanılmış zemin numunelerinin farklı su muhtevalarındaki davranışlarını göstermektedir.



Şekil 5.52. 24 mm %1 bazalt fiber katkılı zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı



Şekil 5.53. 24 mm %2 bazalt fiber katkılı zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı



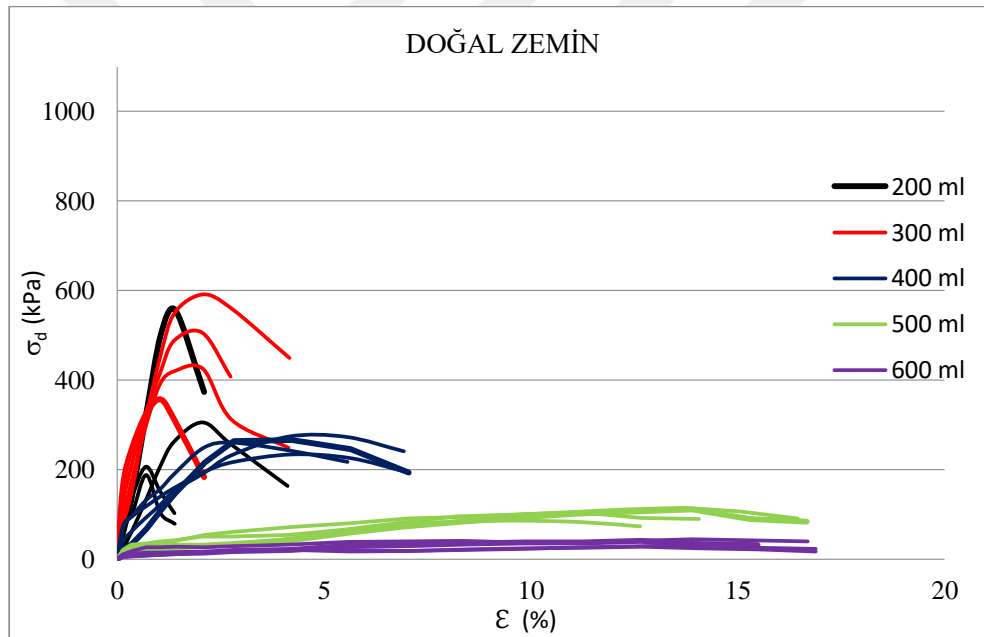
Şekil 5.54. 24 mm %3 bazalt fiber katkılı zeminin farklı su muhtevalarındaki dayanımı

Deneyde kullanılan farklı su muhtevalarındaki bütün numuneler değerlendirildiğinde 200 ml su eklenen tüm numunelerin kolayca dağıldığı ve bu zemin danelerinin görece kuru olmaları nedeniyle daneler arasında iyi bir bağ oluşmadığı gözlenmiştir. Ayrıca 300 ml ve 400 ml su için daneler arasında daha iyi bir kohezyon oluşmaktadır. Ancak su içeriği arttığında zeminin kayma mukavemetinde düşüş yaşanmaktadır. Su

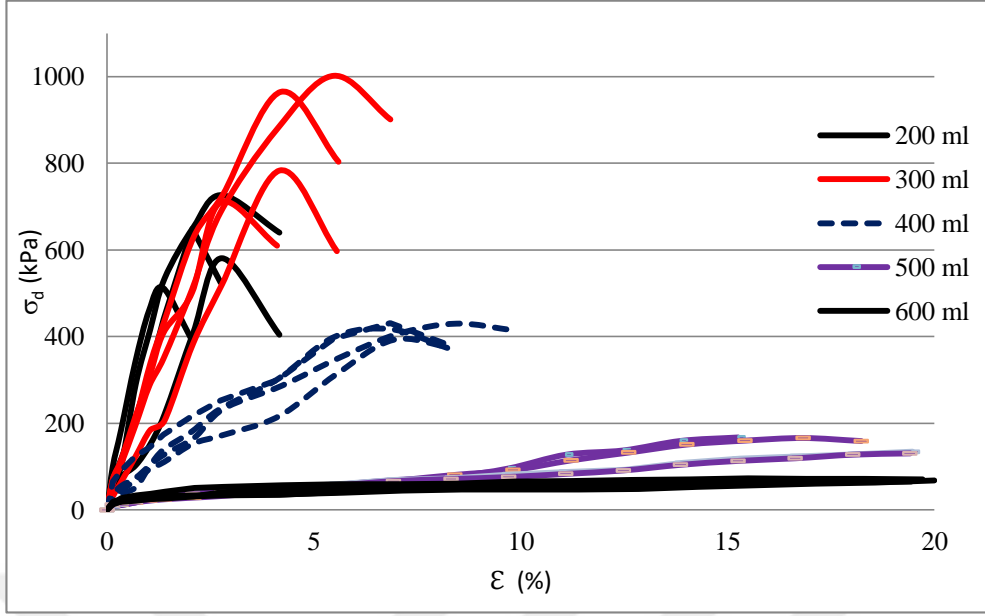
muhtevaları baz alınarak hazırlanan grafikler bütünüyle değerlendirildiğinde optimum su muhtevası %15 değerine yakınsamaktadır.

5.3.6. Farklı su muhtevsındaki 24 mm fiber ile hazırlanan numunelerin dayanımları

Yapılan deneysel çalışma sonuçları değerlendirildiğinde kil zeminin drenajsız kayma direncine en olumlu katkıyı ağırlıkça %2 oranında kullanılan 24 mm boyunda fiberin sağladığı sonucuna varılmıştır. Şekil 5.55. ve Şekil 5.56.'da 24 mm bazalt fiber kullanılan numunelerdeki gerilme-şekil değişim ilişkileri bütün olarak grafik halinde sunulmuştur.



Şekil 5.55. Doğal zeminin farklı su muhtevalarında gerilme-şekil değiştirme ilişkisi



Şekil 5.56. 24 mm uzunluğunda bazalt fiberin %2 oranında katkı zeminin farklı su muhtevalarında gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

Şekil 5.55. ve Şekil 5.56.'da sunulan veriler incelendiğinde zeminin doğal ya da fiber katkı olması fark etmeksizin numune içerisinde su oranı arttırıldığında numunelerin yumuşamaya maruz kaldığı ve kayma yüzeyi oluşmadan birim şekil değişimlerinin %20'ye doğru yaklaştığı gözlemlenmektedir.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tezinde yürütülen çalışmalarda bazalt fiberin kil zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabileceği ortaya konmuştur. Doğal ve bazalt fiber katkılı olarak hazırlanan numunelerin kullanıldığı bu çalışmada Serbest Basma Deneyleri (UC) yapılarak malzeme davranışı tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında 20 adedi doğal numunelerde, 180 adedi bazalt fiber katkılı numunelerde olmak üzere toplamda 200 numune üzerinde serbest basma deneyi (UC) gerçekleştirilmiştir. Bazalt fiber farklı boy ve oranlarda kullanılarak, fiber boy ve oranının zeminlerin kayma direncini artırıcı etkisi gözlemlenmiştir. Deneylerde kullanılan kil Zemin Düzce İlinden getirilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında mekanik deneyler için 2000 gr'lık doğal zemin örnekleri 200 ml – 300 ml – 400 ml – 500 ml ve 600 ml su ilave edilerek karıştırılmış ve standart Proktor aleti ile sıkıştırılmıştır. Kompaksiyondan elde edilen her bir numuneden 4'er adet silindirik numune alınarak serbest basma deneyleri yapılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında aynı oranda su eklenmiş doğal zemine 6 mm – 12 mm – 24 mm boylarında bazalt fiberler, %1 - %2 ve %3 oranlarında karıştırılarak standart proktor enerjisi ile sıkıştırılmış ve kompaksiyon sonucunda oluşturulan silindirik numuneler üzerinde serbest basma deneyleri yapılmıştır.

Ayrıca makroskopik görüntüler ve mikroyapı arasında bir bağlantı oluşturmak için SEM analizleri hem doğal zemin hem de bazalt ile iyileştirilmiş zemin üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

1. 6 mm uzunluğundaki bazalt fiber katkısıyla oluşturulan numuneler üzerinde gerçekleştirilen serbest basma deneyleri sonucunda en yüksek dayanım artışı 400ml su kullanılarak hazırlanan %3 bazalt fiberli karışımda gerçekleşmiş olup şahit numuneye göre %46,44 iyileşme elde edilmiştir.

2. 12 mm uzunluğundaki bazalt fiber katkısıyla oluşturulan numuneler üzerinde gerçekleştirilen serbest basma deneyleri sonucunda en yüksek dayanım artışı 400 ml su kullanılarak hazırlanan %2 bazalt fiberli karışımda gerçekleşmiş olup şahit numuneye göre %43,85 iyileşme elde edilmiştir.
3. 24 mm uzunluğundaki bazalt fiber katkısıyla oluşturulan numuneler üzerinde gerçekleştirilen serbest basma deneyleri sonucunda en yüksek dayanım artışı 300ml su kullanılarak hazırlanan %2 bazalt fiberli karışımda gerçekleşmiş olup şahit numuneye göre %69,47 iyileşme elde edilmiştir.

Bazalt fiber katkısının zeminin drenajsız kayma direnci üzerinde olumlu etkileri olduğu anlaşılmıştır. Serbest basma deney verilerine göre en yüksek dayanım artışı 24 mm bazalt fiberin ağırlıkça % 2 oranında kullanıldığı numunelerde gerçekleşmiştir.

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

Daha uzun bazalt fiberlerin kullanımı ile serbest basma deneylerinin tekrarlanması ileriki araştırmalar için önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Aral, M., 2006. Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı bir optimum tasarım. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Arslan, M.E. 2017. Bazalt liflerin geleneksel betonların mekanik özellikleri ve kırılma enerjilerine etkilerinin incelenmesi. Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 23(3), 203-208.
- Ayub, T. , Shafiq, N. , Nuruddin, M.F. 2014. Mechanical properties of high-performance concrete reinforced with basalt fibers. Procedia Engineering, (77) :131-139.
- Balatan, F., Akbulut, S., 2018. Çinko Katkılarının Bir Kil Zeminin Mukavemet Özelliklerine Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 17. Ulusal Kongresi, 1.Cilt, 1095-1104, İstanbul.
- Beycioğlu, A., Aruntaş, Y. 2014. Bazalt lifli donatının yüksek dayanımlı betondaki aderans performansı. Mühendislik ve Bartın Üniversitesi Teknoloji Bilimleri Dergisi, 2(1): 83-96.
- Demiröz, A., Karaduman, M. 2009. Zemin İyileştirme Metotları. Selçuk-Teknik Dergisi, 8(3): 176-192.
- Dias, P.D., Thaumaturgo, C. 2005. Fracture toughness of geopolymeric concretes reinforced with basalt fibers. Cement&Concrete Composites, 27: 49-54.
- Gao, L., Hu, G., Xu, N., Fu, J., Xiang, C., Yang, C. 2015. Experimental study on unconfined compressive strength of basalt fiber reinforced clay soil. Advances in Materials Science and Engineering, Article ID 561293.
- Gisymol, P.G., Ramya, K., 2017, Enhancing the compressive strength of inorganic soil using basalt fiber. International Conference on Geotechniques For Infrastructure Projects, Thiruvananthapuram.
- Göktepe, F., Totiç, E., Acar, F., Yaşar, M., 2018. Kutlubey Bölgesi Killerinin Mekanik Özelliklerinin Uçuçu Kül ile Stabilizasyonu. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 17. Ulusal Kongresi, İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa & İstanbul Üniversitesi, İstanbul,
- Işık, F., Akbulut, R.K., Zaimoğlu, Ş.A., Arasan, S. 2015. Kil zeminlerin iyileştirmesinde atık doğal liflerin kullanılabilirliği. 6. Geoteknik Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Bildiri No: S053, Adana.

- Jones, M., 1999. *Mechanics of Composite Materials*, 2. Baskı, Taylor And Francis Group, Blacksburg, Virginia, USA.
- Keskin. E., Turan. B., Arsoy. S. 2009. Isıl iyileştirme ve kireçle iyileştirmenin serbest basınç mukavemetine etkisi. 3. Geoteknik Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana, 515-522.
- Kurt Albayrak, Z. N., Altun, B., 2018. Biyopolimer İle Etkileştirilmiş Kil/Mermer Karışımlarının Bazı Geoteknik Özelliklerinin Araştırılması. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 17. Ulusal Kongresi*, İstanbul,
- Kurt, G., 2006. Lif içeriği ve su/çimento oranının fibrobetonun mekanik davranışına etkileri. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Mitchell, J.K. and Katti, R.K. (1981) Soil improvement - State of the art report, *Proceedings, 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm (June)*, pp. 509-565.
- Ndepete, C.P., Sedat, S., 2017, Bazalt Fiber Katkısının Siltli Zeminlerde Kayma Direncine Etkisi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Anabilim Dalı, Doktora Tezi*.
- Önalp, A., Sert, S. 2016. *Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri, Güncelleştirilmiş 3. Baskı*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Özdemir, T., Polat, G.E., Azdeniz, Ö., Boz, A., Sezer, A. 2016. Bazalt fiber ve kireç ile güçlendirilmiş kil zeminin dayanım özellikleri. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 16. Ulusal Kongresi. Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 1025-1034*.
- PanditVinod M., Chopada Rohit., KhabiyaTushar., ChoudharyAyushi., Gandhi Bhushan., ChhajedDeepali. 2018. Study of Basalt Fiber On Compaction Characteristics Of Black Cotton Soil. *6th International Conference on Recent Trends in Engineering & Technology (ICRTET - 2018)*, Mumbai, India. 850-853.
- Ross, A. 2006. Basalt fibers: a new alternative to glass? *Condensed info from Composites Technology/Composites World: August 2006*.
- Sağlamer, A. 2011. *Zeminlerin İyileştirilme Yöntemleri (Sunum)*. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi*.
- TSE. 2000. *TSE1500 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Sınıflandırması*, Ankara.
- TSE. 2006. *TS1900-1 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 1: Mekanik Özelliklerin Tayini*, Ankara.
- TSE. 2006. *TS1900-2 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini*, Ankara.
- Türker, S., Balanlı, A. 1992. *Yapı Malzemeleri*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 45-72.
- URL-1 <www.britannica.com/technology/man-made-fiber>Erişim Tarihi: 10.04.2017
- URL-2 <global.britannica.com/topic/natural-fiber>, Erişim Tarihi: 10.04.2017.

- URL-3 <www.basfibertek.com/?SyfNmb=1&pt=Anasayfa>, Erişim Tarihi: 03.04.2017.
- URL-4 <keywordsuggest.org/gallery/710962.html>, Erişim Tarihi: 03.04.2017.
- URL-5 <www.basaltft.com/hist.html> , Erişim Tarihi: 04.04.2017.
- URL-6 <www.basaltex.com/files/cms1/bioplasticsmagazine2015OK.pdf>, Erişim Tarihi: 05.04.2017.
- URL-7 <basaltfm.com/eng/fiber/technology.html>, Erişim Tarihi: 09.05.2017.
- URL-8 <<http://www.basaltft.com/hist.html>>, Erişim Tarihi: 01.05.2018.
- URL-9 <geology.com/rocks/basalt.shtml>, Erişim Tarihi: 01.03.2017.
- URL-10 <www.basfiber.com>, Erişim Tarihi: 31.03.2017.
- URL-11 <www.technobasalt.com>, Erişim Tarihi: 31.03.2017.
- URL-12 <www.taek.gov.tr/tr/sik-sorulan-sorular/148-malzeme-teknolojisi-sss/948-taramali-elektron-mikroskobu-sem-nasil-calisir.html>, Erişim Tarihi: 27.01.2019.
- Yılmaz, Y., Sevecan, Ü. 2010. Polipropilen fiber ve uçucu kül katkılı ankara kilinin bazı geoteknik özelliklerinin araştırılması. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi, İstanbul, 133-142.
- Zaimoğlu, Ş., 2010. Polipropilen fiber ve katkı malzemeleri ile iyileştirmiş ince daneli zeminlerde serbest basınç dayanımının optimizasyonu. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, 321-326.

ÖZGEÇMİŞ

Pınar Ocakbaşı, 14.07.1986'da Çanakkale'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Çanakkale'de tamamladı. 2003 yılında Avukat İbrahim Mutlu Lisesi'nden mezun oldu. 2005 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2009 yılında bitirdi. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2009-2014 yılları arasında çeşitli özel şirketlerde çalıştı. 2014-2017 yılları arasında Kepez Belediyesinde İmar ve Şehircilik Müdürlüğü ile Fen İşleri Müdürlüğünde çalıştı. Evli ve bir çocuk annesidir.